

حیات و اثری

اثر

آیزاک آسیموف

ترجمہ

دکتر محمود بہزاد



کتاب خانہ اسلامیہ کراچی

انتشارات
بنگاه ترجمه و نشر کتاب

۲۱۵

مجموعه معارف عمومی



بنگاه ترجمه و نشر کتاب

از این کتاب دو هزار نسخه با همکاری فنی مؤسسه
انتشارات فرانکلین در چاپخانه زیبا به طبع رسید
حق طبع مخصوص بنگاه ترجمه و نشر کتاب است

مجموعه معارف عمومی

شماره ۴۴

حیات و انرژی

تالیف

آیزاک آسیموف

ترجمه

دکتر محمود بهزاد



نگار ترجمه و نشر کتاب

تهران ۱۳۴۸

غرض از انتشار مجموعه معارف عمومی این است
که يك رشته كتب ارزنده در فنون مختلف علوم و معارف
به معنی وسیع آن که برای تربیت ذهنی افراد و تکمیل
اطلاعات آنان سودمند باشد به تدریج ترجمه شود و در
مسترس طالبان قرار گیرد .

امید می رود که این مجموعه در مزید آشنایی
خوانندگان با جهان دانش و مسائل علمی و فرهنگی
دنیای امروز مؤثر واقع شود و فرهنگ دوستان و دانش –
پژوهان را به کار آید

فهرست

مقدمه

۹

بخش اول - انرژی

۱۷	فصل اول - کوشش ما
۳۴	فصل دوم - نتایجی که آتش به بار آورد
۵۴	فصل سوم - اندازه گیری حرکت
۷۳	فصل چهارم - اندازه گیری گرما
۸۸	فصل پنجم - جریان گرما
۱۰۵	فصل ششم - ذرات جنینده
۱۲۶	فصل هفتم - ذرات بهم متصل می شوند
۱۴۶	فصل هشتم - گرمای واکنش
۱۶۵	فصل نهم - جهت واکنش
۱۸۲	فصل دهم - مسیر الکتریکی
۲۰۱	فصل یازدهم - تحریک واکنش
۲۲۸	فصل دوازدهم - تحریک بدون انرژی

حیات و انرژی

بخش دوم - بدن انسان

- ۲۴۳ فصل سیزدهم - بازهم جاندار و بیجان
- ۲۶۱ فصل چهاردهم - سرعت بیهوده
- ۲۸۰ فصل پانزدهم - کانالیزورهای حیات
- ۲۹۵ فصل شانزدهم - اجزای ساختمانی پروتئینها
- ۳۲۱ فصل هفدهم - جاذبه ضعیف
- ۳۴۴ فصل هجدهم - نتیجه کار آنزیمها
- ۳۷۲ فصل نوزدهم - در حواشی
- ۳۹۴ فصل بیستم - زندگی بی هوازی
- ۴۰۷ فصل بیست و یکم - اهمیت فسفات
- ۴۲۸ فصل بیست و دوم - انتقال الکترونها
- ۴۴۵ فصل بیست و سوم - زندگی هوازی
- ۴۷۳ فصل بیست و چهارم - راهها به هم می پیوندند
- ۴۹۸ فصل بیست و پنجم - منبع خالی

مقدمه

روزگاری بود که انسان نابالغ و کم‌دانش، برای توجیه آفرینش جهان و هرچه به کار جهان وابسته است، و از جمله زندگی و مرگ، چهار عنصر در اندیشه خود ساخته بود - خاک و آب و باد و آتش؛ و برای هر يك از این عناصر خاصیتی و طبیعی می‌پنداشت؛ خشکی و سردی برای خاک؛ تری و سردی برای آب؛ تری و گرمی برای هوا یا باد؛ و خشکی و گرمی برای آتش. از این چهار عنصر یا چهار رکن دوتا را - خاک و آب - سنگین می‌شمردند، و دوتا را - هوا و آتش - سبک. مکان خاک را مرکز عالم می‌دانستند و مکان آتش را برتر از مکان همه موجودات زمینی و آسمانی در فلک ائیر (= آتش) تصور می‌کردند.

پزشکان باستانی برای پی بردن به تندرستی و بیماری سخنانی داشتند که از همین ارکان سرچشمه می‌گرفت، و بهتر است در این باره به گفته یکی از پزشکان آزموده و شیرین سخن فارسی زبان قرن ششم خودمان، سید اسماعیل جرجانی، صاحب کتاب معتبر «ذخیره خوارزمشاهی»، گوش فرا داریم که در کتاب خلاصه دیگر خود، «الاعراض الطبیه»، چنین آورده است:

«و اگر چه مادت نخستین اندر همه کاینات این چهار رکن است، اندر هیچ موجود هیچ يك را به طبع و صورت خاصه خویش به فعل خویش توان

یافت ، لیکن قوت هر يك به سبب آمیخته شدن شكسته شده است ، و میان هر چهار يك طبع مزاجی پدید آمده ، و بساطت و صورت هر يك باطل شده . . . و هر گاه که صورت دورکن با یکدیگر باز کوشند و هر يك اندر گوهر یکدیگر اثر کنند ، آن را استحاله گویند ؛ بدین استحاله قوت هر دو شكسته شود ، و صورتی و طبیعتی از میانه پدید آید [که] آن را مزاج گویند ؛ و هر گاه که از چهار صورت که با یکدیگر بکوشند دو با یکدیگر بر آیند و از دو دیگر قوت یکی قویتر آید ، مزاج را بدین قویتر باز خوانند مثلاً اگر اندر گرمی و سردی معتدل آید ، و خشکی برتری غلبه کند ، گویند مزاج خشک است ، و اگر تری بر خشکی غلبه کند ، گویند مزاج تر است ؛ و اگر اندر تری و خشکی معتدل آید ، و گرمی بر سردی غلبه کند ، گویند مزاج گرم است ، و اگر سردی بر گرمی غلبه کند ، گویند مزاج سرد است . این نوع مزاجها را مزاج مفرد گویند ، و این چهار مزاج مفرد است و بیرون از چهار مزاج مفرد نیست ، از بهر آنکه ارکان فزون از چهار نیست . و هر گاه که هیچ صورت برابر نیاید ، لیکن دو صورت غالب آید و دو مغلوب چهار مزاج مرکب پدید آید : گرم و خشک ، و گرم و تر ، و سرد و خشک ، و سرد و تر ، و بیرون از این مزاج دیگر ممکن نیست ؛ پس انواع مزاج نه بیش نیست ؛ یکی معتدل و چهار مفرد ، و چهار مرکب .^۱ ،

از زمان این گونه تصورات درباره جهان و تعلیل آنچه در جهان می گذرد ، مدتهای درازی گذشته است . با آنکه علم و فن نگاهداری تندرستی تن تا حدی

۱- الاغراض الطیبه ، انتشارات بنیاد فرهنگ ایران ، ۱۳۴۵ ، صفحه ۵۳ .

۲- همان کتاب ، صفحه ۵۶ .

به تجربه بستگی داشته ، باز هم در اصول هنر پزشکی شیوه رایج استدلال منطقی و کمتر به تجربه توجه داشتن حکمفرما بوده است . رفته رفته پزشکان و دانشمندانی از شرق و غرب پیدا شدند و سنت «فلسفه» بودن طب را شکستند و تجربه را در آن اصیل شمردند و اکنون به برکت همین سنت شکستن چنان شده است که دیگر «تب لازم» و «دل درد يك ساعت» از سر زبانها افتاده و درد تا این اواخر بی درمان سل درمان پذیر شده ، و بنا بر انتظاری که از سنت مبارک تجربه و پژوهش تجربی می رود ، دور نیست در دوران حیات نسل حاضر ، جهان دانشمند یا گروه دانشمندانی از گوشه جهان داروی بیماری هولناک سرطان را نیز بیابند و همه بندگان خدا را از چنگال این چنگار جانسکار برهانند .

اکنون، در نتیجه پیشرفت علم درست ، مردمان چنان با رابطه علت و معلول انس گرفته اند که نه برای از بین بردن کید دشمنان به طلسمیات و عزایم متوسل می شوند و نه برای بازگرداندن سلامتی بیماران به نخم مرغ شکستن و کارهای ابلهانه مانند آن می پردازند .

یکی از گرفتاریهای پزشکان این است که غالباً در فهماندن علت بیماری مریض به او ، که سخت مایل به دانستن آن است ، از لحاظ آشنا نبودن بیمار به اصطلاحات پزشکی دچار زحمت می شوند ، و احیاناً اگر طبیب پیر و بیمار تنگ حوصله باشد کار به اوقات تلخی می کشد . و جای خوشبختی است که بسیاری از پزشکان جوان که با رسوم و آداب پسندیده مداوای جدید آشنایی دارند ، و نیک می دانند که کمی اطلاع دادن به بیمار و آگاه کردن اجمالی او به اینکه درد با وی چه کرده و کجای بدن او را نامتعادل ساخته و دارو یا پرهیزی که برای او تجویز می کند چگونه این نابسامانی را از میان می برد ، در واقع به کار خود که شفای مریض است مدد رسانده اند ، از دادن این اطلاعات ساده به بیماران خودداری

نمی‌کنند، و با بر آوردن این نیاز روانی علاج را سریعتر و بیمار ناز کدل را از خود خشنودتر می‌سازند.

زمانی بود که، در آغاز پیدایش علم جدید، واحد حیاتی را در بدن آدمی سلول یا یاخته می‌شناختند و در کتابهای مقدماتی علم اجزایی که برای این یاخته بر می‌شمرند از شماره انگشتان دست تجاوز نمی‌کرد. و اکنون چندان کار علم و تحقیق پیش رفته که صفحاتی برای شمارش اسامی پاره‌های یاخته یا کارهایی که در آن صورت می‌گیرد ضرورت دارد. شناختن مجهول باستانی «روح حیوانی» اکنون به شناختن «زاک» [= ژن] و متعلقات پُرطول و تفصیل آن انجامیده است. در آن «روح حیوانی» هرچه گفته می‌شد با حدس و گمان بود و در این «زاک» هرچه گفته می‌شد با دلیل و برهان عینی و تجربی است و چنین است که با شناختن «زاک» توانسته‌اند نسلهای حیوانی را بهتر کنند و از گیاهان گونه‌های بهتر و مطلوبتر و مطابق سفارش بسازند.



کتاب حاضر یکی از آن گونه کتابها است که به پرسش همگانی در باره اینکه زندگی آدمی از لحاظ طبیعی چیست و غذا در این زندگی چه نقشی دارد جواب می‌دهد و بسیاری از چیزها را که بر بسیار کسان ناشناخته است آشکار می‌سازد. از آن گونه کتابها است که اگر تندرستان بخوانند کمتر در معرض بیماری قرار می‌گیرند و اگر بیمار شوند کمتر به آن نیاز دارند که وقت پزشکان را برای شناسایی بیماری خویش بگیرند.

نویسنده کتاب، آیزاک آسیموف، از دانشمندان زیست‌شیمی یا شیمی حیاتی امریکایی است که در ساده کردن مطالب علمی و بیان آنها به صورتی که برای همگان قابل فهم باشد، مهارت فراوان دارد، و به گفته مجله «تایم» امریکایی

« از دانشمندان نادری است که برای توده چیز می نویسند و کلمات را با مهارت خاصی در نوشته‌های خود می آورند. » کتاب درسی نوشتن چندان دشواری ندارد که کتاب خوبی مشتمل بر همان مطالب درسی برای عامه مردم نوشتن . از چند کتابی که همین نویسنده برای استفاده عموم نوشته و آقای دکتر بهزاد با شایستگی کافی ترجمه کرده‌اند و آنها را خوانده‌ام ، دریافتم که این مؤلف ، حتی در آنجاها که از میدان اختصاص وی بیرون است ، کمتر دچار لغزشی شده و به همین جهت با اطمینان می توان کتاب را خواند و به صحت آنچه در آن آمده است اعتماد کرد .

فایده دیگر این کتاب و ماندهای آن این است که راه را برای بیان مطلب جدید علمی که کمتر در ادبیات از لحاظهای دیگر سرشار فارسی سابقه دارد ، باز می کند ، و با پیدا شدن تعبیرهای جدید فارسی در مقابل کلمات فراوان فرنگی و تکرار آنها در کتابهای گوناگون و انتخاب بهترین آنها ، زبان ساخته و پرداخته و شایسته‌ای برای بیان این قبیل مطالب فراهم می شود و شیوه ناپسندی که اکنون در بسیاری از کتابهای علمی فارسی رایج است و نویسنده و خواننده نادان هر دو را رنج می دهد از میان می رود ، ان شاء الله تعالی .

تهران . ۲۲ آذرماه ۱۳۴۷

احمد آرام

بخش اول

انرژی

فصل اول

کوشش ما

آدمی از تفاوت میان خود و سایر اشیاى جهان ، که او را در میان گرفته اند ، طبیعتاً به خوبی آگاهی دارد . در همه فرهنگها ، آدمی همواره خود را اشرف مخلوقات می داند . البته خود را از خدایان و دیوان و فرشتگان و چیزهای دیگری که برتر از طبیعتند کمتر می داند ، ولی از هر چیزی که می تواند ببیند و لمس کند برتر می شمارد .

در عین حال فاصله موجود میان آدمی و غیر آدمی ثابت و تغییر ناپذیر نیست ، بلکه این تفاوت فاصله را درجاتی است . بسیاری از چیزهای متنوع که با ما در « جاندار » بودن سهیم هستند ، به همین دلیل ، به ما نزدیکترند تا به اشیاىی که بیجان هستند .

جاندار یا بیجان بودن به نظر ما (از نظر پیشداوری ما) مطمئناً مهمترین راه تقسیم جهان به دو بخش متمایز است ، و اگر درباره این تقسیمبندی سطحی فکر کنیم (هر چه سطحیتر بهتر) ، هیچ گونه اشکالی در تشخیص جانداران از بیجانها نخواهیم داشت . سنگی که روی زمین افتاده است مسلماً بیجان است . سوسماره

که روی سنگ می خزد محققاً زنده است .

از کجا می توانیم آنها را از یکدیگر تشخیص دهیم ؟ سنگ بی اثر و بی حرکت در جایش افتاده و ممکن است تحت تأثیر ضربات محیط واقع شود ولی واکنشی نخواهد کرد ، ولی سوسمار به سرعت می جنبد و به بعضی از عوامل محیط پاسخ می دهد . از جمله به « آفتاب » از طریق پناه بردن به سایه و به « کرسنگی » با جستجوی غذا و به خطر با مخفی شدن در محلی امن ، پاسخ می دهد .

به فرض آن که در تشخیص سوسمار (یا مگس و گنجشک و موش) از سنگ ، به وسیله حرکت و فعالیت حیوانات زنده اشکالی در میان نباشد ، آیا در تشخیص صدف از سنگ یا در تشخیص دانه گیاه از دانه ماسه هم اندازه و هم رنگش ، به اشکال بر نمی خوریم ؟ آیا با اطمینان خاطر می توانیم بگوییم که اولی ، در هر دو مورد فوق ، جاندار و دومی بیجان است ؟

واقع امر این است که می توانیم آنها را از یکدیگر تشخیص دهیم زیرا صدف گرچه بی حرکت به نظر می رسد ، دو پاره پوشش خود را می تواند باز کند و بیند و آب به درون خود بکشد و از میان آن ذرات غذایی را جدا سازد و مواد زاید را دفع کند . وقتی که این همه فعالیت را با آنچه در سنگ می بینیم مقایسه کنیم ، کارهایی معجزه آسا به نظر خواهند آمد . و اما در مورد دانه گرچه ظاهراً کاری انجام نمی دهد ولی به انتظار محیط مناسب است (خاک ، آب ، گرمای مناسب) تا به فعالیت افتد . جوانه می زند ، ریشه تولید می کند و به گیاهی تبدیل می شود . پس وقتی که دانه را با ماسه مقایسه می کنیم ، فعالیت های دانه نیز در مقابل آن ، کارهایی معجزه آسا به نظر خواهند رسید .

ولی در مقابل عوامل محیطی فعالیت کردن و تنها جنبه انفعالی ضربات آن را نداشتن ، به کوشش احتیاج دارد . این « کوشش کردن » از مفاهیم دقیقی است

که بعداً در این کتاب بدان باز خواهیم گشت ولی در حال حاضر آن را به مفهوم ظاهریش قبول می‌کنیم .

مثلاً شکمی نیست که وقتی می‌دویم یا از جایی بالای رویم یا وزنه‌ای بر می‌داریم، داریم کوشش می‌کنیم . نیز هنگامی که روی تختخواب دراز کشیده‌ایم کوشش می‌کنیم زیرا دنده‌های قفس سینه خود را در هر بار تنفس بالا می‌بریم و مقداری خون با هر ضربان قلب در همه بدن توزیع می‌کنیم . کلیه‌ها و جگر و سایر اعضای ما نیز کارهایی انجام می‌دهند که ما بی‌درنگ آنها را به‌عنوان کوشش قبول می‌کنیم . حتی جهان گیاهی که ساکن و خاموش به‌نظر می‌رسد ، کارهایی انجام می‌دهد که ما آنها را کوشش کردن به‌حساب خواهیم آورد : مانند وقتی که گلی شکفته می‌شود یا هنگامی که جوانه‌ای به‌سوی نور دراز می‌شود یا ریشه‌ای که در زمین به‌سوی آب فرو می‌رود .

در هیچ سنگی و هیچ موجود بیجان کوشش بدان معنی که حتی در ساده‌ترین جاندار مشاهده می‌شود وجود ندارد . لافل تجربه روزانه به‌ما چنین می‌گوید . پس می‌توانیم چنین بپذیریم که از دست رفتن این استعداد چیزی است که به آن مرگ می‌گوییم .

به‌منظور فهم ماهیت زندگی و به‌خصوص ادراک طرز کار بدن آدمی به‌عنوان نمونه خاص زندگی . بهتر آن است که درباره جمله « کوشش کردن » موشکافی کنیم و دلالت آن را مورد تحقیق قرار دهیم . کتاب حاضر به‌همین کار اختصاص داده شده است .

اگر در آغاز چنین بپذیریم که همه موجودات زنده کوشش می‌کنند ، این سؤال پیش خواهد آمد که : « انسان از این نظر چگونه از سایر جانداران متمایز است ؟ »

امتیازی که در وهله اول به مغز ما خطوط خواهد کرد این است که انسان با هوشتر از سایر جانداران است و با پیشبینی سوانح آینده بهتر از سایر انواع به کوششهای خود سازمان می‌دهد. مثلاً انسان دانه می‌کارد و با پشت کار فراوان همه وسایل آن را فراهم می‌سازد و ماهها کوشش می‌کند، بدون آنکه محصولی فوری عایدش شود. حاصل کوشش وی تأمین غذا در ایام قحطی زمستانی یعنی ایامی است که سایر حیوانات باید مهاجرت کنند یا زمستان خوابی نمایند یا با حداقل غذا بسازند یا گرسنه بمانند.

آدمی برای توصیف کوششهای هدفدار خود لغات فراوانی به کار برده است. مثلاً در زبان انگلیسی لغاتی مانند کار (Work) و زحمت (Toil) و رنجبری (Labor) جان‌کندن (Drudgery) و تقلا کردن (Striving) هست. ولی کلمه‌ای که به وسیله فیزیکدانها برای نتیجه کوشش به کار می‌رود، متداولترین آن کلمات یعنی کار است.

این کلمه از جهتی خوشایند نیست زیرا در محاوره عادی برای معنی «کار» مسئله روانی نیز در میان هست. مثلاً در حین بازی تنیس شخص بیشتر از وقتی کار می‌کند که يك عده کارتها را بر حسب الفبا ترتیب بدهد و حال آن‌که، دومی را کار به حساب می‌آوریم و اولی را صورتی از «تفریح» یا «مسابقه» یا «تمرین» می‌دانیم ولی هیچ‌گاه آن را کار به حساب نمی‌آوریم. نیز ممکن است برای بلند کردن وزنه‌ای سنگین تقلا بزیم ولی نتوانیم و بگوییم که «کاردشواری» بود.

دانشمندان به منظور اجتناب از اشتباه، تفسیرهای روانی را در اصطلاحی که به کار می‌برند نمی‌پذیرند، و برای آنکه به کلمه «کار» مفهوم خاصی بدهند، تعریفی ریاضی برای آن قائل شده‌اند که مستقل از عقیده آدمی است. این تعریف باید چنان باشد که نشان دهد وقتی که تقلا می‌زنید که وزنه سنگینی را بلند کنید و

موفق نمی‌شوید، کاری انجام نداده‌اید.

طبیعی است که چون تفاوت میان مفهوم «کار» در اصطلاح علمی و مفهوم آن در اصطلاح معمولی، شخص مبتدی را گمراه می‌کند، بهتر آن بود که لغت جدیدی برای منظور خود به جای کلمه «کار» وضع می‌کردند، ولی چنین کاری نشد و همان کلمه «کار» به جایش باقی ماند. بالاخره من سعی خواهم کرد مفهوم علمی کار را شرح بدهم، اما فعلاً به آنچه که مستقیماً ادراک کرده‌ایم قناعت می‌کنیم و کار را نتیجه کوشش کردن به حساب می‌آوریم.

دانشمندان برای آسان ساختن فهم موضوع، اصطلاحی به کار برده‌اند تا استعداد انجام دادن کاری را با آن نشان دهند. این اصطلاح کلمه «انرژی» است. انرژی اساساً به معنی «فعالیت» است و از کلمه یونانی Energos به معنی «فعال» می‌آید، ولی خود کلمه یونانی دو قسمت دارد «EN» به معنی در و «Ergon» به معنی کار، پس کلمه فوق به معنی چیزی است که «کاردر» آن باشد یعنی به معنی انرژی می‌تواند گرفته شود. تعریف علمی انرژی نیز دقیق و ریاضی است ولی برای انرژی هم فعلاً همان مفهوم مستقیم را به کار می‌بریم.

انرژی چیزی است که يك موجود زنده برای آنکه بتواند قادر به «کوشش کردن» باشد، لازم دارد، اما انرژی مفهوم وسیعتری نیز دارد. يك موجود بیجان قادر به «کوشش کردن» نیست و حال آنکه می‌تواند انرژی داشته باشد. مثلاً سنگی که بر لب پرتگاهی وضعی نامتعادل دارد، نمی‌تواند برای افتادن «کوشش کند» اما اگر به دست کسی (یا بر اثر نیروی باد) هل داده شود، خواهد توانست ساختمانی را که در ته دره است ویران کند. چون کار انجام داده پس انرژی داشته است.

سوسمار و سنگ (که در آغاز کتاب از آنها یاد کرده‌ام) از این نظر تفاوتی

دارند و آن این است که انرژی سوسمار می‌تواند به خواست آن و برای رفع يك نیازمندی در جهتی هدایت شود و حال آن انرژی سنگ در جهت انجام کار نمی‌تواند هدایت گردد مگر آن که نیرویی خارجی بر آن وارد گردد. این هم نوعی تفاوت غیر مستقیم میان «کوشش کردن» و «کوشش نکردن» است. پیش از آنکه موضوع را به پایان برسانیم، روش تشخیص بهتری خواهیم آموخت.

اکنون که دو کلمه «کار» و «انرژی» به مجموع لغات ما اضافه شدند به تشخیص میان آدمی و سایر موجودات زنده باز می‌گردیم. انسان انرژی را توسعه می‌دهد و برای تدارك آینده‌اش، که از هم اکنون می‌تواند پیشبینی کند، کار انجام می‌دهد. آیا این وجه تشخیص درستی میان آدمی و سایر موجودات زنده است؟ مگر بیدستر^۱ سد نمی‌سازد و سنجاب گردو اندوخته نمی‌کند و عنکبوت تار نمی‌تند؟ به نظر ما این امور قابل مقایسه باهم نیستند، زیرا در هیچ يك از موارد نامبرده باهر مورد دیگری که از «حیوانات پست» سر می‌زند چیزی شبیه «پیشبینی» که آدمی می‌کند وجود ندارد، و تفاوت به قدری زیاد است که انسان باید آشکارا در يك طبقه کاملاً مجزا قرار داده شود.

تکرار می‌کنم: به نظر ما چنین می‌آید. آیا امکان ندارد که این تفاوت که به نظر ما بسیار آشکار است صرفاً زاینده تعصب و خودخواهی ما باشد؟ آیا برای ناظری از جهان خارج که به مطالعه حیات روی زمین می‌پردازد، تفاوت میان تاری که عنکبوت می‌تند و توری ماهیگیری که انسان می‌بافد، بیش از تفاوتی خواهد آمد که میان دو کار از يك سنخ هست؟

اگر می‌توانستیم وجه تشخیصی میان خود و سایر جانداران بیابیم که ظاهری و عینی باشد، به طوری که آشکارا به چشم موجود جهان خارج از زمین بیاید:

بسیار جالب (و مایه غرور ما) می شد . ما وجه تشخیص خود و سایر جانداران را بر اساس طریق استفاده از انرژی قرار داده ایم . در این باره می توانیم به تحقیق بیشتری بپردازیم .

یکی از راههای تحقیق این است که از آغاز ، یعنی از زمانی که آدمی در طول تکاملش هنوز تفاوت زیادی با حیوانات دیگر پیدا نکرده بود ، شروع کنیم و کوشش به عمل آوریم که ، طی تکامل فرهنگ آدمی ، نقطه ای بیابیم که تمایز آغاز شده است و ببینیم که وجه تمایز چه بوده است .

در حین این تحقیق ، ناگزیر خواهیم شد راجع به مفهوم « انرژی » و « کار » مطالعه بیشتری بکنیم . و این خود ، ما را بهتر به فهم ساز و کار حیات که تا اینجا آن را « چیزی که کوشش می کند » تعریف کرده ایم ، راهنمایی خواهد کرد .



اکنون این سؤال را پیش می کشیم که « انسان چگونه انرژی را توسعه می دهد؟ » نه آن که به چه منظور چنین می کند (زیرا برای يك خارجی بیان آن دشوار است) . انسان ، توسعه دادن انرژی برای انجام کار را ، فقط به میزان حداکثر ثابتی می تواند پیش ببرد . مثلا اگر می خواستیم که بیست سنگ ۲۵ کیلو گرمی را از زمین بلند کنیم و به نقطه ای به فاصله ۳۰ متری ببریم ، قدرت آن را داشتیم . زیرا می توانستیم آهسته حرکت کنیم و بین بردن سنگها استراحت کنیم تا بدنمان تولید انرژی را به میزانی که به مصرف رسیده برساند . نیز آدمی می تواند با آهسته کار کردن و به فاصله مناسب کار انجام دادن ، هر تعداد از این سنگ را که مناسب قوه اش باشد به هر فاصله مناسبی حمل کند .

اما اگر ۲۰ سنگ ۲۵ کیلو گرمی به صورت يك بار نیم تنی به هم بسته بودند ،

انسان قادر به برداشتن آن نبود. زیرا نمی‌توانست آن قدر انرژی جمع کند و تولیدش را چنان توسعه دهد که بتواند بار نیم تنی را یکضرب از جا بلند کند. میزان تولید انرژی را دانشمندان «قدرت» می‌گویند. پس می‌توانیم بگوییم که اگر چه انسان انرژی کافی برای برداشتن يك بار نیم تنی دارد (به شرط آن که وقت کافی داشته باشد) ولی «قدرت» کافی برای انجام این کار را ندارد.

انسان از این نظر مانند سایر حیوانات است و هیچ امتیازی بر آنها ندارد. قدرت انسان بیش از قدرت حیوانات کوچکی مانند گربه یا موش است و کمتر از قدرت حیوانات بزرگی چون اسب و فیل. هر حیوانی، هر قدر که جنه بزرگ داشته باشد، قدرت ثابتی دارد.

مطمئناً حیوانات به طریقی تکامل یافته‌اند که به مؤثرترین صورت از انرژی موجود در دسترس خود استفاده ببرند. مثلاً اگر برای پاره کردن گوشت سفت طعمه، فقط دولته پهن را روی هم بیاورد، بی فایده است، ولی وقتی که لته‌ها با دندانهای سخت و نوک تیز مجهز باشند، انرژی بستن آرواره‌ها (اگرچه از پیش بیشتر نشده است) در آن نوکهای تیز نمرکز خواهد یافت. کوشش کل تغییری نمی‌کند ولی کوشش در واحد سطح مجاورت بسیار زیادتر می‌شود، و در نقطه مجاورت دندانها نفوذ می‌کند. پس ببری که دندانهای تیز و چنگال دارد به جانوری درنده و مخوف تبدیل می‌شود و حال آن اسب که از آن بزرگتر است و مقدار کل انرژی در دسترسش بیشتر از مقدار کل انرژی در دسترس ببر هست، به آسانی قربانی می‌شود.

يك حیوان ممکن است چنان ساخته شده باشد که بتواند از راههای مختلف از انرژی خود به صورت مؤثرتری استفاده کند، به طوری که سریعاً بتواند شنا کند یا بدود یا حتی پرواز کند. اما در هر حال میزان تولید انرژی محدود است.

وقتی که حیوانی طوری ساخته نشده باشد که بتواند از طریق مخصوصی از انرژی خود استفاده مؤثر بکند، می‌تواند برای منظور خاصی از اشیای خارجی (ابزار) استفاده کند. البته این عادت میان انواع جانداران عمومیت ندارد و فقط منحصر به نوع آدمی است. با همه این احوال هستند حیواناتی که ابزار به‌کار می‌برند. پرندگان برای شکستن صدف حلزون از سنگ استفاده می‌کنند و مورچگان برای مسدود کردن راهروهای زیرزمینی شن به‌کار می‌برند. انسان مانند سایر حیوانات جلو افتاده‌اند که می‌توان این گونه اعمال حیوانات پست را نادیده گرفت و انسان را حیوانی که از ابزار استفاده می‌کند، تعریف کرد.

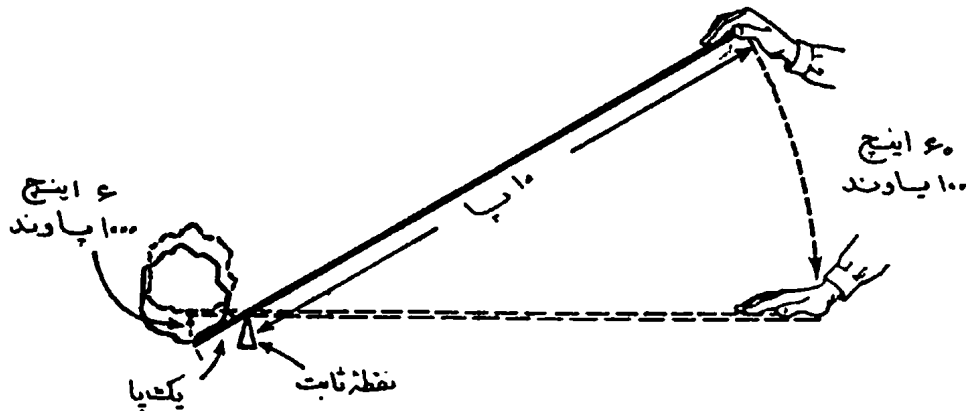
مرحله قاطع در استفاده از ابزار هنگامی فرا رسید که انسان دیگر از اشیای مناسب، که اتفاقاً پیدا می‌کرد، استفاده نکرد (چنانکه حیوانات پست می‌کنند) و سنگها را با لبه تیز و نوک تیز به قصد خاصی تغییر داد.

از آنجاکه يك ابزار ممکن است تدبیری برای انتقال انرژی به يك نقطه‌اش باشد، پس، از نقطه دیگر یا از جهت دیگر مفیدتر خواهد بود و آن ابزار در واقع يك ماشین است. معمولاً وقتی که صحبت از ماشین می‌شود، دستگاههای بزرگ پیچیده‌ای را در نظر می‌گیریم و حال آن که ماشینهایی که هزارها سال پیش مورد استفاده نوع آدمی قرار گرفته‌اند، بسیار ساده بوده‌اند.

یکی از ماشینهای بسیار ساده اهرم است. فرض کنید انتهای میله‌ای زیر نیم تن بار قرار داشته باشد و میله بتواند روی سنگ کوچک مجاورش بگردد. (تصویر ۱) قسمت درازی از میله در طرف دیگر نقطه گردش هست. اگر انتهای قسمت دراز را به طرف پایین فشار دهید، کوششی که به کار می‌برید به صورت نیرویی به سمت بالا، در انتهای دیگر میله تبدیل می‌شود. (درست مانند الاکلنگ - که

خود نوعی اهرم است - که حرکت به سمت پایین يك كودك، كودك دیگر را به سمت بالا بلند می کند).

تغییری که در جهت وارد ساختن نیرو حاصل می شود به آن اندازه هست که اهرم را به ماشین تبدیل کند ولی چیز دیگری هم در این جریان هست. بازوی کوتاه اهرم، مسافت کمی به سوی بالا می رود و حال آن که بازوی بلند مسافت زیادی به پایین آورده می شود، و نیروی بازوی کوتاه بیشتر از نیروی بلند است. در دو طرف میله حاصل ضرب نیرو در مسافت برابر است. (این «اصل اهرم» نام دارد و



تصویر ۱. اهرم

نخستین بار توسط ارشمیدس ریاضیدان یونانی، در قرن سوم قبل از میلاد کشف شده است. بدیهی است که آدمی بدون آن که از این اصل آگاه باشد از هزارها سال قبل از آن مؤثراً استفاده می برده است.

اگر درازی بازوی بلند اهرم ده برابر درازی بازوی کوچک باشد و ۶۰ سانتیمتر بازوی بلند را پایین بیاورید، بازوی کوتاه فقط ۶ سانتیمتر بالا خواهد

۱- مقدار کوششی که در کشیدن یا هل دادن چیزی به کار می رود می توان به طور کلی با کلمه «نیرو» تعریف کرد، ولی نیرو تعریف علمی دقیق دارد که بعداً بدان اشاره خواهد شد و در حال حاضر آنچه را که عرقاً منظور است می پذیریم.

رفت . پس تفاوت مقدار حرکت بازوها متناسب با تفاوت طول آنهاست . از سوی دیگر تفاوت نیروهای اعمال شده به نسبت عکس خواهد بود . بدین معنی که فقط کافی است يك دهم نیرویی را که برای بلند کردن سنگ انتهای بازوی کوتاه لازم است ، اعمال کنید . پس با مصرف نیرویی معادل ۵۰ کیلوگرم و پایین آوردن بازوی بلند به مقدار ۶۰ سانتیمتر ، وزنه‌ای ۵۰۰ کیلوگرمی را ۶ سانتیمتر بالا برده‌اید . این موضوع به خوبی از اصل ارشمیدس ، معلوم می‌شود زیرا

$$60 \times 500 = 6 \times 5000$$

انرژی کل مصرف شده در دوبازوی اهرم برابر است ولی در نتیجه حرکت دادن ۵۰ کیلوگرم در ۶۰ سانتیمتر نتوانستید انرژی مصرف شده را در میزان قدرت انسانی حفظ کنید و حال آن‌که اگر می‌خواستید ۵۰۰ کیلوگرم را شخصاً و بی‌واسطه اهرم ۶ سانتیمتر بالا ببرید به مقداری انرژی احتیاج داشتید که بیش از حد تولید بدن بود . بنابراین اهرم بلند کردن باری را برایتان ممکن می‌سازد که بدون آن امکان ندارد . (این اصل را ارشمیدس با جمله معروف خود چنین بیان داشته است : «اگر نقطه‌ای بدهید که روی آن بایستم ، خواهم توانست کره زمین را حرکت بدهم») .

انسان در اوایل دوران ماقبل تاریخ ماشینهای ساده دیگری نیز برای کاهش میزان تولید انرژی به‌حدودی که در قدرت بدن وی بود ابداع کرده است . چرخ قرقره ، گاو و سطح شیب‌دار و مانند آنها از ماشینهای ساده اولیه بودند . ولی در هیچ‌یک از موارد ، ابزار یا ماشین ، مقدار کل انرژی موجود در دسترس آدمی را زیاد نمی‌کند . اگرچه تدابیری از این قبیل ساختن اهرام مصر و دیوار چین را ممکن ساخته‌است ، ولی ساخته شدن اینها به‌قیمت محکومین دهها هزار افراد آدمی و به‌کوششی کمر شکن ، طی دهها سال تمام شده است .

ناظر خارجی ، که بدتماشای گروه آدمیان در معدن و در بیابان مصر مشغول بود و ساخته شدن تدریجی اهرام بزرگ مصر را ، سنگ روی سنگ ، می دید ، تفاوتی میان آن و ساخته شدن يك تپه موریانه بدچشمش نمی خورد . در واقع چون تپه موریانه نسبت به جثه این حشره بزرگتر از هرم بزرگ مصر نسبت به جثه انسان بود ، ناظر شاید بیشتر تحت تأثیر کار موریانه ها قرار می گرفت . مسلم است که انسان ابزارهای ساده خود را می سازد و حال آن که موریانه مصالح ساختمانی خود را در بدنش دارد ، و این امر ممکن است به نظر ناظر خارجی ، از نظر جالب بودن به نفع انسان ، علامت قدرت خلاقه بیشتری بیاید ولی وجه تشخیص قاطعی نیست . انسان علی رغم ابزارهای گوناگونی که طی دهها هزار سال ماقبل تاریخ به وجود آورده ، از نظر مقدار انرژی بدنی ، مانند موریانه ، همچنان محدودیت دارد و هنوز ما نتوانستیم وجه تشخیصی اساسی میان انسان و موریانه بیابیم .



برای آنکه کاری بیشتر از آنچه که انسان با کمک ابزارهایش انجام می دهد ، در زمان کوتاهتری صورت داده شود ، مقدار انرژی لازم باید بیش از مقداری باشد که بدن انسان می تواند تولید کند . یکی از راههای وصول به این مقصود اهلی کردن حیوانات است .

منشأ اهلی کردن حیوانات در دوره ماقبل تاریخ معلوم نیست . شاید اتفاقی و بدین صورت آغاز شده باشد که بعضی از انواع حیوانات که در اطراف مسکن آدمی به عنوان مردار خواری پرنده می زدند ، به منظور تفریح یا همراهی اهلی شده باشند ، و علاقه ای که امروزه کودکان را به لاک پشت و سوسک و هامستر و سایر چیزهای دوست داشتنی عجیب پای بند کرده است در میان نبوده است .

بالاخره انسان به جفت کردن آنها در اهلیت اقدام کرد و تعداد اضافی آنها را که در نتیجه زاد و ولد به وجود آمده بودند، به مصارف گوناگون رسانید: از جمله گوشت برای غذا، پوست برای پوشش بدن و دندانها و استخوانها برای زینت آلات و ابزار و مانند آنها.

شاید در همین مدت و به همین روش گیاهان نیز به اصطلاح اهلی شده و هنر کشاورزی آغاز شده باشد. گروههای آدمیان که ابتدا به شکار و جمع آوری غذا می پرداختند و زندگی آنها به این وابسته بود که بر حسب اتفاق غذای زیاد یا کم تحصیل کنند، از آن پس غذای خود را کشت می کردند یا جانوران خوراک خود را به جفت گیری با هم وادار می ساختند و به رمه داری و کشاورزی پرداختند. این کار سبب شد که تعداد بیشتری از افراد آدمی بتوانند در ناحیه معینی به سر برند و بالاخص تکامل کشاورزی، موجب پیدایش «اجتماعات پر جمعیت» گردید. گذشته از آنچه بیان گردید، حیوانات اهلی توانستند در انجام دادن کارها با انسان همراهی کنند. حیواناتی که بزرگتر از انسان بودند و می توانستند انرژی بیشتری تولید کنند، مفیدتر بودند، و هنگامی بیش از پیش مفید واقع شدند که انسان توانست با مواد زاید غذایی، نه موادی که خود از آنها استفاده می کرد، غذای آنها را تأمین کند و نیز با انجام دادن اعمال مخصوصی (مانند اخته کردن) آنها را رامتر و مطیع تر از غلامان سازد.

معروفترین حیوانات بارکش ماقبل تاریخ و اوایل تمدن انسانی الاغ و گاو نر بودند. مقدار انرژی که هر یک از این حیوانات در دسترس انسان می گذاشتند دوتا هفت برابر بیشتر از مقدار انرژی انسان بوده است. اسب از این نیز بهتر بود زیرا انرژی قابل استفاده از آن ده برابر بود ولی تا ۱۰۰۰ سال بعد از میلاد مسیح، که قلابه مخصوص اسب اختراع شده، از این حیوان استفاده نشده بود. پس از این اختراع

بود که اسب را توانستند برای بارکشی به کار برند ، بدون آنکه هنگام تقلا زدن برای کشیدن بار دچار خفگی شود .

اگر چه به کار بردن حیوانات میزان انرژی را که در دسترس انسان بود افزایش داد ولی حتی با استفاده از حیوانات بزرگی چون شتر و فیل ، افزایش قابل توجهی حاصل نشد . تازه بخشی از این افزایش به وسیله توجهی که انسان ناگزیر در غذا دادن و مراقبت از آنها به عمل می آورد خنثی می شد و حال آنکه آن بخش از انرژی ممکن بود برای احتیاجات بسیار ضروری انسان به کار رود .

ناظر خارجی ما ، در این استفاده از حیوانات ، جز توسعه و افزایش مهارت فعالیت‌های حیوانات پست چیزی نمی‌دید .

مثلاً شقایق دریایی غالباً روی پوسته خرچنگ متصل می‌شود و این کار به نفع شقایق دریایی است که معمولاً ساکن است ، ولی پس از اتصال به خرچنگ با آن حیوان از نقطه‌ای به نقطه دیگر می‌رود و شانس بیشتری برای به دست آوردن غذا تحصیل می‌کند . این کار به نفع خرچنگ هم هست زیرا بازوهای گزنده شقایق دریایی مانع آن می‌شود که سایر جانوران به خرچنگ نزدیک شوند و آن را طعمه خود سازند . از این گذشته خرچنگ از خرده‌های غذایی که هنگام تغذیه از بازوان شقایق رها می‌شوند ، استفاده می‌کند . آیا ناظر خارجی ما ، میان آنچه درباره خرچنگ و شقایق دریایی دیده است و شخصی که سوار اسبی می‌شود و در عوض به او غذا می‌دهد و از آن توجه می‌کند ، تفاوتی خواهد یافت ؟

به گمان من هنوز میان آدمی و غیر آدمی تفاوت روشنی نداریم .



برای تأمین خرج انرژی سریعتر از آنچه از بدن آدمی (به شرط عدم کمک به آن) برمی‌آید راه دیگری هست و آن استفاده از جهان بیجان است .

ممکن است وجود انرژی در اشیای بیجان کاملاً آشکار نباشد ولی کاملاً مخفی هم نیست. باد و آب جاری می‌توانند به صورتی اشیاء را به حرکت در آورند که کار انجام دهند به شرطی که انسان در آن نظارت کند. در اوضاع طوفانی، باد و آب می‌توانند در مدت کوتاهی، بهتر از بیک ارتش انسانی، خرابی وارد آورند. با گذشت زمان انسان آموخت که از این منابع بیجان انرژی استفاده کند. آبهای جاری کشتیها را با بارهای سنگین آنها به سوی مصب رود می‌برند و حال آنکه انرژی باد بادبان کشتیها را در جهت حرکت خود به جلو می‌راند و کشتیها را بدون آنکه جریان آبی در میان باشد به حرکت در می‌آورد. انرژی آب و باد می‌تواند برای گرداندن چرخهای آسیاها به کار رود و چرخها دانه‌ها را به آرد تبدیل کنند.

(شک نیست که انسانهای اولیه که با نظری سطحی، انرژی را با استعداد «کوشش کردن» اشتباه می‌کردند، و آن را یکی از خصوصیات حیاتی می‌پنداشتند، چنانکه سوسمار را دارای چنین استعدادی و سنگ را فاقد آن می‌دیدند، پس از پیدا کردن این همه انرژی در جهان بیجان بسیار متعجب شدند، و این حیرت خود را بدین گونه حل کردند که به طبیعت ظاهر آبیجان، بر اثر تصور شیاطین یا خدایان جان بخشیدند و چنین پنداشتند که این موجودات در مواقع تندبادها و طوفانها خود را نشان می‌دهند. باد را نفس کشیدن آنها می‌پنداشتند و طغیان آب را خواسته‌های آنها گمان می‌کردند.)

ولی مدتها پیش از آنکه باد و آب به مقدار بسیار کم تحت اختیار انسان در آید، منبع انرژی خارجی دیگری در اختیار انسان قرار گرفته بود، و آن پس از «کشف آتش» بود که صدهزار سال پیش یا حتی پیش‌تر از آن، به وسیله انواع موجوداتی انسان مانند که اکنون منقرض شده‌اند، نه آد میان امروزی، صورت گرفته است.

درواقع نمی توان گفت که آتش برآستی کشف شده است زیرا همیشه در برابر جاندارانی که آن را درک می کرده اند وجود داشته است. صاعقه هر چند مدت يك بار بر جنگل نازل می شد و حریق برپا می کرد. معمولاً حریق جنگل وحشتناك بود و همه موجودات زنده ای را که در حیطه آن بودند به فرار می کشاند یا موجب مرگ آنها می شد ولی امکان دارد که «پیش انسانها» بر حسب تصادف متوجه بقایای چیزهایی که به کندی می سوختند شده باشند و با دستکاری آن به تفریح پرداخته و چوبهای بیشتری روی آن ریخته و به تماشاى شعله های زیبا مشغول شده باشند. (شیفتگی مخصوص کودکان به آتش که گاهی مرگ بار است، بر کسی پوشیده نیست.) اگر این جریان در شب اتفاق می افتاد «پیش انسانها» قدر نور و حرارت آتش را می شناختند. از آنجا که حیوانات دیگر (که به خلاف آدمی، از آتش هراس داشتند) از آتش فاصله می گرفتند، نزدیکی آتش نیز خود نوعی ایمنی برای آدمی محسوب می شد.

سرانجام کسی خطر اهلی کردن آتش را استقبال کرد و آن را در مجاورت محل سکونت یا در غارش روشن نگه داشت تا از همه مزایای آن استفاده کند، و پس از مدتی فهمید که گرم کردن غذا روی آتش (بخصوص گوشت) جویدن آن را آسان می سازد و طعم بهتری به غذا می دهد.

ولی استفاده از آتش فقط به مقاصد فوق عامل اصلی کشف آن نبود، زیرا هر قدر هم که از آتش توجه می شد بالاخره خاموش می گشت پس بعد از آن تکلیف چه بود؟ بدیهی است که برای حفظ آتش بایستی چند کانون آتش برپا می ساختند و چنان ترتیب می دادند که اخگری از يك آتش می توانست کانون دیگری را مشتعل سازد (یا اخگر از محل سکونت دیگران یا از قبایل دیگر آورده می شد).

ولی این کار مسئله حفظ آتش را حل نمی کرد و آتش کاملاً در اختیار آدمی نبود . کشف حقیقی آتش ، هنگامی صورت پذیرفته است که روشی برای تولید آن در جایی که اساساً موجود نبوده ابداع کردند . حتی اگر جرقه‌ای از آتش به وجود می آوردند و آن را در دسته‌ای از خرده‌های مواد قابل اشتعال می انداختند تا آتش روشن شود ، یا دو سنگ مخصوص را محکم به هم می زدند تا جرقه‌ای ایجاد شود ، نیز اصطکاک يك چوب چرخنده یا فشرده شدن ناگهانی يك حجم از هوا ، همه از وسائلی بودند که گرمای لازم برای تولید آتش را فراهم می ساختند . روش معمول هر چه باشد ، هنگامی « کشف آتش » انجام شده تلقی گردید که توانستند به دلخواه آن را به وجود آورند .

آتش منبع متراکمی از انرژی است . به کار بردن آتش مقدار انرژی را که در دسترس يك فرد انسانی می گذارد به قدری زیادتر از انرژی حاصل از بدنش هست که می توان آن را نامحدود به حساب آورد . از این رو است که « کشف آتش » بی شك بزرگترین شاهکار انسان است . آتش به تنهایی انسان را کاملاً از قید محدودیت انرژی بدن خود و آنچه از حیوانات اهلی حاصل می شد رهایی بخشید . اینجاست که ناظر خارجی خستگی ناپذیر ما ، سرانجام يك وجه تشخیص آشکار پیدا می کند . کشف آتش شاهکار فیزیکی نرید ناپذیری در استفاده از انرژی است که انسان (و پیش انسانها) را آشکارا از حیوانات متمایز می سازد . هیچ نوع حیوان دیگرم ، هر چه هم باهوش باشد ، کمترین کوششی برای به کار بردن آتش نمی کند ، و حال آنکه تا کنون هیچ قبیله‌ای ، حتی ابتدایی ترین آنها ، شناخته نشده است که آتش به کار نبرده باشد .

فصل دوم

نتایجی که آتش به بار آورد

وجود آتش غیر از آنکه وسیله‌ای برای تشخیص آسان انسان از سایر حیوانات است، امتیازات دیگری نیز برای انسان دارد. انرژی فراوانی که به وسیله آتش در اختیار انسان گذاشته شده، انقلابی در ماهیت هستی انسان به وجود آورده است.

انسان دینی را که به آتش داشته از نظر دور نداشته است. یونانیها در افسانه تیتان^۱، پرومتئوس^۲ خود، نژاد آدمی را در نتیجه آوردن موهبت آسمانی آتش از خورشید از تیره بختی نجات دادند. پرستش خورشید به عنوان، کانون اصلی آتش، به وسیله بسیاری از مردم بخصوص ایخانتون^۳ - فرعون مصر که چهارده قرن پیش از میلاد مسیح می‌زیسته صورت می‌گرفته است. گرچه وی در معمول کردن پرستش بی‌پیرایه از خورشید کوششی فراوان به عمل آورده بود، ولی این امر موجب بقای وی نشد. آتش روی زمین مورد پرستش زرتشتیهای ایران قدیم بوده است و دین زرتشت در حال حاضر میان پارسیهای هندوستان باقی است.

نروژیها آتش را از جنبهٔ بد آن می‌شناختند زیرا لوسی^۱ که در نروژ، تقریباً معادل شیطان به حساب می‌آمد، خدای آتش بود. ولی میان یونانیها و رومیها Vulcan و Hephhestus و Hestia (Vesta) را به ترتیب با دو صورتی که از آتش استفاده می‌شد، یعنی کورهٔ آهنگری و اجاق مربوط می‌دانستند. از شعله‌های مقدس توجه می‌کردند و آن را برای رضای خاطر خدای «آتش» همواره روشن نگه می‌داشتند (شاید این خاطرهٔ مبهمی از زمانهای بسیار قدیم باشد که خاموش شدن آتش، خود بلیه‌ای بود).

با وجود همهٔ این ستایشها، آیا کسانی به این فکر افتاده بودند که درست شناختن پدیدهٔ آتش، شناختن يك اصل مهم جهانی، بخصوص شناختن خود پدیدهٔ حیات را به دنبال خواهد داشت؟

اگر چه داستان آتش را با شرح تأثیرش در اوضاع بیرونی انسان آغاز خواهم کرد، ولی این قصد را نیز دارم که از این راه، تجدید نظری نیز در حیات، بر اساس آتش به عمل آورم.



این که آتش منبع نور و حرارتی مستقل از خورشید است، متضمن این معنی هست که انسان می‌تواند بیرون از منطقهٔ حاره روی زمین، که حیوانات منسوب وی یعنی میمونهای «انسان‌نما» را زندانی نموده است، در مناطق مرطوب و سرد دارای زمستانهایی پر برف و شبهای دراز یخ بندان به سربرد. بخصوص که آتش به انسان قدرت داد تا بتواند هنگام پیشرفت یخچالها در عصر یخبندان ایستادگی کند و باقی بماند.

از این گذشته گرمای آتش در غذا تغییر به وجود آورد و این تغییر خود

بخشی از عمل هضم را متضمن بود، و همین خود بعضی از غذاها را که معمولاً خوراکی نبودند، قابل خوردن ساخت. بدین روش مقدار مواد غذایی انسان افزایش فراوان یافت. به کار بردن آتش که حیوانات گوشتخوار را از اطراف انسان دور می کرد، ایمنی بیشتری به وی داد.

فقط آتش بود که آدمی را به موجودی تبدیل کرد که همه زمین را زادگاه خود سازد و در آن فرمانروایی کند. اهمیت آتش با گذشت زمان کمتر نشده سهل است روز افزون گردیده است. حتی در طی چند قرن اخیر - صد هزار سال یا بیشتر بعد از کشف اولیه آتش - سوخته های نو و روش های نو تولید آتش، انقلابات نوی در نوع زندگی آدمی بوجود آورده اند. شك نیست که سوخت اولیه خانه ها و تأمین آتش در همه حال خوب بوده، ولی ذغال سنگ در قرن بیستم مقام اول را به دست آورده است.

شاید دست کم ۹۵ درصد از مدتی که انسان از آتش منفک نبوده به موهبت های آتش جز نور و حرارت آن وقوف نداشته است. درست پیش از آغاز عصری که انسان تاریخ پیدا کرده، استعمال آتش وی را با استفاده از روش کاملاً نوی از آن روبه رو ساخته است و آن شناختن فلزات بود.

پی بردن به وجود فلز اهمیت کمتری از پی بردن به وجود آتش نداشت. شاید در طول مدتی که انسان روی زمین زندگی می کرده است، تکه هایی مواد براق که سنگ به نظر نمی رسند نظر بعضی از افراد آدمی را به خود جلب کرده باشد. هر تکه سنگی با ضربات سنگ دیگر خرد می شد و به ذرات کوچکتر تبدیل می گشت وای ضربات سنگها، این تکه های براق را از هم نمی پاشید بلکه بدانه تغییر شکل می داد. شکل تکه های براق زیر ضربات سنگها تغییر می کرد تا به حدی که نازک می شد و به شکل های جالب درمی آمد. استفاده از این مواد برای زینت تقریباً

امری اجتناب ناپذیر بود. در مقابل مصریان قدیمی، که متعلق به ایام ماقبل تاریخند، زینت آلات طلائی و مسی یافته‌اند.

هنگامی سد راه استفاده از فلز، به‌طور قاطع شکسته شد که کشف کردند فلزات را می‌توان از موادی که ظاهراً به‌صورت فلز نیستند، به‌دست آوردند. کشف روش تهیه فلز از جایی که قبلاً وجودش محقق نبود، درست مانند کشف روش تولید آتش در جایی که قبلاً آتش وجود نداشته، حائز اهمیت فراوان بوده‌است. شك نیست که کشف روش تولید فلز در ابتدا بر حسب تصادف صورت گرفته است. مس با مواد دیگری چون اکسیژن و گوگرد ترکیب می‌شود و ترکیب سستی به‌وجود می‌آورد که به‌صورت سنگهای آبی رنگ دیده می‌شود. اگر این سنگها را با ذغال به‌شدت حرارت دهند کربن، اکسیژن و گوگرد را از مس جدا می‌کند و خود با آنها ترکیب می‌شود. ترکیب کربن با اکسیژن و گوگرد گازهایی به‌وجود می‌آورد که با دود آتش از میان می‌رود، و آنچه باقی می‌ماند مس فلزی است. توجه داشته باشید که کربن تنها کافی برای تبدیل سنگ به‌مس نبود بلکه کربن و حرارت شدید توأملاً لازم بودند و اینها عواملی بودند که انسانهای اولیه می‌توانستند فراهم سازند. پس مس و به‌طور کلی فلزات از مواهب مستقیم آتش هستند. باگذشت زمان و ترقی استخراج فلزات، نخست برونز (آلیاژ مس و قلع)، سپس آهن برای تهیه سلاح و زره فراوان به‌کار برده شدند.

فرض کنید که آتشی را بر حسب تصادف بر روی سنگهای مس‌دار (سنگ معدن مس) روشن ساختند و کربن چوبی که به‌ذغال تبدیل می‌شد حین اشتغال آتش، کار خود را در تبدیل سنگ به‌فلز انجام داده باشد، و هنگامی که آتش خاموش شد، چشم تیزبین بعضی از چوپانها توانسته باشد، تکه‌های مس را میان خاکستر تشخیص دهد. آنچه که بر حسب تصادف واقع شد (شاید چندبار) می‌توانست

برای تهیه مس تکرار شود و سرانجام این فکر را به انسانها بدهد که آتش را برای ذوب فلز از سنگ نیز می‌توان به‌کار برد. در سال ۳۵۰۰ قبل از میلاد تصفیه سنگ معدن مس صنعت پابر جای خاور نزدیک بود.

سنگ معدن فلزات همه‌جا پیدا نمی‌شود، ولی محققاً بیشتر از خود فلز یافت می‌شود. از این رو بود که بعد از سال ۳۵۰۰ قبل از میلاد برای نخستین بار اندوخته فلزی به مقدار مناسبی بالغ شد. مس نه تنها برای تهیه زینت آلات، به مقداری که همه مردم توانستند بدان دست یابند، مورد استفاده قرار گرفت بلکه برای تهیه ظروف مطبخ نیز به‌کار رفت. انرژی آتش موجب پیشرفتهای دیگری نیز شد که در مقایسه با اهمیت کشف استخراج فلزات، بزرگ نبودند، ولی آنقدرها هم بی‌اهمیت نبودند که از آنها یاد نشود. پختن گل رس به منظور تهیه ابزار سفالی و چینی و آجر که به هزارها مصرف می‌رسیدند، نیز حرارت زیاد دادن مخلوط ماسه و بی‌کربنات دوسود و آهک منجر به تولید شیشه شد که به هزارها مصرف دیگر رسیده است.

معمولاً قرون وسطی را دوره انحطاطی پس از روزهای درخشان تمدن یونان و روم به حساب می‌آورند. با وجود این در اروپای قرون وسطی ترقیات حیرت‌آوری از نظر فراهم ساختن منابع انرژی غیر از آتش صورت گرفته است. چنانکه سوخته‌های نوی، به‌خاطر امور جنگی معمول شدند.

مثلاً یونانیان عصر امپراتوری بیزانتمین^۱ (که از باقیمانده‌های امپراتوری روم در قرون وسطی بود) در قرن هفتم بعد از میلاد، سوخت مخلوطی به‌وجود آوردند که راز ساختن آن‌گم شد. این سوخت در آب هم به سوختن ادامه می‌داد و آب آن را خاموش نمی‌کرد. این «آتش یونانی» نابودکننده کشتیهای چوبی بود

و اعراب مسلمان که قسطنطنیه را محاصره کرده بودند دوبار از آنجا رانده شدند، يك بار در قرن هفتم و بار دیگر در قرن هشتم و هر دو بار از «آتش یونانی» برای امحای ناوگان مسلمانان استفاده کرده بودند. بدین طریق هفت قرن دیگر این شهر مسیحی باقی ماند تا آنکه سرانجام در سال ۱۴۵۳ به دست مسلمانان (در آن موقع ترکها) افتاد.

«آتش یونانی» مانند همه سوخته‌های معمولی به هوا احتیاج داشت (یادقیق‌تر گفته شود به اکسیژن هوا نیاز داشت).

سد شکنی حقیقی هنگامی صورت گرفت که باروت کشف شد و احتراق این ماده به هوا بستگی نداشت. به طریقی (تصادفی) معلوم شد که اگر ماده‌ای سوختنی چون ذغال چوب و گوگرد را با نیترات پتاسیم مخلوط کنند و مخلوط را گرم کنند، حتی با نبودن هوا دفعتاً و با نیروی بسیاری خواهد سوخت. علت آن (که بر مردم قرون وسطی معلوم نبود ولی ما از آن اطلاع داریم) این است که نیترات پتاسیم اکسیژن دارد و این اکسیژن به صورت ترکیب سستی در آن هست، پس، به اصطلاح، اکسیژن با مواد سوختنی مخلوط هست.

توپهای اولیه نخستین بار در سال ۱۳۴۶ در جنگ «کرسی»^۲ به کار رفتند. در قرنها بعدی توپخانه اهمیت فراوانی پیدا کرد. سلاحهای دستی باروتی رفته رفته ساخته شدند و همه اینها موجب تغییر اوضاع ساختمانی اجتماع اروپا گشتند.



دیگر از پیشرفتهای قرون وسطایی که نتایج بزرگی به بار آورده اختراع قطب‌نما بود، که در آن از نوعی انرژی به نام «مغناطیس» (مشتق از نام شهری یونانی به نام «Magnesia» که نخستین مغناطیس طبیعی در نزدیکی آن یافت شد)

به کار رفته بود .

استفاده از قطب‌نما بود که دریا نوردان را هنگام سفرهای دریایی راهنمایی می‌کرد و این کار حتی در هوای ابری که خورشید و ستارگان ، یعنی راهنماهای معمولی ، از چشم ناپدید می‌شدند به دریا نوردان در کشف اقیانوسها کمک می‌کردند . اگر قطب‌نمایی وجود نمی‌داشت ، به احتمال قوی کریستوف کلمب و سایر دریانوردانی که از آن پیروی کردند نمی‌توانستند به سفرهای دریایی بزرگ خود اقدام کنند .



ممکن است تصور رود که نتایج اختراع باروت و قطب‌نما در قرون وسطی چنان بوده که همه چیز دیگر را تحت الشعاع قرار داده است . ولی اختراع سومی نیز به عمل آمد که از هر دوی آنها مهمتر بود و به خلاف آنها مستقیماً تغییری در هیچ نوع انرژی ظاهری پدید نیاورد .

در حدود سال ۱۴۵۰ ، درست هنگامی که قرون وسطی به پایان می‌رسید و عصر جدید آغاز می‌گشت (در امریکا غالباً آن را همزمان کشف امریکا به وسیله کریستوف کلمب به حساب می‌آورند) یوهان گوتنبرگ^۱ آلمانی چاپ سربی را اختراع کرد .

هیچ کشفی پیش از عصر حاضر به این اندازه مورد استقبال قرار نگرفت . چنانکه در ظرف يك نسل سیلی از مطالب چاپی به راه افتاد و آموختن (دست کم بالقوه) مورد توجه عموم قرار گرفت . اهل علم دیگر مقالات خود را به دشواری با دست نمی‌نوشتند و به کندی منتشر نمی‌ساختند بلکه با انتشار مجلدات چاپی سریعتر با هم ارتباط یافتند .

انقلابی که کپرنیک^۱ در قرن بعد در نجوم به وجود آورد با انقلابی که وزالیوس^۲ در تشریح برپا ساخت فقط به خاطر اظهار نظریه‌های نو این دو شخصیت علمی نبود بلکه مدیون آن بود که نظریات آنها را در کتابها گنجانند (این کتابها در همان سال ۱۵۴۳ به چاپ رسیدند) و به آن اندازه چاپ کردند که توانست در همه نقاط جهان علمی اروپا رخنه کند و سریعتر از آن انتشار یابد که شخصیتهای قدیمی بتوانند از نفوذ آنها جلوگیری به عمل آورند.

چاپ موجب شد که فعالیتهای ذهنی رو به افزایش نهند و به اصطلاح نوعی انرژی ذهنی، که نیرومندترین محرك پیشرفت علمی جدید بوده است به کار افتد. نظریه جدیدی در باره جهان وجود داشت که دانشمند ایتالیایی^۳ آن را به ثبوت رسانیده بود. این نظریه بر اساس اندازه‌گیری دقیق پدیده‌های فیزیکی بود. به عبارت دیگر وی مشاهده‌ها را به ارتباطات کمی و ریاضی تبدیل کرده بود. این موضوع ناگزیر به مطالعه کمی پدیده‌های انرژی و کار نیز کشانیده شد و آتشی که صدهزار سال پیش وجه امتیاز انسان از حیوانات بود، خود مورد مطالعه علمی قرار گرفت. این گونه مطالعات بودند که موجب بروز تغییراتی در روش زندگی آدمی شدند، و حال آنکه باروت و قطب‌نما اختراع شده بودند، ولی زندگی انسان چنانکه باید ترقی نکرده بود.

عصر جدید علمی، نخست آتش را در وضعی قرار داد که کمک مؤثری برای انسان باشد. استفاده‌هایی که انسان در زمانهای ماقبل تاریخ و در قدیم و در قرون وسطی از آتش به عمل می‌آورد، عملاً نتوانسته بود انرژی آن را مستقیماً جانشین انرژی ماهیچه آدمی سازد.

اگرچه آتش چیزهای دیگری چون فلزات و آجر و شیشه را در دسترس

انسان قرار داده بود، ولی بدون این چیزها نیز زندگی امکان پذیر بود، زیرا راهی وجود نداشت که انرژی آتش را جانشین انرژی ماهیچه‌ای سازد. و با وجود همه مواهبی که آتش نصیب انسان ساخته بود، آدمی ناچار بود که همان کوششهای سابق خود را برای تأمین زندگیش بکند. مثلاً می‌بایستی قسمت بیشتر کارهای لازم برای کشیدن چیزها و بلند کردن آنها و هل دادن چیزها و خرد کردن آنها را فقط با نیروی ماهیچه‌ای حیوانات اهلی و نیروی ماهیچه‌ای خود انجام دهد. واقع امر این است که استفاده‌های انفاقی از انرژی جهان بیجان باعث افزایش کوشش ماهیچه‌ای شد تا کاهش آن. مثلاً جریان آب عموماً از سطح بالاتر به سطح پایین‌تر روان می‌شود و هرچه تفاوت دو سطح بیشتر باشد جریان سریعتر و انرژی حاصل از آن بیشتر خواهد شد و هرچه مقدار آبی که جریان می‌یابد بیشتر باشد چرخشی که باید بچرخد، قوی‌تر خواهد چرخید و آسیا را با نیروی بیشتری خواهد چرخاند. در انگلستان بسیاری از رودخانه‌ها شیب نسبتاً کم داشتند و آب آنها به‌کندی در جریان بود. پس برای به‌دست آوردن انرژی بیشتر از آب، بایستی آن را در مخزن بالاتری نگه دارند تا از آن بالا به پایین بریزد، اما همین بالا نگهداشتن سطح آب یعنی خرج کردن انرژی ماهیچه‌ای. مسئله به‌خصوصی که غالب معدنچیان انگلیسی را ناراحت می‌کرد، این بود که آب در نه معدن جمع می‌شد و مزاحم کار آنها بود و ناگزیر بودند که آن آب زاید را به بالا برسانند. اختراع تلمبه به‌رفع این مشکل انجامید.

در اینجا مسئله تسلسل دوره گردش پیش آمد، زیرا برای بالا بردن آب انرژی لازم بود و انرژی لازم از آبی به دست می‌آمد که خود بالا بود. پس برای شکستن این دوره تسلسل احتیاج به منبعی از انرژی از خارج بود که محتاج به ریزش آب از ارتفاع نباشد. این منبع انرژی می‌توانست نیروی وحشی باد باشد

که پره‌های آسیای بادی را بگرداند یا نیروی بسیار محدود انرژی ماهیچه‌های انسان یا حیوانات .

ولی همین مسئله پمپ دستی و اشکالی که در استفاده از آن برمی‌خاست ، راه نوری در گسیختن تسلسل دوره گردش پیش آورد - این راه نو سرانجام انسان را دست کم از تقلای بدنی رهایی بخشید .

به تدریج که معادن عمیق‌تر می‌شدند و پمپ می‌بایستی آب را به ارتفاع بیشتری بالا بفرستد ، این اشکال پیش آمد که آب را نمی‌توان بالاتر از ده متر بالا آورد حتی اگر دسته تلمبه حرکتی بسیار دامن‌دار انجام دهد .

گالیله درباره اینکه چرا مکیدن تلمبه بایستی به چنین حدی محدود باشد به تفکر پرداخته ولی به حل آن توفیق نیافته بود. شاگرد گالیله به نام او انجلیستا تور ریچلی مسئله را به نوبه خود مورد تحقیق قرار داد . اندکی پس از مرگ گالیله ، تور ریچلی به این کشف نائل آمد که علت مکیده شدن آب به سوی بالا وزن هوایی است که به سطح مخزن آب فشار وارد می‌آورد .

دلیلی که تور ریچلی برای اثبات نظر خود آورده این بود که هوام به آب درون استوانه تلمبه و هم به آب مخزن خارجی فشار وارد می‌سازد . ولی وقتی که پیستون بالا می‌رود و خلأ ایجاد می‌شود ، تعادل فشار به هم می‌خورد . در نتیجه در سطح مخزن فشار حداکثر است و در سطح آب درون استوانه تلمبه کمتر از آن . پس آب درون پمپ به طرف بالا کشیده می‌شود .

در ارتفاع ده متری ، وزن ستون آبی که در پمپ بالا می‌رود مساوی فشاری خواهد شد که به سطح آب مخزن وارد می‌آید . بنابراین این دو ستون با هم برابر می‌شوند و آب بالاتر نخواهد رفت . مایعی که از آب سبکتر باشد به ارتفاع بیشتری می‌تواند

بالا کشیده شود. اگر این مسئله درست باشد پس مایعی که از آب سنگینتر است به ارتفاع ده متر هم بالا کشیده نخواهد شد.

توریچلی به منظور آزمایش این تئوری، مایعی که از همه سنگین تر بود به کار برد تا حداقل ارتفاع ممکن را پیدا کند. این مایع جیوه بود. توریچلی در سال ۱۶۴۳ جیوه را، که فلزی مایع است، در لوله‌ای به درازی ۹۰ سانتیمتر ریخت و ته آن را بست و بادقت تمام آن را درون طشتکی از جیوه واژگون ساخت. وزن هوایی که به سطح جیوه طشتک فشار وارد می‌آورد کافی برای نگهداری ستون جیوه‌ای به بلندی ۹۰ سانتیمتر نبود، پس مقداری از جیوه از لوله وارد طشتک شد تا وقتی که ارتفاع سطح جیوه درون لوله ۷۶ سانتیمتر بالاتر از سطح جیوه طشتک رسید. خروج جیوه از لوله به همین جا خاتمه پذیرفت.

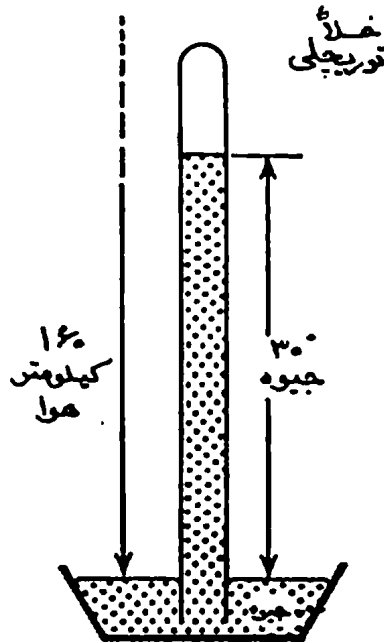
ستون جیوه در آن ارتفاع ثابت باقی ماند و دلیل آشکار وجود نیروی فشار هوا بود. در بالای اوله جیوه خلایی باقی ماند (که هنوز هم به‌خلاف توریچلی معروف است) و این نخستین خلایی بود که به دست انسان به وجود آمده بود. (به تصویر ۲ مراجعه کنید). توریچلی با این عمل خود فشارسنج اختراع کرده بود. این فشارسنج امروزه نیز با همان شکل اولیه به کار می‌رود و تفاوت‌های جزئی فشارهوارا از روزی به روز دیگر و از ساعتی به ساعت دیگر اندازه می‌گیرد و بر اساس همین تغییر فشار است که اداره هواشناسی اوضاع هوارا پیش‌گویی می‌کند.



بدین طریق توریچلی نشان داد که هوا وزن دارد و می‌تواند فشار ایجاد کند. فشار هوا در سطح دریا قریب ۱۰۳۳ گرم بر هر سانتیمتر مربع است. فشار کل اتمسفر بر سطح بدن ما در حدود ۲۲ تن می‌شود. اگر دیده می‌شود که مابه وجود چنین فشاری توجه نداریم علت آن است که هوا این فشار را مساویاً در همه جهات

وارد می‌سازد، بدین معنی که فشار هم از داخل بافتهای ما به خارج و هم از خارج به داخل بافتهاست به طوری که این فشارها با هم در موازند هستند و ما آنها را احساس نمی‌کنیم.

اگر کسی در قدرت تفاوت فشاری که به دست انسان به وجود می‌آید شك می‌داشت، کافی بود که در نمایشی که فیزیکدان آلمانی اتوفن گریک (که در عین حال شهر دارماگدبورگ بود) ترتیب داده بود حضور می‌یافت. کاری که توریچلی انجام داده



تصویر ۲- فشارسنج

بود به طوری مورد توجه فن گریک قرار گرفت که تلمبه‌ای برای مکیدن هوا به جای مکیدن آب ساخت (تلمبه تخلیه هوا). وقتی که تلمبه را به ظرفی متصل می‌ساخت و دسته آن را با دست به حرکت در می‌آورد تا پیستون جابه‌جا شود، هوای ظرف رفته‌رفته بیرون کشیده می‌شد تا آنکه خلأ کامل در ظرف ایجاد می‌گردید.

فن گریک تلمبه تخلیه هوا را به طریق زیر به کار برد. وی دو نیمکره فلزی توخالی چنان ترتیب داد که فقط به وسیله لبه خارجی به هم جفت می شدند، نه پیچ و مهره‌ای میان آن دو بود، نه تسمه‌ای. یکی از دو نیمکره دریچه‌ای یک جهتی داشت، و فن گریک با مربوط ساختن تلمبه هوایی خود به آن دریچه، توانست درون آن دو نیمکره، که به نیمکره‌های ماسد بورن^۱ موسومند، خلأ ایجاد کند. آنچه پس از ایجاد خلأ، دو نیمکره را متصل به هم نگه می داشت فشار هوا بود که در حدود ۳۳.۱ کیلوگرم بر هر سانتیمتر مربع بود. فن گریک برای آنکه نیروی این فشار را نشان دهد، هر یک از دو نیمکره را به یک دسته هشت اسبی متصل ساخت و آنها را وادار ساخت که دو نیمکره را در جهت عکس یکدیگر بکشند، ولی دو نیمکره از هم جدا نشدند. وقتی که هوا دوباره به درون دو نیمکره راه داده شد، هر یک از آن دو تحت تأثیر وزن خود از دیگری جدا شد. (اگر پیاپی لاستیکی را به سطح صافی که مرطوب باشد با فشار تکیه دهید و بنخواهید آن را از سطح صاف جدا سازید مشغول تکرار همان آزمایش به مقیاس کوچکتر خواهید بود.)

در نمایش دیگری که فن گریک ترتیب داده بود تلمبه تخلیه هوا را به یک طرف پیستونی که با کمال دقت در استوانه‌ای جا داده شده بود متصل ساخت و پیستون را از طریق تخلیه هوا به آهستگی در طول استوانه کشید در حالی که پانزده نفر با طناب کوشش می کردند که پیستون را در جایش نگه دارند.

همه این نمایشها مبین قدرتی بودند که زاینده تفاوت فشار بود و حال آنکه مسئله قدرت فقط جنبه کنجکاوی علمی داشت و در عمل از آن استفاده‌ای نمی شد. آنچه مورد احتیاج بود این بود که روشی برای تولید تفاوت فشار تدبیر کنند که از روش استفاده از قدرت ماهیچه بهتر باشد. ماهیچه به تلمبه آبی و تلمبه

تخلیه فن گریک قدرت می بخشید (و به همین جهت است که به ششها نیز قدرت می بخشند). چنانکه فن گریک نشان داد يك نفر با يك تلمبه تخلیه دستی توانست بر ۱۵ نفری که طناب را می کشیدند تفوق یابد ولی همان يك نفر پس از مدتی تلمبه زدن به این فتح نائل آمد. اگر در عملیات صنعتی، قدرت به این کندی بتواند تمرکز یابد، صنعت پیشرفت سریعی نخواهد داشت.

پاسخ این مسئله با دخالت بخار به دست آمد. بخار آبی که از جوشیدن آب بر می خیزد مشکل موجود را از میان برد. این موضوع نیاز به توضیحی دارد. در سال ۱۶۹۰، فیزیک دان فرانسوی دنی پاپن^۱ به استنباط این نکته نایل آمد که اگر آب را بجوشانند و بخار آن را در ظرفی جمع کنند، بخار آب بیشتر هوای ظرف یا همه آن را بیرون خواهد راند، و در آغاز ورود به ظرف، دارای همان فشار هوای قبلی درون آن خواهد شد.

اما تفاوت مسئله اینجاست که برای بیرون کردن هوای درون ظرف نیاز به تلمبه زدن و صرف نیرو است و حال آنکه برای بیرون کردن بخار آبی که جای هوا را گرفته است فقط کافی است که به وسیله ای ظرف را سرد کنند زیرا بخار با آن حجم زیاد خود به صورت چند قطره آب متراکم خواهد شد و درون ظرف خلایی حقیقی باقی خواهد گذاشت. و همه فرایند فقط احتیاج به منبعی انرژی خواهد داشت که از سوزاندن چوب فقط برای به جوش آوردن آب و تولید بخار لازم می گردد. نه نیاز به کوشش ماهیچه ای است و نه احتیاج به تلمبه زدن خسته کننده. در واقع به جای آنکه تلمبه تخلیه پس از مدتی دراز، خلأ ایجاد کند، يك فواره آب سرد روی ظرف دارای بخار آب می ریزند، همه بخار متراکم می شود و در چند ثانیه خلأ ایجاد می گردد. پس مسئله حرکت کند تلمبه تخلیه در میان

نخواهد بود .

پاین ماشینی ترتیب داد که خلاً ایجاد شده در آن پیستونی را تحت تأثیر فشار هوا به پایین می کشید و همین عمل خود موجب بالا آمدن آب می شد . البته این ماشین پایین عملاً کار يك تلمبه را نمی کرد ، ولی این اصل را نشان می داد که آب را می توان به وسیلهً خلاً حاصل از بخار آب ، به بالا کشید .

چند سال بعد یعنی در سال ۱۶۹۸ يك مهندس ارتش انگلیس به نام تامس ساوری^۱ نخستین بار وسیله ای عملی بر این اساس اختراع کرد . وی آب را به كمك خلاً حاصل از بخار آب ناجایی که ممکن بود بالا می برد ، سپس از بخار برای کار دیگری استفاده می کرد و آن این بود که بخار آب دارای فشار را وارد ظرفی مسدود می کرد و جریانی نیرومند از آن را در ستون آبی که بالا رفته بود وارد می ساخت و آن را بالا می پراند و خارج می کرد . اشکال ماشین ساوری در این بود که استعمال بخار آب دارای فشار زیاد در ظرفهایی که با اطلاعات فنی اواخر قرن هفدهم ساخته می شدند خطر ناک بود زیرا خطر انفجار و سوختن کارگرانی که با چنین ماشینی کار می کردند همواره در میان بود . ماشین ساوری موارد استعمالی پیدا کرد ولی چون به خطر حاصل از آن نمی ارزید متداول نشد .

طی ده سال بعد آهنگری انگلیسی به نام تامس نیوکامن^۲ که شاید اطلاعی از ماشین ساوری نداشت ، تلمبه ای اختراع کرد که در آن بخاری در فشار اتمسفر جریان داشت . محفظه ای را ابتدا پر از بخار می کرد و سپس سرد می کرد ، بار دیگر آن را پر از بخار می کرد و سپس سرد می کرد و این کار را مرتباً تکرار می نمود . این ماشین از جهتی همان ماشین پایین بود ولی آن عمل تکرار می شد . در واقع ماشین نیوکامن کار تلمبه دستی را می کرد با این تفاوت که انرژی آن از سوختن چوب یا

ذغال سنگ حاصل می‌شد نه لزوماً هیچه .

چون در ماشین نیوکلمن بخار دارای فشار زیاد وارد نبود و نسبتاً کمتر خطر داشت . استعمال آن در معادنی که آب در آنها نفوذ می‌کرد برای بالا فرستادن آب متداول شد به طوری که در سال ۱۷۷۸ فقط در کورنول هفتاد ماشین نیوکلمن به کار بود .

ولی ماشین نیوکلمن کندگرمی کرد و از این گذشته هیچ‌کمی عاید می‌ساخت . سوخت بسیار به صرف می‌رسانید و بیش از ۹۹ درصد انرژی سوخت را به هدر می‌داد . در دهه ۱۷۶۰ مهندسی به نام جلاسیون^۱ وضع ماشین را بهتر کرد و به بازده آن افزود ولی باز هم نتیجه قابلی عاید نمی‌گشت . از این گذشته ماشین نیوکلمن رانمی‌شد برای مصرف دیگر تطبیق داد و فقط برای يك نوع مخصوص نلمه زدن مناسب داشت .

چیز دیگری لازم بود که جزوات^۲ وارد صحنه شد .



در سال ۱۷۶۵ ، جزوات مهندس مکانیک و ابزار ساز اسکاتلندی ماشینی از نیوکلمن را برای تعمیر پذیرفته بود . وقتی که کار تعمیر را به پایان رسانید از طرز کار آن ناراضی بود . در یکی از روزهای یکشنبه که به تفریح مشغول و به فکر طرز کار ماشین تعمیر شده خود بود ، علت اصلی کمی بازده آن را یافت . محفظه را ابتدا به وسیله بخاری که در آن وارد می‌ساختند به دمای بخار آب می‌رسانند سپس آن را برای ایجاد خلا سرد می‌کردند . تا اینجا عیبی نداشت . ولی وقتی که دوباره در محفظه بخار آب وارد می‌ساختند ، چون دیواره‌های سرد شده بود مقداری از بخار به آب تبدیل می‌شد و هنگامی گرمی محفظه به درجه‌ای

می‌رسید که بخار در آن به صورت بخار باقی ماند که مقدار بسیاری از بخار وارد آن شود. پس در هر دوره این کار مقدار زیادی سوخت از میان می‌رفت تا کار آب سرد درون محفظه را هنگام تولید خلا^۱ دوره قبلی، جبران کند.

وات محفظه دیگری به محفظه اولی افزود (Condenser) که بخار آب را در آن هدایت می‌کرد. محفظه دوم همیشه سرد نگه داشته می‌شد و حال آنکه محفظه اولی (Cylinder) همیشه گرم نگهداشته می‌شد. بدین طریق لازم نبود که هر یک از دو فرایند گرم کردن و سرد کردن، به خاطر دیگری خنثی شود. در سال ۱۷۶۹ وات ماشین بخاری ساخت که بازده آن از ماشین نیوکامن بسیار زیادتر بود. از این گذشته چون در هر دوره آن وقت زیادی برای گرم کردن محفظه لازم نبود سریعتر کار می‌کرد.

وات اصلاحات استادانه بسیاری در ماشین بخار به عمل آورد. از آن جمله این بود که ترتیبی فراهم ساخت که بخار آب بتواند به تناوب در دو سطح پیستونی وارد شود. قبل از آن هنگام ایجاد خلا^۲، فشار هوا پیستون را به سرعت فقط در یک جهت می‌راند تا فشار بخاری که بالامی‌آمد آن را آهسته در جهت دیگر ببرد. وقتی که بخار آب توانست در دو سطح پیستون مؤثر واقع شود، فشار هوا آن را در هر دو جهت به تناوب و به وضع مؤثرتری به سرعت می‌راند. در سال ۱۷۹۰ ماشین وات کاملاً جانشین ماشین نیوکامن شد و در سال ۱۸۰۰ در حدود ۵۰۰ ماشین وات در انگلستان مشغول کار بود.

امروزه وات را «مخترع ماشین بخار» می‌دانند و حال آنکه به راستی، چنین نیست. علت آنکه وی را مخترع ماشین بخار می‌دانند فقط این نیست که ماشین نیوکامن را به صورت بهتری درآورد بلکه بدین سبب است که وی نخستین کسی بود که ماشینی مفصلتر از یک تلمبه ساده ساخته بود.

وات در دهه ۱۷۸۰، انصالهای مکانیکی استادانهای وضع کرد که حرکت جلو و عقب يك پیستون را به حرکت دورانی يك چرخ تبدیل می کرد و در حرکت پیستون، ماشین بخار می توانست به فعالیتهای متنوعی نیرو ببخشد. کارخانه های آهن، قبلاً برای به کار انداختن دم آهنگری، که هوارا به شدت به کوره ها می فرستاد و نیز برای به حرکت در آوردن چکشهایی که سنگهای معدنی را خرد می کردند، از آن استفاده می کردند. ولی ماشین بخاری که کارهای گوناگون انجام می داد نخستین «منبع اصلی نیروی محرك» جدید، و نخستین تدبیر جدیدی بود که از انرژی طبیعت استفاده می کرد و آن را برای به حرکت در آوردن ماشینها به کار می برد. انقلاب صنعتی بدین طریق آغاز شد.

طی دوقرنی که از زمان وات گذشت ماشین بخار، و نیز افزایش بازده تدریجاً تکمیل شد، ولی مستقیماً موجب انقلاب صنعتی نگردید بلکه الکتریسیته عامل این انقلاب بود.

انرژی موجود در الکتریسیته مانند انرژی بخار آب، از زمانهای قدیم شناخته شده بود ولی در آغاز صورت بازیچه و کنجکاو داشت. در سال ۱۸۸۰ بود که معلوم شد اگر فلزات و مواد شیمیایی را به طریق مناسبی گرد هم آورند تولید جریان الکتریسیته خواهد کرد. این جریبان برای دانشمندان اهمیت بسیار داشت ولی به مقدار کم به دست می آمد و از این گذشته تولید آن به مقدار زیاد بسیار گران تمام می شد.

در سال ۱۸۳۱ دانشمند انگلیسی به نام مایکل فاراده^۱ راه نوری برای تولید الکتریسیته کشف کرد. و آن این بود که اگر قرصی از مس را با دست میان دو قطب

يك آهنربا بچرخانند به طور مدام الكتریسته تولید می کند . این نخستین «مولد الكتریکی» بود . پس فقط لازم بود که مولد الكتریکی را با آب یا با نیروی بخار آب برای تولید الكتریسته ارزان به کار اندازند و هر مقدار الكتریسته که لازم دارند بدون دخالت ماهیچه به دست آورند .

در همان ایام فیزیک دان آمریکایی جوزف هنری^۱ روشی تدبیر کرد که الكتریسته را توانست برای چرخاندن چرخه به کار برد و به اختراع يك «موتور الكتریکی» نایل آید . سرانجام بعد از دهها سال که در بهتر کردن روش کار این دستگاهها کوشیدند ، توانستند الكتریسته خانگی ارزان در دسترس همه قرار دهند ، (در سایه کشف فاراده) و آن را به وسیله موتورهاى الكتریکی در ابزارهای نیروده به کار برند (در سایه کشف هنری) .

در اواخر قرن نوزدهم به این کشف نایل آمدند که جریان الكتریسته عبارت از ذراتی است که می توان آنها را در خلأ هدایت کرد و شدت و جهتش را با دقت تمام به وسیله میدان مغناطیسی تحت کنترل در آورد . این ذرات یا «الكترونها» موجد ابزارهای الكتریکی امروزی بخصوص رادیو و تلویزیون شدند .

اگر کسی بخواهد وضع انسان را در نیمه دوم قرن بیستم با وضعش در ۱۷۵۰ مقایسه کند و سپس به مقایسه وضع آن در ۱۷۵۰ و عصر حجر بپردازد به این نتیجه خواهد رسید که با وجود تغییراتی که پیش از ۱۷۵۰ رخ داده ، تغییرات حاصل در بعد از این تاریخ ، نکان دهنده تر و اساسی تر بوده است .

معقولترین نتیجه ای که می توان گرفت این است که از میان همه پیشرفتهای فنی تاریخ آدمی ، پر بارتر از همه اول کشف آتش و دوم اختراع ماشین بخار بود .

اولی انرژی احتراق را در دسترس آدمی قرارداد و دومی استفاده از آن را به عنوان «منبع اصلی نیروی محرك» سبب گردید .

پس ، به نظر من ، تاریخ بشریت یعنی تاریخ پیشرفت وسایل استفاده از انرژی نه داستان بوالهوسیهای پادشاهان و فاتحان .

فصل سوم

اندازه‌گیری حرکت

وضع علمی جدیدی که سالیه پیش از سال ۱۶۰۰ برای حرکت ایجاد کرده بود، در آغاز به منظور پیشرفت استفاده عملی انسان از انرژی نبود، بلکه استفاده عملی از انرژی را می‌توان از نتایج اتفاقی آن به حساب آورد.

دانشمندان، وضع علمی جدید اندازه‌گیری کمی را بیشتر به سوی ارضای حس کنجکاوی خود درباره کارهای جهان و اصولی که این کارها را اداره می‌کردند، سوق دادند. (البته اگر این موضوع بدعتهای مفیدی را سبب می‌گشت چه بهتر). در این جریان، مطالعه کمی انواع صورتهای انرژی را آغاز کردند. صورتهای انرژی قبلاً، بدون آنکه انسان به درستی از ماهیت آنها مطلع باشد، همچنان مورد استفاده بوده و بدون آنکه تعریفی از آنها بکنم در صفحات پیش، بدانها اشاره کرده‌ام. آنچه را که دانشمندان کشف کردند، (اگر چه در آغاز اشاره‌ای بدانها نکردند) به همان صورت که در مورد حیات و بدن آدمی به کار بردند، چنانکه خواهیم دید، در جهان بیجان نیز، که با دقت تمام مورد تحلیل قرار داده بودند، به کار بردند.

یکی از صورت‌های انرژی متضمن حرکت است زیرا حرکت مستقیماً به چیزی تبدیل می‌شود که کار به حساب می‌آید. بیل متحرکی که در زمین فرو می‌رود، تبر متحرکی که درون تنه درخت جا می‌گیرد، چرخهای متحرکی که بار حمل می‌کنند، چکشهای غول‌آسای متحرکی که دیوارها را متلاشی می‌سازند، همه و همه نشانه‌ی رابطه‌ی میان حرکت و کارند. (انرژی موجود در حرکت را انرژی سینتیک^۱ می‌گویند).

در دهه سال ۱۵۸۰ گالیله با اجسام متحرک به آزمایش پرداخت. چون در آن ایام ساعت‌های دقیق موجود نبود وی روشهایی از پیش خود برای تعیین فواصل زمانی کوتاه ابداع کرد. (مانند ریزش قطرات آب از سوراخ ته یک کوزه، یا ضربان‌های نبض خود) چون این کارها کافی برای اندازه‌گیری سرعت حرکت اجسام در سقوط آزاد نبودند وی به تحقیق درباره‌ی حرکت گلوله در سطح شیبدار پرداخت و با کمتر کردن شیب سطح توانست جسم متحرک را دارای سرعت کمتر سازد (جسم مورد آزمایش از سکون کامل به حرکت می‌افتاد)، و بدین طریق اثر سقوط آزاد جسم را در حرکت کند به وجود آورد.

نتایج تحقیقاتش یک قرن بعد یعنی در سال ۱۶۸۳ به وسیله‌ی دانشمند انگلیسی آیزاک نیوتون^۲ تحت نظم درآورده شد. نیوتون «سه قانون حرکت» به جهانیان عرضه داشت.

نخستین قانون نیوتون مبتنی بر این مشاهده‌ی گالیله بود که اگر گلوله‌ی صافی را روی سطح صافی افقی بغلتانند سرعتش با کندی بسیار کاهش خواهد یافت و هر چه رویه‌ی گلوله و سطح افقی صافتر باشد کاهش سرعت کندتر خواهد بود.

نخستین قانون حرکت نیوتون را چنین بیان می‌کنند: «هر جسمی در حال

سکون یا در حرکت متشابه مستقیم الخط باشد به همان حال باقی می ماند مگر آنکه تحت تأثیر نیرویی که بدان وارد می شود ناگزیر به تغییر حالت شود . «

اگر چه گلوله‌ای که در سطحی افقی حرکت می کند ، با سرعت ثابت (به فرض) به حرکت خود ادامه خواهد داد ، ولی چنانچه روی سطحی شیبدار حرکت کند یا آزادانه رها شود سرعتش تغییر خواهد پذیرفت . این گونه اجسام ، چنانکه گالیله نشان داده دارای شتاب خواهند شد . بدین معنی که سرعتشان به تدریج که پایین تر می روند بیشتر می شود . به طوری که گالیله از طریق اندازه گیری نشان داده ، افزایش سرعت تناسب مستقیم با زمانی دارد که حرکت گلوله از آن آغاز شده است و مسافت طی شده به نسبت مربع زمان طی شده است .

برای تغییر دادن يك حالت ثابت نیاز به کوشش هست و همه کس به تجربه به این مطلب را می داند . برای آنکه چیزی را به حرکت در آوریم باید کوشش به خرج دهیم . به همین نحو برای متوقف ساختن يك چیز متحرك نیز باید کوشش کنیم . هر کسی که با توپ ، بازی «دستش ده» کرده باشد ، به خوبی متوجه شده است که برای انداختن توپ و گرفتن آن باید نیرو اعمال کند .

پس هر تغییری که در ثبوت وضع « نخستین قانون حرکت » حاصل می شود ، یعنی هر کاهش سرعت ، هر افزایش سرعت ، هر تغییر جهت حرکت ، يك شتاب است و مسبب آن چیزی است که نیرو^۱ خوانده می شود .

مقدار نیرو که برای جسمی اعمال می شود تناسب مستقیم با شتاب آن جسم دارد . همه کس به تجربه می داند که برای گرفتن توپی که به سرعت می آید کوشش بیشتری باید به خرج دهد تا گرفتن توپی که به آهستگی می آید . نیز کوشش بیشتری برای انداختن سریع يك توپ لازم است تا انداختن آهسته آن . از سوی دیگر

همه به‌تجربه آموخته‌اند که به حرکت در آوردن جسم سنگین (یا متوقف ساختن آن در حال حرکت) دشوارتر از به حرکت در آوردن جسمی سبک است. متوقف ساختن توپ پینگ‌پنگ با دست آسانتر از متوقف ساختن توپ تنیس است، به شرطی که هر دو دارای یک سرعت باشند. چیزی که در هر جسمی مقدار شتاب را، تحت اثر نیروی معینی، تعیین می‌کند. جرم آن جسم نامیده می‌شود. (مسئله جرم را نخستین بار نیوتون روشن ساخته است) هر چه جرم جسم بیشتر باشد، شتابی که نیروی معینی در آن به وجود می‌آورد، کمتر خواهد بود.

ممکن است به تجربه بتوانیم از آنچه نیرویی می‌تواند انجام دهد تصویری در ذهن خود ایجاد کنیم، ولی نیوتون از روی اندازه‌گیری‌های کمی، که حاصله انجام داده بود، توانست قانون دوم حرکت را بدین صورت بیان کند: «نیرویی که به جسمی وارد می‌شود بدان شتابی می‌دهد که تناسب مستقیم با جرم جسم دارد.» به زبان ریاضی می‌توان این قانون را با $a = f/m$ یا $f = ma$ نشان داد که در آن f یعنی نیرو و a یعنی شتاب و m جرم است.

ماه که پیوسته در حرکت است، حرکت مستقیم‌الخط ندارد بلکه در مداری منحنی به دور زمین می‌چرخد، پس نمی‌تواند مثالی برای قانون اول حرکت باشد. چون جهت حرکت ماه دائماً در تغییر است، پس سرعتش همواره در حال افزایش است بنابراین نیرویی باید مدام بر آن اثر کند. از آنجا که تغییر حرکت ماه همیشه در جهت زمین صورت می‌گیرد ظاهراً منبع نیروی حرکت آن باید در زمین باشد.

نیوتون نشان داد که همان نیرویی که موجب افتادن سیب به زمین شده، برای بیان شتابی که به ماه در حرکتش داده می‌شود کاملاً کافی است و از اینجا

معلوم شد که اجرام سماوی تابع قوانین دیگری غیر از آنچه در زمین جاری است نیستند، بلکه در همه جای جهان قوانین اساسی طبیعی یکی است. (دست کم تا آنجا که از بهترین اطلاعات ما برمی آید).

به نظر نیوتون نیروی جاذبه‌ای که سیب را به طرف زمین کشید و ماه را در مدار منحنی اش به دور زمین به گردش درمی آورد، موارد خصوصی از این مسئله عمومی هستند که « هر جسمی از جهان روی اجسام دیگر نیروی جاذبه‌ای اعمال می کند. » (قانون جاذبه عمومی).

نیوتون با استفاده از قانون حرکت (و قانون سوم که می گوید: « برای هر کنش یا نیرو، واکنش یا نیروی متقابلی هست » . هر وقت که موشکی هوا می کنند مثالی از این قانون است) نشان داد که این نیروی جاذبه عمومی میان هر دو جسمی که در عالم هست، با حاصل ضرب جرمهای آنها نسبت مستقیم و با مربع فاصله میان مرکز دو جسم نسبت معکوس دارد:

$$f = \frac{mm'}{d^2}$$

قانون جاذبه عمومی نیوتون توانست حرکات اجرام سماوی گوناگون را به طرز شگفت آوری توجیه کند. طرحی که نیوتون از جهان ترسیم کرده چنان ساده و عملی بوده که علم جدید را به صورت شاهکاری عقلانی در آورده و آدمی را از قید ستایش فزون از حد فضیلت‌های متفکران یونان قدیم رهایی بخشیده است.

(در قرن بیستم نظریه جدیدی، که بهتر پرداخته شده، درباره جهان اظهار گردیده است. این نظریه بعضی از پدیده‌هایی را که در قلمرو چیزهای بینهایت بزرگ و چیزهای بینهایت کوچک کشف شده‌اند، بهتر توجیه می کند. مفهوم کلی نیرو و جاذبه - در نتیجه مفهوم حرکت و فضا و زمان - تغییر کرده است

با همهٔ این احوال نظریات نیوتون در بیشتر موارد معمولی صدق می‌کند .

وقتی که اندازه‌گیری حرکت، وضع ثابت علمی به‌خود گرفت این فکر پیش آمد که کار نیز باید قاعدتاً قابل اندازه‌گیری باشد . از آنجا که وارد ساختن نیرویی به يك جسم ، آن را علی‌رغم همهٔ نیروهایی که بر آن اثر می‌کنند ، از « حالت طبیعی » خارج می‌سازد ، پس کار انجام شده را با ضرب کردن نیرو در فاصله‌ای که جسم ، با وجود مقاومتی که در برابر حرکتش وجود دارد ، طی کرده است می‌توان به‌دست آورد .

اندازه‌گیری چیزهایی مانند نیرو و کار نیاز به واحدهایی دارد که مردم عامی با آنها آشنایی ندارند و حال آنکه با واحدهای جرم و فاصله و زمان آشنا هستند . مثلاً همهٔ ما می‌دانیم که فاصله را با سانتیمتر ، متر ، کیلومتر می‌سنجند و حال آنکه جرم را با گرم و کیلوگرم و تن اندازه می‌گیرند .

(غالباً «جرم» و «وزن» را با هم اشتباه می‌کنند ، زیرا برای اندازه‌گیری آنها واحد معینی به کار می‌رود ، نیز يك واحد جرم را در سطح زمین چنان تعریف می‌کنند که برابر واحد وزن می‌شود . ولی وزن عبارت است از اثر جاذبهٔ زمین روی يك جسم و هرچه جسم از مرکز زمین دورتر شود وزنش زیادتر می‌شود و حال آنکه جرم عبارت از مقاومتی است که جسم در برابر شتابی که تحت اثر نیرویی بدان وارد می‌شود به خرج می‌دهد و اساساً کاری با نیروی جاذبهٔ زمین ندارد . در نتیجه ، در ماه که جاذبه سطحی اش يك ششم جاذبه زمین است ، جسمی که ۶ کیلوگرم وزن دارد فقط يك کیلوگرم وزن خواهد داشت و حال آنکه جرمش همان ۶ کیلوگرم خواهد بود ، و اگرچه جسم سبك به نظر می‌رسد ، اگر بخواهیم در ماه شتابی بدان بدهیم ، به همان اندازه دشوارتر خواهد بود که در زمین همان

شتاب را بدان بدهیم).

عموم دانشمندان جهان سیستم متری را به کار می‌برند. در این سیستم مبنای طول متر است (که تقریباً معادل ۱٫۱ یارد است) و مبنای جرم گرم است (که در حدود ۱٫۲۸ آونس است). یک صدم متر یک سانتیمتر است (که در حدود $\frac{1}{10}$ اینچ) است و هزار گرم یک کیلوگرم است (که در حدود ۲٫۲ پاوند است). واحد زمان در سیستم متری و سیستم امریکایی ثانیه است.

سرعت^۱ عبارت است از میزان تغییر محل جسمی در جهت معینی از فضا در مدتی معین. جسمی که می‌تواند دو کیلومتر در دقیقه حرکت کند، سرعتش دو کیلومتر در دقیقه است. فیزیک دانی که سیستم متری به کار می‌برد سرعت را با تعداد سانتیمترها در ثانیه، یا تعداد مترها در ثانیه بیان می‌کند. برای سهولت کار مختصراً چنین می‌نویسند cm/sec یا m/sec .

شتاب تغییر سرعت است نسبت به زمان. فرض کنید که جسمی سرعتش به طور متشابه به نسبت زمان زیاد می‌شود، در لحظه معینی سرعتش cm/sec است ولی یک ثانیه بعد با سرعت $2cm/sec$ حرکت می‌کند و در ثانیه سوم با سرعت $3cm/sec$ بنا بر این سرعتش به نسبت $1cm/sec$ در افزایش است پس شتابش خواهد شد یک سانتیمتر در ثانیه در ثانیه، یا $1cm/sec/sec$.

با این واحدها می‌توان به صورت کسره‌های ریاضی نیز عمل کرد. مثلاً $cm/sec/sec$ را می‌توان مانند $a/b/b$ عمل کرد. اگر مقدار اخیر را به صورت $a/b \div b$ در نظر گرفته شود می‌تواند چنین نوشته شود $a/b \times 1/b$ یا a/b^2 . بر این قیاس $1cm/sec/sec$ را می‌توان بدین صورت نوشت $1cm/sec^2$ (و چنین خواند «یک سانتیمتر در ثانیه مربع»). اگر مسافت را با متر اندازه می‌گیرند شتاب را با

تعداد m/sec^2 نشان می‌دهند .

بنا بر قانون دوم حرکت نیوتون ، نیرو مساوی است با جرم در شتاب (این رابطه‌ای است که قبلاً در اوایل این فصل بدان اشاره کردم و با $ma =$ ، نشان دادم.) پس باید واحد جرم را نیز وارد میدان سازیم .

میان دانشمندان رسم است که گرم (gm) را هنگامی واحد جرم به حساب آورند که سانتیمتر را واحد مسافت اختیار کنند ، و کیلو گرم (kg) را وقتی واحد جرم حساب می‌کنند که متر واحد فاصله باشد .

حال اگر شتاب با cm/sec^2 اندازه گرفته شود آن را در جرم جسمی که شتاب پیدا کرده است ، بر حسب گرم ، ضرب می‌کنند تا نیرویی که باید مصرف شده باشد به دست آید . پس نیرو برابر $gm - cm/sec^2$ خواهد شد . اگر شتاب با m/sec حساب شده باشد ، جرم را به کیلو گرم محاسبه می‌کنند و واحد نیرو $kg - m/sec^2$ خواهد شد .

فیزیکدانان به منظور اختصار به $gm - cm/sec^2$ نام دین^۱ داده‌اند . پس يك دین مقدار نیرویی است که به جرم يك گرم شتابی معادل يك سانتیمتر در ثانیه در ثانیه می‌دهد . یا به‌طور اختصار دین $gm - cm/sec^2$ و به $kg - m/sec^2$ نام اختصاری نیوتن داده‌اند . از آنجا که يك کیلو گرم معادل ۱۰۰۰ گرم و يك متر معادل ۱۰۰ سانتیمتر است ، پس يك کیلو گرم متر مساوی گرم سانتیمتر $۱۰۰۰ \times ۱۰۰ = ۱۰۰۰۰۰$ خواهد شد . بنابر این $1kg - m/sec^2$ برابر $gm - cm/sec^2$ ۱۰۰۰۰۰ است یا يك نیوتون مساوی است با ۱۰۰۰۰۰ دین .

اکنون کار را که مساوی با نیروی اعمال شده در مسافت است ، در نظر می‌گیریم . اگر نیرو را با دین یا $gm - cm/sec^2$ اندازه بگیریم و آن را در مسافت

۱ - Dyne - مشتق از کلمه یونانی «نیرو»

بر حسب سانتیمتر ضرب کنیم، کار با واحدی برابر با $\text{gm} \cdot \text{cm}^2 / \text{sec}^2$ اندازه گیری خواهد شد. این واحد را ارگ^۱ می نامند.

به عبارت دیگر هنگامی یک ارگ کار انجام می دهید که نیرویی معادل یک دین را بدجسمی به مسافت یک سانتیمتر وارد سازید یا یک ارگ = یک دین سانتیمتر یا $1 \text{ gm} \cdot \text{cm}^2 / \text{sec}^2$.

از سوی دیگر اگر نیرو با نیوتون یا $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{sec}^2$ اندازه گیری شود، باید آن را در مسافت یک متر ضرب کرد تا واحد کار به دست آید و آن عبارت است از $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2$ این واحد را ژول^۲ می گویند.

یک ژول کار معادل صرف نیروی یک نیوتن در یک متر مسافت است. یا مختصراً یک ژول = یک «نیوتون - متر» یا $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2$.

از آنجا که یک نیوتون معادل ۱۰۰۰۰۰ دین است و یک متر برابر ۱۰۰ سانتیمتر. پس «نیوتون - متر» مساوی ۱۰۰۰۰۰۰۰ دین سانتیمتر خواهد شد یا یک ژول برابر ۱۰۰۰۰۰۰۰ ارگ است.

در نتیجه تبدیل نیرو و انرژی به اصطلاحات کمی، نه تنها راه کشف طریقه صحیح تغییر یافتن بعضی از پدیده های طبیعت باز شد، بلکه طریقه تغییر ناپذیری سایر پدیده ها نیز مکشوف گردید.

آشکار است که یک جسم متحرک می تواند کار انجام دهد، پس دارای «انرژی سینتیک» است (انرژی حرکتی). از قوانین حرکت و از تعاریف نیرو و کار می توان نتیجه گرفت که انرژی سینتیک جسمی را با رابطه زیر می توان نمایش داد.

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

۱ - Erg - مشتق از کلمه یونانی «کار»
 ۲ - Joule - برای بزرگداشت نام (فیزیکدان) که بعداً نام خواهم برد.

که در آن E_k نماینده انرژی سینتیک و m نماینده جرم و v معرف سرعت است. اکنون فرض کنید که گلوله‌ای آهنی به وزن ۱۰ کیلوگرم را با سرعت ۴۹ متر در ثانیه به بالا پرت کنیم. در لحظه پرتاب انرژی سینتیک آن عبارت خواهد بود از $49 \times 49 \times 10 \times \frac{1}{2}$ یعنی در حدود ۱۲۰۰۰ نیوتون.

ولی به تدریج که گلوله آهنی بالا می‌رود، نیروی جاذبه آن را تدریجاً به پایین می‌کشد و از سرعتش می‌کاهد، به طوری که پس از یک ثانیه با سرعت ۳۹٫۲ متر در ثانیه و پس از دو ثانیه با سرعت ۲۹٫۴ متر در ثانیه حرکت خواهد کرد. پس از ۵ ثانیه (که به ارتفاع ۱۲۲ متر می‌رسد) سرعتش صفر می‌شود (دست کم نسبت به سطح زمین) و لحظه‌ای در آن ارتفاع به حالت سکون خواهد ایستاد. ولی به تدریج که سرعت جسم کاهش می‌یابد انرژی سینتیک آن نیز کم می‌شود. در لحظه‌ای که بدون حرکت باقی می‌ماند انرژی سینتیک آن $0 \times 0 \times 10 \times \frac{1}{2}$ یعنی صفر خواهد شد.

چه شد که انرژی سینتیک تدریجاً کاهش یافت و در نتیجه بالا رفتن جسم ناپدید شد؟ آیا برای همیشه از بین رفته است؟ پاسخ این سؤال منفی است، زیرا گلوله آهنی که به بالای نقطه صعود رسیده شروع به سقوط خواهد کرد. سقوط گلوله آهنی ابتدا کند است و سپس تحت تأثیر جاذبه زمین رفته رفته سریع خواهد شد. هنگامی که به سطح زمین باز می‌گردد (در اینجا از اثر مقاومت هوا چیزی نمی‌دانیم) درست همان سرعتی را خواهد داشت که هنگام بالا رفتن داشت با این تفاوت که در آغاز به سوی بالا می‌رفت و اکنون در جهت پایین سیر می‌کند.

پس بار دیگر با سرعت ۴۹ متر در ثانیه حرکت دارد و بار دیگر انرژی سینتیک آن ۱۲۰۰۰ نیوتن است. هرچه انرژی سینتیک در آغاز داشت در بازگشت نیز دارد. پس این انرژی سینتیک وقتی که جسم در بالای نقطه صعود قرار داشت

چه شده بود؟

برای پاسخگویی به این سؤال به این نکته توجه کنید که هر جسمی می تواند بالقوه دارای انرژی باشد. مثلاً سنگی که در بالای دره ای هست، تا وقتی که در جای خود باقی است، صاحب انرژی مخصوصی به نظر نمی رسد و ممکن است همیشه در آن مکان باقی بماند بدون آنکه بتواند کاری انجام دهد. اگر همان سنگ از بالای دره به پایین انداخته شود، در حین سقوط، سرعت می گیرد (پس انرژی سینتیک پیدا می کند) و چنانچه در این موقع به شخصی که در تدره هست برخورد او را می کشد. انرژی که بالقوه در اجسام هست به انرژی پتانسیل^۱ (که به Ep ناموده می شود) موسوم است. زیرا در جسم ظاهر نیست مگر آنکه به آن موقعیت ظهور بدهند. بنابراین چیزی است که بالقوه هست نه بالفعل.

گلوله آهنی (یا سنگ یا هر جرمی) در حین بالا رفتن انرژی سینتیک از دست می دهد ولی انرژی پتانسیل به دست می آورد. وقتی که به حد اکثر نقطه صعود رسید همه انرژی سینتیک آن به انرژی پتانسیل تبدیل می شود و هنگامی که بار دیگر به سوی زمین راه می افتد، انرژی پتانسیل آن به انرژی سینتیک تبدیل می شود و وقتی به زمین می خورد همه انرژی آن به صورت سینتیک است. انرژی پتانسیل بالاترین نقطه صعود درست معادل انرژی سینتیک هنگام برخورد به زمین است. اگر گلوله آهنی را از ارتفاعی پایین تر از بالاترین نقطه صعود به سمت زمین رها سازیم، وقتی که به سطح زمین می رسد، صاحب انرژی سینتیکی خواهد شد که موقع رسیدن به آن ارتفاع از دست داده بود. بنابراین در هر نقطه از مسیرش مقدار انرژی سینتیک از دست رفته درست برابر است با مقدار انرژی پتانسیل حاصل شده و بالعکس.

پس انرژی از بین نرفته و بار دیگر ظاهر نشده بلکه همیشه وجود داشته ، فقط از صورتی به صورت دیگر تبدیل یافته است . بنابراین « انرژی محفوظ مانده است » . اگر انرژی سینتیک و انرژی پتانسیل را با هم بدانیم « انرژی مکانیکی » بنامیم (F_m) می‌توانیم آن را به صورت قانون « حفظ انرژی مکانیکی » بیان کنیم . استنباط مهمی که در اینجا به عمل آمده و نوعی ثبوت وضع طبیعت را نشان می‌دهد ، فقط هنگامی به کرسی نشسته که انسان پدیده‌های اندازه‌گیری دقیق را آغاز کرده است .

بدیهی است وقتی که جسمی به زمین می‌افتد ، اگر چه دیگر پایین‌تر نمی‌رود و کاری انجام نمی‌دهد ، نباید تصور کنیم که همه انرژی پتانسیل آن به انرژی سینتیک تبدیل شده است زیرا اگر چاهی به عمق هزار متر بکنیم ، آن جسم که بد پایان نقطه سقوطش رسیده بود می‌تواند ناگهان به افتادن ادامه دهد و کار بیشتری انجام دهد . آیا انرژی پتانسیل اضافی آن از همین جا ظاهر شده است ؟

نه ، انرژی پتانسیل بستگی به مرجعی دارد که با آن سنجیده می‌شود . مثلاً جسمی که در لبه پرتگاهی است نسبت به سطح کف دره مقداری انرژی پتانسیل دارد ولی نسبت به مرکز زمین انرژی پتانسیل آن بیشتر است ، زیرا اگر سوراخ عمیقی ترتیب داده شود جسم خواهد توانست قریب چهار هزار کیلومتر اضافه‌تر از سطح زمین پایین‌تر رود . حتی اگر جسمی در مرکز زمین قرار داشته باشد ، نسبت به خورشید انرژی پتانسیل دارد ، و اگر در مرکز خورشید باشد نسبت به مرکز کهکشان انرژی پتانسیل خواهد داشت . در هیچ‌جای عالم انرژی پتانسیل صفر مطلق نیست ، و فقدان چنین « مرجع مطلقی » یکی از نکات حساس تئوری نسبیتی انشتاین است .

ولی فقدان یک مرجع مطلق اهمیتی ندارد، زیرا فیزیکدانها ، به تفاوت‌های

انرژی پتانسیل بیشتر توجه دارند تا قدر مطلق آن . جسمی که در لبه پرتگاهی به عمق یک کیلو متر هست انرژی پتانسیلش بیش از انرژی پتانسیل جسمی است که در ته دره هست و در چارچوب سیاره ما آنچه مورد نظر ماست تفاوت این دو مقدار است . به خاطر سهولت محاسبه ، انرژی پتانسیل سطح زمین را صفر حساب می کنیم . در نتیجه انرژی پتانسیل هر ارتفاعی برابر تفاوت انرژی پتانسیل آن ارتفاع و سطح زمین خواهد شد زیرا $X - 0 = X$.

انرژی سینتیک را نیز می توان به همین روش در نظر گرفت یعنی آن را تفاوت دو مقدار به حساب آورد تا یک مقدار مطلق . بنابراین انرژی مکانیکی ، بدون در نظر گرفتن مرجع ، مقدار ثابتی دارد .

مسئله جالب دیگری که در مورد انرژی پتانسیل هست این است که این انرژی فقط بستگی به موقعیت جسم دارد نه به طریقی که موقعیت را بدان جسم داده است . مثلاً سه گلوله توپ فرض کنید که وزن برابر داشته و در لب پرتگاهی قرار داشته باشند . یکی از آنها در نتیجه در کردن توپ سریعاً به آن نقطه رسیده است ، دومی به آهستگی و از طریق راه پریچ و خمی که به بالای پرتگاه منتهی می شد ، آورده شده است . سومی را به وسیله سیم درازی ، از هواپیمایی که در ارتفاع ۱۲ کیلومتری قرار داشت ، در آن نقطه رها کرده اند .

اکنون اگر سه گلوله توپ فوق را به ته دره بیندازند ، آیا فکر می کنید آنکه به کندی به لب پرتگاه آورده شده انرژی کمتری از دو گلوله دیگر داشته باشد ؟ یا گلوله ای که دفعتاً به ارتفاع ۱۲ کیلومتری رسیده و انرژی پتانسیل سریع به دست آورده انرژی بیشتری خواهد داشت ؟

نه ، هر سه گلوله انرژی پتانسیل برابر خواهند داشت : علت آن این است که موقعیت آنها هنگام بررسی انرژی یکسان بوده است . پس آنچه قبلاً بر آنها

گذشته است تأثیری در انرژی پتانسیل نخواهد داشت .

به‌همین روش اگر یکی از گلوله‌ها را آزادانه به‌پایین می‌انداختند ولی دومی را از سطح شیب‌دار بدون اصطکاک می‌لغزاندند تا به‌آهستگی به ته‌دره برسد، انرژی سینتیک گلوله دومی درست معادل انرژی سینتیک گلوله اولی می‌شد، اگر چه شتابی که گلوله دوم حاصل می‌کرد به‌کندی در سطح شیب‌دار به‌وجود می‌آمد ولی در زمان درازتری حاصل می‌گشت . بنابراین وقتی که گلوله دوم به‌ته سطح شیب‌دار می‌رسید سرعت و انرژی سینتیک آن درست معادل سرعت و انرژی سینتیک گلوله اولی است که آزادانه رها شده است . حال اگر گلوله سوم به‌نحوی در سرازیری بغلند که بدون اصطکاک حرکت کند ولی گاه‌گاه به‌علت سربالایی بودن مسیر ، جلو افتادش گرفته می‌شد ، هنگامی که به ته‌دره می‌رسد همان انرژی سینتیک دو گلوله اول و دوم را خواهد داشت .

هر وقت که خاصیتی از جسمی محفوظ بماند ، مثلاً انرژی مکانیکی جسم ، اگر جسم از حالت A به‌حالت B تغییر یابد ، تغییر خاصیت حفظ شده فقط به‌ماهیت حالت A و B مربوط می‌شود ، نه به‌راهی که برای تغییر از حالت A به‌حالت B پیموده‌اند .



هر وقت که فیزیکدانی با بقای خاصیتی مواجه می‌شود وضوحی رضایت‌بخش در آن می‌یابد و همواره در پی یافتن مواردی از آن می‌افند .

دو جسم غیر قابل ارتجاع در نظر بگیرید . منظور از غیر قابل ارتجاع بودن آن است که وقتی به‌هم برخورد می‌کنند از هم دور نشوند بلکه به‌هم بچسبند مانند موم نرم یا گل رس .

اکنون دو گلوله مومی يك اندازه فرض کنید که در سطح افقی بدون اصطکاک

با سرعت ۲ متر در ثانیه به طرف یکدیگر می آیند. این دو گلوله به هم می رسند و یکدیگر را له می کنند و می ایستند. ظاهراً دوسرعت یکدیگر را باطل می کنند. اگر سرعت یکی از دو گلوله را $+2\text{m/sec}$ بگیریم سرعت دیگری که در جهت عکس حرکت می کند -2m/sec خواهد شد. چون این دوسرعت اگر پیش از برخورد به هم افزوده شوند صفر می شوند، پس بعد از برخورد هم صفر خواهند شد. اگر تنها به این مشاهده اکتفا می کردید ممکن بود که تصور کنید در چنین شرایطی سرعت، دارای بقاست. زیرا جمع جبری دوسرعت، که دو جزء دستگاه را تشکیل داده اند، علی رغم تغییر وضع از تباطبی اجزای دستگاه، همواره ثابت است.

اما فرض کنید که دو گلوله مورد بحث يك اندازه نیستند. آنکه به طرف چپ حرکت می کند سه برابر سنگین تر از دیگری، که به طرف راست در حرکت است، باشد، ولی سرعت هر دو 2m/sec باشد. در اینجا مجموع دوسرعت صفر است و حال آنکه وقتی دو گلوله به هم می خوردند و به یکدیگر می چسبند در جای خود نمی ایستند. بلکه در جهتی که گلوله بزرگتر حرکت می کرد، کشانده می شوند ولی سرعت این حرکت فقط 1m/sec است. پس مجموع کل سرعت دستگاه ثابت باقی نمانده است.

در سال ۱۶۷۱ فیزیک دان انگلیسی به نام جان والیس^۱ خاطر نشان ساخت که آنچه در موارد فوق ثابت باقی می ماند سرعت تنها نیست بلکه حاصل ضرب جرم در سرعت (mv) است. این حاصل ضرب را اصطلاحاً «نیروی جنبش»^۲ می گویند. در مورد دو گلوله ای که وزن نامساوی داشتند، فرض کنید که وزن یکی ۲ گرم و از دیگری ۶ گرم بوده است. اگر هر يك با سرعت 2m/sec حرکت می کرد، در

عین حال که سرعت برابر داشتند (صرف نظر از جهت مخالف) نیروی جنبش آنها نابرابر بود . نیروی جنبش گلوله کوچک 2×2 یا چهار گرم متر ثانیه $(gm - m / sec)$ و نیروی جنبش گلوله بزرگ 2×6 یا دوازده گرم متر ثانیه $(gm - m / sec)$ بود . اگر نیروی جنبش گلوله بزرگ مثبت فرض شود ، دیگری که در جهت عکس حرکت می‌کرد منفی است و جمع نیروی جنبشی دستگاه پیش از برخورد عبارت خواهد شد از $4 - 12 + 8 gm - m / sec$.

بعد از برخورد جمع وزن دو گلوله ۸ گرم است و با سرعت $1 m / sec$ در جهت حرکت گلوله بزرگ حرکت می‌کنند پس نیروی جنبش برابر 1×8 یا $8 gm - m / sec + 8$ می‌شود .

آزمایش نشان می‌دهد که نیروی جنبش ، در چنین شرایطی همیشه ثابت است . اگر دو گلوله قابلیت ارتجاع داشته باشند (مانند گلوله‌های شیشه‌ای یا فولادی) و پس از برخورد به یکدیگر از هم دور گردند ، نیروی جنبش همچنان محفوظ می‌ماند به شرطی که اگر سرعت و نیروی جنبش يك جهت را مثبت بگیریم ، سرعت و نیروی جنبش جهت دیگر را منفی به حساب آوریم . برای تقسیم حرکات هر جهت به اجزای مثبت و منفی روشهایی هندسی وجود دارد . و نیروی جنبش ، حتی اگر گلوله‌ها درست به یکدیگر نخورند یا تعداد زیادی گلوله در میان باشد (مانند گلوله بیلیاردی که به جمع سایر گلوله‌ها زده می‌شود) ، همواره محفوظ می‌ماند .

نیز اگر تفنگ پری که ماشه‌اش به مویی بسته است ، از طنابی آویزان باشد و به حال استراحت قرار گیرد ، چنانچه ماشه کشیده شود و تفنگ آتش گردد ، بخشی از دستگاه (گلوله) با سرعت و نیروی جنبش بسیار زیاد از دهانه تفنگ خارج خواهد شد . تنها راهی که دستگاه می‌تواند نیروی جنبش کل خود

را صفر نگه دارد این است که بقیه تفنگک ، غیر از گلوله ، با نیروی جنبشی مساوی و مخالف جهت گلوله به عقب حرکت کند . از آنجا که تفنگک بسیار بزرگتر از گلوله است ، آهسته تر از آن به عقب رانده می شود تا نیروی جنبش موازنه حاصل کند .

نیروی جنبش زاویه‌ای (یعنی جرم ضرب در حرکت دورانی) نیز محفوظ می ماند . این موضوع هنگامی به بهترین صورت خود دیده می شود که ، شخصی که روی یخ سر می خورد با سرعت ممکن به دور خود بچرخد . هر بخش بدن وی به تناسب سرعت چرخشی که دارد ، دارای نیروی جنبش زاویه‌ای است . بخشهایی از بدن که دورتر از محور بدن هستند ، در واحد جرم ، نیروی جنبش زاویه‌ای بیشتر دارند زیرا دایره‌های بزرگتری را طی می کنند و سریعتر می جنبند . در شخص مورد بحث بازوان باز شده دارای نیروی جنبشی زاویه‌ای بیشترند .

اگر سر خورنده دستهای خود را چسبیده به تنه نگه دارد ، نیروی جنبشی زاویه‌ای آنها کم می شود زیرا در هر دور ، دایره کوچکتری را طی می کنند ، بنابراین سرعتش کمتر خواهد شد . هر چیزی که یک بخش دستگاه از دست بدهد بخشهای دیگر صاحب آن خواهند شد . پس اگر سر خورنده در حین چرخش دستهایش را به بدنش بچسباند ، تمام بدنش با سرعت بیشتر خواهد چرخید و چون فرقه‌ای چرخش سریع خواهد داشت .



بدبختانه حفظ انرژی مکانیکی و نیروی جنبش تنها هنگامی صورت می گیرد که مقاومت هوا و اصطکاک در میان نباشد و این شرایط که کمال مطلوب هستند ، هرگز در روی زمین فراهم نمی گردند . در محیطی خیالی که نه مقاومت هوا در میان باشد نه اصطکاک ، یک آونگ هرگز از نوسان باز نخواهد ماند و تویی که

می‌جهد هرگز از جهش باز نخواهد ایستاد و توپهای متحرك بيليار دكه مرتباً به هم می‌خورند همچنان در حرکت و برخورد به هم خواهند بود و سر خورنده‌ای که به دور خود چون فریره می‌چرخد همچنان به چرخش ادامه خواهد داد مگر کوششی برای توقف خود به خرج دهد.

اما هیچ يك از این موارد عملی نیست. وقتی که توپی به هوا پرتاب می‌شود همه انرژی سینتیک آن به انرژی پتانسیل تبدیل نمی‌شود زیرا مقداری برای غلبه بر مقاومت هوا به هدر می‌رود. نیز وقتی که پایین افتادن را آغاز می‌کند همه انرژی پتانسیل آن به انرژی سینتیک تبدیل نمی‌شود زیرا مقداری صرف اصطکاک می‌گردد. و اگر به هوا بجهد و دوباره بالا رود مقداری از انرژی در فرایند جهش از میان می‌رود، زیرا توپ هرگز قابلیت ارتجاع کامل ندارد. از آنجا که هیچ دستگاهی عملاً نمی‌تواند به صورتی طراحی شود که جلوی این کاهش انرژی گرفته شود، پس انرژی مکانیکی و نیروی جنبش هرگز کاملاً حفظ نمی‌شوند.

از این گذشته، اصطکاک باعث می‌شود که طریق تبدیل انرژی مکانیکی یا نیروی جنبش در تغییر حالت از A به B در نظر گرفته شود. زیرا جسمی که از لب پرتگاهی آزادانه به ته آن رها شود، مقدار نسبتاً کمی از انرژی خود را در نتیجه مقاومت هوا از دست خواهد داد. اگر همان جسم از سطح شیب‌داری بلغزد تا به ته دره برسد (و سطح خیالی یعنی، چنانکه قبلاً اشاره کردم بدون اصطکاک، نباشد) با انرژی سینتیک بسیار کمتری بدانجا خواهد رسید. هر چه شیب سطح کمتر و مسافت طی شده بیشتر باشد، مقدار کل اصطکاک بیشتر گشته و انرژی سینتیک نهایی کمتر خواهد شد.

برای فراهم آوردن موقعیتی که در آن همه انرژی حفظ شود، کاهش از طریق اصطکاک و سایر نقایص موجود، بایستی به نحوی مورد بررسی قرار گیرد

ولی بیش از یک قرن و نیم از زمان نیوتون گذشت و موضوع به قدر کافی بررسی نشد. عاملی که بدان توجه نشده گرما بود. دانشمندان فقط پس از آنکه ماشین بخار کاملاً روشن ساخت که گرما نیز نوعی انرژی است و می تواند چون انرژی سینتیک به کار تبدیل شود به مطالعه آن پرداختند. پس از آنکه گرما به صورت شایسته ای شناخته شد، علم فیزیک توانست با جهان واقعی (و با حیات) سروکار پیدا کند و از عالم ساختگی درون مغز فیزیک دانها بیرون آید.

فصل چهارم

اندازه‌گیری گرما

مسئله ماهیت واقعی گرما ، فقط از نظر حساسیتی که بدن انسان نسبت به آن داشت مورد توجه دانشمندان پیشین بود ، ولی این امر مانع از آن نشد که گرما را به صورت یک پدیده مورد مطالعه قرار دهند و موفقیت‌هایی در این زمینه به دست آورند .

ابتدا توانستند شدت گرما یعنی دما را اندازه بگیرند . احساس‌های ما ، شدت گرما را به صورتی تقریبی ، بهتر از مقدار گرما به ما نشان می‌دهند . مثلاً اگر درون یک وان آب سرد باشد ، مقدار کل گرمای آن آب بیشتر از مقدار گرمای قطره‌ای آب جوش است ، ولی ما آن آب را سرد و این را بسیار داغ احساس می‌کنیم . در قطره آب جوش شدت گرما بیشتر است یعنی گرمای بیشتری در حجم معینی هست . شدت گرما فقط برای حواس ما حائز اهمیت نیست بلکه مفهومی جهانی نیز دارد ، زیرا گرما همواره از جسم گرمتر (دارای دمای بیشتر) به جسم سردتر (دارای دمای کمتر) سیر می‌کند ، نه آنکه از جسم دارای مقدار گرمای بیشتر

به جسم دارای مقدار گرمای کمتر. مثلاً اگر قطره‌ای آب جوش را به آب سرد درون وان بیفزایند، گرما از آن قطره (که فوراً سرد خواهد شد) به آب وان (که به کندی گرم خواهد شد) جریان خواهد یافت.

برای روشن شدن موضوع جریان گرما را با جریان آب مقایسه می‌کنیم. رودخانه‌ای که در ناحیه‌ای کوهستانی در جریان است، کمتر از اقیانوس آب دارد، ولی در ارتفاع بالاتری هست، و انرژی پتانسیل بیشتری از آب اقیانوس دارد. آب از جای پر آب (اقیانوس) به جای کم آب (رودخانه) جریان نمی‌یابد بلکه در عوض از رودخانه کوچک کوهستانی به سوی اقیانوس پهناور سیر می‌کند. اصطلاح عامیانه «آب همیشه در سرازیری راه می‌افتد» گویای این موضوع است که حرکت خود به خود همیشه در جهت کاهش انرژی پتانسیل است.

دما در گرما همان نقش را ایفا می‌کند که انرژی در جرم. سیر گرما از دمای زیاد به دمای کم، مانند سیر آب در سرازیری است. (بسیار مایل بودم کلمه دما را به کنار بگذارم و به جایش «پتانسیل گرما» به کار برم. در بکار بردن این کلمه حق تقدم هست، زیرا نیرویی که در پس یک جریان الکتریکی هست به «پتانسیل الکتریکی» معروف است و الکتریسته همیشه از نقطه دارای پتانسیل زیاد به نقطه دارای پتانسیل کم سیر می‌کند.)

انرژی پتانسیل را عموماً با اندازه‌گیری ارتفاع جسم از سطح دریا تعیین می‌کنیم. آیا این موضوع راهی برای اندازه‌گیری دما به ما نشان می‌دهد؟ **گالیه** نخستین کسی بود که به اصل درست مربوط به دما توجه یافت. تقریباً همه اجسام با افزایش دما انبساط حجم حاصل می‌کنند و با نقصان دما کاهش حجم. **گالیه** در سال ۱۵۹۲ دماسنجی ساخت که در آن حجم هوا با تغییر دما تغییر حاصل می‌کرد

و سطح آب را در لوله‌ای بالا و پایین می‌برد. بدبختانه سطح آب تحت تأثیر فشار هوا نیز قرار می‌گرفت و موجب بروز اشتباه در نتیجه حاصل می‌گردید. دماسنجی که بعداً ساختند چنان بود که فشار هوا در آن تأثیر نداشت. در این گونه دماسنج‌ها آب را در حبابی می‌ریختند که مقداری از آن در بخشی از لوله باریک مربوط به حباب وارد می‌شد. کمترین تغییر حجم، تغییر زیادی در سطح آب لوله باریک حاصل می‌کرد. از روی تغییر سطح آب لوله دما را اندازه می‌گرفتند.

در سال ۱۷۱۵ فیزیکدانی آلمانی به نام گابریل دانیل فارنهایت^۱ برای نخستین بار جیوه را در دماسنجی که با دقت مدرج شده بود به کار برد و طرح تقریبی دماسنج‌های امروزی را پایه‌گذاری کرد. مقیاسی که فارنهایت برای سنجش دما تعیین کرده بود^۲ همچنان در ایالات متحده و انگلستان و کانادا و افریقای جنوبی و استرالیا و زلاند نو متداول است. در این مقیاس دمای یخ در حال ذوب ۳۲ درجه (که با ۳۲ درجه نشان می‌دهند) و دمای آب جوش ۲۱۲ درجه است. برای آنکه دانسته شود مقیاس از فارنهایت است بعد از ذکر درجات حرف F را اضافه می‌کنند (مثلاً ۳۲°F یا ۲۱۲°F).

در میان ملل دیگر و میان دانشمندان همه نقاط زمین، دماسنج دیگری متداول است که در سال ۱۷۴۲ به وسیله ستاره‌شناس سوئدی به نام اندرس سلزیوس^۳ ساخته شد. در این دماسنج دمای یخ در حال ذوب، صفر و دمای آب در حال جوش ۱۰۰ است. از این رو به سانتیگراد (صد درجه‌ای) یا «مقیاس سلزیوس»^۴ معروف است. به هر حال بعد از ذکر درجه این دماسنج حرف C را بعد از آن قرار می‌دهند.

(مثلاً 0°C یا 100°C).

اگر چه مقیاس فارنهایت در زندگی روزمره امریکاییها بیشتر متداول است، ولی در این کتاب، هم‌جا مقیاس سانتیگراد، نیز سیستم متری به کار خواهم برد.



به کار بردن دماسنج نه تنها از دمای جسم بلکه از مقدار حرارت آن نیز اطلاعاتی به دست می‌دهد.

فرض کنید که یک لیتر الکل را (لیتر واحد حجم سیستم متری است و برابر با $1/05$ کوارت است) 60°C گرم کرده‌اید، سپس یک لیتر آب 20°C با آن مخلوط کرده‌اید. مسلم است که گرما از الکل گرم به آب سرد جریان خواهد یافت. این جریان را از روی احساسهای خود می‌توانیم ادراک کنیم زیرا دمای آب، حد واسط میان دمای الکل و آب احساس خواهد شد. وقوع چنین امری کاملاً منطقی به نظر می‌رسد و گرچه دماسنجی در میان نباشد دلیلی برای تحقیق بیشتر مسئله موجود نخواهد بود.

ولی وقتی که با اندازه گیری دما خو گرفتیم، دیگر به این راضی نخواهیم شد که فقط حالت « حد وسط » مرحله نهایی مخلوط را بدانیم. اگر چه مخلوط دو مایع مساوی که یکی 60°C و دیگری 20°C دما دارد به نظر ما 40°C دما خواهد داشت. ولی در این مورد چنین نخواهد بود، بلکه دمای نهایی مخلوط الکل و آب 36°C خواهد شد.

بچه دلیل؟ ظاهراً مقدار گرمای موجود در الکل در دمای معین به اندازه مقدار گرمای موجود در آب در همان دمایست. بایان دیگر، مقدار گرمایی که لازم است تا دمای الکل را ده درجه بالا ببرد کمتر از مقدار گرمایی است که لازم می‌شود تا دمای آب را تا ده درجه بالا ببرد. عکس آن نیز درست است. بدین

معنی، گرمایی که از ده درجه سرد شدن الکل حاصل می‌شود کمتر از گرمایی است که از ده درجه سرد شدن آب به وجود می‌آید. (مثل آن است که آب و الکل به منزله دو استوانه هستند که یکی عربض و دیگری کم قطر است. برای پر کردن استوانهٔ عربضی که بلندیش ۶ سانتیمتر باشد بیشتر از استوانه‌ای که قطر کمتر دارد و دارای همان بلندی است، آب لازم است. هر دو استوانه تا ارتفاع برابر پر از آبند ولی مقدار آب استوانهٔ عربضتر بیشتر از مقدار آب استوانهٔ کم قطر است. به همین روش الکل و آب، اگرچه پس از گرم شدن دمای برابر پیدا می‌کنند ولی آب گرمای بیشتری خواهد داشت).

پس دمای مخلوط الکل و آب دیگر صورت معما نخواهد داشت. هنگامی که الکل، ۲۴ درجه سانتی‌گراد (از ۶۰° به ۳۶°) سرد می‌شود، گرمای حاصل از آن برای گرم کردن مقدار مساوی آب به ۱۶° درجه سانتی‌گراد (از ۲۰° تا ۳۶°) کفایت خواهد کرد و دمای نهایی ۳۶° C خواهد شد.

شیمی‌دان اسکاتلندی به نام جوزف بلاک^۱ نخستین کسی بود که به مطالعه این پدیده پرداخت. وی در سال ۱۷۶۰، به اندازه‌گیری مقدار گرمایی پرداخت که برای بالا بردن دمای جرمهای مساوی تعدادی مواد لازم بود، و این مقدار گرما را «گرمای ویژه» نامید.

گرمای ویژهٔ آب را ۱۰۰۰ اختیار کردند. برای بالا بردن دمای الکل به مقدار ده درجه دوسوم گرمایی لازم می‌شود که همان مقدار آب را ده درجه بالا برد. پس گرمای ویژهٔ الکل در حدود ۶۵۰ است. گرمای ویژهٔ مایعی به نام استون^۲ در حدود ۵۰۰ است و بر این قیاس.

به طوری که معلوم شد گرمای ویژهٔ آب کاملاً زیاد است و زیادترین آنهاست.

بیشتر فلزات گرمای ویژه کم دارند مثلاً گرمای ویژه آلومینیوم ۲۲٫۰۰۰ ، از مس ۹۳٫۰۰۰ و از قلع ۳۱٫۰۰۰ است . به تجربه می دانیم که وقتی تابه ای فلزی را روی اجاق قرار می دهیم با چه سرعتی داغ می شود و حال آنکه گرم کردن مقدار متوسطی آب چقدر طول می کشد .

(در تعیین گرمای ویژه ماده ای ، دمایی را که آن ماده دارد ، باید در نظر گرفت زیرا گرمای ویژه با دمای اولیه متغیر است . جسمی که داغ است گرمای ویژه بیشتر از وقتی دارد که سرد است) .

از آنچه گذشت نتیجه می گیریم که برای مقدار گرمای اجسام به واحدی نیاز هست . (مقدار گرمایی که در مقداری از ماده ای هست نباید با دمای آن که عبارت از شدت گرماست اشتباه شود) .

مقدار گرمایی را که برای بالا بردن دمای یک گرم آب از 14°C به 15°C لازم است یک کالری نامیدند . کلمه کالری از لغت لاتینی «گرما» مشتق است . (IE) که در انتهای کلمه کالری هست گویای آن است که این واحد را دانشمندان فرانسوی به کار برده اند و به سبک زبان خود آن را تغییر دادند . همین کلمه در زبان انگلیسی Calory نوشته می شود) .

واحد بزرگ دیگری که برای اندازه گیری مقدار گرما هست ، گرمایی است که برای بالا بردن دمای یک کیلو گرم آب از 14°C به 15°C لازم است . طبیعی است که این واحد هزار برابر واحد اولی است و به همین مناسبت کیلوکالری نامیده شده است .

چون واحد بزرگ را غالباً کالری می نامند ، موجب بروز اشتباه شده است . تنها کاری که برای تمیز دادن آنها از یکدیگر کردند نوشتن آن به صورت زیر بود

Calorie ولی حرف C بزرگ در اول کلمه در نوشته شخص را متوجه می‌سازد ولی در محاوره مقصود گوینده، معلوم نخواهد شد. این عیب بیشتر از آنجا پیداشد که مسئولان امر تغذیه همواره از کالری صحبت کرده‌اند و حال آنکه منظورشان کیلوکالری بوده است.

مهندسان امریکایی و انگلیسی واحدی برای مقدار گرما به کار می‌برند که شبیه کالری است ولی بر اساس مقیاس فارنهایت است. و آن مقدار گرمایی است که دمای يك پاوند آب $63^{\circ}F$ را به $64^{\circ}F$ بالا برد. این واحد را B. T. U یا «واحد انگلیسی گرما» می‌گویند. يك واحد انگلیسی گرما تقریباً برابر ۲۵۲ کالری است.

به مطالعات ژوزف بلاک بازمی‌گردیم. وی در مطالعه امر گرما به پیشرفت مهم دیگری نیز نایل آمد و آن این است که وقتی یخی را گرم می‌کنیم تا ذوب شود، دمای آب یخ بالا نمی‌رود مگر آنکه همه یخ کاملاً ذوب گردد. مقدار گرمایی که تکه‌ای یخ برای ذوب شدن می‌گیرد، برابر است با گرمایی که لازم است تا همان آب یخ را تقریباً به درجه جوش برساند. در واقع برای ذوب يك گرم یخ ۸۰ کالری لازم است. بلاک این مقدار گرما را، «گرمای نهانی» نامید. کلمه Latent به معنی مخفی یا غیر مرئی است زیرا این گرما بالا رفتن دما را نشان نمی‌دهد. درست مانند «پتانسیل» در «انرژی پتانسیل» اشاره به چیزی است که ظاهر نیست. در فیزیک جدید این شکل گرمای نهانی را «گرمای ذوب»^۲ می‌گویند.

نوع دیگر گرمای نهانی، گرمایی است که در هنگام جوشیدن مایعی لازم می‌شود. مایعی که می‌جوشد، هرچه گرمتر شود افزایش دما نشان نمی‌دهد. ولی این گرما مقدارش از گرمای ذوب يك جسم جامد بیشتر است. مثلاً ۵۴۰ کالری

برای بخار کردن يك گرم آب 100° لازم است و حال آنکه دمای بخار نیز $100^{\circ}C$ است. این گرما را «گرمای تبخیر» می نامند.

نیز بلاک توجه یافت که اگر آب را دوباره به یخ تبدیل کنند (یا بخار آب را به صورت آب متراکم سازند) گرمای نهانی جذب شده، در این موقع پس داده می شود. یعنی گرمایی که برای ذوب یخ وارد آن شده، در موقع یخ زدن آب خارج می شود. موقعی که آب می جوشد، گرمایی که وارد آن می شود، هنگام میعان، از آن خارج می گردد. این پدیده درست شبیه تغییر انرژی سینتیک به انرژی پتانسیل و بالعکس است و دلالت بر این دارد که گرما نیز پدیده ای است که باقی می ماند یا آنکه اقلان جزئی از یک پدیده دارای بقاست.

اگر تغییر دما با تغییر حجم مایعی اندازه گرفته شود، پس تغییر حجم بایستی یکنواخت باشد، وگرنه نمی توانستیم درجات يك دماسنج را به طور مساوی اختیار کنیم. یکنواخت بودن تغییر حجم را باید مسلم فرض کرد. مثلاً آب با افزایش دما تغییر حجم یکنواخت حاصل نمی کند. به طوری که در دماهای میان صفر درجه و 4° درجه، با افزایش گرما انقباض می یابد، ولی جیوه با بالا رفتن دما تغییر حجم یکنواخت حاصل می کند و یکی از علل به کار بردن آن به صورتی موفقیت آمیز در ساختن دماسنج ها همین خاصیت جیوه است.

طبیعی است که ابتدا این مسائل را در مورد مایعاتی که در دماسنجها به کار می بردیم تحقیق کردند. کوشش بی ثمر ^۱مالیه در به کار بردن دماسنجهای گازی ظاهر آفراموش شده بود، به طوری که قریب دو قرن از آن گذشته بود و هنوز مطالعات کمی درباره اثر دما در تغییر حجم گازها به عمل آمده بود.

در سال ۱۶۶۰ بود که فیزیکدان انگلیسی رابرت بویل^۲ برای نخستین بار

نشان داد که فشار و حجم مقدار معینی از گاز نسبت عکس با یکدیگر دارند .
(قانون بویل) . اگر فشارگازی را دو برابر کنند ، حجم آن نصف خواهد شد و اگر فشار سه برابر شود ، حجم به ثلث تقلیل خواهد یافت و بر این قیاس . این یکی از پایه‌های شیمی جدید است ، ولی بویل تذکر نداده بود که این ارتباط فقط هنگامی برقرار است که دما ثابت باقی بماند . ظاهر امر این طور حکم می‌کند که دما و تأثیرش روی حجم گازها اساساً به ذهنش راه نیافته است .

در سال ۱۶۸۰ فیزیک‌دان فرانسوی ادم ماریوت^۱ بدون آن که از مطالعات بویل آگاه باشد قانون بویل را دوباره کشف کرد ولی مسئله تأثیر تغییر دما را در تغییر حجم گاز نیز متذکر شد . (بیشتر اروپاییها قانون بویل را به نام « قانون ماریوت » می‌نامند) .

قدم دیگری که در این راه برداشته شد در سال ۱۶۹۹ و به وسیله فیزیک‌دان فرانسوی گیوم آمونتون^۲ بود . وی خاطر نشان ساخت که مقادیر متفاوت هوا هر حجمی داشته باشند ، با افزایش ثابت دما منبسط می‌شوند .

تا سال ۱۷۸۷ این جریان تحت اندازه‌گیری صحیح قرار نگرفته بود . در این سال فیزیک‌دان فرانسوی ژاک الکساندر سزار شارل^۳ نشان داد که انبساط و انقباض گازها در نتیجه تغییر دما به طور یکنواخت صورت می‌گیرد . (قانون شارل^۴ - گرچه دو قرن بعد از سالیه این قانون اعلام شده ولی اشاره ضمنی بر قبول این نظر از طرف سالیه در ساختن دما سنج داشته است .)

شارل به این نتیجه رسید که هر گازی به ازای هر درجه‌ای از سلتزیوس که از صفر درجه افزایش یا بد حجمش معادل $\frac{1}{273}$ زیاد می‌شود و به ازای هر درجه سلتزیوس

۱- Edme Mariotte — ۲- Guillaume Amontons — ۳- Jacques Alexandre Cesar Charles — ۴- Charles Law

کاهش از صفر درجه ، حجمش معادل $\frac{1}{273}$ کاهش می یابد .

توضیح آنکه اگر ۲۷۳ لیتر از گازی را در صفر درجه C داشته باشیم ، چنانچه دمای آن را به 1°C برسانیم ، حجمش به ۲۷۴ لیتر می رسد و اگر به 2°C برسانیم حجمش به ۲۷۵ لیتر می رسد و در 3°C به ۲۷۶ خواهد رسید و بر این قیاس . در جهت عکس نیز همان گاز در 1°C - به ۲۷۲ لیتر و در 2°C - به ۲۷۱ لیتر و در 3°C - به ۲۷۰ لیتر خواهد رسید و بر این قیاس .

اگر قانون شارل کاملاً درست بود لازم می آمد که در دمای 273°C - حجم گاز به صفر برسد و از آن درجه به پایین ، حجم گاز منفی شود و این مسئله ای غیر قابل تصور بود .

فیزیکدانها خود را چندان پای بند این ایراد نمی کردند زیرا این در صورتی بود که قبول کنند قانون شارل در دماهای بسیار پایین نیز صادق است . بدیهی است در این صورت درست از آب در نمی آمد . در زمان شارل و تقریباً تا یک قرن بعد ، به وجود آوردن دماهای بسیار پایین میسر نبوده تا بتوانند انقباض گازها را در آن درجات آزمایش کنند . ولی در سال ۱۹۰۰ بخوبی آشکار شد که در دمای 273°C - همه گازها به مایع تبدیل می شوند . بدیهی است قانون شارل برای مایعات نبود . پس گفته اش به حالات غیر قابل تصور نمی انجامید .

با وجود این دمای 273°C - ظاهراً دمایی قاطع است و بعضی از محققان آن را صفر مطلق دما ، یا حد نهایی سرما تصور می کنند . تصور این نکته آسان است که دمای 273°C - (اندازه دقیق آن که جدیداً پیدا شده $273,16^{\circ}\text{C}$ - است ، ولی می توان از کسر صرف نظر کرد) دمایی است که در آن دستگاه هیچگونه گرمایی ندارد . اگر آن دما را صفر حساب کنیم و به درجه سلزیوس بالا آییم ، نقطه یخ زدن آب 273° خواهد شد و نقطه جوش آن 373° و بر این قیاس .

این را مقیاس مطلق دما می گویند (بد تصویر ۳ مراجعه شود .)
 در سال ۱۸۴۸ فیزیکدان انگلیسی به نام ویلیام تامسن^۱ (که بعداً در زمرة
 اشراف درآمد و به لرد کلوین لقب یافت) این دستگاه را بر مبنای تئوری محکمی
 استوار کرد . و از این رو است که «مقیاس مطلق» را غالباً «مقیاس کلوین» می گویند.
 با این مقیاس نقطه انجماد آب را می توان 273.15 (یعنی مطلق) یا 273.15 K
 (یعنی کلوین) نوشت . صورت دوم بیشتر نوشته می شود .

سر آب می شود	262°	327°	600°	620°	1080°
آب می جوشد	80°	100°	373°	212°	672°
دمای بدن	30°	37°	310°	99°	591°
بج در آب می شود	0°	0°	273°	32°	492°
اکسیژن می جوشد	-146°	-183°	90°	-298°	162°
صفر مطلق	-218°	-273°	0°	-460°	0°
	رئومور	سلزیوس	کلوین	فارنهایت	رانکاین

تصویر ۳ . مقیاسهای دما

در مقیاس فارنهایت صفر مطلق 460° F- (یا صحیح تر نوشته شود 459.67 F-)
 است و می توان از صفر مطلق شروع کرده ، در مقیاس فارنهایت تدریجاً بالا آمد.
 کسی که نخستین بار چنین مقیاسی را به کاربرد مهندس اسکاتلندی به نام ویلیام جان

ماکورن رانکاین^۱ بود و از این رو آن مقیاس را بدنام وی «مقیاس رانکاین» نامیدند. نقطه انجماد آب در این مقیاس Rank ۴۹۲° و نقطه جوش آب Rank ۶۷۲° است. (به خلاف انتظار نام رانکاین با R خلاصه نشد زیرا مقیاس رئومور^۲ نیز که به وسیله فیزیکدان فرانسوی ترتیب داده شده بود نیز وجود داشت. رنه آنتوان فرشول دورئومور^۳ در قرن هجدهم می زیست و مقیاس وی را با R نشان می دهند. در مقیاس رئومور نقطه انجماد آب R° است ولی نقطه جوش آب R ۸۰ است. مقیاس رئومور هرگز به کار نرفت و فقط ارزش تاریخی دارد.)



به تدریج که دما و مقدار گرما به صورت پدیده‌ای قابل اندازه گیری درآمد، دانشمندان، از آنها به خوبی استقبال کردند و نظر جدید و وسیعتری در باره انرژی یافتند. با آغاز قرن نوزدهم، دیگر انرژی این همه به حرکت وابستگی نداشت. تمرکز افکار در انرژی مکانیکی موجب ترقیات شکفت انگیز علمی در قرن هفدهم و هیجدهم گردید ولی چیزی در این میان هنوز کسر بود.

ماشین بخار این موضوع را روشن ساخته بود که گرما، درست مانند گلوله‌ای که به سرعت در حرکت است، می تواند کار انجام دهد، پس نوعی انرژی است. مغناطیس نیز اگرچه در قرون وسطی به طور مبهم شناخته شده بود، صورتی از انرژی بود و آزمایشهای قرن هجدهم با الکتریسته نیز نشان دادند که الکتریسته هم صورتی از انرژی است.

خود کلمه «انرژی» را فیزیکدان انگلیسی تامس یوتنگ^۴ در سال ۱۸۰۹ وارد علم ساخت. مهمترین تحقیقاتش در مورد نور، که خود نوع دیگری از انرژی

۲- Reaumur
۴- Thomas Young

۱- William John Macquorn Rankine
۳- Rene Antoine Ferchault de R.

بود انجام گرفت. طی دهها سال بعد اصطلاح انرژی به صورت امروزی خود توسعه داده شد و اکنون به هر چیزی گفته می‌شود که بتواند کار انجام دهد.

رفته رفته این نظر برای بعضی از محققان پیدا شد که بقای انرژی مکانیکی فقط از آن جهت کاملاً صادق نیست که سایر انرژیهای حاصل، بخصوص صورت گرمای آن را، در این جریان به حساب نیاورده‌اند. مثلاً به خوبی روشن بود که آنچه از انرژی مکانیکی در نتیجه اصطکاک کاهش می‌یابد به صورت گرما درمی‌آید، ولی این سؤال مطرح بوده که آیا کاهش انرژی مکانیکی درست برابر افزایش گرماست؟ جمز پرسکوت ژول^۱ فیزیکدان انگلیسی از این نظر محققى بنام بود و فعالیتهايش را در این مسئله متمرکز ساخت که بداند چه مقدار گرما از مقدار معینی کار حاصل می‌گردد. اگر به راستی انرژی باقی می‌ماند، پس وقتی که همه صورتهایش در نظر گرفته شود، بدون در نظر گرفتن صورنی از انرژی که آن کار را انجام داده است، باید از مقدار معینی کار مقدار ثابتی گرما تولید شود.

ژول در سال ۱۸۴۰ اندازه‌گیریهای خود را آغاز کرد و طی يك نسل همچنان آن را ادامه داد. وی موفق شد که با عبور دادن الکتریسته از سیم، نیز با عبور دادن آب از لوله‌های باریک شیشه‌ای، با فشردن و انبساط گازها، و با هم‌زدن آب، و روغن و جیوه به وسیله چرخ‌های پره‌دار، نیز با عبور دادن الکتریسته از محلولها و گرداندن سیم پیچ‌فلزی میان دو قطب يك مغناطیس، گرما ایجاد کند. در همه این موارد مقدار کار انجام شده و مقدار گرمای حاصل را محاسبه کرد و به این نتیجه رسید که مقدار معینی کار از هر منبع انرژی به وجود آمده باشد، همیشه مقدار معینی گرما تولید می‌کند. بدین روش بود که معادل مکانیکی گرما را تعیین کرد و معلوم شد که ۴۱۸۰۰۰۰۰۰۰ گرم کار برابر يك کالری گرماست.

همیشه میان جانداران و مواد بیجان فاصله‌ای بزرگ می‌پنداشت ، که من کتاب حاضر را با اشاره بدان آغاز کرده‌ام . قوانینی که محققان جهان تا قرن نوزدهم کشف کرده‌اند یا در مورد جانداران بوده یا دربارهٔ جهان بی‌جان و هرگز امری در مورد هر دو نبوده است . سیاره‌ها در مدارهای منظم و تغییر ناپذیر در حرکت بودند و موجودات زنده به‌خواست خود می‌جنبیدند . سنگ می‌افتاد و دود به‌هوا برمی‌خاست ، ولی آدمی به‌میل خود می‌توانست بیفتد یا بلند شود . از سوی دیگر آدمی و موش احساس ترس می‌کردند و در خشم می‌افتادند و حال آنکه آجر نه می‌ترسید و نه خشمگین می‌شد .

اکنون برای اولین بار این فکر عرضه شده بود که یکی از قوانین طبیعت یعنی قانون بقای انرژی ، هم در جانداران صادق است و هم در عالم بی‌جان . این قدمی قاطع در راه فهم ماهیت حیات بود و شاید نخستین قدمی بود که مطالعهٔ بافت زنده را از صورت توصیفی آن فراتر برده است .

اگرچه ظاهراً بحث در این مسئله ما را از موضوع اصلی کتاب ، بدانسان که در فصل اول اشاره کرده‌ام ، منحرف می‌سازد ولی در همانجا تأکید کرده‌ام که توجه به‌ماهیت کار و انرژی ما را بهتر از وقتی به‌تشخیص جاندار و بی‌جان راهنمایی خواهد کرد که فقط ادراک مستقیم از آنها داشته باشیم . در اینجا ظاهراً در جهتی پیش می‌رویم که نه فقط کمکی از این بابت به‌ما نمی‌شود بلکه به‌ابهام مسئلهٔ تشخیص افزوده می‌گردد .

اما مایوس نشوید ! هنوز مطالب دیگری ، غیر از بقای صرف ، مربوط به‌انرژی ، در قرن نوزدهم هست که سرانجام از آنها آگاهی خواهیم یافت .

فصل پنجم

جریان گرما

قبول مسئله بقای انرژی ، از جهتی در دید انسان نسبت به جهان ، تغییر اساسی داده بود ، ولی هنوز این تغییر کاملاً در طرز تفکر انسانی نفوذ نیافته بود. انسان در همه عصری باور می کرد که نیروی ایمان می تواند کره را به حرکت در آورد ، و عصای مادر تعمیدی مهربان یا چراغ علاءالدین می تواند در يك چشم به هم زدن قصری بر پا سازد ، و بر این قیاس .

همه این افسانه ها با طرح این سؤال از میان می روند : « انرژی لازم برای انجام دادن آنها از کجا می آید ؟ »

اگر در نتیجه یا فشاری روی این مطلب ، که همه چیز را باید بر اساس دخل و خرج انرژی در نظر بگیریم ، خط بطلان بر روی همه این رؤیاهای جالب بکشیم ، باید با اطمینان خاطر خود را محق بدانیم . ولی باید ببینیم که تا چه حد می توان به درستی قانون بقای انرژی اطمینان داشت و آیا امکان دارد که درستی آن را به ثبوت رسانیم ؟ دست کم تا حال حاضر کسی نتوانسته درستی این قانون را ثابت کند نیز هیچکس نتوانسته است بگوید که چرا انرژی خلق نمی شود و چرا از

بین نمی‌رود. تنها چیزی که می‌توانیم بگوییم این است که از زمان ژول تا کنون از میان این همه مشاهدات دشوار و آزمایش‌های استادانه، موردی پیدا نشده که نشان دهد انرژی خلق می‌شود یا از میان می‌رود.

تا وقتی که این قانون صحیح به نظر می‌رسد و تا وقتی که قبول درستی آن به طرق گوناگون بی‌نهایت مفید واقع شده است، دانشمندان آن را رها نخواهند کرد. درست است که نمی‌توانند آن را به ثبوت رسانند ولی مانند سایر امور در باره آن اطمینان دارند.

فقط یک بار پایه‌های قانون بقای انرژی بدلرزه در آمد و آن در سال ۱۸۹۶ و هنگامی بود که پدیده رادیو آکتیویته کشف گردید. از آن پس معلوم شد که عنصرهایی، مانند اورانیوم بدون آنکه منشأ ظاهری مولد انرژی داشته باشند دائماً انرژی تولید می‌کنند. مسئله در سال ۱۸۹۸ با کشف عنصرهای جدیدی چون پولونیوم و رادیوم که میلیونها بار بیش از اورانیوم انرژی تشعشع می‌کنند و همچنان منبع آن کشف نشده است، به اوج شدت رسید. ولی در سال ۱۹۰۵ فیزیکدان آلمانی‌الاصل، آلبرت اینشتاین نظریه‌ای در باره جهان منتشر ساخت که بسیار اساسی بود (و به نام تئوری مخصوص نسبیت معروف است) و با وارد ساختن مسئله جرم به فضا یا سر و صورت بخشید.

چنانکه می‌دانید، خود جرم نیز پدیده‌ای باقی به نظر می‌رسد. بقای جرم تا اواخر قرن هیجدهم شناخته نشده بود و هنگامی که کشف شد، مایه تعجب بسیار گردید. شمعی که می‌سوزد ناپدید می‌شود و جرمش نابود می‌گردد. آهنی که زنگ می‌زند به وزنش افزوده می‌شود پس جرمش ظاهراً اضافه می‌گردد. ولی واقع امر این است که در این مشاهدات، مسئله تبدیل جامد یا مایع به گاز، نیز

جذب گاز از هوا در مورد زنگ زدن آهن ، در نظر گرفته نشده است .
 در دهه سال ۱۷۷۰ شیمی دان فرانسوی آنتوان لورنت لاوازیه^۱ اندازه گیری کمی واکنشهای شیمیایی را به روشی منظم آغاز کرد و نتایجی که از آن به دست آورد ، یعنی اهمیت توزین و اندازه گیری ، را مورد قبول سایر شیمی دانان گردانید .
 (لاوازیه بدین سبب به نام پدر شیمی معروف گردید) لاوازیه واکنشهای احتراق و زنگ زدن را در ظروف سر بسته انجام داد و جرم مواد را پیش از واکنش و بعد از آن به دقت اندازه گرفت ، و به این نتیجه رسید که اگر جرم گازهایی که در واکنش تولید یا مصرف می شوند به حساب آیند ، جرم مواد به طور کلی در حین واکنش تغییر محسوس نمی کند .

با این جریان « قانون بقای جرم » به میدان آمد . بر طبق این قانون جرم تغییر شکل می دهد ولی نه خلق می شود و نه از بین می رود . به عبارت دیگر مقدار کل جرم عالم در حال حاضر همان است که از پیش بوده و از این پس نیز همان خواهد بود .

قانون بقای جرم و قانون بقای انرژی که ظاهراً بسیار به هم شباهت دارند ، در تمام مدت نیمه دوم قرن نوزدهم به صورت دو نتیجه کلی دو قولو : یعنی جدا از هم و بسیار شبیه به هم ، مورد توجه قرار گرفتند .

انشتاین در سال ۱۹۰۵ ، به وسیله استنتاج از چند اصل محدود نشان داد که جرم را باید صورتی از انرژی به حساب آورد . در این نظریه مقدار کمی از جرم برابر با مقدار زیادی از انرژی است . معادله معروف $e=mc^2$ انشتاین که در آن c انرژی و m جرم و c سرعت نور است ، تعبیری از نظریه فوق است . از روی این معادله معلوم می شود که یک گرم جرم معادل ۲۱۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ژول

انرژی است .

بنابراین ، پدیدهٔ رادیوآکتیو دیگر از صورت اسرارآمیز بیرون آمد . چون مقدار بسیار ناچیزی از جرم این مواد کم می‌شد ، با ابزارهای آن زمان نمی‌توانستند نقصان آن‌را تشخیص دهند (ابزارهایی که بتوانند کاهش وزن مواد رادیوآکتیو را تشخیص دهند از آن پس اختراع شدند و بررسی دقیق تئوریهای انشتاین را امکان پذیر ساختند .)

تولید انرژی بسیار زیاد که از طریق انفجار بمبهای هسته‌ای و رآکتورها صورت می‌گیرد نیز با کاهش جرم همراه است . مهمتر آنکه ، اکنون مسئله تولید انرژی بیحساب طی زمانهای متمادی به وسیلهٔ خورشید به خوبی توجیه شده است . هلمولتز به این موضوع علاقه‌مند بود و چنین عنوان کرده بود که خورشید در حال انقباض بطنی^۱ است و انرژی پتانسیل خود را به صورت گرما و نور تبدیل می‌کند . البته این گفته منطقی می‌نمود ولی متضمن بعضی نتایج غیر قابل قبول در باره تاریخ گذشته منظومهٔ شمسی نیز بود که علمای هیئت را قانع نمی‌کرد .

ولی هنگامی که معلوم شد ئیدروژن خورشید همراه کاهش وزن ، به هلیوم تبدیل می‌شود و حاصلش آزاد شدن مقادیر بینهایت زیاد انرژی است ، وجود تشعشعات خورشید (وعموم ستارگان) با قانون بقای انرژی قابل توجیه گردید . عموماً هر وقت از «انرژی» سخن به میان می‌آوریم ، اشاره‌ای ضمنی به «جرم» نیز هست . برای آنکه مسئله به وضوح بیان گردد ، غالباً از آن به نام « قانون بقای جرم - انرژی » یاد می‌کنیم .

بدین طریق رادیوآکتیویته که زمانی متزلزل کنندهٔ بنیان بقای انرژی به نظر می‌رسید ، سرانجام آن‌را استوارتر و عالی‌تر از همه وقت به کرسی نشاند . پیش از آنکه فیزیکدانان بر اساس نتایج آزمایشهای خود به قبول این

اصل تن در دهند ، کسانی که سروکار عملی با آن داشتند ، در نتیجه ادراك مستقیم آن را پذیرفته بودند . پیش از آن یعنی در سال ۱۷۷۵ آکادمی علوم پاریس از قبول این که ، اسبابی بتواند بیش از انرژی مصرف شده خود ، انرژی آزاد کند ، سر باز زده بود . اگر اختراع چنین اسبابی امکان داشت ، بر اساس خلق انرژی ، می توانست به طور نامحدود همچنان به کار ادامه دهد . بنابراین اسبابی می شد که « حرکت دایم » تولید می کرد . اداره ثبت اختراعات ایالات متحده امروزه هیچ گونه اختراع مربوط به حرکت دایم را مورد رسیدگی قرار نمی دهد زیرا برای ثبت چنین اختراعی ، مخترع باید مدلی ارائه دهد که کار کند - و این کاری است که هرگز با موفقیت انجام نشده است .

بنابراین اگر بنا بر پیش گویی قانون بقای انرژی ، به دست آوردن کاری بیشتر از انرژی که به اسبابی داده می شود ، غیر ممکن است ، پس اگر امیدوار باشیم که حداقل به اندازه انرژی که در اسبابی وارد می سازیم از آن کار به دست آوریم غیر منطقی به نظر نخواهد رسید . اگر نتوانند از این کار بهره ببرند چرا افلاً سربه سر نباشد ؟

این امکان ، محرك طبیعی تحقیقات تئوریک کار ماشین بخار در اوایل قرن نوزدهم بود . (مردم عموماً ارزش بسیار کمی برای پیشرفتهای تئوریک فائلد و حال آنکه تئوری ، مأخذ تفکر موفقیت آمیز مخترع است . خود وات چنانکه در فصل پیش اشاره کردم در تکمیل ماشین بخار ، از مطالعات بلاک در باره گرمای نهانی الهام گرفته بود . با وجود این باید دید که چند نفر پس از آشنا شدن با اختراع وات متوجه شدند که پی ریزی تئوری بلاک ، اختراع وی را ممکن ساخته است ؟) حتی بهترین ماشینهای وات ، اگر چه مفید و مورد پسند بودند ولی بازدهی بیش از ۵ درصد نداشتند . به عبارت دیگر کاری که از ماشین حاصل می شد بیش

از ۵ درصد انرژی حرارتی که به ماشین داده می‌شد نبود. بدون آنکه قانون بقای انرژی نقض شود، امکان تکمیل ماشین بسیار بود. حتی با در نظر گرفتن کاهشهای غیر قابل اجتنابی چون اصطکاک و هدایت گرما، دلیلی دیده نمی‌شد که نتوانند بازده را به حدود ۱۰۰ درصد برسانند.

خلاصه آنکه جریان امر بدین صورت ادامه داشت تا آنکه فیزیکدان فرانسوی نیکولا لئونارد سادی کارنو^۱ مطالعاتش را درباره «جریان گرما» و رابطه‌اش با کار آغاز کرد و علم ترمودینامیک^۲ را بنیان‌گذاری کرد.

با پیشرفت قرن نوزدهم، اهمیت این علم به قدری زیاد شد که پس از تثبیت وضع قانون بقای انرژی، به مسئله تبدیل انرژی و کار به یکدیگر نام «نخستین قانون ترمودینامیک» نیز دادند. گاهی نیز آن را مختصراً «نخستین قانون» می‌نامند. کارنو که بنیان‌گذار علم ترمودینامیک بود، وقت کمی برای پرداختن آن داشت زیرا در ۳۶ سالگی بر اثر ابتلای به بیماری وبا در پاریس از این جهان رفت. با همه این احوال از وقت کمی که داشت استفاده فراوان برد. به طوری که در سال ۱۸۲۴ (هنگامی که ۲۸ ساله بود) کتاب کوچکی به نام «اندیشه‌هایی در باره قدرت محرکه آتش»^۳ انتشار داد و در آن تحقیقات و استدلال خود را در باره حدود تبدیل گرما به کار تشریح کرد.

کارنو نشان داد که حتی در بهترین شرایط، یعنی با حذف اصطکاک و جلوگیری از هدر رفتن انرژی، فقط بخشی از انرژی حرارتی می‌تواند به کار تبدیل شود، «نه بیشتر» و این بخش به تفاوت میان دمای بخار و دمای آب متراکم شده (با به کار بردن مقیاس دمای حاصل از قانون شارل) بستگی دارد. اگر دمای اول را

۱- Nicolas Leonard Sadi Carnot
 ۲- Thermodynamics مشتق از کلمات یونانی
 ۳- «حرکت گرما» Reflections on the Motive Power of Fire

T_2 و دمای دوم را T_1 فرض کنیم، بخشی از گرما که، به حد اکثر، می تواند به کار تبدیل شود عبارت خواهد بود از:

$$\frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

بخشی از گرمای تبدیل شده - یا بازده - بستگی به این ندارد که چه ماده ای گرم شده و سردگشته است. ممکن است آب، گیوه یا چیز دیگری باشد. چیزی که به حساب می آید فقط دماهاست. روی این اصل معادله کارنو در باره هر ماشین گرمایی «صادق است و فقط به ماشین بخار محدود نیست.

به عنوان مثال فرض کنیم که بخاری که در ماشین وات به کار می رود دمای 100°C یا 373°K داشته باشد و دمای آبی که این بخار بدان تبدیل می شود 5°C یا 278°K باشد. معادله کارنو چنین خواهد شد:

$$\frac{373 - 278}{373} = 0.25$$

پس فقط یک چهارم گرمایی که به ماشین داده شده است می تواند به کار تبدیل شود اگر چه کار ماشین صورت کمال مطلوب داشته باشد. به منظور بالا بردن بازده ممکن است بخاری به کار برده شود که گرمای زیاد تولید کند تا T_2 زیادتر شود یا آنکه مایعی به کار برده شود که نقطه جوش زیادتر و نقطه ذوب کم تر از آب داشته باشد، مثلاً گیوه. هر دو نیرنگ به کار رفت ولی حتی در ماشینهای بخار جدید بازده از ۰/۲۵ تجاوز نکرد.



معادله کارنو نه تنها راهی برای افزایش بازده ماشین نشان داد بلکه نتیجه کلی بسیار مهمی نیز به بار آورد. اگر معادله کارنو درست باشد، پس باید در ماشینهایی که دو مخزن گرم و سردش یک دما داشته باشند کاری تولید نشود. در این

حالت T_2 برابر T_1 خواهد شد و می‌تواند جای آن را بگیرد بنا بر این معادله کارنو چنین خواهد شد :

$$\frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{0}{T_2} = 0$$

من باب مثال ، فرض کنید که در آب اقیانوس انرژی هست ، حتی موقعی که به درجهٔ یخ سرد باشد . اگر در این موقع آب اقیانوس یخ بزند ، هر گرم آب ۸۰ کالری گرما از دست خواهد داد (چنانکه بلاک هنگام محاسبه گرمای نهان نشان داده است) . چرا يك كشتی بخار این گرما را استخراج نمی‌کند و برای به حرکت در آوردن موتورش به کار نمی‌برد؟ البته مقداری از آب اقیانوس که در اطراف کشتی هست سرد خواهد شد و یخ خواهد زد ، ولی حجم آب اقیانوس و گرمایی که در بردارد به قدری زیاد است که پورسانت کاهش گرمای لازم برای به کار انداختن همه کشتیهای بخار جهان (نیز همهٔ دستگاههای جهان) بی نهایت کم خواهد بود - و با گرمایی که خورشید تولید می‌کند می‌تواند جبران شود . این امکان شکفت انگیز معارض قانون اول ترمودینامیک نیست ، زیرا انرژی خلق نشده است بلکه يك صورت انرژی (گرمای موجود در اقیانوس) فقط به صورت دیگر (انرژی سینتیک گرداننده پروانه کشتی) تبدیل شده است و تبدیل انرژی از صورتی به صورت دیگر چیزی نیست که با قانون اول ترمودینامیک معارض باشد .

با وجود این چنین طرحی هرگز صورت عمل به خود نگرفته ، زیرا راهی برای استفاده از انرژی ماده‌ای که هم‌اکنون در يك دما باشد نیندیشیده‌اند . به عبارت دیگر معادلهٔ کارنو چیزی است که با تجارب عمومی آدمی در همهٔ شرایط جور درمی‌آید . برای آنکه بتوان گرما را به کار تبدیل کرد ، باید تفاوت دمایی در

جایی از دستگاه وجود داشته باشد .

لرد کلون آن را به صورت زیر بیان کرده است : « تبدیلی که نتیجه غایبی آن ، تبدیل گرمای حاصل از یک منبع دارای دمای یکسان ، به کار باشد غیر ممکن است . »
این یکی از راههای بیان « قانون دوم ترمودینامیک » است - غالباً آن را « قانون دوم » هم می گویند .

قانون دوم نیز - پس از آنکه بیان شد - مانند قانون اول اجتناب ناپذیر به نظر رسید . بدبختانه ما با این مسئله مواجه می شویم که انرژی از هیچ خلق شدنی نیست (قانون اول) ولی اگر انرژی در جایی موجود هست چرا نتوانیم از آن استفاده کنیم (قانون دوم) ؟ و اگر نمی توانیم از آن بهره ببریم چرا دست کم ، سربه سر نباشد ؟

ما عموماً انرژی حرکت را در نظر می گیریم زیرا در زندگی روزمره همواره با آن سروکار داریم . بنابراین اگر قانون دوم را درباره سقوط اجسام مطالعه کنیم شاید به نظر منطقی تر بیاید .

جسمی که آزادانه سقوط می کند ، وقتی که به زمین می خورد می تواند کار انجام دهد . کاری که انجام می شود ممکن است کشتن کسی باشد ، یا شکستن گردویی یا حفر سوراخی ولی به هر حال کاری انجام می شود . وقتی که جسم به زمین رسید و آرام گرفت ، تا وقتی که در آنجا هست کار دیگری انجام نخواهد داد . کاری که انجام داد به خاطر این بود که از یک سطح دارای انرژی پتانسیل زیاد (مثلاً لب پرتگاهی به عمق یک کیلومتر) به نقطه ای دارای انرژی پتانسیل کم (در ته دره) رسیده است .

ولی جسم در روی زمین هم انرژی دارد زیرا اگر چاهی به عمق یک کیلو متر مجاور آن کنده شود و آن را در آن چاه بیندازند باز هم قادر است که کار انجام

دهد و این کار برابر کاری است که هنگام افتادن به ته دره انجام داده است. علت آن این است که يك اختلاف انرژی پتانسیل جدید ایجاد شده است. در باره گرما نیز جریان امر بدین صورت است. گرمای اقیانوس بدون وجود يك مخزن آب گرمتر یا سردتر نمی تواند به کار تبدیل شود. مختصر آنکه، به همان گونه که سنگ فقط در حال سقوط (نه هرسنگی) کار انجام می دهد، فقط جریان گرما (نه گرمای محض) قدرت انجام کار دارد.



از این گذشته جسمی که ساقط می شود، فقط در يك جهت سقوط می کند. از بالا به پایین. اگر ممکن بود که جسمی بتواند در دو جهت مخالف بیفتد تا می توانست دایما کار انجام می داد، زیرا ابتدا به ته دره می افتاد سپس به بالا می افتاد، بار دیگر به پایین سقوط می کرد و به بالا می رفت و بر این قیاس. ولی واقع امر آن است که جسم فقط می تواند از يك وضع دارای انرژی پتانسیل زیاد به وضع دارای انرژی پتانسیل کم بیفتد.

وضعی که بیان شد در مورد همه صورتهای انرژی به خصوص در مورد گرما صادق است. فیزیکدان آلمانی رودولف یولیوس امانوئل کلوژیوس^۱ مسئله فوق را چنین بیان کرده است:

«در هر فرایند خود به خود (که بدون دخالت عامل خارجی به کار آغاز می کند) گرما همیشه از جسم گرمتر به جسم سردتر انتقال می یابد و انتقال هرگز در جهت عکس صورت پذیر نیست».

همه ما به این موضوع وقوف کامل داریم و بر ما مسلم است که وقتی يك کتری پر آب را روی اجاقی قرار دهیم خواهد جوشید، و آب گرم یخ را ذوب

می‌کند. پس طبیعی است که گرما از جسم گرم‌تر به جسم سردتر انتقال می‌یابد نه در جهت عکس.

معادلهٔ کارنو به طور ضمنی چنین چیزی را پذیرفته است زیرا اگر گرما فقط از گرم‌تر به سردتر جریان نیابد، لازم می‌آید که از بخشی از منبع آب دارای دمای یکسان به بخش دیگر آن جریان یابد و بدین روش کار انجام شود. بنابراین گفتهٔ کلوژیوس راه دیگری برای بیان قانون کارنو-کلوین است که می‌گوید «غیر ممکن است از یک دستگاه دارای دمای یکسان کار حاصل شود» نیز طریق دیگری برای بیان قانون دوم ترمودینامیک است.

کلوژیوس نه تنها این موضوع را در مورد جریان گرما (که همه بدان واقفیم و نیازی بدان نیست که دانشمندان برای ما بازگو کنند) بیان داشته بلکه آن را به صورت نتیجهٔ کلی بسیار وسیعی نیز شناخته که در همهٔ فرایندهای انرژی دار، و در همهٔ اوضاع و احوال و در همه جای جهان تعمیم دارد. روی این اصل است که کلوژیوس را کاشف قانون دوم به حساب می‌آورند.

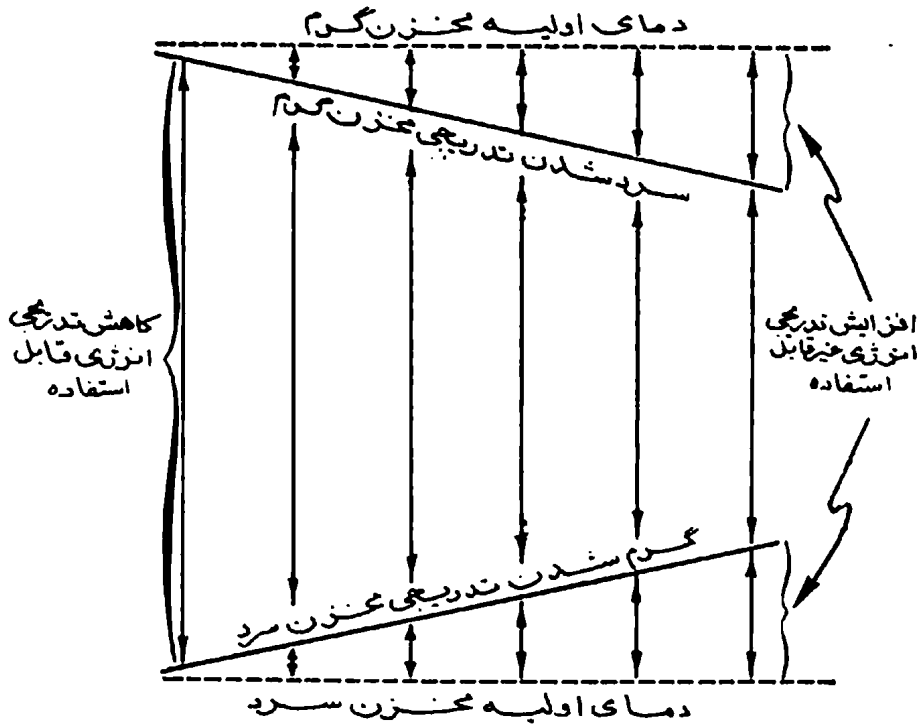
از آنچه گذشت نکتهٔ مهم دیگری نتیجه می‌شود. هر ماشین حرارتی، مدتی وقت می‌خواهد تا گرما را به کار تبدیل کند. هیچ ماشینی نیست که آن‌ا بتواند کار انجام دهد. در جریان کار کردن ماشین، گرما از مخزن گرم به محیط (که عموماً از مخزن سردتر است) جریان می‌یابد، نه در جهت عکس. از این گذشته گرما از محیط به داخل مخزن سرد (که عموماً از محیط سردتر است) جریان می‌یابد، نه در جهت عکس. بنابراین مخزن گرم سردتر می‌شود و مخزن سرد گرم‌تر. پس تفاوت دما با گذشت زمان کمتر می‌شود، و ظاهراً انرژی کمتری، از موقع آغاز که تفاوت دمای

دو مخزن گرم و سرد زیاد بود، به کار تبدیل خواهد شد^۱.
 ممکن است ماشینی حرارتی چنان فرض کنیم که در آن هر دو مخزن سرد و گرم دمایی بیش از محیط داشته باشند، در این صورت مخزن گرم زودتر از مخزن سرد خنک می‌شود. و اگر هر دو مخزن سردتر از محیط باشند، مخزن گرم دیرتر از مخزن سرد گرم می‌شود. و در هر دو حال تفاوت دما کاهش می‌یابد. هر دستگاهی که به تبدیل نوعی انرژی به کار اختصاص یافته باشد، با گذشت زمان، تفاوت انرژی در آن افزایش می‌یابد، نیز مقداری از کاری که می‌بایستی انجام شود، به خاطر غلبه بر اصطکاک یا سایر مقاومتهایی که بر سر راه جریان انرژی هست، انجام نمی‌پذیرد.

کلوزیوس در سال ۱۸۶۵ مقداری ابداع کرد که شامل هدر رفتن اجتناب‌ناپذیر انرژی و دمای مطلق نیز هست. و آن را انرژی^۲ دستگاه نامید.
 اگر ماشینی حرارتی کامل با چنان خصوصیتی به تصور آوریم که نه گرما از محیط بگیرد و نه گرما به محیط بدهد، اصطکاک هم نداشته باشد، در این صورت همه کاری که در نتیجه تفاوت دما باید انجام گیرد، عیناً صورت می‌پذیرد و «انرژی کم شده» ای در میان نخواهد بود. ولی حقیقت آن است که در هر فرآیند واقعی هم اصطکاک هست و هم جریان گرما به محیط و از آن به دستگاه، و به طور کلی «انرژی گمشده» نیز هست و مقدار آن با گذشت زمان افزایش می‌یابد. (تصویر ۴) با استفاده از اصطلاح کلوزیوس می‌توان چنین خلاصه کرد: «در هر فرآیند

۱- حقیقت آن است که مخزن گرم سردتر و مخزن سرد گرمتر نمی‌شود زیرا از طرفی آتشی که در آنجا هست بخار را گرم می‌کند و از طرف دیگر آب سرد مخزن سرد را خنک می‌کند، ولی مقداری از گرمای آتش به کار تبدیل نمی‌شود زیرا برای انبساط گاز و حفظ دمایش لازم است. نیز مقداری از فقدان گرما در آب سرد به خاطر حفظ دمای مخزن سردکننده است. به طوری که دیده می‌شود همه کاری که با در نظر گرفتن دمای فقط طبق معادله کارنو، انتظار می‌رفت، حاصل نمی‌شود.

خود به خود یا آنتروپی بی تغییر باقی می ماند (ایده آل) یا افزایش می یابد (واقعی)». اگر از صورت ایده آل مسئله صرف نظر کنیم، می توانیم چنین مسلم فرض کنیم که در جهان واقعی اطراف ما، آنتروپی همیشه افزایش می یابد.



تصویر ۴. رابطه میان دما - انرژی - آنتروپی

از آنجا که این امر نتیجه اجتناب ناپذیر یکطرفه بودن جریان گرماست، پس راه دیگری برای بیان دومین قانون ترمودینامیک است.



با قبول قوانین ترمودینامیک، نباید از نظر دور بداریم که این قوانین فقط در دستگاههای بسته قابل اجرا هستند، به عبارت دیگر فقط در بخشهایی از جهان صورت پذیرند که به هیچ طریقی تحت تأثیر بخشهای دیگر قرار ندارند و در آنها تأثیر نمی کنند. اگر چنانچه دستگاه ما باز باشد، قوانین ترمودینامیک مادی

به نظر نمی‌رسند .

مثلاً فرض کنید که کتری پر آبی را مورد دقت قرار داده‌اید ، و می‌بینید که مقدار انرژی آن به طور دایم زیاد می‌شود تا آنکه آب را به جوش می‌آورد ، سپس آنقدر می‌جوشد تا همه انرژی از میان می‌رود . اگر شما تنها کتری پر از آب را ، جدا از سایر چیزها ، در نظر بگیرید ، خواهید دید که انرژی خلق شده است و این معارض قانون اول است . پس قانون اول را نخواهید پذیرفت . ولی با اطمینان خاطر ، و بدون آنکه نگاه کنید ، می‌دانید که آتشی زیر کتری هست . پس وقتی که آن را جزء دستگاه به حساب آورید ، خواهید دید که مسئله خلق انرژی در میان نیست و معارضه‌ای با قانون اول ندارد .

به عنوان مثال دستگاه بازی که با قانون دوم معارض است ، فرض کنید که جسمی بتواند از سطح زمین به بالای ساختمان بلندی برود و گرما بتواند از نقطه سرد به نقطه گرم جریان یابد . وقتی که پیوسته شاهد وقوع چنین چیزی باشید ، و چنانچه توجه خود را به جسم متحرك یا به جریان گرما متمرکز سازید ، نتیجه خواهید گرفت که قانون دوم صادق نیست .

اما اگر چیزهای دیگری نیز در این دستگاه وجود داشته باشند . مثلاً آسانسوری که با موتور مجهز است جسم را به بالای ساختمان رسانده باشد ، نیز جریان گرما به وسیله موتور از بخش سرد داخلی يك یخچال برقی به بخش گرم خارجی آن جریان یافته باشد ، در این دو حالت اگر موتور را جزء دستگاه به حساب آورید و جریان انرژی داخلی را در نظر بگیرید ، خواهید دید که جریان انرژی در جهت طبیعی ، چنانکه از جسم متحرك و جریان گرما معلوم شده است ، بیشتر از سیر آن در جهت غیر طبیعی است .

به عبارت دیگر کاهش آنتروپی يك بخش دستگاه (که همراه جریانی از

انرژی در جهت مخالف جهتی است که قانون دوم معین کرده است (بیش از افزایش آنتروپی در بخش دیگر دستگاہ است . اگر همه دستگاہ را به طور کامل در نظر بگیریم تغییر همیشه در جهت افزایش آنتروپی خواهد بود .

واقع امر این است که اگر از تعبیرهای تخیلی فیزیکی تئوری بگذریم و با واقعیت سروکار پیدا کنیم ، تصور دستگاہ کاملاً بسته دشواری گردد . محیط خارج همواره تأثیر دارد و باید در نظر گرفته شود .

مثلاً اگر بدن انسان را به عنوان یک دستگاہ بسته به حال خود رها سازیم ، در ظرف چند دقیقه خواهد مرد (زیرا هوارا باید جزئی از محیط خارج به حساب آورد) . از زندگی به مرگ را می توانیم جهت طبیعی تغییر در افزایش آنتروپی به حساب آوریم . تنها علت اینکه نمی میریم و گاهی تا یک قرن یا بیشتر زندگی می کنیم این است که بدن ما دستگاہ بسته ای نیست بلکه بخشی از دستگاہ بزرگتری است که هوا و غذای مورد نیاز ما نیز جزء آن است . با در نظر گرفتن روابط متقابل میان همه جانداران و همه مواد بیجان سیاره ما که جایگاه زندگی ما را تشکیل می دهد ، فرض این که همه زمین بتواند دستگاہ بسته ای باشد ، خود واقعی است .

اما همه زمین هم به تنهایی کافی نیست زیرا اگر زمین را دستگاہ بسته ای به حساب آوریم ، حیات مدت زیادی در روی آن باقی نخواهد ماند و سطح زمین سرد خواهد شد و اقیانوسها یخ خواهند زد و بر این قیاس . این نیز تغییری طبیعی است که افزایش آنتروپی را به دنبال خواهد داشت . پس اگر دیده می شود که چنین امری رخ نمی دهد ، به این علت است که زمین بخشی از یک دستگاہ بزرگتر است که خورشید در آن هست و گرمای آن است که زمین را از یخ زدن مصون می دارد . منظومه شمسی نیز دستگاہ بسته واقعی نیست زیرا تحت تأثیر نیروهای

جاذبه و عوامل دیگر بقیه کیهان قرار دارد. چون هر بخشی از جهان تأثیری روی بخش دیگر دارد، پس منطقی است اگر فرض کنیم که، جز جهان به شرطی که یکجا در نظر گرفته شود، دستگاه، بسته واقعی وجود ندارد. بنابراین تنها در کل جهان انرژی می‌تواند مدام افزایش یابد. و حال آنکه در هر بخش کوچکتر آن، انرژی باید موقتاً در آن محل به خرج افزایش روزافزون بقیه جهان، کاهش یابد.

آشکار است که اگر مقدار انرژی عالم محدود باشد و انرژی به افزایش خود ادامه دهد، سرانجام به حداکثری خواهد رسید که طی آن تفاوت دما دیگر وجود نخواهد داشت. همه انرژی‌هایی فایده خواهند شد و هیچ فرآیندی خود به خود به وقوع نخواهد پیوست، و هیچ تغییری صورت نخواهد گرفت. این تجسمی از «پایان پذیرفتن گرمای جهان» است و نظری است که در اواخر قرن نوزدهم بسیار شایع بوده است.



اکنون وقت آن است که به عقب بازگردیم و ببینیم که آیا می‌توانیم تفاوت میان جاندار و بیجان را، بر اساس ترمودینامیک معین کنیم. در فصل اول گفته بودم که جاندار «کوشش می‌کند» و بیجان «کوشش نمی‌کند».

اکنون به این نکته توجه دارید که «کوشش کردن» با کاهش انرژی محل ملازمه دارد. اگر سنگی را در وسط هوا به دست بگیرید برای به حرکت درآوردن آن به سوی زمین کوششی به عمل نمی‌آورید بلکه فقط آن را رها می‌سازید و سنگ می‌افتد. ولی حرکت دادن سنگ در جهت بالا محتاج کوشش کردن است.

اگر سنگ به حال خود رها شود فقط به سمت پایین، یعنی در جهت «بی کوششی» حرکت خواهد کرد، و نخواهد توانست «کوشش کند» و به بالا رود.

اگر بر اساس ترمودینامیک سخن بگوییم ، سنگی که رهامی شود انرژی را زیاد می‌کند ولی نمی‌تواند کاهش دهد .

ولی موجود زنده «کوشش می‌کند» که انرژی را در بخشی از دستگاهی که خود جزئی از آن است تقلیل دهد . (آشکار است که به‌خرج افزایش یافتن انرژی بقیه دستگاه) حتی ساده‌ترین جاندار جنبنده در نتیجهٔ پدید آمدن و بالا رفتن و راه رفتن و خزیدن یا شنا کردن در جهت بالا ، موجب کاهش انرژی در محل خود می‌شود . موجودات ثابتی چون صدف یا درخت بلوط ، به‌روشهای دیگری جز حرکات بدنی ، انرژی محل خود را کاهش می‌دهند .

آیا اگر بگوییم که تفاوت جاندار و بیجان در این است که جاندار انرژی موضعی را کاهش می‌دهد ولی بیجان قادر به چنین کاری نیست به‌حق قضاوت کرده‌ایم؟ محققاً به‌راه درستی رفته‌ایم ولی بدبختانه این تفاوت کافی نیست . گرمای خورشید نیز وقتی که موجب تبخیر آب اقیانوس می‌شود و توده‌های عظیم بخار آب را به‌هوا می‌فرستد ، انرژی محل اثر خود را کاهش می‌دهد . نیروهای داخلی زمین کوههای عظیم سنگی را کیلومترها از سطح زمین بلند می‌کنند ، پس کاهش فراوانی در انرژی می‌دهند ، و حال آنکه بنا بر تعریفهای امروزی نه‌خورشید جاندار است نه‌زمین .

پس باید در بارهٔ تفاوت میان جاندار و بیجان بیشتر مطالعه کنیم . بنابراین باید به‌مطالعهٔ خود ادامه بدهیم .

فصل ششم

ذرات جنبنده

در زمان ژول وکلون و میر و هلمولتز و کلوزیوس ، و اعلام دو قانون بزرگ ترمودینامیک ، هنوز اطلاع درستی از ماهیت واقعی گرمانداشتند ، نیز دانشمندانی که در باره گرما مطالعه می کردند به توافق نرسیده بودند .

مفهوم جمله فوق این نیست که قوانین ترمودینامیک بی ارزش است ، زیرا این قوانین بر مشاهده استوار بودند و به ماهیت گرما بستگی نداشتند ، بلکه مفهوم آن این است که به کار بردن قوانین ترمودینامیک در اسبابهای مولد انرژی ، جز ماشینهای حرارتی ، یعنی در اسبابهایی که گرما در آنها جریان نداشت ، دشوار بود . مثلاً بدن انسان (که موضوع اصلی این کتاب است) محققاً کار می کند ، و در عین حال دمایش در همه جای آن یکسان است (37°C) . آیا این موضوع معارض با قانون دوم نیست ؟ شك نیست که می توانیم مطمئن باشیم که با قانون دوم معارض نیست ، ولی برای آنکه بفهمیم چرا چنین نیست ناگزیر باید از نظریه های جدید مربوط به گرما و از ماهیت خود ماده آگاهی حاصل کنیم . گرچه این نظریه ها در حدود سال ۱۸۰۰ پیش کشیده شدند ولی تا سال ۱۸۶۰ کاملاً مورد

قبول محافل علمی قرار نگرفتند .

گالیله و نیوتون ، مانند سایرین ، گرما را حرکت ذرات کوچک ماده می‌پنداشتند . شاید آنها ناگزیر بودند چنین بیندازند ، زیرا تحقیقات مهم آنها در باره انرژی حرکت بود و چون گرما را نوعی حرکت تصور می‌کردند ، آن را در زمره نتیجه کلی خود در آوردند .

ولی طی قرن هجدهم رفته رفته این نظر عمومیت پیدا کرد که گرماسیالی « بی وزن » است . نخستین کسی که این نظریه را عنوان کرد پزشک هلندی هرمان برهاو^۱ در سال ۱۷۰۰ بود . بهر حال دلیلی وجود نداشت که گرما را متضمن حرکت یا ارتعاش بدانند یا تصور کنند که اجسام گرم ارتعاش یا حرکتی سریعتر از اجسام سرد دارند ، زیرا چنین حرکت یا ارتعاشی دیده نشده بود . ذکر اینکه ذرات ماده که از کثرت خردی دیدنی نیستند چنان کند یا سریع حرکت می‌کنند که قابل رؤیت نیستند ، مسئله‌ای پوشیده بود و برای محققان « عصر خرد » (Age of Reason) غیر قابل لمس بود .

در سال ۱۷۳۸ یک استاد ریاضی سنت پترزبورگ در روسیه به نام دانیل برنولی^۲ مدلل ساخت که اگر گازها مرکب از ذرات کوچک باشند ، حرکت آنها مسبب فشار گاز خواهد بود . از این گذشته اگر سرعت حرکت با افزایش دما زیاد شود ، تغییر حجم و فشار گاز تحت تغییرات دما ، درست به صورتی که آزمایش نشان می‌دهد خواهد شد . این اظهار دانیل برنولی در آن عصر ، به عنوان اینکه تصویری واهی است مورد توجه قرار نگرفت . غالب دانشمندان بهتر آن می‌دیدند که به تئوری سیال بی وزن روی آورند ، زیرا در آن زمان سیالهایی از این قبیل شناخته بودند . (یاگمان می‌کردند که می‌شناسند) .

مثلاً نور و الکتريستد و مغناطيس از اين قبيل بودند . نيز چيزی به نام فلوژیستون^۱ می پنداشتند که هنگام سوختن یا زنگ زدن چيزی از آن به هوا وارد می شود . بنا بر اين دليلی نداشت که گرما یکی از اين قبيل چيزها نباشد ! سرانجام گرما را بدین صورت پذیرفتند و سیال حرارتی را کالوريك^۲ نامیدند .

در قرن هجدهم ، دست کم یکی از اين « بی وزنها » به دست تقدیر سپرده شد و آن هنگامی بود که در دهه سال ۱۷۷۰ لاوازیه فرض فلوژیستون را واژگون ساخت و چيزی عنوان کرد که امروزه آن را عامل حقیقی احتراق و زنگ زدن می شناسیم . آن عامل ، کاهش فلوژیستون نبود بلکه ترکیب ماده با اکسیژن هوا بود . ولی خود لاوازیه کالوريك را پذیرفت و با قبول آن به اعتبار خود ، که بزرگترین شیمی دان عصر بود ، لطمه وارد ساخت . قبول کالوريك از طرف لاوازیه سبب شد که اين نظریه ، نیم قرن دیگر ، در برابر قرائن مخالف روزافزون باقی بماند .

نخستین آزمایشهایی که با شدتی هر چه تمامتر بر علیه نظریه « سیال بی - وزن » لاوازیه و بر له نظریه « نوعی حرکت بودن گرما » گواهی می داد به وسیله امریکایی تبعید شده ای به نام بنیامین تامپسن^۳ انجام گرفت . تامپسن محافظه کاری افراطی بود که طی جنگ انقلاب امریکا ، از آن سرزمین فرار کرده بود . وی در سال ۱۷۹۱ از طرف الکتورباواریا^۴ صاحب عنوانی شد و جالب اینجاست که به مدت کوتاهی با بیوه لاوازیه ازدواج کرد . تامپسن با عنوان کنت رومفورد^۵ در تاریخ معروف است .

در سال ۱۷۹۸ کنت رومفورد ، ناظر سوراخ کردن لوله تویی بود که برای

۱ - Phlogiston ۲ - Caloric مشتق از کلمه لاتین « گرما » ۳ - Benjamin Thompson
۴ - Elector of Bavaria ۵ - Count Rumford

الکتور تهیه می‌شد. وی مشاهده کرد که با پیشروی سوراخ کن به درون استوانه فلزی، به منظور تهیه سوراخ داخلی نوپ، مقدار زیادی گرما به وجود می‌آید. برای آنکه گرما مزاحم حفر سوراخ نباشد سوراخ را پر از آب می‌ساختند و هر وقت که به جوش می‌آمد آن را عوض می‌کردند.

معتقدان تئوری کالوریک می‌دانستند که از این نوع اصطکاک گرما تولید می‌شود ولی آن گرما را موجود در فلز می‌پنداشتند و گمان می‌کردند که با حفر سوراخ در فلز، کالوریک محتوی در آن آزاد می‌شود. ابتدا گمان می‌کردند که کالوریک موجود در فلز بی‌حساب است زیرا هر چه آن را حفر می‌کردند گرما آزاد می‌شد، ولی وقتی که سوراخ کن کند می‌شد به طوری که دیگر فلز را سوراخ نمی‌کرد، باز هم گرما به وجود می‌آمد و گرمای حاصل بیشتر هم بود.

چیزی که به نظر کنت نامپن معقول آمد این بود که عمل سوراخ کردن تولید حرارت می‌کند، و کاری که انجام می‌شود به گرما تبدیل می‌گردد. (حتی، نیم قرن زودتر از ژول، معادل مکانیکی گرما را پیدا کرد، ولی مقدار آن بسیار زیاد بود). پس به این نتیجه رسید که کار و گرما کاملاً وابسته به هم هستند و چون کاری که انجام می‌شد حرکت مکانیکی به همراه داشت، پس خود گرما هم بایستی صورتی از حرکت بوده باشد.

آزمایش مشابهی سال بعد یعنی در ۱۷۹۹ به وسیله شیمی‌دان انگلیسی همفری دیوی صورت گرفت. وی دو قطعه ینخ را به وسیله‌ای مکانیکی، در دمای کمتر از دمای انجماد آب، به یکدیگر مالش داد. در این دما بر اساس تئوری قدیمی، کالوریک کافی در ینخ وجود نداشت تا موجب ذوب آن شود و مالش دادن دو ینخ به هم به وسیله سازوکاری که خود در دمای زیر صفر بود، بایستی کافی برای

بالا بردن مقدار کالوریک موجود باشد، و حال آنکه مقداری ینخ در نتیجه مالش دادن، آب می‌شد. دیوی مانند کنت رومفورد به این نتیجه رسید که انرژی حرکت به گرما تبدیل شده است و گرما صورتی از حرکت است. با وجود این، تئوری کالوریک دهها سال همچنان دوام پیدا کرد.

آنچه این تئوری را از میان برد مطالعه خود گرما نبود بلکه مطالعه‌ای بود که در ماده صورت گرفته بود. قرن هفدهم و هیجدهم شاهد جمع شدن تدریجی اطلاعات مربوط به خواص گازها بود. چنانکه قبلاً اشاره کردم قوانین بویل و شارل در فصل چهارم از این قبیل بودند. این قوانین و سایر اطلاعاتی که در این باره به دست آمده بودند، از چیزی حکایت می‌کردند که برنولی در باره ساختمان گازها تفسیر کرده، ولی نتوانسته بود با موفقیت آن را به انجام رساند.

در سال ۱۸۰۳ شیمی‌دان انگلیسی، جان دالتون^۱ قدمی فراتر نهاد. وی اعلام داشت که نه تنها گازها بلکه همه مواد از ذرات کوچک ساخته شده‌اند و این ذرات کوچکتر از آنند که دیده شوند، نیز غیر قابل تقسیم و تخریب هستند. وی این ذرات را اتم^۲ نامید. این کلمه در فلسفه یونانی نیز به کار رفته بود، زیرا بعضی از یونانیها چنین نظریه‌ای ابراز داشته بودند. ولی فقط به عنوان نظریه‌ای در یونان قدیم اظهار شده و مورد قبول واقع نگردیده بود. ولی جان دالتون آن را بر اساس مشاهدات آزمایشی استوار ساخت و این يك تفاوت بزرگ نظریه دالتون با نظریه اظهار شده در یونان قدیم بود.

تئوری اتمی دالتون نیز در جهان شیمی طوفان برپا ساخت، زیرا پذیرفتن ذرات بسیار کوچک نامرئی دشوار می‌نمود. اما کم‌کم دیدند که این تئوری بیش از پیش به توجیه مسائل کمک می‌کند و نه تنها خاصیت گازها را (که برنولی اشاره

کرده بود) بیان می‌کند بلکه بسیاری از واکنشهای شیمیایی جامدات و مایعات را مانند واکنشهای گازها توجیه می‌نماید. اگر واکنشها را تأثیر متقابل انواع اتمهایی به حساب آورند، که به صورت گروههایی (که بعداً مولکول خوانده شدند) دور هم گرد آمده و سپس از هم جدا گشته، بار دیگر به صورتهای دیگری بهم می‌پیوندند و بر این قیاس، مفهوم واکنشها بهتر استنباط می‌شود. اگر چه خود اتمها، کوچک و دیده نشدنی باقی ماندند، ولی شناسایی خواص ماده که با قبول نظریه اتمی حاصل شده بود به قدری بالا گرفتند بود که از کثرت عظمت دیدنی نبود. تئوری اتمی هنگامی به اوج شهرت رسید که شیمی دان ایتالیایی استانیسلاو-کانیزارو^۱ کتابچه‌ای در سال ۱۸۵۸ در این باره انتشار داد. وی در این کتاب روش به کار بردن تئوری اتمی را برای توجیه پدیده‌های شیمیایی بیان کرد و بیان موضوع با چنان وضوحی توأم بود که دیگر هیچ شیمی دانی در قبول آن تردید به خود راه نداد. دو سال بعد که کانیزارو در یک کنفرانس شیمی شهر کارلسروهه آلمان حضور یافت نظریه خود را به کمک ارائه دلایل و به قدرت شخصیت به کرسی نشاند. از آن پس تئوری اتمی با تفوق کامل در جهان علم حکمفرمایی کرد. (اگر چه سیمای امروزی اتم بی نهایت پیچیده تر از اتم ساده گره مانند غیر قابل تقسیمی است که دالتون و کانیزارو عرضه کرده بودند، معیناً، تئوری اتمی همچنان به قوت خود باقی است.)



تصور این که همه مواد به خصوص گازها مجموعه‌ای از یک یا چند نوع اتم یا مولکول هستند بازگشتی به نظریه برنولی بود. در این نظریه از روی حرکات ذرات، خاصیت گازها توجیه می‌شد. آزمایشهای نوی ترتیب داده شدند و نتایج

آنها در پرتو تئوری اتمی تفسیر گردید .

مثلاً در دهه سال ۱۸۴۰ هنگامی که ژول همواره می کوشید به طرق ممکن کار را به صورت گرما در آورد ، انبساط گازها را متضمن کار نیافت ، زیرا وقتی که گاز منبسط می شد پیستونی را بالا نمی برد ، نیز موجب حرکت چیزی نمی شد ، بلکه تنها به صورت خلا انبساط حاصل می کرد . وقتی که چنین شد ، در آغاز ژول نتوانست بالا رفتن یا پایین آمدن دمای گاز را چنانکه از فرایندی که کار انجام نمی دهد انتظار می رود ، اندازه بگیرد .

ولی در سال ۱۸۵۲ که با تامسن (لرد کلویین بعدی) همکاری می کرد ، توانست مختصر کاهشی را که در چنین شرایط در دما حاصل می شود تعیین کند . این را اثر « ژول - تامسن » می نامند . کاهش دما نشان می دهد که انبساط گاز فرایندی نیست که متضمن کار نباشد ، بلکه مولکولهای گاز یکدیگر را مختصراً می کشند و برای آنکه از این کشش فرار کنند (حرکت در برابر نیروی مقاوم) کار انجام می دهند . انرژی لازم برای این کار از گرمای گاز گرفته می شود و دمای گاز پایین می آید .

چون این نیروی جاذبه میان مولکولها محاسبات مربوط به خواص گازها را پیچیده می ساخت ، دانشمندان شیمی تئوری، به منظور تسهیل کار « گاز کاملی »^۱ به تصور آوردند که در آن جاذبه بین مولکولی صفر است ، نیز حجم هر مولکول هم صفر فرض شده بود .

مسلم است که چنین فرضی ، وضعی مصنوعی برای گازها به وجود می آورد ولی تسهیلی که از آن نتیجه می شد ، به دانشمندان شیمی تئوری امکان حصول نتایج کلی می داد . این نتایج کلی در اوضاع حقیقی نیز تقریباً صادق بودند و پس از

آنکه خوب پرداخته شدند، این امکان وجود داشت که به صورت دقیق تری با اوضاع طبیعی سازش داده شوند. این روش مفیدتر از روشی بود که در آن، وضع طبیعی گازها را از همان آغاز با همه پیچیدگیهایش با محاسبه ریاضی به عمل می آوردند. بنابراین قانون بویل و قانون شارل فقط در گازهای کامل کاملاً صادق است و می توان آن دورا به صورت يك معادله حالت ترکیب کرد. معادله حالت، حالتی از گاز را بیان می کند که در آن دما و فشار و حجمش به هم بستگی دارند. به طوری که هر وقت دو تا از این خواص گاز در دست باشد، می توان سومی را محاسبه کرد. محاسبه فوق در مورد گازهای حقیقی (اگرچه گاهی کاملاً نزدیک به واقع است) عموماً تقریبی است. نیز می توان معادله حالت را، بدین صورت تغییر داد که برای حجم مولکولها و جاذبه بین مولکولی، مقادیری بیش از صفر در نظر گرفته شود. چنین تغییری در سال ۱۸۷۳ (به صورت رضایت بخشی) به وسیله فیزیکدان هلندی یوهانس دیدریک وان در والس^۲ داده شد.

امیدوارم که شرح بالا این موضوع را به خوبی توجیه و تطبیق کرده باشد، که چگونه طی دهه سال ۱۸۵۰، بعضی از محققان (از آن جمله کلوژیوس) با علم به این که ذرات گاز بدون حجم و بدون جاذبه روی یکدیگر نیستند، مسئله را به همین صورت قبول کردند و کارهای برنولی را دنبال کردند. نتیجه ای که عاید شد تئوری سینتیک گازها بود، یعنی تئوری که با ذرات متحرك سروکار داشت.

تئوری فوق در سال ۱۸۵۹ و سالهای بعد از آن به وسیله ریاضی دان اسکاتلندی جمز کلرک ماکسول^۳ و فیزیکدان اطریشی لودویگ بولتزمن^۴ به عالی ترین صورت خود در آمد نتیجه ای که از محاسبه ریاضی آنها حاصل شد، ارتباط یافتن سرعت

Johannes Diderik Van der Waals — ۲ Equation of State — ۱

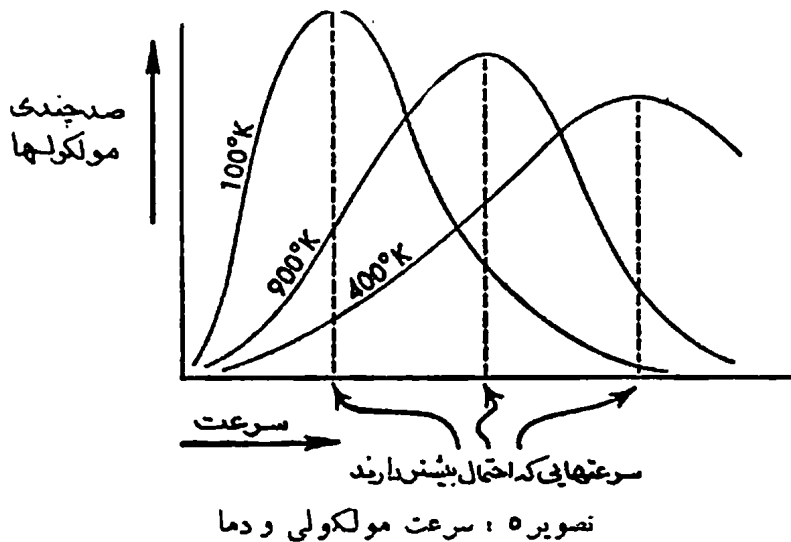
Ludwig Boltzmann — ۲ James Clerk Maxwell — ۳

مولکولی با دما بود. (نیز معتقد بودند که حرکت مولکولهای گازها به خط مستقیم و در جهات اتفاقی است، و با یکدیگر و با دیواره ظرف برخورد می کنند ولی چون قابلیت ارتجاع کامل دارند چیزی از انرژی در این برخورد کم نمی شود). دو مولکول گاز در نظر بگیرید که بهم برخورد کنند. طبیعی است که پس از برخورد از هم دور می شوند، پس جهت حرکتشان و به احتمال قوی سرعشان نیز تغییر می پذیرد. ولی (چنانکه در فصل ۳ دیدیم) نیروی جنبشی کل دو مولکول باید ثابت باشد و سرعتی که بعد از برخورد حاصل می کنند نیز در حدودی متغیر است. سرعتی که بعد از برخورد عاید مولکولهای می شود به طرق مختلف قابل تغییر است. مثلاً اگر یک مولکول سریع حرکت به یک مولکول بطی حرکت بر خورد کند، احتمال دارد که مولکول دوم از حرکت بایستد و حال آنکه مولکول اولی در نتیجه به دست آوردن کل نیروی جنبشی دو مولکول پیش از برخورد، سریعتر به راه خود ادامه دهد. نیز ممکن است، و حتی احتمال بیشتری دارد، که نتیجه برخورد سرعتی حد واسط سرعت دو مولکول بشود، بدین معنی که سرعت مولکول سریعتر کم و سرعت مولکول بطی تر زیاد شود.

(این چیزی است که در گویهای بیلیارد می توان مشاهده کرد. در زمان ماکسول آنها و مولکولها را گویهای بسیار کوچک می پنداشتند. ولی بعداً چنین پنداری را رها ساختند. در حال حاضر آنها و مولکولها ساختمانی چنان پیچیده دارند که نمی توان با دقت منطقی و با چیزی که با آن آشنا هستیم تشبیهشان کنیم. با وجود این به منظور ادراک مسئله تئوری سینتیک گازها، تشبیه با گویهای بیلیارد کافی به نظر می رسد).

تعیین اینکه دو مولکول پس از برخورد به یکدیگر چه سرعتی خواهند داشت غیر ممکن است ولی از میان میلیاردها میلیارد تصادمی که واقع می شود

(و در هر ثانیه در مقداری از گاز که دیدنی باشد) می توان بدروش آماری حد متوسط سرعتها را تعیین کرد . با اجرای چنین عملی ، می توان نشان داد که مولکولهای هر نوع گاز يك « سرعت احتمالی تر » دارند که سرعتهای واقعی مولکولها در حدود آن دور می زنند . بعضی از مولکولها در بعضی مواقع از این « سرعت احتمالی تر » اندکی سریعتر حرکت می کنند و حال آنکه بعضی دیگر در همان مواقع اندکی کندتر می جنبند . عده ای هم مقدار ناچیزی از « سرعت احتمالی تر » تندتر یا کندتر می جنبند .



تعبیر ریاضی پیچیده تری که (به نام « قانون انتشار ماکسول . بولتزمن » معروف است) به وسیله این دو محقق به عمل آمده و محاسبه پورسانتاژ مولکولهای گاز را ، که با سرعت معینی حرکت می کنند ، (بشرط دانستن دمای گاز و جرم مولکولهای سازنده آن) ممکن ساخته است . اگر منحنی از این معادله برای ارتباط دادن سرعت و پورسانتاژ مولکولها رسم شود خمیدگیهایی از منحنی که طرف بالا قرار دارند ، « سرعت احتمالی تر » را نشان می دهند و سپس کاهش می یابند .



اکنون می توان ارتباط میان دما و حرکات مولکولی را بدصورت ساده ای بیان کرد. در هر گازی، در هر دما و در هر لحظه از زمان، هر مولکولی می تواند سرعتی داشته باشد که از صفر تا مقدار زیاد متغیر است، ولی سرعتی که احتمالش زیاد است متناسب با ریشه دوم دمای مطلق است. وقتی که دما زیاد می شود «سرعت احتمالی تر» مولکولها افزایش می یابد. اگر گرمای مطلق چهار برابر شود، «سرعت احتمالی تر» مضاعف می شود.

پس در هر گازی، دما با «سرعت احتمالی تر» مولکول ارتباط دارد. ولی اگر این را در مورد همه گازها تعمیم دهیم، جرم مولکول را نیز باید به حساب آوریم. در هر دمایی، بر طبق معادله ماکسول - بولتزمان، «سرعت احتمالی تر» تناسب معکوس با ریشه دوم جرم دارد. هر چه مولکول درشت تر باشد، حرکت آن کندتر است. مثلاً مولکول اکسیژن ۱۶ برابر بزرگتر از مولکول نیدروژن است، پس مولکول نیدروژن چهار برابر (یعنی ریشه دوم ۱۶) سریع تر از مولکول اکسیژن، در دمای معینی حرکت خواهد کرد.

ولی چنانکه در فصل سوم اشاره کرده ام، انرژی سینتیک برابر نصف مربع سرعت است، پس آنچه قبلاً گفته ام متضمن این نکته است که در هر دمایی انرژی سینتیک متوسط مولکولهای همه گازها برابر است. مولکولهای گازی ممکن است بزرگتر از مولکولهای گاز دیگری باشند ولی سرعت کمتری هم خواهند داشت و اگر کوچکتر باشند، سرعت بیشتری خواهند داشت، ولی در هر حال، حاصل ضرب جرم در مربع سرعت برابر می شود. پس اگر سرعت باریشه دوم دما تناسب دارد، انرژی سینتیک، که به مربع سرعت وابسته است، تناسب مستقیم با دما خواهد داشت. (به تصویر ۵ مراجعه شود).

بنابراین، آنچه را که «دما» می‌نامیم، اندازه انرژی سینتیک متوسط مولکولی است که گازی را به وجود می‌آورد. به طوری که معلوم شد این رابطه تنها در گازها صادق نیست بلکه در همه مواد صدق می‌کند. چیزی که هست در مواد غیر گازی شرایط با آنچه در گازها هست تفاوت بسیار می‌کند. مولکولهای گاز از هم دورند و بالاستقلال حرکت می‌کنند و حال آنکه مولکولهای مایعات مجاور هم هستند و تنها می‌توانند روی هم بلغزند. با وجود این وقتی که دما زیاد می‌شود مولکولهای مایعات با انرژی بیشتری روی هم می‌لغزند. نیز مولکولهای جامدات با وضع ثابتی که دارند بر اثر افزایش دما با انرژی بیشتری در موضع خود به ارتعاش درمی‌آیند.

همه مواد با کاهش دما انرژی خود را از دست می‌دهند و در صفر مطلق انرژی به حداقل تقلیل می‌یابد. (این حداقل را عموماً صفر به حساب می‌آورند ولی بنابر تئوریهای جدید، در صفر مطلق هم مقداری انرژی باقی می‌ماند که از بین رفتنی نیست. موضوع اخیر بخصوص در مورد خواص هلیوم مایع در نزدیکی صفر مطلق صادق است.)

اکنون فرض کنید که مقداری گاز گرم را با مقداری از گاز سرد مجاور سازند انرژی سینتیک مولکولهای گاز گرم بیشتر از انرژی سینتیک گاز سرد است. اگر چه بعضی از مولکولهای گاز گرم از بعضی از مولکولهای گاز سرد آهسته‌تر حرکت می‌کنند، معیناً در برخورد مولکولها با هم انرژی مولکول «گرم» به احتمال قوی بیشتر از انرژی مولکول «سرد» است.

(برای روشن شدن موضوع فرض کنید که سطح زندگی مردم ایالات متحده بالاتر از سطح زندگی مردم مصر باشد و اگر هر امریکایی را بر حسب تصادف با هر مصری مقایسه کنید، سطح زندگی امریکایی را همواره بهتر ببینید، ولی؛

همه این احوال بعضی از مصریها هستند که سطح زندگی بالاتر از بعضی امریکاییها دارند.

در نتیجه برخورد ممکن است که مولکول «گرم» به طفیل مولکول سرد انرژی بیشتری بگیرد و «گرمتر» از پیش شود. (من «گرم» و «سرد» را از آن نظر در جمله با دو گیومه «» نشان داده‌ام که این مسئله در مورد تك تك مولکولها صادق نیست بلکه در دستگاهی که مقدار زیادی مولکول دارد صدق می‌کند.) ولی، به احتمال قوی، چنانکه قبلا اشاره کرده‌ام، مولکول «گرم» انرژی از دست خواهد داد و مولکول «سرد» انرژی بدست خواهد آورد به طوری که سرانجام سطح انرژی و در نتیجه دمای هر دو به سطح حد واسط خواهد درآمد. اگر تعداد زیادی برخورد در نظر گرفته شود، تعداد برخوردهایی که نتیجه آنها موجب افزایش تفاوت انرژی می‌شود بسیار کمتر از تعداد برخوردهایی خواهد بود که تفاوت انرژی را کاهش می‌دهد. احتمال برخورد يك مولکول «گرم» با يك مولکول «سرد» به صورتی که از آن انرژی بگیرد هر قدر کم باشد احتمال برخورد تعداد زیادی از آنها در آن واحد با هم نیز بسیار کمتر خواهد بود.

حاصل آنکه در نتیجه برخوردهای اتفاقی محض، حد متوسط انرژی سینتیک مولکولها و در نتیجه، حد متوسط دمای يك گاز گرم (یا هر جسم گرمی) هنگامی که مجاور گاز سرد (یا هر جسم سردی) شود پایین می‌آید و حال آنکه این حد متوسط از گاز سرد (یا از جسم سرد) بالا می‌رود. گرما از جسم گرم تا وقتی به جسم سرد جریان خواهد یافت که حد متوسط انرژی سینتیک همه مولکولهای دستگاہ به حد متوسط برسد.

اکنون باید دید که تفاوت این مسئله با ثنوری قدیمی «سیال بی وزن»

گرما چیست؟ در تئوری قدیمی، گرما طبق قانون دوم ترمودینامیک، که نه استثنا پذیر بود نه تغییر پذیر، از دمای زیاد به دمای کم جریان می‌یافت، ولی بر طبق تئوری سینتیک، جریان گرما نتیجه آماری برخوردهای اتفاقی است و ممکن است چنان معکوس شود که قانون دوم قطعیت خود را از دست بدهد. به هر حال تصور این مسئله امکان دارد که بر حسب تصادف آن تعداد مولکول «گرم» از مولکول «سرد» انرژی بگیرد که گرما از جسم سرد به طرف جرم گرم جریان یابد. به عبارت دیگر می‌توان تصور کرد که کتری پر از آبی که روی آتش قرار دارد ممکن است به وسیله تئوری سینتیک، در حالی که گرمتر می‌شود، یخ ببندد. مسلم است که شانس وقوع چنین امری (طبق معادلات ماکسول) به قدری کم است که اگر همه دنیای شناخته شده پر از کتریهای روی آتش بود، احتمال اینکه یکی از آنها، طی عمر شناخته شده جهان، یخ ببندد، بی نهایت کم است به طوری که انتظار وقوع چنین پدیده‌ای معقول نمی‌نماید.

تفاوت میان يك جریان تغییر ناپذیر و جریانی که از تغییر ناپذیر بودن بی اندازه منحرف می‌شود، از نظر فلسفی مهم است ولی در عمل چنان ناچیز است که ماکسول نیازی به توصیف آن ندیده است. با این وصف وی موجود کوچکی را به تصور آورد که در وسط راه رابط دو ظرف محتوی گاز قرار داشته باشد و در آغاز دمای دو ظرف برابر باشد. موجود فرضی، چنین خواهد کرد: وقتی که مولکول سریع‌الحرکتی از ظرف سمت راست نزدیک می‌شود، بدان اجازه عبور می‌دهد ولی مانع حرکت مولکولهای بطئی‌الحرکت می‌گردد. از سوی دیگر وقتی که يك مولکول بطئی‌الحرکت از ظرف سمت چپ نزدیک می‌شود بدان اجازه عبور می‌دهد ولی مانع حرکت مولکولهای سریع‌الحرکت می‌گردد. بدین روش مولکولهای سریع‌الحرکت در ظرف سمت چپ جمع خواهند شد و ظرف

گرمتر خواهد گردید و حال آنکه در ظرف سمت راست مولکولهای بطئی الحركت جمع می‌شوند و ظرف سردتر می‌گردد. گرما به جریان خود از جسم سرد به جسم گرم ادامه خواهد داد و وضعی پیش خواهد آمد که با تئوری قدیمی جور در نمی‌آید و حال آنکه با تئوری جدید به خوبی توجیه می‌شود. موجود خیالی ماکسول که به شیطان ماکسول معروف شده است، از آن پس به عنوان بهترین واژگون‌کنندهٔ اتروپی شناخته گردید.

ولی چنانکه می‌دانید ما جز در موارد تفننی به دنبال شیطان نمی‌رویم. چیزی شبیه شیطان ماکسول در زندگی حقیقی وجود دارد. تنها علت اینکه آمار خاصیت مولکولها را به صورتی تقریباً ثابت نشان می‌دهد، این است که در شرایط عادی ما با تعداد بینهایت زیادی مولکول سروکار داریم. هر چه تعداد مولکولهای دستگامی کمتر باشد، شانس انحراف از حد متوسط آماری بیشتر خواهد شد. و در تعداد کم، یکنواختی مشهور بر روی هم از میان می‌رود.

برای روشن شدن مطلب مشاهده‌ای را که گیاه‌شناس اسکانلندی به نام رابرت براون^۱ در سال ۱۸۲۷ انجام داده، یادآور می‌شوم. وی متوجه شد که وقتی دانه‌های کردهٔ گل را در آب قرار می‌دهند، حرکتی موجی در جهات مختلف انجام می‌دهد که ظاهراً تصادفی است. وی ابتدا تصور کرد که این حرکات به سبب زندگی بطئی^۲ درون دانه کرده است ولی به زودی متوجه شد که هر جسم کوچکی (مثلاً ذره‌ای از مادهٔ رنگی) نیز چنین حرکتی اتفاقی دارد. این حرکت از آن پس برای بزرگداشت نام کاشفش به حرکت براونی^۳ موسوم گردید.

در حدود سال ۱۸۹۰ بولتزمن چگونگی توجیه این مسئله را به وسیلهٔ تئوری سینتیک نشان داد. وی خاطر نشان ساخت که هر جسمی که در آب معلق

باشد به وسیله مولکولهای آب اطراف خود بمباران می‌شود. چون از روی آمار، تعداد مولکولهایی که در جهت معینی به جسم می‌خورند برابر تعداد مولکولهایی خواهد بود که در جهات دیگر بدان برخورد می‌کنند، پس اثری روی جسم نخواهند کرد و جسم بی‌حرکت باقی خواهد ماند.

بدیهی است که این تعداد کاملاً برابر نخواهد بود ولی در شرایط معمولی، تفاوت موجود به قدری کم است که دیده نمی‌شود. اگر يك میلیارد میلیارد مولکول به يك طرف جسم برخورد و يك میلیارد میلیارد و دوازده مولکول به طرف دیگر، عدم توازن احساس نخواهد شد، هر چه جسم معلق کوچکتر باشد تعداد کل مولکولهایی که در ثانیه بدان برخورد می‌کنند نیز کمتر خواهد بود و تفاوت به محسوس شدن نزدیکتر می‌گردد. هنگامی که جسم به حدی کوچک باشد که فقط صد مولکول به يك طرف آن برخورد کنند و صد و دوازده مولکول به طرف دیگر، دوازده مولکولی که همراه يك میلیارد میلیارد مولکول بی‌تأثیر بودند، در این موقع مقدار قابلی به حساب خواهند آمد. به طوری که بولتزمان نشان داده اگر ذره به حد کافی کوچک باشد، حرکات اتفاقی مولکولهای آب با مختصر عدم توازنی، ذره را در يك جهت و سپس در جهت دیگر به حرکت درمی‌آورد و موجب «حرکت براونی» می‌شود.

در اینجا چیزی شبیه «شیطان ماکسول» داریم که ذره را حرکت می‌دهد و حال آنکه بنا بر تئوری قدیمی ذره باید بی‌حرکت باقی بماند. بدیهی است که حرکت کاملاً تصادفی است و هنگامی که تعداد ذرات زیاد باشد و همه را با هم در نظر بگیریم، با شیطان مست ماکسول سروکار خواهیم داشت. (اینگونه حرکات که هر مرحله‌ای از آن با مرحله بعدی هیچگونه ارتباطی ندارد، به «رهروی‌مختل»

معروف است .)

آلبرت انشتاین در سال ۱۹۰۵ محاسبهٔ ریاضی دقیقی از حرکت براونی به-
عمل آورد و در دههٔ سالهای ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ آزمایشهای دقیقی ترتیب داد و سرعت
مولکولهای گازها را اندازه گرفت و به این نتیجه رسید که بسا پیشگویی تئوری
سینتیک مطابقت دارد .



انروپی را می توان در پرتو تئوری سینتیک نیز مطالعه کرد . به منظور
انجام این عمل ابتدا معنی دو لغت «نظم» و «بی نظمی» را مورد مطالعه قرار
می دهیم .

عموماً چیزی را دارای «نظم» می دانیم که بنا بر يك سیستم منطقی مخصوصی
ترتیب یافته باشد ، و چیزی به نظر ما «بی نظم» است که ترتیبی در سیستم آن
تشخیص نتوانیم بدهیم .

نوع دیگری که می توانیم به این دو لغت بنگریم این است که وقتی
می گوئیم چیزی دارای «نظم» است یعنی چنان ترتیب یافته است که يك بخش
از بخش دیگر قابل تشخیص است و چیزی «بی نظم» است که بخشهای آن قابل
تشخیص از هم نباشند . پس هرچه تشخیص بخشها از یکدیگر روشن تر باشد
دستگاه «نظم بیشتر» دارد و هرچه تشخیص بخشها از یکدیگر مهم تر باشد دستگاه
«نظم کمتر» دارد .

یکی از مثالهای نظم این است که يك دست ورق بازی را به ترتیب چهار
نوع خال آن مرتب سازند . این نظمی کامل است زیرا می توانید کوچکترین بخش
آن را از بخشهای دیگر تشخیص بدهید مثلاً می دانید که نخستین ورق آس دل
است و دومی ۲ دل است و براین قیاس تمام ورقهای دل و خشت و گشنیز و غیره

را تشخیص می‌دهید. اگر کارت مفروضی را بخواهید موقعیت آن را میان کارتهای دیگر می‌شناسید و اگر موقعیت معینی را بگویند کارتش را خواهید شناخت. اگر چهار نوع خال يك دست ورق بازی از هم جدا باشند ولی هر ۱۳ ورق هر خالی بی ترتیب قرار گرفته باشند، موقعیت کارتها را به خوبی نخواهید شناخت به طوری که اگر يك ورق دل نشانتان بدهند خواهید دانست که در نقطه‌ای از ربع اول کارتهاست ولی اینکه در کدام يك از مراتب ترتیب هست نخواهید دانست پس می‌توانید بخشی از دسته ورق را از بخش دیگر تشخیص بدهید ولی در حدودی معین. این بار ورق بازی ترتیبی دارد ولی کمتر از وضع اولیه مرتب است.

حال اگر ورقها به کلی بر خورده باشند، از روی ورقی نمی‌توانید بگویید که در کدام نقطه دسته ورق هستید. حتی اگر ناحیه‌ای از دسته ورق را نشان دهند، نمی‌توانید درباره ورق‌های آن ناحیه چیزی بگویید، پس با «اتفاقی بودن» یا «بی نظمی کامل» روبه‌رو هستید.

اکنون به بررسی موردی می‌پردازیم که اثرروپی آن در افزایش است و بدین منظور حالتی را در نظر می‌گیریم که گرما از جسم گرم به جسم سرد در جریان است. (این مورد، مورد کلاسیک افزایش اثرروپی است). به تدریج که گرما جریان می‌یابد جسم گرم سردتر می‌شود و جسم سرد گرمتر و سرانجام هر دو به دمایی حد واسط می‌رسند.

وقتی که چنین امری اتفاق می‌افتد، نه تنها اثرروپی زیاد می‌شود بلکه به بی‌نظمی نیز افزوده می‌گردد. در آغاز، دو جسم را که از هر جهت همانند بودند ولی تفاوت دما داشتند به آسانی تشخیص می‌دادیم ولی وقتی که گرما جریان یافت و تفاوت دمای میان آن دو کاهش حاصل کرد تشخیص میان آن دو مبهم می‌شود تا آنکه سرانجام، وقتی که هر دو به دمای حد واسط رسیدند، هیچ وجه تمایزی

از نظر دما میانشان نخواهد بود . پس با افزایش انتروپی، بی‌نظمی نیز زیاد می‌شود. نیز اگر مقداری ئیدروژن و اکسیژن را، که هر دو دما و فشار برابر دارند، مجاور هم سازیم ، هریک در دیگری نفوذ می‌کند تا آنکه در تمام حجم ، مخلوطی از دو گاز موجود می‌گردد. چون این کار خود به خود صورت می‌گیرد، پس انتروپی افزایش می‌یابد ، از آنجا که مخلوط شدن سبب می‌شود که تشخیص آسان اولیه میان بخشی از حجم کل گاز با بخش دیگر به کلی از میان برود پس باعث افزایش بی‌نظمی نیز شده است .

در واقع می‌توان افزایش انتروپی را در هر زمانی متضمن بی‌نظم‌تر شدن دانست . پس انتروپی و بی‌نظمی دو پدیده مشابهند .

از آنجا که همه فرایندهای خود به خود متضمن افزایش انتروپی هستند ، پس همه آنها زیاد شدن بی‌نظمی را نیز در بردارند . این موضوع در مورد جریان گرما از جسم گرم به جسم سرد یا در مورد مخلوط شدن دو گاز صادق است . پس وقتی که گرما را به حال خود رها کنیم انتظار نخواهیم داشت که از جسم سرد به طرف جسم گرم جریان یابد یا اگر مخلوطی از گازها را به حال خود رها سازیم، انتظار نخواهیم داشت که مخلوط خود به خود از هم جدا گردد .

همین امر علناً در مثال ساده ما راجع به ورق بازی نیز صادق است . اگر دسته مرتبی از ورق بازی را به حال خود رها سازیم ، بی‌ترتیب نخواهد شد زیرا اساساً تغییری در خود نمی‌دهد . فرض کنید که دسته مرتب ورق را در موقعیتی قرار دهید که تغییر بدان دست بدهد اما این تغییر فقط اتفاقی باشد . به عبارت دیگر فرض کنید دسته مرتب ورق بازی را از روی بالکون به داخل خیابان پرت کنید . دسته ورق‌ها به صورت اوراق منفرد روی زمین پخش خواهد شد . اگر در این موقع آنها را بر حسب اتفاق جمع‌آوری کنیم ، خواهیم دید که ، با وجود منظم

بودن کارتها در آغاز ، اکنون به وضع نامنظمی درآمده اند . در این فرایند خود به خود هم انرژی و هم بی نظمی افزایش یافته است .

پراکنده شدن کارتها مثال دیگری از فرایند خود به خود است (چون کارتها را اتفاقی به حرکت درمی آورد) که هم انرژی و هم بی نظمی را افزوده است . در واقع هنگامی بازی ورق با امانت جریان می یابد که با امانت کامل در بر زدن بی نظمی به وجود آید .

برای آنکه دسته ورقی را از بی نظمی به نظم در آورید باید بنشینید و آنها را مرتب پهلوی هم بچینید . (پس باید «کوشش کنید» - این اصطلاحی است که در فصل اول به کار برده شده ، و طبیعی است که انرژی را کاهش می دهید .) بدیهی است که انتظار ندارید پس از انداختن يك دست ورق بازی نامنظم ، در هوا یا بر زدن فراوان ، ناگهان آن را با نظم کامل ببینید .

مسلم است که بر حسب اتفاق امکان دارد که بر زدن ، اوراق را به ترتیب خاصی قرار دهد یا حتی ترتیب کاملی به وجود آورد . مثل آنکه بریج بازی در يك دست ۱۳ ورق خشت داشته باشد . وقوع این امر با همان منطق ممکن است که پنج زدن يك کتری از کتریهای روی آتش را امکان پذیر می نماید . تنها دلیلی که به يك بریج باز در مدت عمر يك بار شانس آوردن يك ردیف ۱۳ کارتی می دهد این است که ۵۲ کارت در ورق بازی هست . اگر به اندازه مولکولهای آب يك کتری ، کارت در يك دست ورق بازی بود ، شانس این که ربع کارتها سری بشوند برابر شانس می شد که آب يك کتری را منجمد می سازد .

گرما صورتی از انرژی است که از همه صورتهای دیگر آن ، بی نظم تر است . بدین معنی ، موادی که تفاوتشان تنها از نظر مقدار انرژی باشد ، تشخیص آنها دشوارتر از تشخیص موادی است که در مقدار نوری که می دهند یا وضع مان

در میدان جاذبه یا میدان الکترومغناطیس متفاوت باشد. در نتیجه در همه فرآیندهای خود به خود، که انرژیهای جزگرمای دارند، مقداری از انرژی همواره به گرما تبدیل می شود، پس به خودی خود انرژی افزایش می یابد. با همین منطق، همه گرمای دستگامها می تواند بدون قید و شرط به نوعی انرژی جزگرمای تبدیل شود زیرا این کار به خودی خود موجب کاهش انرژی می شود (به استثنای شانس از قبیل یخ زدن کتری آب روی آتش). اما در عوض اگر مقداری از گرما به نوع دیگری از انرژی تبدیل شود، بقیه گرما افزایشی در انرژی به وجود می آورد که بیش از اندازه ای است که از تبدیل گرما به انرژی های دیگر برای کاهش انرژی حاصل می شود.

پس چنانکه می بینیم تئوری سینتیک گازها که در نیمه دوم قرن نوزدهم به حد کافی تکامل یافته بود پدیده ترمودینامیکی را که در نیمه اول این قرن، و تحت تأثیر تئوری سیال بی وزن مشاهده شده بود، به خوبی بیان می کند. ولی، چنانکه در آغاز این فصل اشاره کرده ام، تئوری نو این شانس را به ما می دهد که بتوانیم توجیه کنیم که بدن انسان، در حالی که دمای واحدی دارد، چگونه کار تولید می کند. و این چیزی است که تئوری قدیمی نمی تواند آن را توجیه کند. این مسئله ای است که از یاد نبرده ام و به صورتی اصولی به سوی آن پیش می رویم. رمز این مسئله در دو کلمه «اتم» و «مولکول» است. اینها کلماتی هستند که در تئوری قدیمی وجود نداشتند و حال آنکه در تئوری جدید نقش اساسی ایفا می کنند.

فصل هفتم

ذرات به هم متصل می شوند

ممکن است تصور رود که بدن آدمی (یا به طور کلی بافتهای زنده) از دستگاهی که دمای یکنواخت دارد کار به وجود می آورد، زیرا بعضی از خصوصیات حیاتی، بدن را قادر می سازند که در جهت عکس انترویی کار کند. به خاطر دارید که در پایان فصل پنجم تعریف حیات را بر مبنای کاهش انترویی آغاز کرده ام.

نباید به علت آنکه متخصصان علم ترمودینامیک در آغاز کار چنین می کردند، به عنوان منبع کار تنها به حرارت نظر داشته باشیم. حکمی که کلونین در باره قانون دوم بیان داشته متضمن این است که گرما نمی تواند به کار تبدیل شود، مگر آنکه تفاوت دمایی در میان باشد، ولی نباید از نظر دور داشت که صورتهای دیگری از انرژی غیر از گرما نیز وجود دارند. پس اگر بخواهیم این حکم را عمومیت دهیم باید بگوییم که هیچ نوع انرژی نمی تواند به کار تبدیل شود مگر آنکه تفاوت سطح شدتی در آن صورت از انرژی در میان باشد. سنگی که می افتد به هر حال کار انجام می دهد، اگرچه دمایش کاملاً برابر دمای بالای پرتگاه و نقطه ای از ته دره است که سنگ بدان می خورد. در این جریان هیچ تفاوت دمایی در میان

نیست ولی تفاوت انرژی پتانسیل هست .

پس آنچه باقی می‌ماند این است که بدانیم چه نوع انرژی مخصوصی را موجود زنده به کار تبدیل می‌کند . اما چون پدیدهٔ حیات پیچیده‌تر از آن است که بتوان از آن سر در آورد ، باید طرحی ساده‌تر بریزیم که در فهم به‌مایاری کند . اگر به ماشینهای بخار باز گردیم ، می‌توانیم این سؤال را مطرح کنیم که « انرژی که مخزن را گرم می‌کند از کجا به‌وجود می‌آید ؟ » پاسخ این پرسش ، « احتراق » است . چوب ، ذغال سنگ ، روغن یا گاز می‌سوزد و انرژی حاصل از آن آب را گرم می‌کند و کار ماشین حرارتی را ممکن می‌سازد .

اکنون این سؤال هست که انرژی احتراق از کجا می‌آید ؟ چوب ، ذغال سنگ ، روغن ، یا گاز ، در آغاز ، دارای دمای هوایی است ، که با آن ترکیب می‌شود . آنچه مسلم است این است که هر سوختی باید پیش از شروع احتراق اندکی گرم‌تر شود ، ولی انرژی آزاد شده از احتراق (که از آن پس خودبه‌خود آزاد می‌شود) بسیار زیادتر از انرژی است که برای آغاز احتراق به‌کار رفته است . باید دید که همهٔ این انرژیها از کجا می‌آیند ؟

این سؤال برای ما واجد اهمیت اساسی است ، زیرا چنانکه بعداً اشاره خواهم کرد ، شباهتی میان سوختن ذغال سنگ و تنفس آدمی ، از مدتها پیش شناخته شده است . پس اگر بتوانیم منبع انرژی حاصل از ذغال سنگ سرد را پیدا کنیم ، خواهیم توانست در راه یافتن منشأ انرژی بدن آدمی قدم بگذاریم .

به هر حال کوشش خود را آغاز می‌کنیم .



در قرن هجدهم ، ایامی که تئوری « سیالهای بی‌وزن » بر سر زبانها بود ، ذغال‌سنگ را ماده‌ای پر از فلوریزتون می‌پنداشتند . وقتی که ذغال سنگ می‌سوزد

فلوژیستونی که در آن هست آزاد می‌شود و گرما و نور همراه احتراق را تولید می‌کند. ولی این تئوری به تناقضاتی انجامید که نمی‌توانست دوام یابد و لاوازیه آن را از هم پاشید.

توجیه نوی برای منبع انرژی لازم بود و هیچ نظریه‌ای جز تئوری اتمی نتوانست این توجیه را میسر سازد.

کلید رمز پاسخ مسئله را در فصل پیش، هنگامی که از اثر ژول - تامپسن یاد می‌کردم، به دست دادم. گازی که منبسط می‌شود کار انجام می‌دهد زیرا هر یک از مولکولهایش طی حرکت از مرکز، به سوی خارج با نیروی جاذبه‌ای که آنها را مجاور هم نگه می‌دارد مقابله می‌کند.

بدین ترتیب به همان گونه که میان اجرام سماوی نیروی جاذبه هست، میان مولکولها هم چنین نیرویی وجود دارد. به عبارت دیگر به همان گونه که میان اجرام سماوی نیروی جاذبه بین ستاره‌ای هست، میان مولکولها نیروی شیمیایی بین مولکولی وجود دارد. وجود نیروی جاذبه از تصور انرژی پتانسیل حاصل می‌شود و بر همین قیاس وجود نیروی شیمیایی بین مولکولی نیز متضمن «انرژی شیمیایی» است.

برای نشان دادن کیفیت امر، یخ را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. یخ مولکولهایی از آب است که مجاور هم و به ترتیبی منظم قرار دارند. (دلایل متنوعی بر تأیید این مسئله هست ولی من وارد جزئیات آنها نمی‌شوم. این گونه نظم اتمها و مولکولها موجد «بلور» می‌شود و بیشتر جامدات را می‌توان به حالت بلور درآورد.)

در دمای زیر صفر درجه سانتیگراد، مولکولهای یخ نوسان دارند و در اطراف نقطه‌ای که هستند پیش و پس می‌روند. چون انرژی سینتیک این اتمها

کافی نیست که بر نیروی جاذبه بین مولکولی غلبه کند ، پس هیچ مولکولی جایش را به صورت دائمی از دست نخواهد داد .

اگر یخ را گرم کنند ، دمایش بالا می‌رود و سرعت ارتعاش مولکولها بیشتر می‌شود و انرژی سینتیک بیشتری به دست می‌آورند . هنگامی که گرما به 0°C می‌رسد ، انرژی سینتیک مولکولها به درجه‌ای می‌رسد که از نیروی جاذبه مولکولی بیشتر می‌شود ، در نتیجه مولکولهای یخ از هم پاشیده شدن را آغاز می‌کنند . مولکولهای یخ آزادانه شروع به حرکت می‌کنند و دیگر مجبور نیستند که نسبت به مولکولهای دیگر وضع ثابتی داشته باشند . حاصل آنکه یخ جامد ذوب می‌شود و آب مایع به وجود می‌آورد .

به تدریج که گرما وارد یخ در حال ذوب می‌شود هیچ قسمتی از آن صرف افزایش انرژی سینتیک افراد مولکولها نمی‌شود و به همین جهت دما بالا نمی‌رود و همه گرما به مصرف غلبه بر نیروی جاذبه بین مولکولی می‌رسد و یخ را بیش از پیش ذوب می‌کند . مولکولهای آب میان یخ ذوب شده انرژی سینتیک بیشتری از مولکولهای آب درون بلور یخ ندارند به طوری که آبی که از ذوب یخ حاصل می‌شود دارای دمای یخی است که آب نشده است . با وجود این آب باید به صورتی بیش از یخ انرژی داشته باشد زیرا مولکولهای آب بر نیروی جاذبه بین مولکولی غلبه کرده‌اند و دیگر به صورت بلور مرتب نیستند ، و حال آنکه مولکولهای یخ چنین وضعی ندارند . این انرژی اضافی که صورت گرمانداز همان انرژی شیمیایی است که بدان اشاره کرده‌ام .

آب صفر درجه سانتیگراد انرژی شیمیایی بیشتر از یخ صفر درجه دارد . موقعی که یخ ذوب می‌شود ، انرژی اضافی آن به جای انرژی سینتیک به صورت انرژی شیمیایی درمی‌آید به طوری که یخ ذوب می‌شود ولی دمای آن بالا نمی‌رود .

فقط هنگامی که همه یخ آب شد گرمای اضافی به انرژی سینتیک تبدیل گشته و دما را بالا می برد .

یک گرم یخ صفر درجه هشت کالری برای تبدیل شدن به یک گرم آب می گیرد . پس آب صفر درجه در هر گرم ۸ کالری بیش از یخ صفر درجه انرژی شیمیایی دارد . این همان « گرمای نهان » ذوب است که به وسیله بلاک در ایامی که تئوری کالوریک رواج داشت کشف گردیده است . ولی وی نمی توانست پدیده مذکور را به خوبی بیان کند (اگر چه کوششی بسیار به خرج داده بود) ، زیرا مبنای تئوریک نظریاتش « سیال بی وزن » بود . ولی ما از این نظر خوشبختیم که بر آن مبنا نمی اندیشیم .

اما کار به همین جا خاتمه نمی پذیرد ، زیرا مولکولهای آب (یا هر مایع دیگری) ممکن است در وضع خاصی ثابت باقی نمانند و حال آنکه مجاور هم باقی مانده و روی یکدیگر می لغزند ، پس نیرویی مولکولها را باهم مجاور می سازد و آنها را از بی نیازی کامل از یکدیگر باز می دارد . گرمای اضافی دو تغییر را موجب می شود : مقداری به انرژی سینتیک تبدیل می شود و موجب تسریع نوسان مولکولها می شود و دما را بالا می برد ، بخش دیگر از گرما به انرژی شیمیایی مبدل می گردد و مولکول را ، بدون بالا بردن دما از حالت استراحت دور می سازد . و بدین روش است که بخار آب به وجود می آید .

آب (یا هر مایعی) در هر دمایی تا حدودی تبخیر می شود . اما اگر مایع در ظرفی در بسته باشد ، مقداری از بخار بار دیگر به صورت مایع متراکم می شود و چنان تعادلی برقرار می گردد که در هر دمایی معمولاً مقداری « فشار بخار » موجود می شود . هر چه دما بیشتر فشار هم بیشتر است .

فشار اتمسفر در شرایط عادی بیش از فشار بخار آب است ، پس وردهوا

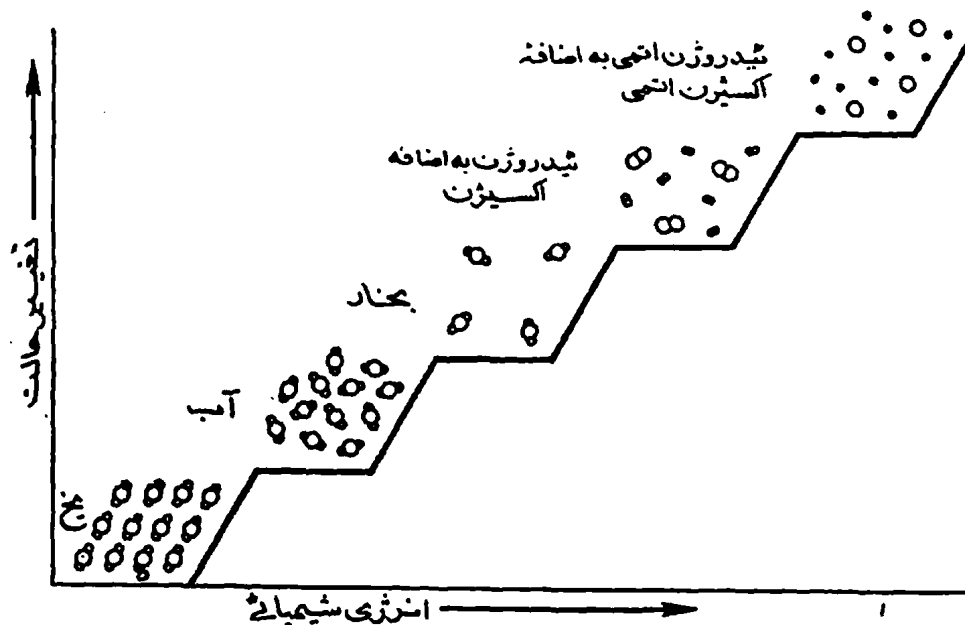
به داخل ظرف بیش از خروج بخار از آن است. ولی در 100°C فشار بخار آب با فشار اتمسفر برابر می‌شود و محدودیت فشار اتمسفر را به‌کنار می‌زند و به سرعت بخار می‌شود و حالتی به وجود می‌آورد که به آن «جوشیدن» می‌گوییم. (طبیعی است که اگر فشار هوا را پایین آوریم در دمای پایین‌تر از صد درجه فشار بخار آب برابر فشار هوا خواهد شد). آب در ارتفاعات، که فشار کم است، در دمای کم می‌جوشد و به همین علت تهیه تخم مرغ کاملاً پخته دشوار خواهد بود).
 وقتی که آب می‌جوشد، گرمای اضافی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود و آب 100°C را به بخار آب 100°C تبدیل می‌کند. در اینجا نیز یک گرم بخار آب 100°C به اندازه ۵۰۰ کالری انرژی شیمیایی بیش از یک گرم آب 100°C دارد. این همان گرمای نهانی تبخیر است.

طبیعی است که وقتی بخار به صورت آب متراکم می‌شود، این انرژی شیمیایی را که باید دوباره از دست بدهد، به گرما تبدیل خواهد شد. چون یک گرم بخار در حین تراکم ۵۰۰ کالری می‌دهد و یک گرم آبی که از ۱۰۰ درجه به صفر درجه سرد می‌شود فقط ۱۰۰ کالری تولید می‌کند به خوبی می‌بینید که قسمت بیشتر کاری که از ماشین بخار به دست می‌آید از بخار متراکم شونده حاصل می‌شود تا سرد شدن بعدی آب.

بخار آب در هر دمایی انرژی شیمیایی بیشتری از آب دارای همان دما دارد. به همین دلیل است که تعریق موجب خنک شدن بدن می‌گردد. انرژی شیمیایی لازم برای تبخیر عرق از گرمای بدن گرفته می‌شود پس بدن خنک می‌گردد. هنگامی که رطوبت به اندازه‌ای زیاد باشد که متراکم شدن بخار با تبخیر متعادل باشد، عرق به صورت قطره جمع می‌شود و از تأثیر آن در خنک کردن بدن کاسته می‌شود. در این موقع است که می‌گوییم: «هوا گرم نیست بلکه مرطوب است».



هنوز مسئله پایان نیافته است زیرا خود مولکول آب يك ذره ساده نیست بلکه مرکب از سه اتم است ، که دو اتم آن هیدروژن و يك اتم اکسیژن است . برای نگهداری این سه اتم باید دیگر در مولکول ، نیروهایی لازم است که بسیار قویتر از نیروهای جاذبه میان مولکولهاست . نیروهای بین اتمی به قدری قویتر از نیروهای بین مولکولی است که می توان آنها را به کابل سیمی و طناب تشبیه کرد . نیروهای جاذبه بین اتمی را معمولاً « پیوندهای شیمیایی » می گویند .



تصویر ۶ ، انرژی شیمیایی و تجزیه مولکول آب

به تدریج که آب گرم می شود (تصویر ۶) نه تنها مولکولها انرژی سینتیک به دست می آورند و نوسان شان سریعتر می گردد ، بلکه اتمهای سازنده مولکول نیز چنین می شوند . اما هنگامی که گرما به اندازه ای زیاد می شود که جاذبه بین

مولکولی را از بین می‌برد، اتمهای درون مولکول همچنان متصل به هم باقی می‌مانند، زیرا انرژی لازم برای جدا شدن آنها باید بیشتر باشد. حتی در موقعی که بخار آب به شدت حرارت داده شود، مولکولهای آب تجزیه نشده باقی می‌مانند. اما اگر دما چند هزار درجه بالا رود انرژی نوسان اتمها به قدری زیاد خواهد شد که رفته رفته پیوندهای اتمی پاره شدن را آغاز می‌کنند و آب به اکسیژن و هیدروژن تبدیل می‌گردد. در دمای 3000° قریب يك چهارم مولکولهای آب به هیدروژن و اکسیژن تجزیه می‌شود. مخلوط هیدروژن و اکسیژن انرژی شیمیایی بیشتری از همان مقدار آب در همان دما دارد.

هیدروژن و اکسیژنی که از تجزیه آب حاصل می‌شوند، ذرات ساده‌ای نیستند بلکه هر يك از آنها از دو اتم ساخته شده است. هر دو اتم هیدروژن به هم متصل می‌شوند و يك مولکول هیدروژن به وجود می‌آورند، نیز دو اتم اکسیژن يك مولکول اکسیژن می‌سازند. اگر گرما را زیادتر کنند پیوندهای میان این اتمهای جفت نیز گسیخته می‌شود. در دمای 3500° قریب يك چهارم مولکولهای اکسیژن به صورت اتمهای منفرد اکسیژن در می‌آید (اکسیژن اتمی)، و حال آنکه در همین دما بیش از يك سوم مولکولهای هیدروژن به اتمهای هیدروژن تبدیل می‌گردند. نیز اکسیژن و هیدروژنی که به صورت اتمی هستند در دمای معین بیش از همان مقدار اکسیژن و هیدروژن مولکولی انرژی شیمیایی دارند. دماهای زیادتر از این مقدار، موجب آغاز تجزیه اتمهای اکسیژن و هیدروژن می‌شوند و آنها را به ذرات کوچکتر تبدیل می‌نمایند. ولی در حال حاضر نمی‌خواهیم جریان امر را از اتم فراتر ببریم.



از آنچه بیان گردید به خوبی توجه یافته‌اید که نیروهای جاذبه بین

مولکولی و بین اتمی، مقادیر متفاوت دارند و گسیختن يك پیوند، یا به وجود آمدن آن یا تبدیل پیوندی به نوعی پیوند دیگر با جذب یا دفع مقداری انرژی شیمیایی همراه خواهد بود که در هر مورد مقدارش با مورد دیگر متفاوت است. موقعی که انرژی شیمیایی به دست می آید، سایر صورتهای انرژی (بخصوص انرژی حرارتی) باید به مصرف برسد تا نیازمندی قانون اول مرتفع گردد. به عکس اگر مقداری انرژی شیمیایی از دست برود، انرژی های صورت دیگر (معمولاً انرژی حرارتی، و غالباً انرژی نورانی) باید به وجود آید.

اکنون می توانیم به این سؤال که «انرژی سوختن ذغال سنگ از کجا می آید» پاسخ دهیم. گرما و نوری که همراه احتراق ذغال سنگ دیده می شود در نتیجه از دست رفتن انرژی شیمیایی حاصل از تغییر وضع پیوندهای شیمیایی ذغال سنگ و اکسیژنی که با آن ترکیب می شود، به وجود می آید.

برای مطالعه جزئیات اعمال متقابلی که در نتیجه تغییر ماهیت پیوندهای شیمیایی (یعنی واکنشهای شیمیایی) صورت می گیرد و انرژی حرارتی و نور آزاد می سازد ناگزیریم، اختصارهایی شیمیایی به کار بریم. مقصود از این کار این نیست که موضوع را به صورت مرموزتری در آوریم بلکه غرض تسهیل فهم مطلب است. خوشبختانه اختصارهای شیمیایی بسیار ساده است و آموختن آن هیچ گونه اشکالی ندارد.

تاکنون ۱۰۳ عنصر شیمیایی گوناگون شناخته اند. به عبارت دیگر ۱۰۳ نوع اتم می شناسند که هر يك از آنها وقتی که به صورت توده گرد هم آید، ماده ای به وجود می آورد که خواص مشخص دارد. درك مطالب این کتاب لازم به شناختن ۱۰۳ نوع عنصر نیست بلکه فقط شناختن در حدود ۱۲ عنصر کفایت می کند.

بدیهی است که هر عنصری نام مخصوصی دارد که یا مثل «قلع» ساده است

یا مانند «پاراسئودیمیوم»^۱ پر طول و تفصیل است. ولی علاوه بر نام عنصر، شیمی-دانشها برای هر يك، يك علامت اختصاری بین‌المللی قائل شده‌اند. علامت اختصاری به صورت يك حرف از حروف الفبای لاتین یا دو حرف از آنهاست، حرفی که معرف هر عنصر است حرف اول نام لاتینی آن است (که غالباً شبیه نام انگلیسی آن است). در صورتی که عنصری با دو حرف نشان داده شود، حرف دوم از دومین حرف نام آن گرفته می‌شود.

از این گذشته در نتیجه تحقیقاتی که دربارهٔ ماهیت اتمها به عمل آمده، معلوم شده که جرمهای آنها نیز متفاوتند. مثلاً اتم کربن ۱۲ برابر اتم ئیدروژن جرم دارد، و حال آنکه جرم اتم منیزیوم دو برابر جرم اتم کربن است و بر این قیاس. بنابراین هر يك از اتمهای عنصرهای مختلف عددی دارد که معرف جرم نسبی آنهاست. جرم اتم اکسیژن را ۱۶،۰۰۰۰ اختیار کرده‌اند و به همهٔ اتمهای دیگر «وزن اتمی» متناسب با آن داده شده است.

در جدول شماره ۱ صفحه بعد اتمهایی نشان داده شده‌اند که در این کتاب با آنها سر و کار داریم. علامت اختصاری و وزن اتمی هر يك نیز در این جدول هست. چنانکه می‌بینید تنها علامتهای اختصاری که کاملاً آشکار نیست از سدیم و پتاسیم و آهن است. در مورد این سه عنصر نام لاتین با نام انگلیسی متفاوت است و ناتیوم^۲ و کالیوم^۳ و فروم^۴ خوانده می‌شوند. اگرچه به خاطر سپردن علامتهای اختصاری که با نام عنصر ارتباطی ندارد، دشوار به نظر می‌رسد ولی می‌توان به خوبی به خاطر سپرد.

اوزان اتمی مندرج در جدول شماره ۱ دقیقترین اوزان موجود است. ولی به خاطر سپردن بخش کوچکتر از واحد هر رقم مورد احتیاج نیست. چون

بسیاری از اعداد معرف اوزان اتمی نزدیک اعداد درست هستند کافی است که فقط ئیدروژن را ۱ و کربن را ۱۲ و سدیم را ۲۳ و گوگرد را ۳۲ به حساب آوریم و بر این قیاس . فقط در مورد کلر که $35\frac{1}{2}$ و منیزیوم که $24\frac{3}{4}$ است، باید مقدار کسری را نیز به خاطر سپرد .

جدول شماره ۱

علامات اختصاری و اوزان اتمها

وزن اتمی	علامت اختصاری	عنصر
۱۰۰۰۸۰	H	ئیدروژن
۱۲۰۱۱	C	کربن
۱۴۰۰۰۸	N	نیتروژن
۱۶۰۰۰۰۰	O	اکسیژن
۲۲۰۹۹۱	Na	سدیم
۲۴۰۳۲	Mg	منیزیوم
۳۰۰۹۷۵	P	فسفر
۳۲۰۰۶۶	S	گوگرد
۳۵۰۴۵۷	Cl	کلر
۳۹۰۱۰۰	K	پتاسیم
۵۵۰۸۵	Fe	آهن
۱۲۶۰۹۱	I	ید

نوشتن C به جای کربن و H به جای ئیدروژن ، بخصوص برای شیمی دانها که وقت زیادی برای نوشتن نام عنصرها صرف می کنند ، صرفه جویی بسیار در وقت و کوششی است که به عمل می آید . وقتی که با مولکول ، که ترکیبی از اتمهاست ، سروکار داشته باشیم ، صرفه جویی زیادتری به عمل خواهد آمد . به کار بردن علامات اختصاری نه تنها برای صرفه جویی از وقت است بلکه به وضوح مطالب شیمی کمک فراوان می کند . این موضوعی است که ضمن مطالعه کتاب ،

بدان توجه خواهید یافت .

نکته‌ای هست که در همین جا باید در نظر گرفته شود . اکسیژن را در نظر بگیرید . در شرایط عادی اکسیژن گازی است که از اجتماع مولکول‌ها ساخته شده است . هر مولکول اکسیژن به نوبه خود از دو اتم اکسیژن مرکب است . پس وقتی که بگوییم «اکسیژن» معلوم نیست که منظور اتم اکسیژن است یا مولکول آن . البته می‌توانیم بگوییم «اکسیژن اتمی» و «اکسیژن مولکولی» اما این وضع تفکیک نه تنها به تفصیل پرداختن است بلکه ساختمان درست مولکول اکسیژن را نیز نمی‌رساند ، زیرا نوعی مولکول اکسیژن هست که اوزون نام دارد ولی از سه اتم اکسیژن ساخته شده است .

برای ساده کردن کار فقط لازم است که تعداد اتمها را پهلوی علامت اختصاری هر اتم بنویسیم ، در این صورت يك « فرمول شیمیایی » به دست خواهد آمد که ساختمان مولکول را نشان خواهد داد . مثلاً علامت اختصاری O برای اکسیژن است (البته می‌توان برای نشان دادن این که فقط يك O هست O_۱ نوشت ولی عموماً هر وقت که پهلوی اتمی عددی نباشد معنی ۱ می‌دهد) .

از سوی دیگر مولکول اکسیژن معمولی O_۲ نوشته می‌شود و اوزون O_۳ . بر همین قیاس نیتروژن و ئیدروژن و کلر همه گازهایی هستند که از مولکولهای محتوی يك جفت اتم ساخته شده‌اند و وقتی که منظور گاز معمولی باشد N_۲ و H_۲ و Cl_۲ نوشته می‌شود .

(گاهی ماده‌ای از تعداد مشخص اتم ساخته نشده است . مثلاً مقداری کربن که به وسیله پیوندهای شیمیایی به صورتی پیچیده به هم متصلند . تکه ذغال سنگ را می‌توان مولکولی غول آسا به حساب آورد ولی به منظور ساده کردن کار ، عنصرها را در حالت جامد با علامت اختصاری اتم آنها نشان می‌دهند ، و

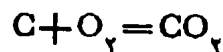
رابطه متقابل میان آن اتمها معلوم نیست. مثلاً کربن در حالت جامد و ساده خود با C نمایش داده می شود.

این سیستم علامات اختصاری هنگامی نیز می تواند به کار رود که مولکولها بیش از يك نوع اتم را شامل باشند. (موادی که در مولکولشان بیش از يك نوع اتم هست «مواد مرکب» خوانده می شوند). مثلاً اسید کلریدريك گازی است که هر مولکولش دو اتم دارد یکی اتم ئیدروژن و دیگری اتم کلر پس فرمولش HCl هست.

آب، که مولکولش يك اتم ئیدروژن و دو اتم اکسیژن دارد، فرمولش H_2O است. (این فرمولی است که همه کس آن را می شناسد) و حال آنکه انیدرید کربنیک يك اتم کربن و دو اتم اکسیژن دارد و فرمولش CO_2 است. هر مولکولی يك «وزن مولکولی» دارد که عبارت از مجموع وزن اتمهای سازنده آن است. مولکول اکسیژن وزنی معادل ۱۶ به اضافه ۱۶ مساوی ۳۲ دارد. مولکول انیدرید کربنیک وزنی معادل $12 + 32 = 44$ دارد و بر این قیاس.



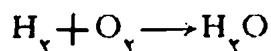
فرمولها، واکنشهای شیمیایی را بهتر از کلمات نشان می دهند. مثلاً زغال سنگ که از کربن تقریباً خالص ساخته شده است، هنگامی که می سوزد، با اکسیژن هوا ترکیب می گردد و انیدرید کربنیک تولید می کند. این واکنش شیمیایی را می توان چنین نوشت:



که خوانده می شود «کربن به اضافه اکسیژن مساوی است با انیدرید کربنیک» و مثالی از يك «معادله شیمیایی» است.

به همین طریق ئیدروژن با اکسیژن هوا ترکیب می شود و آب می دهد.

یکی از راههای نشان دادن این واکنش :

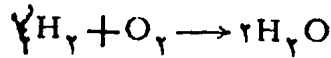


است ولی شیمی دانها به این گونه نوشتن معادله رضایت نمی‌دهند. علتش را توضیح خواهیم داد.

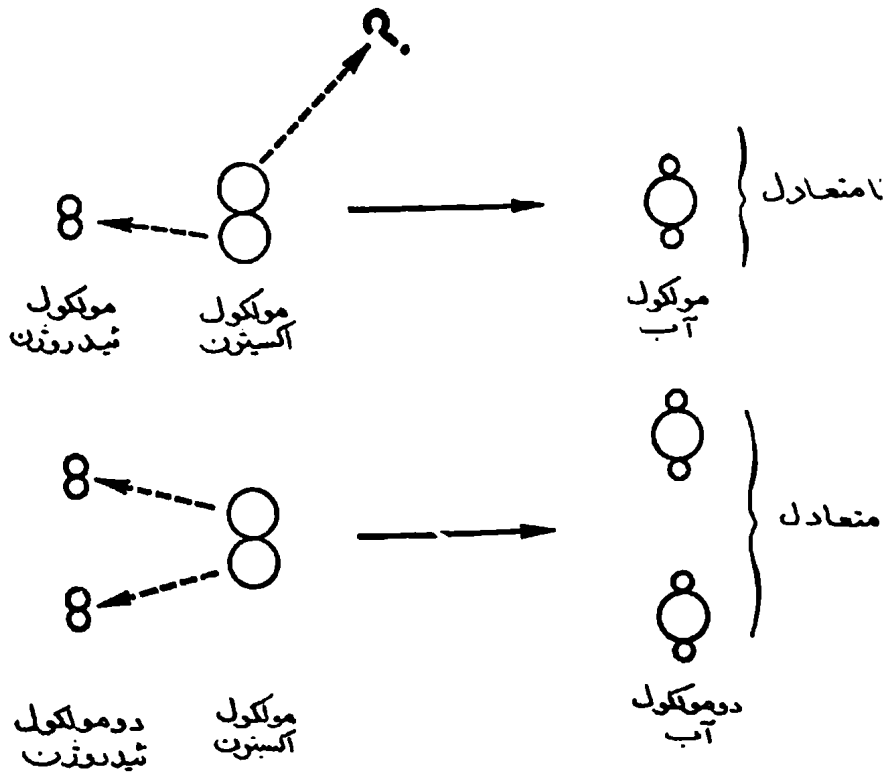
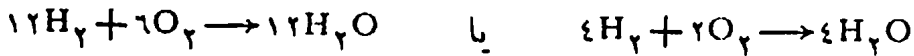
چنانکه در واکنش صفحه قبل می‌بینید کربن با اکسیژن ترکیب شده است ولی اتم به حساب نیامده وجود ندارد زیرا اگر از يك طرف معادله به طرف دیگر برویم، ابتدا يك اتم کربن (معرف زغال سنگ) و دو اتم اکسیژن (معرف يك مولکول اکسیژن) خواهیم دید، سپس در طرف دیگر معادله يك مولکول انیدرید کربنیک، که يك اتم کربن و دو اتم اکسیژن دارد، خواهیم یافت. این را «معادله متعادل» می‌گویند.

اما در معادله دوم، يك طرف معادله که ترکیب اکسیژن و ئیدروژن را نشان می‌دهد، جریان امر نوع دیگر است. در این معادله ابتدا ۲ اتم ئیدروژن (معرف يك ئیدروژن مولکولی) و ۲ اتم اکسیژن (معرف اکسیژن مولکولی) هست ولی در طرف دیگر يك مولکول آب دارای دو ئیدروژن ولی فقط يك اتم اکسیژن هست. این يك «معادله نامتعادل» و گمراه کننده است زیرا نشان می‌دهد که یکی از اکسیژن‌ها از میان رفته است و حال آنکه چنین امری واقع شدنی نیست. از این گذشته، چون معادلات شیمیایی محاسبات عددی را ممکن می‌سازند، پس هنگامی این محاسبات ممکن است به درستی صورت گیرند که متعادل باشند (تصویر ۷).

برای متعادل ساختن يك معادله، مقادیر مواد مختلفی که در آغاز به کار می‌روند باید تعیین شوند. بنابراین معادله متعادل ترکیب ئیدروژن و اکسیژن چنین خواهد شد :



که در آن ابتدا چهار اتم هیدروژن و دو اتم اکسیژن هست و در پایان نیز چهار اتم هیدروژن و دو اتم اکسیژن دیده می شود. این معادله متعادل است و از روی محاسبه ریاضی بدین صورتها نیز می تواند نوشته شود.



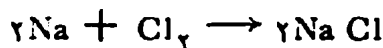
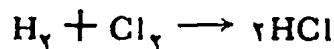
تصویر ۷، معادلات شیمیایی متعادل

ولی (فقط به خاطر سهولت) همواره حد اقل تعداد اتمها را می نویسند . به کار بردن اعداد کامل روش عمومی نوشتن معادلات شیمیایی است ولی تغییر پذیر هم هست . هنگامی که انرژی یک معادله شیمیایی در نظر گرفته می شود (ر این کاری است که انجام خواهیم داد) معمولاً این طور می نویسند $\frac{1}{4}\text{O}_2$ ، تا

يك اتم اكسيژن را نشان دهند. ولی این روش خوبی نیست زیرا نشان می‌دهد که در شرایط معمولی « نیم مولکول » هم وجود دارد، و حال آنکه چنین نیست. با وجود این، تدبیری است که در محاسبه انرژی شیمیایی مفید است. بنابراین معادلهٔ ئیدروژن و اکسیژن را می‌توان چنین نوشت:



چنانکه می‌بینید معادله با دو اتم ئیدروژن و يك اتم اكسيژن (نصف مولکول) آغاز می‌شود و با دو ئیدروژن و يك اكسيژن خاتمه می‌پذیرد. پس معادله‌ای متعادل است. از مثالهایی که اكسيژن در واکنش وجود ندارد یکی ترکیب ئیدروژن با کلر و تولید اسید کلریدريك، و دیگری ترکیب سدیم و کلر برای تولید کلرورسدیم (نمک معمولی) است. معادلات آنها به‌قرار زیر است:



چنانکه می‌بینید این ساده‌ترین راه (که اعداد درست به‌کار رود) نوشتن معادله و متعادل ساختن آنهاست.



چنانکه این معادله نشان می‌دهد يك مولکول ئیدروژن با يك مولکول کلر ترکیب می‌شود و دو مولکول اسیدکلریدريك به‌وجود می‌آورد. تعداد مولکولهای ئیدروژن با تعداد برابری از مولکولهای کلر ترکیب می‌شود. مثلاً یکی با یکی، ده‌تا با ده‌تا و يك میلیون با يك میلیون ولی این دلیل نمی‌شود که دو وزن برابر از این دو گاز با هم ترکیب شوند، زیرا يك مولکول کلر سنگین‌تر از يك مولکول ئیدروژن است، و وزن کلری که در واکنشی وارد است بسیار زیادتر از وزن ئیدروژن است.

از آنجا که وزن اتمی ئیدروژن ۱ است و از کلر $\frac{1}{4}$ ۳۵ پس وزن مولکولی ئیدروژن $1 + 1$ یعنی ۲ است و حال آنکه از کلر $\frac{1}{4}$ ۳۵ + $\frac{1}{4}$ ۳۵ یعنی ۷۱ است. خواه یک مولکول ئیدروژن با یک مولکول کلر ترکیب شود خواه دو مولکول ئیدروژن با دو مولکول کلر خواه ده مولکول از هر یک و خواه یک میلیارد از هر یک، نسبت میان جرم آنها همیشه نسبت ۲ به ۷۱ است. بنابراین دو گرم ئیدروژن با ۷۱ گرم کلر ترکیب خواهد شد و دو کیلو گرم ئیدروژن با ۷۱ کیلو گرم کلر، و ۲ تن ئیدروژن با ۷۱ تن کلر و بر این قیاس.

شیمی دانهایی که سیستم متری به کار می برند، ۲ گرم ئیدروژن را با ۷۱ گرم کلر در نظر می گیرند.

(شیمی دانها پیش از آنکه از ساختمان اتمی مولکولها چیزی بدانند از روی اندازه گیری آگاه شده بودند که ۲ گرم ئیدروژن با ۷۱ گرم کلر ترکیب می شود، ولی پس از انجام مشاهدات بسیار نتیجه گرفتند که ترکیب این دو گاز یک به یک صورت می گیرد و مولکول کلر $\frac{1}{4}$ ۳۵ برابر بزرگتر از مولکول ئیدروژن است و اتم کلر $\frac{1}{4}$ ۳۵ برابر بزرگتر از اتم ئیدروژن است. چون عنصرهای گوناگون به نسبت وزن با یکدیگر ترکیب می شدند، ابتدا توانستند وزن اتمی عنصرهای گوناگون را پیدا کنند).

تعداد مولکولهای ئیدروژنی که در ۲ گرم ئیدروژن هست تقریباً برابر $6.02,000,000,000,000,000,000,000$ است. این عدد بزرگ به « عدد آووگادرو » موسوم است، زیرا در آغاز به وسیله مطالعات شیمی دان ایتالیایی آمدئو آووگادرو در حدود سال ۱۸۱۰ پیدا شده و به کار رفته است. عدد آووگادرو را عموماً با حرف N نمایش می دهند، زیرا بسیار آسانتر از نوشتن خود عدد

است. از این پس فقط N را به جای عدد آووگادرو به کار خواهیم برد.
 پس می‌توان گفت که N مولکول H_2 ، 2 گرم وزن دارد. چون یک مولکول
 Cl_2 $71 \frac{1}{2}$ برابر یک مولکول H_2 است، پس N مولکول Cl_2 باید $35 \frac{1}{2}$ برابر
 بزرگتر از N مولکول H_2 باشد. بنابراین N مولکول Cl_2 باید $2 \times 35 \frac{1}{2}$ یا 71
 گرم وزن داشته باشد.

همین استدلال در مورد هر نوع مولکولی صادق است. نسبت وزن N مولکول
 هر ماده به وزن N مولکول ئیدروژن برابر نسبت وزن یک مولکول همان ماده
 به وزن یک مولکول ئیدروژن است.

انتخاب عدد N از آن جهت است که وزن N مولکول ئیدروژن برابر با وزن
 مولکولی ئیدروژن بر حسب گرم است. (یعنی وزن مولکولی ئیدروژن 2 است
 و وزن N مولکول ئیدروژن 2 گرم است.) از روی نسبتی که در بالا بیان داشته‌ام
 این مطلب برمی‌آید که N مولکول هر ماده‌ای باید وزنی معادل وزن مولکولی
 آن ماده بر حسب گرم داشته باشد. پس چنانکه قبلاً به دست آمده N مولکول
 Cl_2 ، 71 گرم وزن دارد و وزن مولکولی کلر 71 است.

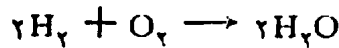
از آنجا که وزن مولکولی آب (H_2O) عبارت است از $1+1+16$ یعنی
 18 ، پس می‌توانیم بگوییم که N مولکول H_2O وزنی برابر 18 گرم دارد و حال
 آنکه N مولکول CO_2 (که وزن مولکولیش 44 است) 44 گرم وزن دارد.

وزنی که برابر وزن مولکول بر حسب گرم باشد به «وزن مولکول گرم»
 یا مختصراً «Mole» نامیده می‌شود. بدین طریق N مولکول هر ماده‌ای یک
 Mole همان ماده است. یک مولکول گرم ئیدروژن 2 گرم و یک مولکول گرم آب
 18 گرم و یک مولکول گرم انیدرید کربنیک 44 گرم وزن دارد و بر این قیاس.
 اگرچه اوزان این مواد متفاوت است ولی، تعداد مولکولهایی که در هر مولکول

گرم آنها هست برابر است .

طبیعی است که وقتی اتم منفرد در نظر گرفته شود ، عین نتایج فوق در مورد آنها نیز صادق خواهد بود . بنابراین N اتم کربن (C) ۱۲ گرم وزن دارد و حال آنکه وزن N گرم گوگرد (S) ۳۲ گرم است . این را وزن اتمی بر حسب گرم یا « وزن اتم گرم » می گویند .

علامات اختصاری عنصرها یا مواد مرکب عموماً دو کار انجام می دهند . هم یک اتم یا یک مولکول را نشان می دهند و هم N اتم یا N مولکول را . مثلاً معادله :

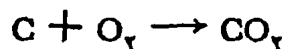


می تواند خوانده شود : « دو مولکول هیدروژن به اضافه یک مولکول اکسیژن به دو مولکول آب تبدیل می شود ، « نیز » دو مولکول گرم هیدروژن به اضافه یک مولکول گرم اکسیژن به دو مولکول گرم آب مبدل می گردد . »

از آنجا که اوزان مولکولی هیدروژن و اکسیژن و آب به ترتیب ۲ و ۳۲ و ۱۸ است ، پس یک مولکول گرم هر یک (نیز) ۲ گرم ، و ۳ گرم و ۱۸ گرم خواهد بود . طریق دوم خواندن معادله بر حسب گرم چنین است « از ۴ گرم هیدروژن به اضافه ۳۲ گرم اکسیژن ۳۶ گرم آب تولید می شود . »

چنانکه می بیند مقدار ماده محفوظ مانده است . با ۳۶ گرم اکسیژن و هیدروژن آغاز کردیم و به ۳۶ گرم آب رسیدیم . حفظ ماده بدین صورت تنها با معادله متعادل ممکن است .

پس اگر معادله زیر را به هر یک از سه صورت زیر بخوانیم بحثی نیست :



۱- یک اتم کربن به اضافه یک مولکول اکسیژن یک مولکول انیدرید کربنیک تولید می کند .

۲- يك مولكول گرم كربن به اضافه يك مولكول گرم اكسيژن يك مولكول گرم انيدريد كربنيك به وجود می‌آورد .

۳- ۱۲ گرم كربن به اضافه ۳۲ گرم اكسيژن ، ۴۴ گرم انيدريد كربنيك توليد می‌کند .

اکنون به آن اندازه با زبان شیمیایی‌آشنایی یافته‌ایم که بتوانیم ، تغییرات انرژی و واکنش‌های شیمیایی را ، که احتمال وقوع آنها در بدن آدمی هست ، اندازه بگیریم .

فصل هشتم

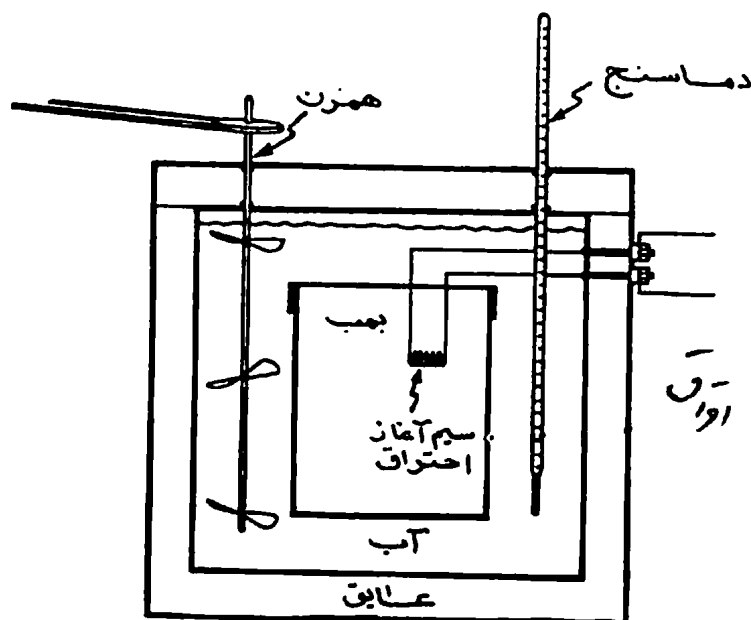
گرمای واکنش

وسيله‌ای برای اندازه‌گیری مستقیم انرژی شیمیایی وجود ندارد و حال آنکه انرژی حرارتی به‌سهولت اندازه‌گیری می‌شود. اکنون فرض کنید که واکنش مخصوصی در ظرف مسدودی انجام گیرد. مثلاً واکنشی به کمک یک سیم الکتریکی گرم شده صورت پذیرفته و اطراف ظرف را مقدار ثابتی آب که کاملاً هم زده می‌شود، فراگرفته است. همه دستگاه، از ظرف مخصوصی واکنش گرفته تا آبی که آنرا فراگرفته به وسیله عایقی از جهان خارج جدا شده است تا اتلاف گرما به حد اقل تقلیل یابد نیز گرمایی از محیط گرفته نشود.

حال فرض کنید که مخلوطی از ئیدروژن و اکسیژن را در ظرف مورد بحث ریخته‌اید. به یک چشم بدهم زدن دو گاز با هم ترکیب می‌شوند و آب به وجود می‌آورند. انرژی شیمیایی موجود در پیوندهای شیمیایی مولکولهای ئیدروژن و اکسیژن بیشتر از انرژی شیمیایی پیوند مولکولهای آب است. پس با ترکیب شدن اکسیژن و ئیدروژن و به وجود آمدن آب مقداری انرژی از دست می‌دهیم. ولی این کاهش درست معادل مقدار انرژی است که به صورت گرما گرفته شده است

در نتیجه ظهور گرمای درون ظرف ، دمای آب اطراف آن بالاتر خواهد رفت . هم زده شدن آب ، بالا رفتن دمای آن را به طور یکنواخت تأمین می کند و عایقی که در اطراف دستگاه هست بالا رفتن دمای آب را فقط محصول پیدایش گرمای درون ظرف نشان خواهد داد و می توان اطمینان حاصل کرد که از خارج گرمایی به درون دستگاه نفوذ نکرده است .

با اندازه گیری افزایش دما در حجم معینی از آب ، تعداد کالری گرمایی که از واکنش نتیجه می شود (« گرمای واکنش ») تعیین می گردد و مقدار تغییری که در انرژی شیمیایی حاصل شده است نیز خود به خود تعیین می گردد . مسلم



تصویر ۸ ، بمب کالوریمتری

است که همه انرژی حاصل از واکنش به صورت گرما در نمی آید . در احتراقات معمولی عموماً مقدار زیادی نور نیز به وجود می آید ، ولی درون ظرف مسدود هر چه نور به وجود آید به سرعت جذب دیواره آن گشته و به گرما تبدیل می شود .

(در موردی استثنایی که واکنش با گرفتن مقداری انرژی شیمیایی همراه است، این جریان با از بین رفتن مقدار معادلی گرما و نزول دما در آب اطراف نوازن حاصل خواهد شد).

این گونه ظرفها را « کالوریمتر » می‌گویند و مطالعه با آن را کالوریمتری می‌نامند. از آنجا که واکنشهای واقع در داخل کالوریمتر عموماً با سرعتی انفجار آمیز صورت می‌گیرند آن را « بمب » نامیده‌اند و نام بمب کالوریمتری به دستگاه داده‌اند (تصویر ۸).

روش فنی کالوریمتری جدید از آزمایشهای شیمی دان هلندی یولیوس تامسن و شیمی دان فرانسوی پیراژن مارسلن برتلو که صدها سنجش کالوریمتری در نیمه دوم قرن نوزدهم انجام داده‌اند سرچشمه می‌گیرد.

با اندازه گیری گرمای واکنشی که از تبدیل مخلوط ئیدروژن اکسیژن به آب حاصل می‌شود نمی‌توان مقدار انرژی شیمیایی واقعی موجود در مخلوط ئیدروژن اکسیژن یا در آب را تعیین کرد بلکه فقط تغییر حاصل در انرژی شیمیایی از یک حالت به حالت دیگر را می‌توان معین ساخت. به عبارت دیگر تفاوت سطح انرژی شیمیایی میان مخلوط ئیدروژن و آب تعیین می‌شود. واقع امر این است که شیمی دانها به همین تفاوت حاصل توجه دارند زیرا هر کاری که، طبق قانون دوم، به وسیله واکنشی شیمیایی صورت گیرد فقط به تفاوت سطح انرژی شیمیایی وابسته است. درست مانند آنکه در ماشین حرارتی کاری که صورت می‌گیرد به تفاوت سطح انرژی حرارتی (یعنی دما) بستگی دارد.

در فیزیک و مکانیک هر تغییری که در مقداری حاصل شود، با حرف یونانی دلتا (Δ) نمایش داده می‌شود و این علامت را بیش از علامت اختصاری آن مقدار قرار

می دهند. (Δ) که معادل D زبان انگلیسی است معرف «تفاوت» (Difference) است. پس اگر انرژی را با E نشان دهیم تغییرات آن خواهد شد ΔE ، و خواننده می شود دلتا E. در مورد واکنش ئیدروژن با اکسیژن به صورت آب، ΔE هم می تواند نماینده انرژی از دست رفته در فرایند و هم انرژی گرفته شده در آن باشد. البته هر دو مقدار برابر یکدیگرند.

اندازه گیری گرمای واکنش به دو طریق انجام می گیرد. مثلاً ماده ای را که واکنش شیمیایی می کند در حجم ثابت، چنانکه هست، در کالوریمتر نگه می دارند و بمب کالوریمتر در حین واکنش تغییر حجم نمی دهد. اگر مقدار گاز (عموماً آزمایش کالوریمتری با گازها و بخارات سروکار دارد) در نتیجه واکنشی زیاد شود، چون حجم را ثابت نگه می دارند بنا بر این فشار باید افزایش یابد. اگر مقدار گاز کاهش یابد، چون حجم را ثابت نگه می دارند بنا بر این فشار باید کاهش یابد. علامت اختصاری E بخصوص برای تغییر انرژی تحت شرایط حجم ثابت و فشار متغیر است. (گاهی علامت اختصاری ΔU را نیز به کار می برند ولی من فقط ΔE به کار خواهم برد).

از سوی دیگر می توان واکنش را در ظرفی انجام داد که بالای آن پیستونی باشد و بی اصطکاک به بالا و پایین حرکت کند. در این گونه ظرفها فشار نمی تواند تغییر یابد زیرا باید همواره با وزن پیستون در موازنه باشد. اگر فشار بالا رود پیستون به بالا رانده می شود تا حجم را به اندازه ای که افزایش فشار را خنثی کند، بالا برد. اگر فشار پایین آید پیستون به پایین رانده می شود تا حجم را کم کند و فشار را تا حصول توازن، بالا برد. در چنین شرایطی مسئله مقدار گاز تغییر یافته در طی واکنش اهمیتی ندارد زیرا فشار ثابت است و تنها حجم تغییر می کند. به عبارت دیگر واکنشی در فشار ثابت و حجم متغیر انجام می گیرد.

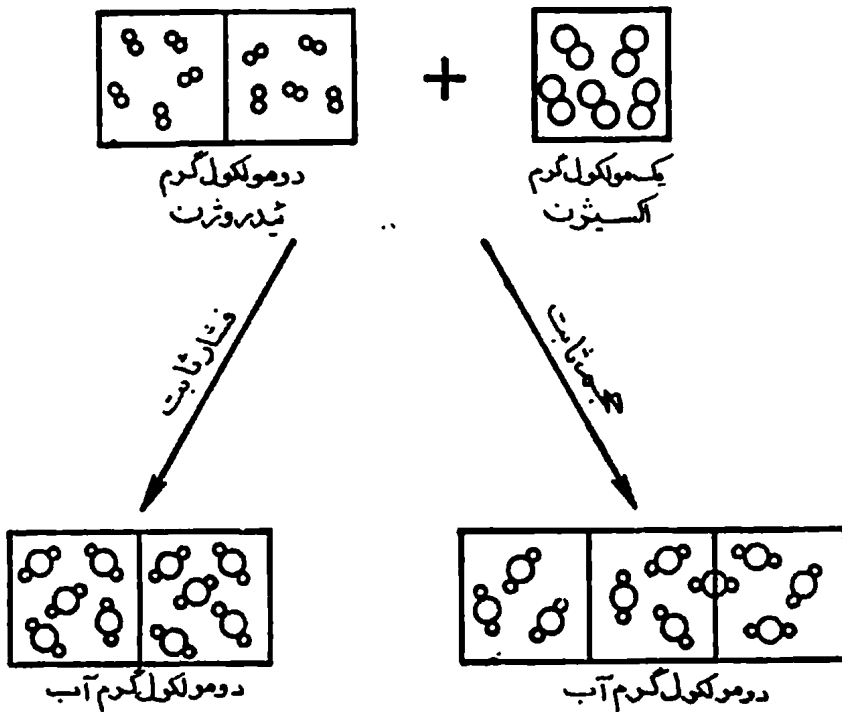
مولکول گرم هر گاز حجم ثابتی دارد (که $22/4$ لیتر است) به شرط آنکه در فشار اتمسفر معمولی قرار داشته باشد ، زیرا در هر لیتر از هر گاز دارای فشار معین ، بدون در نظر گرفتن بزرگی یا کوچکی مولکول گاز ، تعداد معینی مولکول هست . در واکنش «تیدروژن-اکسیژن» یعنی در $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ دو مولکول گرم تیدروژن بایک مولکول گرم اکسیژن ترکیب می شود و دو مولکول گرم آب به وجود می آورد . (البته در دمای واکنش آب به صورت بخار است . یعنی حالت گازی دارد) . مخلوط اولیه دو گاز بر روی هم سه مولکول گرم است ولی آبی که به وجود می آید فقط دو مولکول گرم است ، پس حجم به مقدار $\frac{1}{3}$ کاهش یافته است . (جرم تغییر نمی کند ، و مانند آن است که در مولکول سه اتم باشد ولی سه اتم مخلوط اولیه در مولکول آب متراکم تر یعنی مانند دو اتم در مولکول قرار گیرند) .

در استوانه پیستون ، کاهش حجم موجب جلب پیستون و ثابت ماندن فشار می شود ، و حال آنکه در بمب کالوریمتری که حجم نمی تواند کمتر شود ، پس فشار به نسبت $\frac{1}{3}$ کاهش می یابد . (با مراجعه به تصویر ۹ مسئله روشن تر خواهد شد) . اندازه تغییر انرژی در دو مورد فوق برابر نخواهد بود . اندازه آن در فشار ثابت بیشتر از اندازه آن در حجم ثابت است . علامت اختصاری تغییر انرژی در فشار ثابت ΔH است ، H یعنی «مقدار گرما» و گاهی به انتالپی موسوم است . بنابراین برای واکنشی معین ΔH از ΔE بزرگتر است . رابطه میان این دو را می توان به طریق ریاضی نشان داد و هر يك را از روی معلوم بودن دیگری بدون اشکال به دست آورد .

در طبیعت واکنشها عموماً در فشار ثابت ، یعنی فشار هوا ، صورت می گیرند

و روی این اصل ΔH برای شیمی‌دانها مفیدتر از ΔE است و وقتی که ΔE در کالوریمتری به‌دست می‌آید آن را به ΔH تبدیل می‌کنند.

همین مسئله موقعی نیز که بخواهند مقدار ماده‌ای را با محاسبه ΔH آن محاسبه تعیین کنند، پیش می‌آید. آشکار است که اگر ۱۰ گرم ئیدروژن در اکسیژن بسوزد، گرماي حاصل ده برابر گرمايي خواهد بود که از سوختن يك گرم ئیدروژن تولید می‌شود. از این گذشته گرماي حاصل از سوختن ئیدروژن را چگونه باید



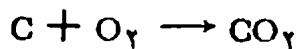
تصویر ۹، ترکیب ئیدروژن و اکسیژن در حجم ثابت و در فشار ثابت

با گرماي سوختن کربن مقایسه کرد؟ اگر سوختن يك گرم ئیدروژن با سوختن يك گرم کربن مقایسه شود، این مسئله مهم باید در نظر گرفته شود که در يك گرم ئیدروژن، به‌ازای هر اتم کربن در يك گرم کربن، ۱۲ اتم ئیدروژن هست. شیمی‌دانها به این نتیجه رسیده‌اند که بهترین نتایج حاصل هنگامی به‌دست

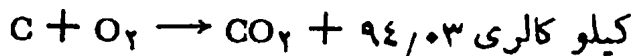
می‌آید که گرمای واکنش را بر اساس مولکول گرم تعیین کنند، بدین معنی که واکنش حرارتی سوختن يك مولکول گرم ئیدروژن در اکسیژن را با سوختن يك مولکول گرم کربن در اکسیژن مقایسه کنند. در این صورت اوزان متفاوتند ولی تعداد مولکولها برابر و چیزی که مورد نظر است تعداد مولکولهاست. بنابراین ΔH معروف «گرمای واکنش يك مولکول گرم در فشار ثابت است». این عبارت است از تغییر مقدار گرمای يك مولکول گرم ماده و بخشی است که مورد نظر ما در واکنش است.



برای تطبیق موضوع با مواردی که پیش می‌آید بار دیگر ترکیب کربن و اکسیژن را در نظر می‌گیریم:



گرمای واکنش موجود ۹۴٫۰۳ کیلوکالری است. به منظور تکمیل معادله باید این مقدار کالری نیز در معادله وارد گردد، زیرا ترکیب کربن و اکسیژن تنها انیدرید کربنیک به وجود نمی‌آورد بلکه مقداری انرژی به صورت گرما و نور نیز تولید می‌کند. پس معادله را می‌توان چنین نوشت:

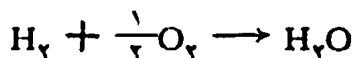
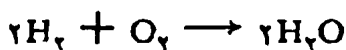


این معادله را می‌توان چنین خواند: يك مولکول گرم کربن به اضافه يك مولکول گرم اکسیژن تولید يك مولکول گرم انیدرید کربنیک و ۹۴٫۰۳ کالری می‌کند. یا ۱۲ گرم کربن به اضافه ۳۲ گرم اکسیژن تولید ۲۴ گرم انیدرید کربنیک و ۹۴٫۰۳ کالری می‌کند (هر دو يك مفهوم دارند).

بیشتر اوقات گرمای واکنش را در معادله نمی‌گنجانند بلکه در کنار آن، به صورت عنوانی جدا می‌نویسند. مثلاً



توجه کنید که ΔH را منفی نمایش داده‌اند. این کار دلیلی دارد. هنگامی که کربن و اکسیژن ترکیب می‌شوند انرژی شیمیایی دستگاه پایین می‌آید ولی مقدار گرما بالا می‌رود. اگر توجه خود را به انرژی شیمیایی معطوف سازید خواهید دید که تغییر آن در جهت منفی بوده است و حال آنکه اگر توجه را به گرمای حاصل معطوف کنید آن را مثبت خواهید یافت. خواه منفی به کار برید خواه مثبت، در هر دو حال عدد تغییر نمی‌کند، فقط باید همیشه سعی کنید یکی از دو را در نظر بگیرید و تغییر ندهید. بعضی از شیمی‌دانها برای مدنی علامت مثبت واکنشی را به کار بردند (یعنی تولید گرما را مانند آنچه در احتراق دیده می‌شود) و حال آنکه عده دیگر علامت منفی را استعمال کردند. چون این مسئله موجب اشتباهات می‌شد، طبق قرارداد اکنون فقط علامت منفی را به کار می‌برند. اکنون سوختن هیدروژن را در نظر می‌گیریم. این را به دو صورت می‌توانیم بیان کنیم. هر دو صورت چنانکه در فصل پیش اشاره کرده‌ام معادله‌ای متعادلند:



شیمی‌دانها عموماً توجه به گرمای حاصل از سوختن «یک مولکول گرم» هیدروژن مبنویسند. پس معادله دوم که یک مولکول گرم هیدروژن دارد مورد نظر آنهاست. (تقریباً برای هر منظور شیمیایی، غیر از محاسبه گرمای واکنش، معادله اول مرجح است.)

از نظر اندازه‌گیری کالوریمتری می‌توانیم این طور بنویسیم:



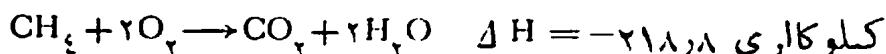
(این گرمای واکنشی است که اجازه می‌دهد آب، در حالی که گرمای نهانی تبخیر

را از دست می‌دهد به حالت مایع درآید. اگر آب به صورت بخار نگه‌داشته شود، گرمای نهانی تبخیر به مجموع اضافه نمی‌شود و ΔH فقط برابر ۵۷۸۸ - کیلوکالری خواهد شد. اگر چه چنین اصلاحاتی مورد توجه شیمی‌دانهاست، نباید موجب نگرانی ما گردد.

هنگامی که گرمای واکنش حاصل از سوختن کربن را با سوختن ئیدروژن مقایسه می‌کنیم، مقایسه مولکول گرم به مولکول گرم انجام می‌گیرد. وقتی که یک مولکول گرم کربن می‌سوزد تقریباً نصف گرمای سوختن یک مولکول گرم ئیدروژن را به وجود می‌آورد. ولی یک مولکول گرم کربن ۱۲ گرم وزن دارد و حال آنکه یک مولکول گرم ئیدروژن دو گرم. اگر قرار باشد دوماه را بر حسب وزن مقایسه کنیم خواهیم دید که یک گرم کربن پس از سوختن $\frac{۹۴۰۳}{۱۲}$ یا تقریباً ۷۸ کیلو کالری گرما تولید می‌کند و حال آنکه یک گرم ئیدروژن پس از سوختن $\frac{۶۸۳۷}{۲}$ یا ۳۴۱۸ کیلو کالری به وجود می‌آورد. بر اساس مقایسه وزن، (که در نظر کسانی که اهل فن نیستند، طبیعی‌تر می‌آید) سوختن ئیدروژن تقریباً $\frac{۱}{۴}$ برابر سوختن کربن انرژی تولید می‌کند. این مثال به خوبی نشان می‌دهد که در هر مقایسه، چیزهایی که مورد مقایسه قرار می‌گیرند، واجد اهمیت بسیارند.

ذغال سنگ تقریباً از کربن خالص ساخته شده است و ئیدروژن مسلماً جزئیدروژن چیزی ندارد. سوختنهایی نیز وجود دارند که بیش از یک نوع عنصر در آنها هست، مانند محصولات متنوع نفتی، چون: بنزین، نفت چراغ، روغنهای سوختنی که هم کربن دارند و هم ئیدروژن. چوب مولکولهایی مرکب از کربن و ئیدروژن و اکسیژن دارد. این گونه مولکولها اگر چه پیچیده‌ترند اصول نو، به وجود نمی‌آورند. مثلاً متان را در نظر بگیرید. این گاز بخش اعظم گاز

طبیعی، را، که در کوره‌ها و اجاق‌های خوراک یزی و بخاری‌های خانگی مصرف می‌کنند، تشکیل می‌دهد. مولکول متان یک اتم کربن و چهار اتم ئیدروژن دارد (CH_4). معادله ترکیب این گاز با اکسیژن چنین است.



چنانکه می‌بینید هم انیدرید کربنیک به وجود آمده است و هم آب (اگر معادله را بررسی کنید آن را متوازن خواهید یافت).

متان، بر اساس مولکول گرم، بیش از کربن و ئیدروژن گرما می‌دهد. وزن مولکولی متان ۱۶ است (۱۲ از کربن و ۴ از ۴ ئیدروژن است). یک گرم متان پس از سوختن $\frac{218.8}{16}$ یا ۱۳٫۶ کیلوکالری تولید می‌کند. این بیش از گرمای حاصل از سوختن یک گرم کربن ولی کمتر از گرمای حاصل از سوختن یک گرم ئیدروژن است. البته این چیز غیر منتظره‌ای نیست زیرا این ماده از کربن و ئیدروژن ساخته شده است.

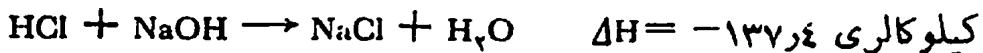
مثالی از مولکولی پیچیده‌تر الکل اتیلیک است (این ماده‌ای است که در آبجو و شراب و ویسکی هست)، که ۲ اتم کربن ۶ اتم ئیدروژن و یک اتم اکسیژن دارد. ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) معادله سوختن الکل اتیلیک به‌قرار زیر است.



وزن مولکولی الکل اتیلیک ۴۶ است (۲۴ از ۲ کربن، ۱۶ از یک اکسیژن و ۶ از شش ئیدروژن است)، پس یک گرم الکل اتیلیک در موقع سوختن $\frac{327.6}{46}$ یا ۷٫۱ کیلوکالری تولید می‌کند. این بسیار کمتر از گرمای حاصل از سوختن یک گرم ئیدروژن یا یک گرم متان است. حتی از گرمای حاصل از یک گرم کربن هم کمتر است. دلیلش این است که یک اتم اکسیژن در این میان هست، و مانند آن است که بخشی از مولکول را از پیش سوخته شده بدانیم. اتمهای کربن و

نیدروژن در مولکول الکل اتیلیک، قبلاً با یکی از هفت اکسیژن لازم برای تولید انیدرید کربنیک و آب ترکیب شده‌اند. برای آنکه واکنشهای شیمیایی گرما بدو وجود آورند لازم نیست که اکسیژن در برداشته باشند. (اگرچه واکنشهایی که اکسیژن داشتند نخستین بار به نظر نوع آدمی آمده‌اند). هر نوع واکنش شیمیایی مقداری گرمای واکنش دارد. مثلاً در فصل پیش به معادله‌ای اشاره کردم که طی آن نیدروژن و کلر با هم ترکیب گشته و اسید کلریدرید تولید کردند نیز از ترکیب سدیم و کلر، کلرور سدیم حاصل شد. ΔH معادلهٔ اولی ۲۲۰۶- کیلوکالری است (برای تشکیل یک مولکول گرم اسید کلریدرید از نصف مولکول گرم نیدروژن و نصف مولکول گرم کلر) و حال آنکه ΔH معادلهٔ دومی ۹۸۳- است (برای تشکیل یک مولکول گرم کلرور سدیم از یک مولکول گرم سدیم و نصف مولکول گرم کلر).

نیز نوعی مادهٔ مرکب به نام «اسید» هست (که یک سلسله خواص مخصوص به خود دارد) که با نوع دیگری از مادهٔ مرکب به نام باز (که یک سلسله خواص مخصوص عکس خواص اسید دارد) ترکیب می‌شود و ماده‌ای به وجود می‌آورد که هیچیک از خواص اسید و باز را ندارد. این واکنش را «خنثی شدن» می‌گویند. مثلاً اسید کلریدرید (HCl) که محلولش حالت اسیدی دارد با سود (NaOH) که در محلول خاصیت بازی دارد با هم ترکیب می‌شوند و کلرور سدیم و آب تولید می‌کنند. فرمول واکنش به‌قرار زیر است:



حتی تغییری که عموماً شیمیایی به نظر نمی‌رسد، مانند حل شدن ماده‌ای در آب، شامل گرمای واکنش است. و این یک امر منطقی است زیرا وقتی که مادهٔ مرکب حل شد، به‌جای نیروهایی که مولکولها را به‌صورت جامد نگه

می‌داشتند نیروهایی می‌آیند که مولکولهای ماده را با مولکولهای آب مجاور خود نکه می‌دارند، پس تغییری در انرژی شیمیایی باید حاصل شود. مثلاً اگر کربنات سدیم (سودای رخت شویی) در آب حل شود، ΔH فرایند (که در این مورد «گرمای مولکول گرم محلول» نامیده می‌شود نه «گرمای مولکول گرم واکنش») در حدود ۵۶۴ - کیلوکالری است.

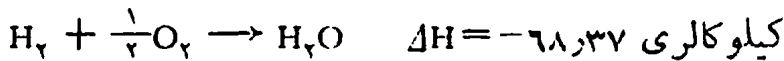
ولی این مقدار متعلق به یک مولکول گرم کربنات سدیم است. فرمول کربنات سدیم Na_2CO_3 است و وزن مولکولی اش ۱۰۶ است (۴۶ از دو سدیم و ۱۲ از یک کربن و ۴۸ از سه اکسیژن) به طوری که محلول یک گرم کربنات سدیم مساوی $\frac{۵۶۴}{۱۰۶}$ یا ۵٫۳ کیلوکالری است. این مقدار معادل ۵۳ کالری کوچک است یا کمتر از گرمایی است که از یخ بستن یک گرم آب حاصل می‌شود، بنابراین تعجبی ندارد اگر پس از حل کردن کربنات سدیم در آب گرمای حاصل از آن توجه‌ها را به خود جلب نکند.



تغییراتی که در انرژی شیمیایی حاصل می‌شود باید تابع قوانین ترمودینامیک باشد. وقتی پذیرفتیم که هر تغییر انرژی شیمیایی باید با تغییر مخالفی از انرژی حرارتی متعادل شود و گرنه معارض قانون اول خواهد شد، خود اشاره‌ای ضمنی بر این مسئله است. ولی جریان امر به این سادگی نیست.

قدیمیترین تعمیمی که درباره انرژی شیمیایی به عمل آمده به وسیله لاپلاس و دانشمند فرانسوی دیگری به نام پیرسیمون دو لاپلاس بوده است. این دو دانشمند در سال ۱۷۸۰ بر اساس اندازه‌گیریهای ناقص (در مقایسه با استانداردهای بعدی) به این نتیجه رسیدند که گرمای جذب شده در تجزیه یک ماده مرکب به عنصرهای

سازنده‌اش، برابر گرمای حاصل از تشکیل ماده مرکب از عنصرهای سازنده‌اش است. ذکر مثالی مفهوم مسئله فوق را روشن خواهد ساخت. قبلاً بیان داشته‌ام که ترکیب هیدروژن و اکسیژن، به‌ازای سوختن هر مولکول گرم هیدروژن یا (با ملاحظه معادله توجه خواهید یافت که تفاوتی نمی‌کند) به‌ازای هر مولکول گرم آبی که به‌وجود می‌آید، ۶۸۳۷ کیلو کالری گرما تولید می‌کند:



بنابراین براساس تعمیم لاوازیه - پاسکال، تجزیهٔ یک مولکول گرم آب، به‌هیدروژن و اکسیژن (که با معکوس نوشتن معادلهٔ فوق می‌توان آن را نشان داد) احتیاج به ۶۸۳۷ کیلو کالری انرژی دارد. بنابراین

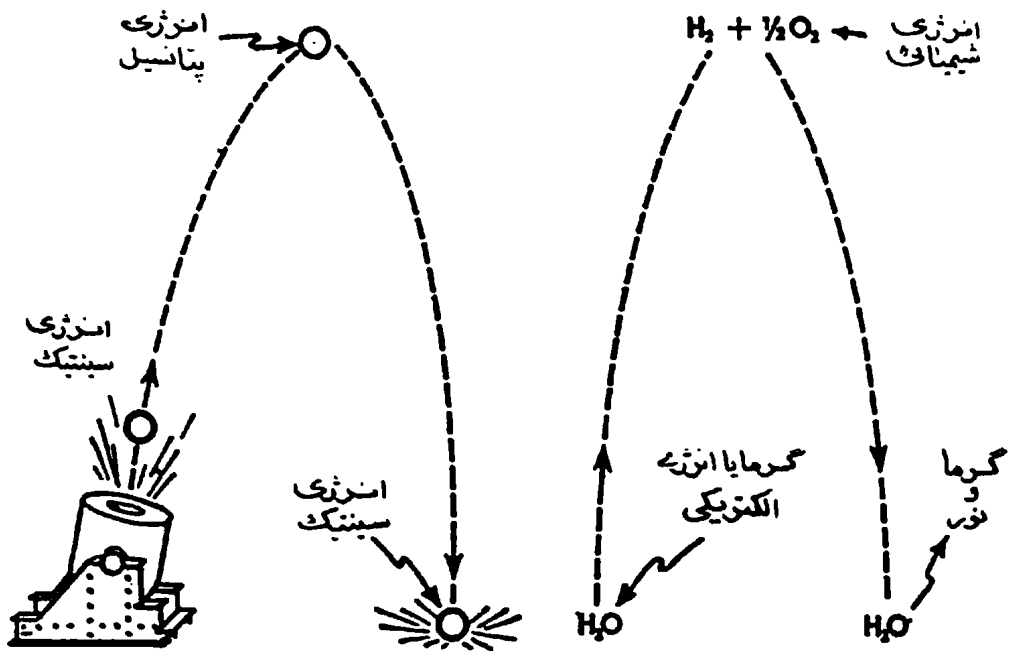


در این مورد ΔH مثبت است زیرا آب طی واکنش به‌طفیل انرژی حرارتی، انرژی شیمیایی به‌دست می‌آورد (غالباً بیش از آن) یا آن را از انرژی الکتریکی که باید به‌آب افزود تا موجب وقوع واکنش شود، می‌گیرد.

میان انرژی شیمیایی و انرژی مکانیکی تشبیهی به‌عمل می‌آوریم. در مورد انرژی مکانیکی، انرژی سینتیک جسمی که به‌بالا حرکت می‌کند در بالاترین نقطه کاملاً به‌انرژی پتانسیل تبدیل می‌شود و سپس در پایین‌ترین نقطه سقوطش بار دیگر به‌انرژی سینتیک مبدل می‌گردد. به‌همین روش انرژی غیر شیمیایی که به‌آب افزوده شده، در نتیجهٔ تجزیه‌اش به‌هیدروژن و اکسیژن، به‌انرژی شیمیایی تبدیل گشته است و این انرژی شیمیایی ضمن ترکیب شدن هیدروژن با اکسیژن و تولید آب به‌انرژی غیر شیمیایی مبدل گشته است. (تصویر ۱۰).

(مسلم است که، حصول توازن کامل فقط در موقعیت ایده‌آل حاصل می‌گردد. در مورد انرژی مکانیکی، نبودن اصطکاک و مقاومت هوا را باید قبول

کرد. در مورد انرژی شیمیایی نیز باید از بین نرفتن گرما را پذیرفت. عموماً وقتی که آب را با جریان برق تجزیه می‌کنند، مقداری از انرژی الکتریکی به صورت گرما از دست می‌رود، و چنانچه انرژی حرارتی برای تجزیه آب به کار رود، مقداری از آن به محیط خارج داده می‌شود. پس در هر دو مورد، انرژی بیشتری در آغاز به کار می‌رود ولی انرژی کمتری در پایان حاصل می‌شود. اما این فقط نشانه به دست آوردن انرژی است و نشان می‌دهد که هر جا مسئله انرژی شیمیایی در میان هست، قانون دوم ترمودینامیک مانند قانون اول آن صادق است.

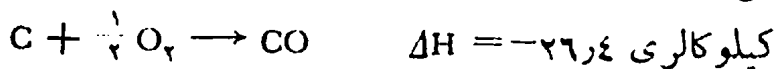


تصویر ۱۰. انرژی مکانیکی و انرژی شیمیایی

تعمیم مهم دیگری که داده شده در سال ۱۸۴۰ به وسیله فیزیکدان آلمانی هنری هس در شهر پترسبورگ در روسیه بوده است. وی بر مبنای مطالعاتش در باره گرمای واکنش، چنین نتیجه گرفت که اگر واکنشی در چند مرحله صورت

گیرد، مجموع گرما واکنشی مراحل مختلف برابر گرمای همان واکنش است، در صورتی که کلا در یک مرحله انجام بگیرد. این را قانون هس می گویند. این قانون به قدری اهمیت دارد که هس را می توان پدر ترموشیمی (ترموشیمی یعنی شیمی حرارتی) دانست .

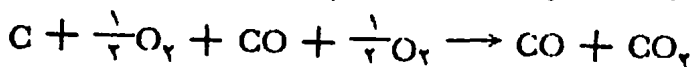
برای روشن شدن موضوع مثالی می آورم (این مثال را هس در بیان تعمیم خود نیاورده است) . سوختن کربن را بار دیگر بررسی می کنیم . کربن ممکن است که با یک اتم اکسیژن ترکیب شود و « اکسید دو کربن » تولید کند (CO) معادله واکنشی به قرار زیر است :



اکسید دو کربن می سوزد یعنی با اکسیژن بیشتری ترکیب می گردد و ایندیرید کربنیک به وجود می آورد :



اگر دو معادله را (درست مثل دو معادله جبری) بهم بیفزاییم بنا بر قانون هس باید واکنش حرارتی را نیز بیفزاییم .



$$\Delta H = (-26.4) + (-6.76) \text{ کیلوکالری}$$

اگر به روش معمول در جبر، علامات اختصاری مشابه دو طرف را حذف کنیم (یعنی CO را در این مورد) و دو نیم مولکول گرم اکسیژن را با هم جمع کرده یک مولکول گرم بسازیم معادله به صورت زیر خواهد درآمد :



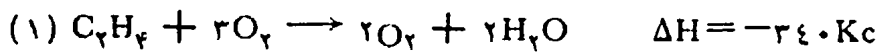
که درست معادل گرمای واکنشی است که از سوختن کربن و تولید مستقیم ایندیرید کربنیک حاصل می شود .

راه دیگر بیان قانون هس (که جنبهٔ عمومی تر دارد) چنین است : اگر با استفاده از انرژی شیمیایی جسم A را به جسم B تبدیل کنیم ، جزئیات تغییرات شیمیایی هر چه باشد ، تغییر کل انرژی وضع ثابتی خواهد داشت . (این نیز شبیه انرژی مکانیکی است . وقتی جسمی وضع خود را تغییر می دهد ، انرژی پتانسیل آن ، بدون در نظر گرفتن راهی که برای حصول آن تغییر پیموده است ، مقدار ثابتی است .)

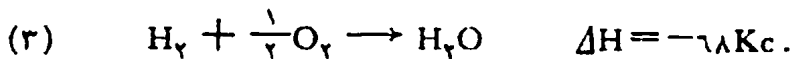
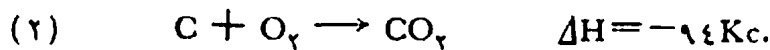
اگر چه برای بیان قانون هس به صورتی ساده ، احتراق کربن را مثال زدیم ولی حقیقت امر آن است که این مثال گول زننده است . زیرا کسی نمی تواند گرمای حاصل از سوختن کربن و تولید اکسید دو کربن را مستقیماً اندازه بگیرد . علت آن است که نمی توان اکسیژن را با کربن به طریقی ترکیب کرد که فقط اکسید دو کربن به وجود آورد . اکسید دو کربن به وجود می توان آورد ولی نه از این راه .

ولی دانشمندان علم ترموشیمی می توانند کربن را به اندرید کربنیک تبدیل کنند و گرمای واکنش را - که ۹۴٫۰ کیلو کالری است - تعیین کنند . نیز می توانند اکسید دو کربن را بسوزانند و به اندرید کربنیک تبدیل کنند و گرمای واکنش را که ۶۷٫۶ - کیلو کالری است - اندازه بگیرند . سپس بنا بر قانون هس می توانند گرمای دوم را از گرمای اول تفریق کنند و این نتیجه را به دست آورند که گرمای مولکول گرم واکنش تبدیل کربن به اکسید دو کربن ۲۶٫۴ - کیلو کالری است . در حالی که تبدیل مستقیم کربن به اکسید دو کربن و اندازه گیری مستقیم میسر نیست . قانون هس از این جهت بی نهایت مهم است که نشان می دهد همه انواع گرمای واکنش را که مستقیماً قابل مشاهده نیستند ، از روی سایر گرماهای واکنش می توان به دست آورد .

مثلاً ئیدروکربوری هست به نام اتیلن^۱ که گازی است مرکب از مولکولهای واجد ۲ اتم کربن و چهار اتم ئیدروژن (C_۲H_۴). یک مولکول گرم اتیلن در اکسیژن می‌سوزد و ۳۴۰ کیلو کالری تولید می‌کند. معادله آن به قرار زیر است: (برای رفع اشتباه معادلات را شماره گذاری می‌کنم.)

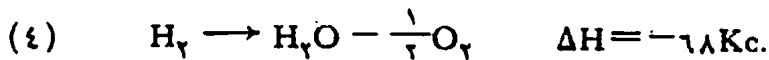


قبلاً از سوختن کربن و ئیدروژن صحبت کردم ولی دوباره آن معادلات را می‌نویسم زیرا مورد استعمال قرار می‌گیرد.

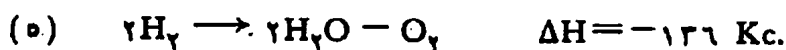


اکنون این معادلات را به صورت معادلات جبری حل می‌کنیم. (اگر شما یکی از کسانی باشید که از دست جبر ناراحت هستید، بدون آنکه خسته شوید بقیه فصل را خواهید خواند. در غیر این صورت مطالب خالی از تفریح به نظر شما نخواهند رسید.)

در معادله (۳) می‌توانیم $\frac{1}{2}O_2$ را به طرف دیگر ببریم به شرطی که علامت منفی بدان بدهیم (این کار علامت گرمای واکنشی را تغییر نخواهد داد).

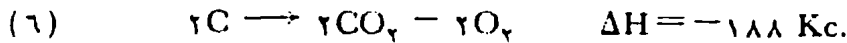


حالا اجزای معادله را دو برابر می‌کنیم البته مقدار گرمای واکنشی نیز مضاعف خواهد شد.

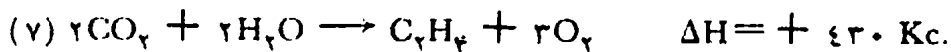


همین عمل را با معادله (۲) تکرار می‌کنیم بدین طریق که O_2 را (با تغییر علامت) به طرف دیگر معادله می‌بریم و همه اجزای معادله نیز گرمای واکنش

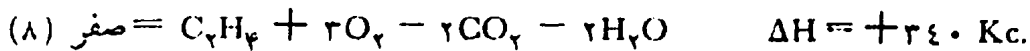
را دو برابر می‌کنیم :



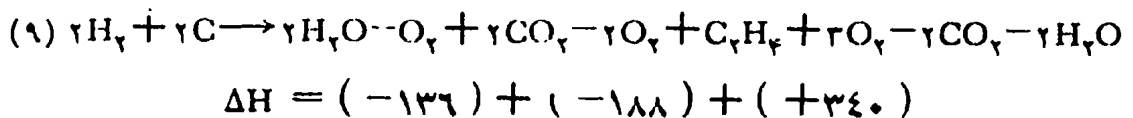
در مورد معادله (۱) ، معادله را معکوس می‌کنیم بدون آنکه علامت‌ها را تغییر دهیم ، ولی در این تغییر علامت گرمای واکنش طبق تعمیم لاوازیه-لاپلاس تغییر می‌یابد .



اکنون در معادله ۷، $۲CO_۲$ و $۲H_۲O$ را بدطرف دیگر معادله می‌بریم ، در حینی که علامت را به‌صورتی تغییر دهیم که گرمای واکنش مثبت باقی بماند .



قدم بعدی این است که دو معادله (۵) ، (۶) و (۸) را با هم جمع کنیم ، و در عین حال فراموش نکنیم که گرماهای واکنش را نیز باید جمع کرد . حاصل چنین است :



اگر بخش سمت راست معادله (۹) را مورد دقت قرار دهید ، خواهید دید که همه چیز را می‌توان حذف کرد جز $C_۲H_۴$ را ، به‌طوری که معادله می‌تواند بدین صورت ساده نوشته شود :



پس به این نتیجه می‌رسیم که اگر دو مولکول گرم ئیدروژن می‌توانست با دو مولکول گرم کربن برای به‌وجود آوردن یک مولکول گرم اتیلن ترکیب شود ، ۱۵۲ کیلوکالری انرژی باید به‌دستگاه افزوده شود تا واکنش صورت بگیرد . به‌عبارت دیگر ، یک مولکول گرم اتیلن ۱۵۲ کیلوکالری بیشتر انرژی شیمیایی

دارد تا کربن و ئیدروژنی که آنرا به وجود آورده‌اند. با بیان دیگر « گرمای ساخته شدن مولکول گرم » اتیلن $۲۵۲ +$ کیلوکالری است.

حقیقت آن است که این « گرمای ساخته شدن » را نمی‌توان مستقیماً اندازه گرفت، زیرا نمی‌توانیم کربن و ئیدروژن را به نحوی ترکیب کنیم که در یک مرحله اتیلن به وجود آید. با همه این احوال، شیمی‌دانها از ارزش آن اطلاع کافی دارند. در وهله اول همه حیل‌های جبری با قوانین ترمودینامیک قابل تطبیق است و همه شیمی‌دانها آنها را می‌پذیرند. در وهله دوم هر وقت که این حیل‌های جبری را بتوانند با آزمایشهای مستقیم بررسی کنند آنرا درست خواهند یافت.

به همین دلیل، گرمای ساخته شدن اتیلن و بسیاری از مواد دیگر را روی کاغذ محاسبه می‌کنند و به نتایج کاملاً رضایت بخش می‌رسند و اینکه نمی‌توان آنها را مستقیماً با آزمایش مورد رسیدگی قرار داد، هیچ‌گونه نگرانی ندارد.

فصل نهم

جهت واکنش

قانون هس بیانی از قانون اول ترمودینامیک است که در مورد واکنشهای شیمیایی به کار برده شده است. اکنون باید فراتر رویم. از آنجا که در چند فصل پیش حیات را بر اساس انرژی تعریف کرده‌ام و چون حیات را، دست کم از جهاتی شبیه احتراق می‌پنداریم، پس باید شامل انرژی شیمیایی باشد. بنابراین باید تحقیق کنیم که قانون دوم چگونه در مورد واکنشهای شیمیایی به کار برده می‌شود. چنانکه می‌دانیم، قانون دوم در مورد انرژی مکانیکی به این شرط صادق است که جسم خود به خود از موقعیت دارای انرژی پتانسیل زیاد (مثلاً «پتانسیل جاذبه‌ای») به موقعیت دارای انرژی پتانسیل کم حرکت کند نه در جهت عکس، به طوری که آب از بالای سراسیمی به ته آن سرازیر می‌شود نه در جهت عکس. در مورد انرژی حرارتی، قانون دوم به این شرط صادق است که گرما خود به خود از یک موقعیت دارای دمای زیاد (یا «پتانسیل گرمایی») به موقعیت دارای دمای کم جریان یابد، نه در جهت عکس، به طوری که گرما از جسم گرم به جسم سرد جریان پیدا کند نه در جهت دیگر.

پس، از روی قیاس چنین برمی آید که واکنشهای شیمیایی باید به طریقی انجام گیرند که ماده از وضع دارای «پتانسیل شیمیایی» بالاتر به پتانسیل شیمیایی کمتر حرکت کند، نه در جهت عکس.

بنابراین سؤال می شود که مطرح می شود این است: «پتانسیل شیمیایی چیست و چگونه می تواند اندازه گیری شود؟» بر تلو، که در فصل پیش، راجع به اندازه گیریهای گرمایی واکنشها از وی یاد کردم، معتقد بود که پاسخ این سؤال در خود اندازه گیریهاست. به نظر وی واکنشهای شیمیایی خود به خود از کاهش انرژی شیمیایی و در نتیجه تولید انرژی حرارتی حاصل می گردند. به عبارت دیگر واکنشهایی را خود به خود می پنداشت که ΔH آنها منفی بود. از سوی دیگر واکنشی که در آن انرژی شیمیایی به نحوی افزایش یابد که از محیط گرما بگیرد (یعنی واکنشی که ΔH مثبت دارد)، خود به خود پیش نخواهد رفت.

بر تلو واکنشی را که در آن ΔH منفی است و به محیط گرما می دهد گرمازا^۱ نامید. واکنشهایی که در آنها ΔH مثبت است و از محیط گرما می گیرند گرماخواه^۲ هستند. پس به نظر بر تلو فقط واکنشهای گرمازا خود به خودی بودند.

موارد بسیاری هست که نشان می دهد این تعمیم درست است. مثلاً اگر مخلوطی از اکسیژن و ئیدروژن را آتش بزنند به سرعت ترکیب می شوند و حتی به وضعی انفجار آمیز به آب تبدیل می گردند. این يك واکنش گرمازا است. از سوی دیگر آب می تواند برای همیشه صورت خود را حفظ کند و تمایلی به تجزیه شدن به ئیدروژن و اکسیژن نشان ندهد. این فرایندی است که اگر صورت بگیرد گرماخواه است. مسلم است که اگر آب به حد کافی گرم شود، تجزیه می شود اما این

۱ - Exothermic - مشتق از کلمات یونانی «گرمای به خارج»
 ۲ - Endothermic - مشتق از کلمات یونانی «گرمای به داخل»

درست مثل آن است که بگوییم اگر تلمبه بز نیم آب به بالای تپه جریان خواهد یافت . بدیهی است می توانید بگویید که مخلوطی از گاز ئیدروژن و اکسیژن نیز اگر تحت اثر گرما قرار نگیرد هیچ گونه تمایلی به ترکیب شدن نشان نخواهد داد . ولی تفاوت اینجاست که مخلوط ئیدروژن و اکسیژن با افزودن مقدار کم گرما ، واکنش روی یکدیگر را آغاز می کنند و به طور نامحدود ادامه می دهند بدون آنکه نیازی به چیزی داشته باشند . در صورتی که اگر گرمای زیاد یا جریان الکتریسته برای تجزیه آب بدان اثر دهند ، هر وقت که آن گرما یا جریان را قطع کنند تجزیه آب به اکسیژن و ئیدروژن قطع می شود .

خلاصه آنکه ، اگر چه ترکیب شدن گرمای اکسیژن و ئیدروژن خود به خود می تواند پیش رود ، تجزیه گرما خواه آب دارای چنین قدرتی نیست .

ولی ، در اینجا موردی داریم که ، به خلاف تصور بر تلو ، عمومیت ندارد . این که همه واکنشهای گرمازا به خودی خود صورت می گیرند و همه واکنشهای گرما خواه خود به خود صورت نمی گیرند دارای استثنائاتی است . واکنشهایی هستند که گرما خواهند ولی خود به خود انجام می گیرند . بهترین مثال انحلال بعضی مواد در آب است . مثلاً اگر نترات دامونیوم را به آب اضافه کنند خود به خود حل می شود ولی ΔH فرایند مثبت است . انرژی شیمیایی گرفته شده و انرژی حرارتی از آب خارج می شود به طوری که با لمس احساس می شود . تعداد مواردی که بر له نظریه بر تلو است مهم نیست فقط يك مورد استثنایی کافی است که آن را از ارزش بیندازد .



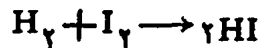
اما واقع امر این است که ، نا کافی بودن تعمیم بر تلو به خاطر چند مورد استثنایی نیست بلکه انتقادات دقیقی نیز در این باره هست که ما را به بحث در

مورد مفهوم «تبادل شیمیایی» می‌کشاند.

در مهم‌ترین واکنشهای ترموشیمی، یعنی واکنشهایی که متضمن احتراق هستند، جهت واکنش ظاهراً «یک طرفه» است. به عبارت دیگر کربن و اکسیژن کاملاً با یکدیگر ترکیب می‌شوند و انیدرید کربنیک بوجود می‌آورند و ترکیب کامل ئیدروژن و اکسیژن با یکدیگر به تشکیل دادن آب می‌انجامد، نیز موادی که در مولکولشان هم کربن هست و هم ئیدروژن، با اکسیژن ترکیب می‌شوند و آب و انیدرید کربنیک تولید می‌کنند. در هیچ موردی دیده نشده است که آب به مقدار قابل‌توجهی به ئیدروژن و اکسیژن تجزیه شود یا انیدرید کربنیک به کربن و اکسیژن تبدیل گردد یا آب و انیدرید کربنیک باهم ترکیب شوند و اتیلن یا ئیدروکربور بوجود آورند. چنین واکنشهای «یک طرفه» را بازگشت ناپذیر گویند.

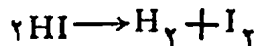
ولی، بسیاری از واکنشهای شیمیایی چنین وضعی ندارند. از جمله واکنشی است که ئیدروژن و ید در آن هست. ید ماده‌ای است که در گرمای معمولی جامد و خاکستری رنگ است، ولی اگر به آهستگی آن را گرم کنند بخاری بنفش رنگ به وجود می‌آورد به طوری که در 184°C کاملاً بخار می‌گردد. ید در حالت گازی مرکب از مولکولهایی است که هر یک واجد دو اتم است (I_2).

اگر در دمای 445°C ئیدروژن و ید را مخلوط کنند، باهم ترکیب می‌شوند و اسید یدیدریک HI به وجود می‌آورند.



اما همه ئیدروژنها و یدها باهم ترکیب نمی‌شوند بلکه، هر قدر هم این دو گاز را مجاور هم قرار دهند، مقداری از آنها ترکیب نشده باقی می‌مانند. از سوی دیگر، اگر مقداری از اسید یدیدریک خالص به دست آمده را در

دمای 445°C گرم کنند ، تجزیه می شود و مخلوطی از ید و یدیدروژن به وجود می آورد .

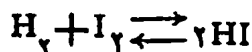


در این مورد نیز واکنش هر قدر طول بکشد ، همه اسید یدیدریک تجزیه نمی شود . خواه با مخلوطی از یدیدروژن و ید واکنش را آغاز کنید ، خواه با اسید یدیدریک خالص ، جریان امر همیشه به قرار فوق خواهد بود . در حدود ۸۰ درصد یدیدروژن و ید به صورت HI در می آیند و در حدود ۲۰ درصد ترکیب نمی شوند . واکنشی نظیر واکنش فوق که در هر دو جهت امکان پذیر هست به واکنش دوطرفه موسوم است .

ظاهر جریان امر به قرار زیر است : مخلوط یدیدروژن و ید در گرمای زیاد به سرعت ترکیب می شود و اسید یدیدریک به وجود می آورد . اسید یدیدریکی که ساخته می شود در همان دما شروع می کند به تجزیه شدن ولی مقداری که باهم ترکیب می شوند و اسید یدیدریک می دهند بیش از مقداری است که تجزیه می گردند ، در نتیجه ترکیب بر تجزیه غلبه دارد و اسید یدیدریک جمع می شود . ولی به تدریج که اسید یدیدریک زیاد می شود ، مقدار بیشتری از مولکولهای آن تجزیه می گردد . در عین حال که مخلوط ترکیب نشده کاهش می یابد ، تولید اسید یدیدریک نیز کم می شود . به نسبتی که ساخته شدن اسید یدیدریک کم می شود ، نسبت تجزیه شدن آن افزایش می یابد و موقعی می رسد که دو واکنش به وضع متعادل می رسند . وضع متعادل در شرایط آزمایش ، هنگامی فراهم می شود که ۸۰ درصد یدیدروژن و ید ترکیب شده باشند . در این موقع ظاهر امری اتفاق نمی افتد . ولی واقع امر این نیست که واکنشی صورت نمی پذیرد بلکه چون دو اثر مخالف به نسبت برابر وقوع می یابند ، وضع را متعادل نشان می دهند .

اکنون فرض کنید که اسید یدیدریک خالص دارید (تصویر ۱۱). مقداری از آن فوراً تجزیه شدن را آغاز می‌کند. وقتی که یدروژن و ید جمع شدند، تمایل به ترکیب شدن نشان می‌دهند و هر چه مقدار دو گاز بیشتر باشد این تمایل شدیدتر می‌شود. به عکس هر چه تعداد مولکولهای اسید یدیدریک کم می‌شود سرعت تجزیه باقیمانده آن کاهش می‌یابد. بار دیگر نقطه تعادلی پیش می‌آید و چنانکه آزمایش نشان می‌دهد تعادل برقرار می‌گردد.

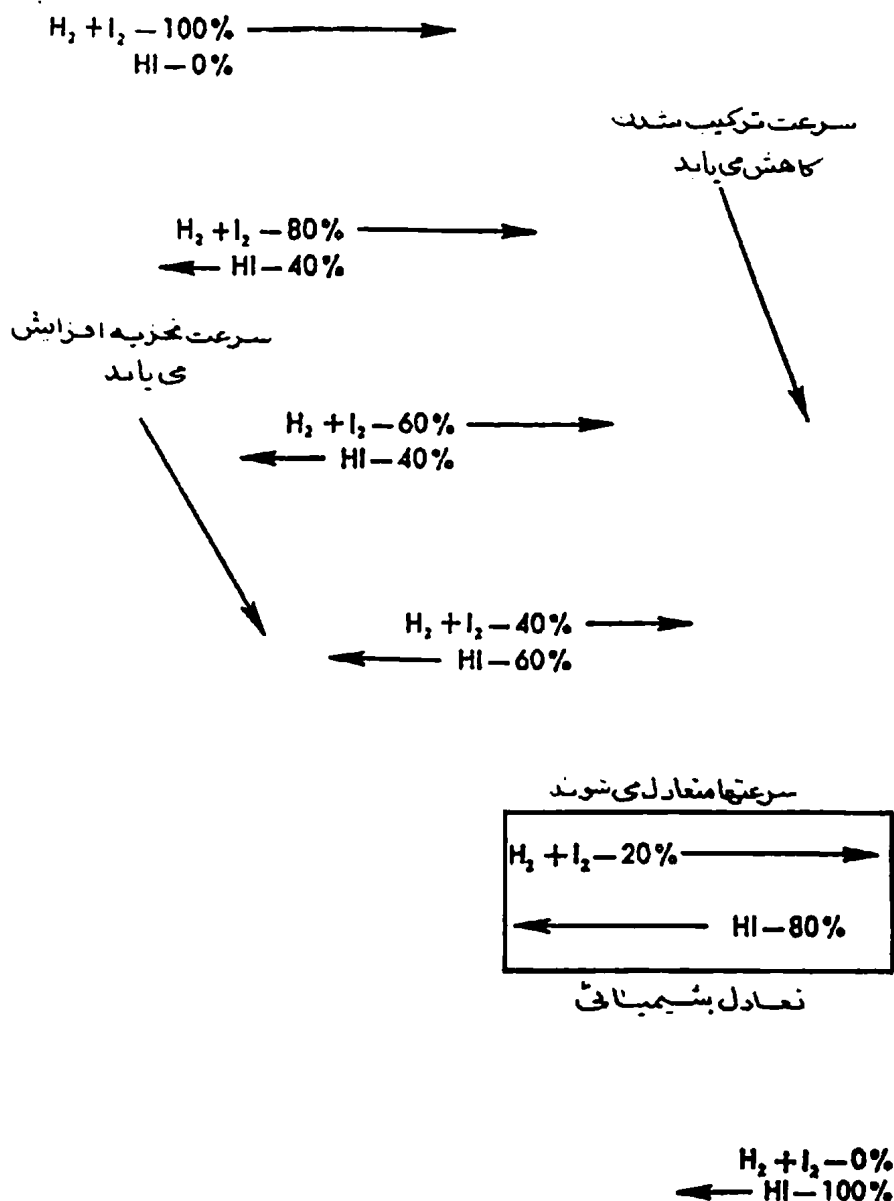
هنگامی که دو واکنش مخالف به نسبت مساوی چنان برقرار شوند که هیچ‌گونه تغییری حاصل نشود گویند که تعادل شیمیایی^۱. برقرار شده است. کلمه تعادل^۲ که مشتق از کلمات لاتینی «موازنه برابر» است، موازنه‌ای را نشان می‌دهد که تحت تأثیر نیروهای متعادل ثابت باقی می‌ماند. این تعادل در واقع «تعادل ساکن» است و حال آنکه تعادل شیمیایی ساکن نیست و دو واکنش مخالف به سرعت در حال حرکتند ولی یکدیگر را خنثی می‌کنند پس «تعادلی متحرک» است. برای تعیین وضع تعادل شیمیایی، معادله واکنش یدروژن و ید را عموماً چنین می‌نویسند: با دو سهم دارای جهات مخالف نشان می‌دهند تا معلوم شود که در هر دو جهت حرکت هست.



سایر واکنشهای دارای تعادل را نیز بدین صورت می‌نویسند.

نکته مهم این است که هر واکنشی در شرایط ثابت، ΔH مخصوصی دارد و بنابراین تعمیم لاوازیه-لاپلاس و مهمتر از آن، برطبق اصول قانون اول، واکنش معکوس آن در همان شرایط دارای همان ΔH است ولی با علامت مخالف. بنابراین این در هر واکنش دو طرفه اگر یکی گرمازا باشد واکنش معکوس باید گرما

خواه باشد. در مورد ئیدروژن وید و اسید یدیدریک، تجزیه اسید یدیدریک به ئیدروژن وید گرمازاست و ΔH آن ۶۰- کیلوکالری است. بنابراین ترکیب



تصویر ۱۱. رابطه میان نسبت واکنش و تعادل شیمیایی

ئیدروژن وید گرمخواه است و ΔH آن ۶۰+ کیلوکالری است.

اگر نظر بر تلو، دایر بر اینکه فقط واکنشهای گرمازا خود به خود صورت پذیرند، درست باشد، پس اگر اسید یدیدریک به حال خود رها شود باید تجزیه شود ولی دوباره ترکیب نگردد، و حال آنکه مشاهده خلاف آن را نشان می دهد و اسید یدیدریک ساخته می شود و حتی در موردی که بیان شده ساخته شدنش بیشتر از تجزیه اش هست.

اگر نظر بر تلو درست بود اساساً واکنش دو طرفه وجود نمی داشت و همه واکنشها تنها در یک جهت واقع می شدند. از آنجا که مشاهده خلاف نظر بر تلو را ثابت می کند، با نظری مخالف شد و به زودی به فراموشی سپرده شد. (عجیب است که بر تلو خودش متوجه این موضوع نشد تا از تعمیم دادن مسئله اجتناب کند، ولی بعداً «معما چو حل گشت آسان شد»).

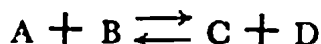


هنوز مسئله پتانسیل شیمیایی باقی می ماند که باید مورد تحقیق قرار گیرد. عاملی که در جهت وقوع واکنش دو طرفه مؤثر است مقدار ماده موجود است. اگر مقدار یدروژن و ید بالنسبه زیادتر است تغییر، بیشتر در جهت ترکیب شدن آنهاست، و اگر مقدار اسید یدیدریک بالنسبه زیادتر است تغییر، بیشتر در جهت تجزیه آن است. هنگامی که تعادل برقرار شد، کافی است که مقداری یدروژن و ید یا مقداری اسید یدیدریک افزوده شود تا واکنش در یکی از دو جهت صورت گیرد.

نخستین کسی که این نکته را به وضوح بیان داشت شیمی دان فرانسوی کلود لویی برتوله^۱ در سال ۱۸۰۳ بوده است. (برتوله، با برتولو که نیم قرن قبل از آن می زیست و در بخش پیش از آن یاد شد اشتباه نشود)

قریب نیم قرن، نظریهٔ مربوط به تأثیر جرم در جهت واکنش مورد قبول همه واقع نشد، زیرا شیمی دانها همواره با نظر خوش‌بدان نمی‌نگریستند. سرانجام در سال ۱۸۶۳ دوشیمی‌دان نروژی کاتوماگزیمیلیان مولدبرگ^۱ و پترواگ^۲ در بارهٔ مسئله به تحقیق کامل پرداختند و صحت آن را اعلام داشتند و اکنون به‌نام قانون عمل‌جرمها^۳ معروف است. (بدبختانه نتیجهٔ تحقیقات این دو دانشمند به‌زبان نروژی به‌چاپ رسیده بود و پانزده سال طول کشید تا اهل علم در فرانسه و آلمان به‌کشف آن نوشته توفیق یافتند.)

به‌منظور نشان دادن مفهوم این قانون به‌صورتی واضحتر، يك واکنش شیمیایی دو طرفه کلی در نظر می‌گیریم و در این واکنش نامی از مواد نمی‌بریم. چنین واکنشی را می‌توان بدین گونه نوشت:



اگر واکنش را در جهت راست در نظر بگیریم، دو ماده A و B روی هم اثر می‌کنند و به C و D تبدیل می‌شوند. ولی برای آنکه چنین واکنشی واقع شود این دو ماده باید، به اصطلاح، یکدیگر را پیدا کنند. به عبارت دیگر هر چه مقدار آن دو بیشتر باشد، ترکیبشان سریعتر صورت می‌گیرد. مقدار کل ماده منظور نیست بلکه مقدار ماده موجود در حجم معین منظور است و مقدار ماده در حجم معین را «تراکم» می‌گویند. (برای روشن شدن موضوع تشبیهی می‌کنیم. يك دختر جوان آماده ازدواج، بر روی هم در ناحیهٔ زراعتی نوادا بیش از شهر هولیوک در ماساچوست، مزد پیدا می‌کند ولی در نوادا مردان پراکنده‌ترند. تراکم مردها در هولیوک بیشتر است پس شانس ازدواج هم زیادتر می‌شود.)

اگر تراکم A دو برابر شود، تعداد برخورد های A و B و در نتیجه نسبت ترکیب شدن آنها مضاعف می شود. همین امر در مورد مضاعف شدن تعداد B نیز صادق است. اگر تراکم A و B با هم دو برابر شود، برخورد و نسبت ترکیب دو برابر مضاعف می گردد یعنی چهار برابر افزایش می یابد. پس نسبت ترکیب شدن متناسب با تراکم A ضرب در تراکم B است. معمولاً تراکم هر ماده ای را بدین صورت نشان می دهند که علامت اختصاری آن ماده را میان دو خط محصور می کنند. بنابراین می توانیم آنچه را که به صورت علامت اختصاری بیان داشته ایم به صورت زیر نمایش دهیم:

$$[A][B] \sim \text{نسبت واکنش به طرف راست}$$

هر گاه هر مقدار X مستقیماً با هر مقدار Y متناسب باشد، چنانچه Y در مقدار ثابتی (k) ضرب شود، تناسب به برابری تبدیل می گردد. k را مقدار ثابت تناسب^۱ می گویند. به عبارت دیگر اگر Y ~ X باشد $X = kY$.

اگر این مسئله را در مورد واکنش طرف راست به کار بریم خواهیم داشت:

$$[A][B] = k \text{ نسبت واکنش به طرف راست.}$$

مقدار واقعی K در هر واکنشی از طریق آزمایش به دست می آید. در حال

حاضر به مقدار واقعی K نیازمند نیستیم. همین قدر کافی است که بدانیم K مقدار ثابتی است.

اکنون اگر به واکنش سمت چپ توجه کنیم، چون این واکنش در جهت

عکس واکنش اول صورت می گیرد، از ترکیب C و D، دو ماده A و B حاصل

خواهد شد. به همان دلایلی که در مورد واکنش سمت راست بیان گردید، وقوع

واکنش سمت چپ نیز به تراکم C و D وابسته است. پس می توانیم بگوییم که:

$$K' = \text{نسبت واکنش به طرف چپ} = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

k' مقدار ثابت دیگری است و برای آنکه از مقدار ثابت قبلی متمایز باشد آن را با $(')$ نمایش داده ایم.

در هنگام تعادل، نسبت واکنشها در دو جهت برابر است (مسئله تعادل متحرك، نخستین بار توسط شیمی دان انگلیسی الکساندر ویلیام ویلیامسون^۱ در سال ۱۸۵۰، با وضوح کامل بیان شده است.) به طوری که:

$$k [A][B] = k' [C][D]$$

که با عملیات جبری عادی به صورت زیر درمی آید:

$$\frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{k}{k'}$$

از آنجا که k و k' دو عدد ثابتند، پس خارج قسمت آنها نیز عدد ثابتی خواهد بود که نام آن را K می گذاریم. بنابراین:

$$\frac{[C][D]}{[A][B]} = K$$

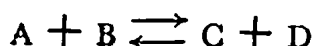
K را مقدار ثابت تعادل^۲ می گویند. مقدار K شرایط تراکم برای حصول تعادل را تعیین می کند.

مثلاً فرض کنید که پس از حصول تعادل C بیشتری به مخلوط اضافه شود. حاصل ضرب $[C][D]$ که صورت کسر است بیشتر می شود. چون K باید ثابت بماند پس مخرج کسر $[A][B]$ هم باید بیشتر شود، تنها راه امکان وقوع این حالت آن است که مقداری از C ، D به صورت A ، B ترکیب شوند. پس مقدار $[C]$ و $[D]$ اندکی کاهش می یابد و حال آنکه مقدار $[A]$ و $[B]$ افزایش حاصل می کند تا کسر بار دیگر معادل مقدار K شود و تعادل برقرار گردد. اگر D بیشتری

به مخلوط اضافه می‌شد همین جریان عیناً واقع می‌گردید.

اگر A یا B (یا هر دو) اضافه شود، نیز اگر یکی از آن دو یا هر دو از مخلوط خارج شود یا اگر C یا D یا هر دو از مخلوط خارج گردد، خواهید توانست آنچه را که واقع می‌شود بررسی کنید.

به طور خلاصه قانون عمل جرمها معلوم می‌دارد که در يك واکنش دوطرفه:



اگر A یا B اضافه شود یا C یا D نقصان یابد واکنش به سمت راست هدایت خواهد شد و اگر C یا D افزوده شده یا A یا B کاهش یابد به سمت چپ هدایت خواهد شد.

(در سال ۱۹۱۱ شیمی‌دان امریکایی گیلبرت نیوتون لوئیس^۱ قانون عمل جرمها را تغییر داد. وی نشان داد که تراکم مواد جهت واکنش دوطرفه را تعیین نمی‌کند بلکه مسبب این کار «مقداری» است که وی آن را فعالیت مواد نامید. این فعالیت با تراکم مربوط است و به خصوص اگر تراکم زیاد نباشد تقریباً برابر با آن است اگرچه این تصحیح با کار ما ارتباطی ندارد ولی اطلاع از آن مفید است).

بستگی داشتن جهت واکنش دوطرفه به تغییر تراکم مواد، جزئی از نتیجه کلی وسیعتری قرار گرفت که در سال ۱۸۸۸ به وسیله شیمی‌دان فرانسوی هانری لوئی لوشاتلیه^۲ گرفته شده است. بنابراین اظهار لوشاتلیه «در هر دستگاهی که حالت تعادل دارد، هر تغییری که در شرایط موجود حاصل شود، موجب تغییر جهت تعادل در سویی خواهد شد که بخواهد تغییر را ملغی کند.» این نتیجه کلی را اصل لوشاتلیه گویند. به عبارت دیگر اگر A یا B به واکنش دوطرفه افزوده شود، چنانکه دیدیم، تعادل در جهتی تغییر می‌کند که اضافه مقدار A یا B را تماماً مصرف کند. یا اگر

کلی تر گفته شود اگر مخلوطی دارای تعادل را گرم کنند، تعادل در جهتی تغییر خواهد کرد که مقداری از گرما را جذب کند، پس در جهت «گرماخواهی» تغییر خواهد کرد. به همین طریق اگر مخلوطی دارای تعادل را سرد کنند تغییر تعادل در جهتی خواهد صورت گرفت که واکنش گرمازا باشد. (روی همین اصل می توانیم پیش گویی کنیم که گرم کردن مخلوط نیدروژن وید و اسید یدیدریک، جهت واکنش را به طرف تشکیل اسید یدیدریک بیشتر سوق خواهد داد و حال آنکه سرد کردن این مخلوط آن را در جهت مخالف هدایت خواهد کرد). نیز افزایش فشار، تعادل را در جهت کاهش حجم خواهد کشانید.

برای نظر نوشاتلیه می توان مورد استعمالی جهانی در نظر گرفت که در مورد رفتار انسان نیز صادق باشد. هر انسان معمولی عموماً تعادلی میان درآمد و هزینه خود برقرار می سازد که نه قرضهایش از حد متعارف زیادتر شود و نه اندوخته ها. اگر عایداتش زیاد شود یا ثروتی مثلاً از عمویش بدو برسد، سطح زندگی به صورتی بالا خواهد رفت که با عایداتش وفق بکند و اگر از سوی دیگر عایداتش قطع شود یا کارش از دستش برود، صرفه جوئی را آغاز خواهد کرد و مقداری از هزینه هایش را کاهش خواهد داد تا نقصان درآمدش را تا حدی جبران کند.



پس از آنکه قانون عمل جرما پذیرفته شد، لازم آمد که آن را با قوانین ترمودینامیک مربوط سازند تا به خوبی نشان داده شود که انرژی شیمیایی نیز تابع همان قوانینی است که سایر انواع انرژیها از آنها تبعیت می کنند. در حدود سال ۱۸۶۹ بود که شیمی دان آلمانی آوگوست فریدریش هورستمان^۱ نظریه های ترمودینامیک را در مورد تجزیه ماده ای به نام کلرور دامونیوم به کاربرد.

در دهه سالهای ۱۸۷۰ و ۱۸۸۰ عده دیگری از شیمی دانها مسئله را مورد توجه قرار دادند .

مهمترین کار به دست ژوزه یا ویلارد گیبس^۱ امریکایی، که در شیمی تئوری تخصص داشت انجام گرفت . گیبس در سال ۱۸۷۶ و ۱۸۷۸، که در یاله به کار مشغول بود، مقاله‌ای در « خلاصه مذاکرات آکادمی علوم کنکتیکوت » انتشار داد و در طی آن قوانین ترمودینامیک را با جزئیات کامل در واکنشهای شیمیایی به کار برد . وی نشان داد که قانون عمل جرمها نتیجه اجتناب ناپذیر قوانین ترمودینامیک است . کار گیبس چنان کامل انجام گرفته بود که قلمرو انرژی شیمیایی به « ترموشیمی » محدود نشد بلکه به « ترمودینامیک شیمیایی » گسترش یافت .

بدبختانه علم تئوری در آن ایام در اروپا جریان قویتری داشت و دانشمندان امریکایی کمتر بدان توجه داشتند . از آنجا که روزنامه‌های علمی امریکایی به دقت خوانده نمی شدند ، مطالعات گیبس مدت بیست سال از نظر اروپاییان دور ماند . سرانجام در دهه سال ۱۸۹۰ خود لوشاتلیه مقاله گیبس را به زبان فرانسه ترجمه کرد و ویلهلم اوسوالد^۲ شیمی دان آلمانی آن را به زبان آلمانی ترجمه کرد . از این پس بود که گیبس به حق خود رسید . از آن پس هلمهولتز (که از قانون اول شهرت یافته بود) و شیمی دان هلندی یا کوپوس هندریکوس وانت هوف^۳ اصول ترمودینامیک را جدا از هم بنیاد گزاردند ولی گیبس را بر آنها مقدم ترمی داشتند . در سال ۱۹۰۱ گیبس با دریافت جایزه مدال کپلی انجمن پادشاهی لندن ، رسماً در اروپا شناخته شد ولی در سال ۱۹۰۳ از این جهان رخت بر بست .

اساس کار گیبس در اطراف این مسئله دور می زد : « به همان صورت که انرژی

۱- Josiah Willard Gibbs

۲- Wilhelm Ostwald

۳- Jacobus Hendricus Van't Hoff

در هر تغییر متضمن انرژی زیاد می‌شود، در هر واکنش شیمیایی خود به‌خودی نیز باید افزایش یابد. « و از آنجا که انرژی کل نمی‌تواند تغییر کند و زیاد شدن انرژی از طریق دیگری است برای اندازه‌گیری انرژی که نتوانسته است به‌کار مفید تبدیل شود، پس مقدار انرژی که می‌تواند به‌کار مفید تبدیل شود کاهش حاصل می‌کند. مقدار انرژی که طی یک واکنش شیمیایی برای تبدیل به‌کار مفید در دسترس هست، بسته به اینکه واکنش در حجم ثابت یا فشار ثابت انجام گیرد متفاوت است. چنانکه در فصل پیش اشاره کرده‌ام، سیستم‌هایی که در فشار ثابت هستند به‌حقیقت نزدیک‌ترند. مقدار انرژی قابل تبدیل به‌کار را طی واکنش شیمیایی، برای بزرگداشت کیس، عامل کیس نام نهادند. لوئیس در اوایل دهه ۱۹۲۰ اصطلاح انرژی آزاد را به‌جای آن قرار داد و از آن پس متداول گشت.

این دو نام دو علامت اختصاری متفاوت دارند. مثلاً انرژی آزاد را با F و کیس را با G نشان می‌دهند. از آنجا که انرژی آزاد متداول است من هم F را اختیار می‌کنم.

چنانکه کیس نشان داده در هر واکنشی که در دمای معینی (T) صورت می‌گیرد، رابطه ساده‌ای میان تغییر گرما (ΔH) و تغییر انرژی آزاد (ΔF) و تغییر انرژی (ΔS) وجود دارد. این رابطه چنین است:

$$\Delta H = \Delta F + T\Delta S$$

در ترمودینامیک، وقتی که دماها کمتر از صفر نیستند، آنها را با مقیاس مطلق (به‌فصل چهارم مراجعه شود) نشان می‌دهند. پس مقدار T همیشه مثبت است. از روی قانون دوم ترمودینامیک می‌دانیم که در هر واکنش خود به‌خود، انرژی باید افزایش یابد. پس تغییر انرژی هم (ΔS) باید همیشه مثبت باشد. از آنجا که حاصل ضرب دو چیز مثبت همیشه مثبت است پس $T\Delta S$ نیز مثبت خواهد بود.

از سوی دیگر ، طبق استدلال گیبس انرژی آزاد همواره در هر واکنش خودبه خود کم می شود به طوری که تغییر انرژی آزاد (ΔF) باید همیشه منفی باشد. پس چنانکه می بینید ، مقدار ΔH ، مجموع يك عدد مثبت و يك عدد منفی است . ولی چون بنا بر قوانین ترمودینامیک یکی از ارقام جمع باید منفی و دیگری مثبت باشد ، پس معلوم نمی کند که اندازه درست هر يك چقدر است . اگر ΔF منفی بزرگتر از $T\Delta S$ مثبت است (که غالباً چنین است) ، مجموع دو رقم (ΔH) منفی ، و واکنشی گرمازا خواهد بود ، و اگر $T\Delta S$ مثبت بزرگتر باشد (که گاهی چنین است) ، مجموع دو رقم ، مثبت خواهد بود و واکنش گرما خواه است .

در هر دو حال واکنش چه گرمازا ، چه گرما خواه باشد اتروپی بالا می رود و انرژی آزاد کاهش می یابد و واکنش خودبه خود است .

موضوع بعدی آن است که نباید از دست رفتن یا به دست آمدن گرما در نظر گرفته شود ، بلکه همواره باید به انرژی آزاد توجه داشت . به تدریج که گرما به سوی نقطه سرد جریان می یابد واکنش همیشه متوجه جهتی است که انرژی آزاد کمتر دارد ، مانند آنکه جسمی به ته دره بغلند .

گیبس نشان داده که مقدار انرژی آزاد در هر ماده شیمیایی تا حدی با تراکم آن ماده تغییر می کند . پس با تغییر دادن تراکم مواد ممکن است که ماهیت انرژی آزاد تغییر داده شود به طوری که وقتی واکنش در جهتی سیر کند ، مثبت گردد ، و حال آنکه وقتی واکنش در جهت دیگر سیر کند ، منفی شود . این موضوع به خوبی بیان می کند که چرا بر اثر افزودن یا برداشتن اجزای يك سیستم ، واکنش دو طرفه گاهی در يك جهت و گاهی در جهت دیگر سوق داده می شود .

مانند آن است که گلوله ای روی سطح صافی کاملاً افقی قرار داشته باشد (تعادل) و بعد در جهتی بدان ضربه ملایمی وارد شود . بدیهی است گلوله در

آن جهت خواهد غلتید .

گیبس اصطلاحی وضع کرد که انرژی آزاد و تراکم را توأم می‌رساند و آن پتانسیل شیمیایی است . نتیجه مطالب این فصل در همین اصطلاح خلاصه می‌شود . بنا به تعریف گیبس هر واکنشی چنان صورت می‌گیرد که پتانسیل شیمیایی آن کاهش یابد .

فصل دهم

مسیر الکتریکی

ملاحظه اثرات تغییر انرژی آزاد در سیستمهای شیمیایی ، وقوع واکنش شیمیایی را ساده نشان می‌دهد و آنرا به حرکت در میدان جاذبه مانند می‌سازد . منطقی هم هست ، زیرا نتیجه مطالب فصل پیش این بود که واکنشهای شیمیایی ، مانند سقوط اجسام که تابع پتانسیل جاذبه است ، تابع پتانسیل شیمیایی اند . از این گذشته ما چنان به مسائل مربوط به سقوط اجسام آشنا هستیم ، که تا آنجا که امکان دارد همه چیز را به آن صورت در نظر می‌گیریم و این کار جزء طبیعت ثانویه ما شده است .

مثلاً ترکیب هیدروژن و اکسیژن و تشکیل آب را در نظر می‌گیریم . مخلوط هیدروژن و اکسیژن به ازای هر مولکول گرم مقداری انرژی آزاد دارد (مولکول گرم انرژی آزاد) . آب نیز چنین است . تا آنجا که می‌دانیم هیدروژن و اکسیژن با کمترین محرکی شدیداً بایکدیگر ترکیب می‌شوند . مقدار انرژی آزاد مخلوط هیدروژن و اکسیژن بیشتر از مقدار انرژی آزاد آبی است که از ترکیب آنها به وجود می‌آید . این مسئله را می‌توانیم به صورت طرحی ساده (بدون آنکه کوشش

در به کار بردن اعداد واقعی بکنیم) نشان دهیم (تصویر ۱۲). در این تصویر نقطه A انرژی آزاد مخلوط خالص اکسیژن و ئیدروژن است، و نقطه B (که بسیار پایین تر از نقطه قبلی است) انرژی آزاد آب خالص است که از ترکیب کامل همه ئیدروژن و اکسیژن حاصل شده است.

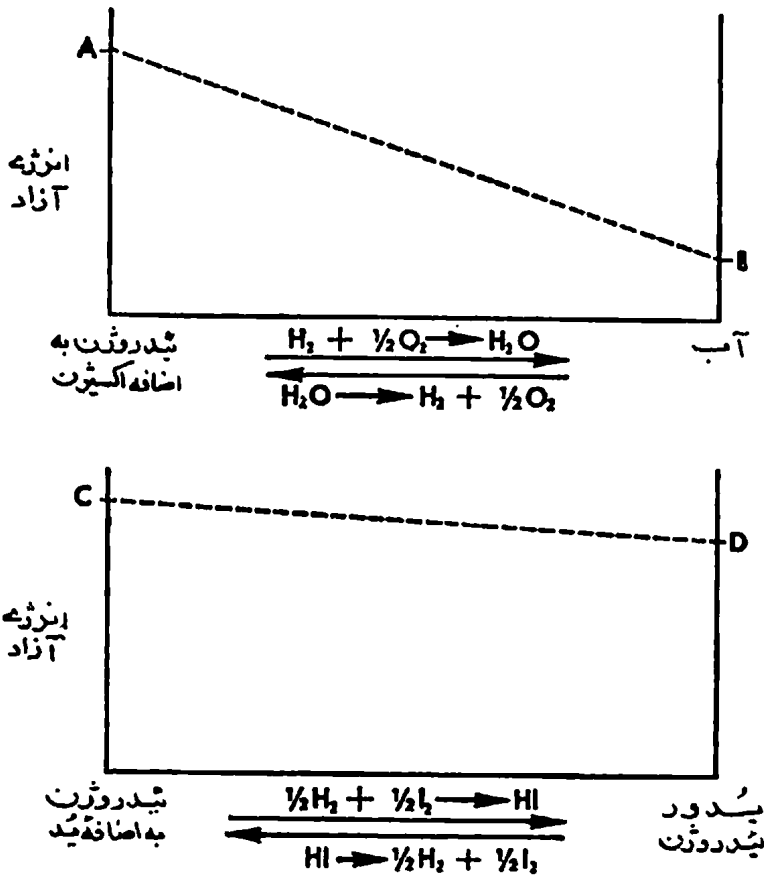
به تدریج که اکسیژن و ئیدروژن برای تشکیل آب در این دستگاه بسته فرضی باهم ترکیب می شوند، بیش از پیش آب جای ئیدروژن و اکسیژن را می گیرد. رفته رفته مخلوط دارای انرژی آزاد زیاد، جای خود را به ماده ای که انرژی آزاد کم دارد می دهد به طوری که مقدار کل انرژی آزاد پیوسته کاهش می یابد.

ساده ترین راه نشان دادن این کاهش، اتصال دادن دو نقطه A و B با یک خط مستقیم است. موقعیت حاصل صورت یک سطح شیب دار به خود می گیرد و بنا بر تجربه ای که ما در باره حرکت خود به خود داریم، جهت واکنش را به صورتی اجتناب ناپذیر نشان می دهد.

پس ترکیب ئیدروژن و اکسیژن برای تشکیل آب، فرآیندی است که از نظر انرژی آزاد «در سراسیمه می غلتد» و واکنش عکس، که تجزیه آب است، به حرکت فعالی به سوی «بالای تپه» نیازمند است.

بدیهی است که خط مستقیمی که رسم شده است هنگامی ارزش دارد که مولکول گرم انرژی آزاد ئیدروژن و اکسیژن و آب با تراکم تغییر نکند. ولی مقدار مولکول گرم انرژی آزاد با تراکم تغییر می پذیرد به طوری که خط مستقیم فوق کاملاً مستقیم نمی شود. در این مورد به خصوص، تأثیر تغییر تراکم به قدری کم است که می توان از آن صرف نظر کرد، ولی در مواردی که تغییر انرژی آزاد یک واکنش از آنچه در مورد ترکیب ئیدروژن و اکسیژن هست، بسیار کوچکتر باشد، تأثیر تغییر تراکم مسلماً مهم خواهد بود.

اکنون ترکیب ئیدروژن وید را برای تشکیل اسید یدیدریک در نظر می‌گیریم. در این مورد تغییر انرژی آزاد واکنش، بسیار کم است. در تصویر ۱۲ آنرا با قرار دادن (C) به‌عنوان نشانه انرژی آزاد مخلوط خالص ئیدروژن وید



تصویر ۱۲. تغییر انرژی آزاد در تشکیل آب (بالا) و اسید یدیدریک (پایین)

نشان می‌دهیم. (C) اندکی از (D) که نشانه انرژی آزاد اسید یدیدریک خالص است و از ترکیب کامل همه I و H حاصل شده است، بالاتر قرار دارد.

در این جا نیز می‌توانیم با رسم خط مستقیمی از C به D سطح شیب‌داری بسازیم و گرچه شیبش کمتر است ولی به هر حال سطحی شیب‌دار است. واکنش در اینجا نیز باید از مخلوط H و I به اسید یدیدریک «در سراسیمه بغلند» در حال

آنکه اسید یدیدریک پایین تپه قادر به تجزیه نیست مگر آنکه نیرویی آن را به « بالای تپه » براند. ترکیب ئیدروژن و ید باید با شدنی کمتر و بسا تأنی بیشتر از ترکیب ئیدروژن و اکسیژن انجام گیرد زیرا شیب تپه کمتر است ولی در سایر امور، تابع همان اصل است.

اما چنانکه می دانیم واقعیت امر غیر از این است، زیرا همه ئیدروژن و ید کاملاً با هم ترکیب نمی شوند، بنابراین « سرتاسر سرازیری را طی نمی کند ». از این گذشته مقداری از اسید یدیدریک خالص تجزیه می شود و ظاهراً « به بالای تپه می غلتد ». پس طرح خط مستقیم صحیح نخواهد بود.

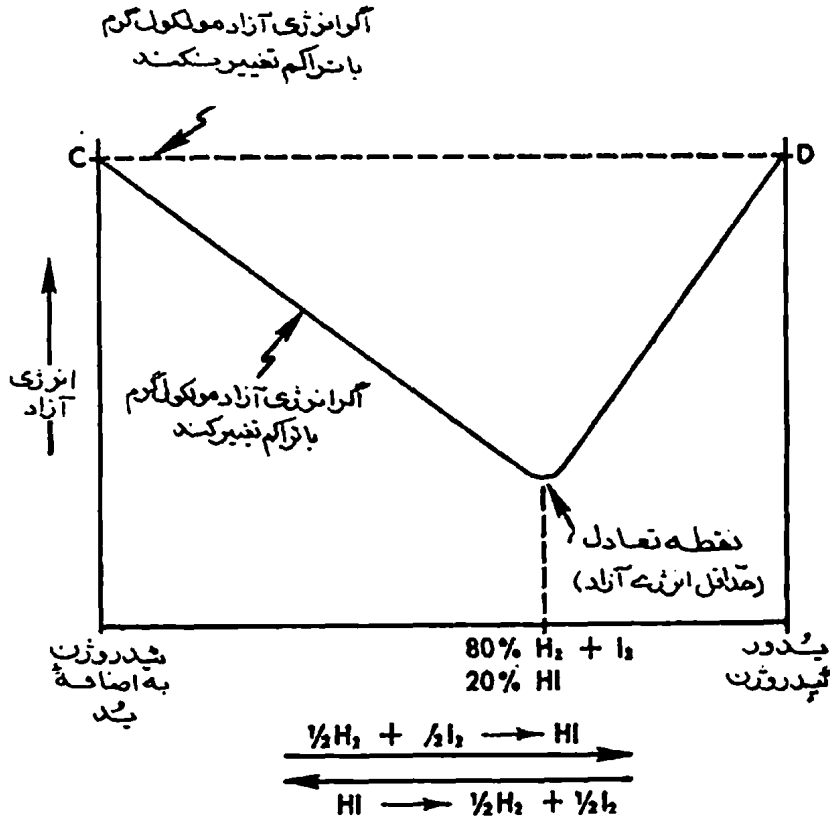
پاسخ مسئله فوق این است که مولکول گرم انرژی آزاد با ازدیاد تراکم کاهش می یابد. اگر تراکم ئیدروژن به اضافه ید در نتیجه تولید اسید یدیدریک $\frac{1}{11}$ کاسته شود، انرژی آزاد فقط $\frac{1}{11}$ کاهش نمی یابد بلکه کاهش بیش از این مقدار است. مفهوم این کاهش چنین است که خط معرف انرژی آزاد در حالی که از نقطه (C) شروع می شود، از خط مستقیم پایین تر می رود.

همین امر در مورد اسید یدیدریک نیز صادق است. اگر مقداری از آن تجزیه شود، باقی مانده انرژی آزاد کمتری از آنچه انتظار می رود دارد. پس خط معرف انرژی آزاد در حالی که از نقطه (D) شروع می شود، نیز از خط مستقیم پایین تر می رود.

در واقع خط معرف انرژی آزاد، چنانکه در تصویر ۱۳ نشان داده شده است، زاویه دار خواهد شد و بیشتر آن کل انرژی آزاد را، که کمتر از دو انتهایست، نشان می دهد.

روی این نکته باید تکیه بیشتری بشود، زیرا مولکول گرم انرژی آزاد با تراکم تغییر می کند و انرژی آزاد یک واکنش معین، در حالی که واکنش دریکی

از دو جهت صورت می‌گیرد، در یکی از دو انتها به حداقل نمی‌رسد. در عوض در نقطه‌ حد واسطی به حداقل می‌رسد که در آنجا تراکم کاهش یافته همه اجزا، کل انرژی آزاد را، به اصطلاح به سمت پایین هل می‌دهد.



تصویر ۱۳. تغییر انرژی آزاد و تعادل

در نتیجه، واکنشی که به نقطه دارای انرژی آزاد حداقل می‌رسد، در نقطه حد واسطی قرار می‌گیرد که نقطه تعادل است. از این گذشته، خواه واکنش از یک انتها شروع شود (با مخلوط خالص شیدروژن وید) خواه از انتهای دیگر (با مخلوط خالص اسیدیدیدریک)، همواره در همان نقطه حد واسط دارای حداقل انرژی آزاد، متوقف می‌شود.

اگر بخواهیم این جریان را به حرکت متضمن جاذبه تشبیه کنیم، به جای يك سطح شیبدار سروکار با دو سطح شیبدار خواهیم داشت. به عبارت دیگر دو دامنهٔ يك دره در میان خواهند بود.

اگر گلوله‌ای را از C رها سازیم تا ته دره خواهد غلتید و اگر از D رها شود نیز به پایین می‌غلتد و در همان نقطه فرود می‌آید.

هر چه تغییر حاصل در انرژی آزاد میان دو انتهای يك سیستم، که روی یکدیگر اثر می‌کنند، کمتر باشد نقطهٔ تعادل به نقطهٔ حد وسط واکنش نزدیکتر خواهد شد. وقتی که تفاوت انرژی آزاد دو انتها زیاد باشد، نقطه تعادل به طرف انتهای دارای انرژی آزاد کمتر تغییر مکان خواهد داد.

در مورد ترکیب شدن ئیدروژن و اکسیژن، تعادل به قدری در جهت آب تغییر مکان می‌دهد که تفاوت وضع میان نقطهٔ تعادل و آب خالص قابل اندازه‌گیری نیست. نقطهٔ تعادل، انرژی آزادی کمتر از آب خالص خواهد داشت ولی این تفاوت به قدری کم است که نمی‌توان اندازه‌گرفت (ولی از روی اطلاعات مربوط به انرژی آزاد محاسبه می‌شود).

مفهومش این است که ئیدروژن و اکسیژن در يك دستگاه بسته هیچگاه کاملاً ترکیب نمی‌شوند بلکه مقدار بسیار کمی از آنها ترکیب نشده باقی خواهند ماند. از این گذشته اگر بخار آب خالص را در همان شرایط و فشار قرار دهند مقدار بسیار کمی خود به خود به ئیدروژن و اکسیژن تجزیه خواهد شد.

پس، از نظر ترمودینامیک همهٔ واکنش‌ها و طرفه هستند ولی عملاً واکنشهایی را یکطرفه خواهیم دانست که نقطه تعادل آنها به یکی از دو انتها بسیار نزدیک و از آن غیر قابل تشخیص باشد.

از آنجا که موقعیت تعادل به تغییر انرژی آزاد، از یک سوی معادله شیمیایی به سوی دیگر آن، بستگی دارد محاسبه این تغییر از روی « مقدار ثابت تعادل » به آسانی ممکن است، ولی معما در اینجاست که اندازه گیری در مقدار ثابت تعادل همیشه به آسانی میسر نیست. محققاً در واکنشهایی که عموماً دو طرفه به نظر می رسند چنین نیست. روشهای دیگری نیز برای محاسبه تغییر انرژی آزاد یافته اند. یکی از آن روشها که، زوایای مبهم بسیاری را در شیمی روشن ساخته از الکترونیسته استفاده می کند، پس جا دارد که از آن بحث فراوان به عمل آید.

به منظور بحث درباره آن باید اتم را بار دیگر و به صورتی عمیق مورد دقت قرار دهیم. هنگامی که از تئوری سینتیک گازها و واکنشهای شیمیایی صحبت می کردیم اتم را به صورت گوی بسیار کوچکی شبیه گوی بیلیارد معرفی کردیم. ولی حقیقت امر آن است که ساختمان اتم به این سادگی نیست. اتم شامل ذرات کوچکتری نیز هست (ذرات زیر اتمی Subatomic Particles) این کشفی بود که در دهه سال ۱۸۹۰ انقلابی در جهان علم برپا ساخت.

سه نوع « ذره کوچکتر از اتم » هست. پروتون، نوترون و الکترون. از میان این سه نوع ذره پروتونها و نوترونها بالنسبه سنگین هستند و به صورت توده ای (هسته اتم) چسبیده بهم در مرکز اتم قرار دارند. این ذرات، در جریان واکنشهای شیمیایی قرار ندارند.

در اطراف هسته، الکترونها وجود دارند که بقیه اتم را اشغال می کنند و ذراتی بسیار سبکند. تعداد الکترونهای هر اتم برابر تعداد پروتونهای هسته همان اتم است و این تعداد در اتم هر عنصری با عنصر دیگر متفاوت است. (تعداد مذکور را « عدد اتمی » Atomic Number می گویند). ساده ترین اتم که از هیدروژن است فقط یک پروتون و یک الکترون دارد ولی اتمهای دیگر از این بیشتر دارند.

بعضی از اتمهای پیچیده‌ای که در سالهای اخیر در آزمایشگاهها مصنوعاً ساخته شده‌اند بیش از صد الکترون دارند. برای اطلاع بیشتر در باره عدد اتمی، در جدول شماره ۲ عدد اتمی بعضی از عنصرهای معروف ذکر شده است.

هر الکترونی «بار الکتربیکی» ثابت دارد.^۱ پروتون نیز دارای بار الکتربیکی ثابت است (نوترون‌ها بار الکتربیکی ندارند و در حالی که بی‌نهایت مهمند در زمره آنچه که شرح خواهیم داد وارد نیستند). مقدار بار الکتربیکی الکترون و پروتون برابر است ولی ماهیت متفاوت دارند. از اینجا می‌توان تفاوت بار الکترون و پروتون را شناخت که پروتون الکترون را جذب می‌کند ولی پروتون دیگر را دفع می‌کند. به همین طریق الکترون، پروتون را جذب ولی الکترون دیگر را دفع می‌کند.

بار الکتربیکی الکترون را منفی و بار الکتربیکی پروتون را مثبت خوانند. هر الکترون یک بار «-۱» دارد و هر پروتون یک بار «+۱» و عموماً «بارهای مشابه یکدیگر را دفع می‌کنند، و بارهای غیر مشابه یکدیگر را جذب می‌کنند». (اینکه برای هر ذره‌ای یک واحد بار تخصیص داده‌اند، فکر خوبی است زیرا تا آنجا که می‌دانیم بارهای کوچکتر وجود ندارند و به احتمال قوی نمی‌توانند موجود باشند.)

در اتم معمولی چنانکه گفته‌ام تعداد پروتونهای درون هسته مرکزی (تکرار می‌کنم «عدد اتمی») درست معادل تعداد الکترونهای بخش خارجی است به طوری که، اتم کلاً «از نظر الکتربیسته خنثی است» ولی الکترونهای سبک، به خلاف

۱- به درستی نمی‌دانند که بار چیست و به عهده فلاسفه است که ماهیت آن را بشناسند. آنچه مسلم است آن است که بار هر چه باشد، خاصیتی است که به صورت جذب و دفع جلوه می‌کند و با دقت قابل اندازه‌گیری است و از قوانین تبعیت می‌کند. همین اندازه شناختن بار برای فیزیکدانها کفایت می‌کند.

پروتونها که درون هسته مخفی هستند و از برخورد های اتمی و مولکولی درامانند، در بخش خارجی اتم قرار دارند و بار برخورد با آنها و مولکولهای دیگر را بدوش می کشند. واکنش شیمیایی متضمن نوعی تغییر وضع توزیع الکترونیهای اتمهایی است که در واکنش واردند.

جدول شماره ۲

عدد اتمی

عدد اتمی	عنصر	عدد اتمی	عنصر
۲۷	کوبالت (CO)	۱	هیدروژن (H)
۲۸	نیکل (Ni)	۲	هلیوم (He)
۲۹	مس (Cu)	۶	کربن (C)
۳۰	روی (Zn)	۷	نیتروژن (N)
۴۷	نقره (Ag)	۸	اکسیژن (O)
۵۰	قلع (Sn)	۹	فلور (F)
۵۳	ید (I)	۱۱	سدیم (Na)
۷۴	تنگستن (W)	۱۲	منیزیم (Mg)
۷۸	پلاتین (Pt)	۱۳	آلومینیوم (Al)
۷۹	طلا (Au)	۱۵	فسفر (P)
۸۰	جیوه (Hg)	۱۶	گوگرد (S)
۸۲	سرب (Pb)	۱۷	کلر (Cl)
۸۸	رادیوم (Ra)	۱۹	پتاسیم (K)
۹۰	توریوم (Th)	۲۰	کلسیم (Ca)
۹۲	اورانیوم (U)	۲۴	کروم (Cr)
۹۴	پلوتونیوم (Pu)	۲۵	منگنز (Mn)
۱۰۳	لاورانسیم (Lw)	۲۶	آهن (Fe)

تذکره: همه اعدادی که از لیست بالا حذف شده اند، مربوط به عنصرهای

شناخته شده اند، به طوری که در حال حاضر بر روی هم ۱۰۳ عنصر می شناسند.

در واقع از روی وقوع چنین تغییراتی در طرز توزیع الکترونها ، يك واکنش شیمیایی را از واکنش دیگر تشخیص می دهند .

این تغییرات ممکن است خنثی بودن وضع الکتربکی اتم را تغییر دهند یا تغییری در آن به وجود نیاورند. مثلاً دو اتم ممکن است چنان برخورد کنند که در بعضی از الکترونها سهم گردند به طوری که وضع توزیع الکترون در آنها صورت ثابتی به خود بگیرد (بعداً در این کتاب بار دیگر به این موضوع اشاره خواهیم کرد). الکترونهاى مشترك فقط به شرطى مشترك بین دو اتم باقى می ماند که دو اتم براستی مجاور یکدیگر قرار گیرند. اگر دو اتم را از هم جدا کنند ، وضع ثابت از میان خواهد رفت و این عمل نیاز به انرژی بسیار دارد. اگر چنین انرژی به دو اتم متصل به هم داده نشود، دو اتم بمدت نامحدودی به صورتی که هستند باقى خواهند ماند و این اساس پیوندهای شیمیایی است که در فصلهای پیش بدانها اشاره کرده ام. اتمهایی که در مولکول ئیدروژن و اکسیژن و آب و انیدرید کربنیک و اسید یدیدریک و بسیاری از مولکولهای دیگر هستند ، به سبب سهم بودن در الکترونهاى مشترك به یکدیگر متصل اند. تا وقتی که اتمها بدین صورت قرار دارند ، خنثی بودن وضع الکتربکی آنها تغییر نمی پذیرد .

ولی بسا اتفاق می افتد که بعضی از الکترونهاى اتم بعضی از عنصرها ، به وضعی بسیار سست در اتم خود مستقرند. مثلاً اتم سدیم ۱۱ الکترون اطراف را را به سستی نگه داشته است . و وقتی مجاور اتم کلر قرار می گیرد (کلر همه الکترونهاى خود را محکم در جای خود دارد) ، الکترونهاى خارجی تر سدیم ، مشترك میان سدیم و کلر نمی شوند بلکه کلاً از اتم سدیم به اتم کلر منتقل می گردند. وقتی که چنین شد اتم سدیم با ۱۰ الکترون باقى می ماند. پس برای خنثی کردن بارهای مثبت ۱۱ پروتون هسته ، يك الکترون کم دارد . پس اتم سدیم

دیگر از نظر الکتریکی خنثی نیست بلکه بر روی هم باری معادل « $+۱$ » دارد که متعلق به يك پروتون خنثی نشده است. از سوی دیگر کلر در این موقع ۱۸ الکترون خواهد داشت ، یعنی يك الکترون بیش از تعدادی که برای خنثی کردن ۱۷ پروتون در هسته آن هست پس کلر بر روی هم باری معادل « -۱ » دارد که متعلق به يك الکترون اضافی است.

این گونه اتمهای دارای بار الکتریکی را ، که به سبب کمبود یا اضافه الکترون باردار شده‌اند ، یون^۱ می‌گویند . طبیعی است که هم « یون مثبت » هست و هم « یون منفی » . عموماً یون را بدین صورت نمایش می‌دهند که علامت اختصاری عنصر را می‌نویسند و علامت $-$ یا $+$ برای نشان دادن بارش مجاور آن قرار می‌دهند . پس « یون سدیم » Na^+ و « یون کلر » Cl^- .

بعضی از اتمها ممکن است طی واکنش شیمیایی ۲ یا ۳ الکترون ، از دست بدهند یا در بعضی از شرایط ۲ الکترون و در بعضی دیگر ۳ الکترون از دست بدهند . نیز ممکن است گروهی اتم در حالی که با هم الکترون مشترك دارند ، يك یا دو اتم بگیرند یا بدهند. این گونه اتمها متصل به هم باقی می‌مانند ولی صاحب بار الکتریکی می‌شوند و به یونهای مرکب موسومند. اگر چه نیازی بدان نداریم که وارد جزئیات این امور بشویم معیناً برای اطلاع بیشتر خواننده صورتی از معروفترین یونها را در جدول ۳ نشان می‌دهیم .

تذکر : هنگامی که يك اتم یا يك گروه اتمی بیش از يك الکترون بگیرد یا از دست بدهد ، به وسیله بیش از يك منها یا به علاوه نشان داده می‌شود. مثلاً کلسیم دو الکترون از دست می‌دهد پس دو بار دارد Ca^{++} ، و حال آنکه گوگرد دو الکترون می‌گیرد و $S^{=}$ می‌شود . نیز اتم آهن می‌تواند ۲ یا ۳

جدول شماره ۳

یونها

منفی		مثبت	
علامت اختصاری	نام	علامت اختصاری	نام
F ⁻	یون فلور	H ⁺	یون هیدروژن
Cl ⁻	» کلر	Na ⁺	» سدیم
I ⁻	» ید	K ⁺	» پتاسیم
S ⁻	» گوگرد	Mg ⁺⁺	» منیزیم
CO ₃ ⁼	» کربنات	Ca ⁺⁺	» کلسیم
NO ₃ ⁻	» نترات	Zn ⁺⁺	» روی
SO ₄ ⁼	» سولفات	Cu ⁺	» مس (کوپر)
PO ₄	» فسفات	Cu ⁺⁺	» مس (کوپر)
		Fe ⁺⁺	» آهن (فرو)
		Fe ⁺⁺⁺	» آهن (فیریک)
		NH ₄ ⁺	» آمونیوم

الکترون از دست بدهد، پس يك یون دارای دو یا سه بار به وجود می‌آورد. این دو نوع یون را با تفاوتی که در نامشان هست از هم تشخیص می‌دهند. (این نام را از لاتین «Ferrum» گرفته‌اند نه از انگلیسی «Iron»)



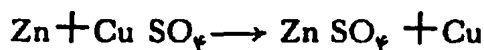
موادی مانند کلرور سدیم، که به وسیلهٔ چنین جاذبه‌ای نگهداری شده‌اند مولکولهایی، مانند آنچه در بارهٔ انیدرید کربنیک یا آب دیده‌ایم، ندارند، زیرا در يك بلور کلرور سدیم، يك یون سدیم مخصوص برای همیشه با يك یون

کلر همراه نیست ذرهٔ دو اتمی به وجود نمی‌آورد. هنگامی که نمک طعام را در آب حل می‌کنیم متوجه این امر خواهیم شد. در يك محلول کلرور سدیم یونهای سدیم و یونهای کلر به آزادی می‌جنبند، و میان بارهای مثبت و منفی جاذبه‌ای وجود ندارد بلکه يك یون سدیم می‌تواند بدون آنکه با خود یون کلر به همراه داشته باشد حرکت کند. (تحت اثر جریان الکتریسته دو دسته یون ممکن است در دو جهت مخالف هدایت شوند.)

واکنشهایی شیمیایی وجود دارند که با اینگونه استقلال یونی بهتر تفسیر می‌شوند. مثلاً با تمرکز توجه به يك یون و از نظر دور داشتن یون دیگر مسئله روشن‌تر خواهد شد.

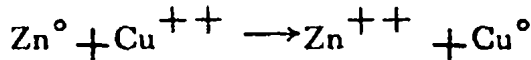
یکی از مثالها روی (Zn) و سولفات مس است (سولفات مس يك اتم مس Cu مشتق از کلمهٔ لاتینی Cuprum، و يك اتم گوگرد و چهار اتم اکسیژن دارد $Cu SO_4$). اگر روی را در محلولی از سولفات مس وارد سازیم، يك واکنش خود به خود آغاز خواهد شد که طی آن روی داخل محلول می‌شود و تولید سولفات روی می‌کند ($Zn SO_4$) و حال آنکه مس از محلول خارج می‌گردد و به وسیلهٔ رنگ قرمز خود شناخته می‌شود.

معمولاً واکنش شیمیایی فوق را با این معادله نشان می‌دهند:



آنچه از این واکنش استنباط می‌شود آن است که گروه سولفات (SO_4) از مس جدا شده و به روی پیوسته است. حقیقت امر آن است که گروه سولفات چنین عملی انجام نمی‌دهد و بخشی از دستگاه است که مستقیماً هیچ نقشی ایفا نمی‌کند. اگر از نظر یونی به این واکنش بنگریم موضوع فوق به درستی فهمیده خواهد شد. سولفات مس با جاذبهٔ یونی نگهداری شده است (دست کم بخشی از آن).

و به صورت مولکولهای مستقل در محلول وجود ندارد بلکه مخلوطی از یونهای مس (کوئوریک Cu^{++}) و سولفات ($\text{SO}=\text{}$) هست، واکنشی که صورت می گیرد این است که یک اتم روی (که می توان آن را به صورت Zn° نشان داد تا معلوم شود که در حالت فلزی اتمی بدون بار است) دو الکترون از دست می دهد و به یون روی (Zn^{++}) تبدیل می شود و این دو الکترون را یون کوئوریک می گیرد و به صورت اتم خنثای مس (Cu°) در می آید و چون فلزی نه نشین می شود. معادله را بدین صورت می توان نوشت:



در این معادله تغییری در پیوند یونی دیده می شود. در آغاز پیوند یونی میان یون کوئوریک و یون سولفات وجود داشت، و در آخر میان روی و یون سولفات. تغییر پیوندهای یونی، مانند تغییر سایر انواع پیوندها متضمن تغییر انرژی آزاد است. در مورد فوق، واکنش درجهتی که در بالا نشان داده شده خود به خود صورت می گیرد. پس می توانیم مطمئن گردیم که در تبدیل روی فلزی و یون کوئوریک به روی یونی و مس فلزی در انرژی آزاد کاهش حاصل شده است. اکنون فرض کنید که دو ماده ای که روی هم اثر می کنند از هم جدا شوند. در یک ظرف میله ای از روی را در محلولی از سولفات روی قرار دهیم و در ظرف دیگر میله ای مسی را در محلولی از سولفات مس فرو بریم و میان دو ظرف دیواره متخلخلی قرار دهیم که در شرایط عادی یونها به آهستگی بتوانند از آن گذر کنند. اگر چنین دستگاهی را به حال خود رها سازیم، واکنشی را که در بالا اشاره کردیم به مقدار قابلی صورت نمی گیرد.

آنچه در جریان اخیر رخ می دهد این است که اتمهای روی درون میله روی تمایلی دارند به اینکه الکترون از دست بدهند و به یون تبدیل شوند.

چون یون مس در مجاورت آنها نیست تا این الکترونها را بگیرد ، پس «الکترونهاى آزاد» در محلول جمع می شوند. این عمل چندان ادامه نمی یابد. زیرا الکترونهاىی که جمع می شوند همه بارهای شبیه دارند و یکدیگر را دفع می کنند و تا آنجا که ممکن است از همدیگر دور می شوند و نوعی « فشار الکترونی » به وجود می آورند. الکترونهاى دیگری که از یونیزاسیون اتمهای روی حاصل می شوند باید با این فشار مقابله کنند. به ازای هر الکترونی که اضافه می شود فشار بالا می رود و موقعی می رسد که دیگر یونیزاسیونی صورت نمی گیرد. جمع شدن الکترونها در این موقع بسیار کم است. عین همین جریان در میله مسی واقع می شود ، زیرا اتمهای مس نیز تمایل به از دست دادن الکترون دارند. معیناً فشار الکترونی روی بیشتر از این فشار در مس است. زیرا اتمهای روی تمایل بیشتری برای از دست دادن الکترون نشان می دهند تا اتمهای مس. پس در میله روی الکترونهاى زیادتری جمع می شود.

اکنون فرض کنید ، میله روی به وسیله يك سیم فلزی با میله مس مربوط شود ، پس از این ارتباط جریان جالبی اتفاق می افتد. اتمهای معمولی نمی توانند از سیم عبور کنند و اتمهایی که در سیم وجود دارند و آن سیم را به وجود می آورند ، خود سدی در برابر عبور اتمهای دیگرند. ولی الکترون از اتم بسیار کوچکتر و سبک تر است. الکترون $\frac{1}{1837}$ سبک ترین اتمها (که اتم ئیدروژن است) وزن دارد. يك الکترون می تواند از میان اتمهای سازنده سیم عبور کند ولی اتم نمی تواند. (قابلیت عبور الکترون از فلز به ساختمان الکترونیکی اتمهای خود فلز بستگی دارد. اتمهای بعضی مواد ، مانند گوگرد و شیشه و لاستیک ساختمان الکترونیکی مخصوصی دارند که راه عبور به الکترونها نمی دهند).

فشار الکترونی درون دو میله چون نیرویی این ذرات كوچك را از درون

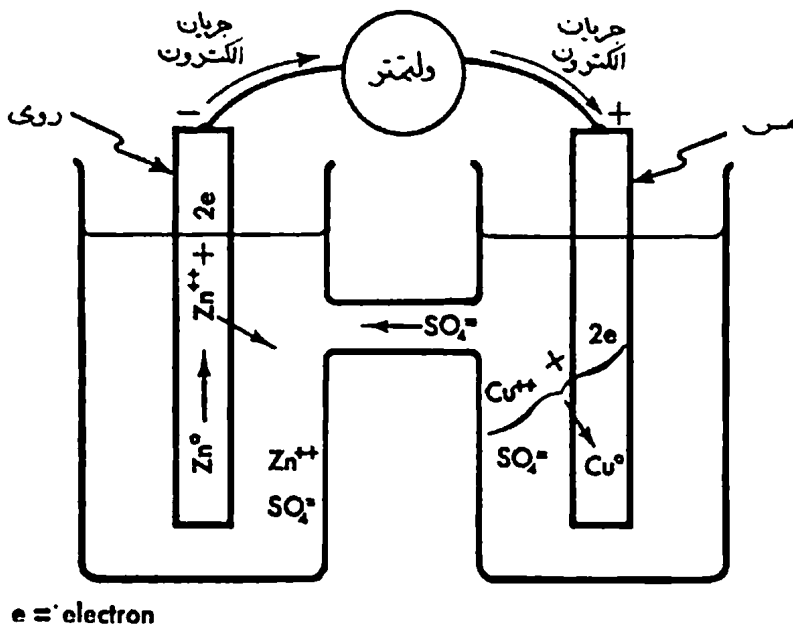
سیم عبور می‌دهد. از آنجا که فشار الکترونی در روی بیش از این فشار در مس است، الکترونها از میله رویی با انرژی بیشتری به سوی میله مسی می‌روند و به حرکت آنها غلبه می‌کنند. پس حرکت الکترونها از ناحیه دارای فشار الکترونی بیشتر به ناحیه دارای فشار الکترونی کمتر است به همان صورت که سنگی از ناحیه دارای انرژی پتانسیل بیشتر به ناحیه دارای انرژی پتانسیل کمتر حرکت می‌کند، نیز گرما از ناحیه دارای دمای زیاد به ناحیه دارای دمای کم جریان می‌یابد. تفاوت فشار الکترونیکی که به دنبال جریان الکترون هست به پتانسیل الکتریکی معروف است نیز به نیروی الکتروموتوری موسوم است. نیروی الکتروموتوری را مختصراً با E.M.F نشان می‌دهند.

هرچه الکترون میله روی را ترك کند، فشار الکترونی آن کم می‌شود و الکترونهای بیشتری از روی خارج می‌گردد. این الکترونها نیز به حرکت می‌افتند و اتمهای روی، الکترونهای بیشتری تولید می‌کنند. پس جریانی از الکترون به‌طور دائم به‌راه می‌افتد که آن را به نام جریان الکتریکی می‌شناسیم.

به تدریج که الکترونها از روی به سوی مس جریان می‌یابند، به وسیله یونهای مس اطراف میله مس گرفته می‌شوند. در نتیجه یونهای مس به اتمهای مس تبدیل می‌گردند. آنچه واقع می‌شود این است که در حین جریان یافتن الکترونها، در يك سر دستگاه اتمهای روی یونهای روی به وجود می‌آورند در سر دیگر دستگاه یونهای مس به اتمهای مس تبدیل می‌گردند و محلول را ترك می‌کنند. مقدار کل یونهای مثبت محلول تغییر نمی‌کند نیز مقدار بار مثبت آن بدون تغییر می‌ماند. بار مثبت در بخشی از محلول که نزدیک روی هست جمع می‌شود و در عوض در بخشی از محلول که نزدیک مس هست کم می‌گردد ولی یونهای سولفات دارای بار منفی می‌توانند از سوراخهای حد فاصل دو ظرف

عبور کنند و از سر دارای مس به سر دارای روی بروند و تعادل الکتریکی برقرار سازند .

جریان یافتن الکترون ، صورتی از انرژی است و می تواند کار انجام دهد . این انرژی الکتریکی از کاهش انرژی شیمیایی که در تبدیل یون مس به اضافه روی ، به یون روی به اضافه مس صورت می گیرد ، حاصل می گردد .



تصویر ۱۴ . جریان الکترونها در یک پیل ولتا

ابزاری که انرژی آزاد واکنش شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند پیل شیمیایی ، پیل الکتریکی ، پیل الکتروشیمیایی ، یا حتی پیل ولتا می گویند . این نام از دانشمند ایتالیایی آلساندرو ولتا^۱ که نخستین بار پیل شیمیایی را ترتیب داده گرفته شده است . پیلی که روی و مس دارد به پیل دانیهل معروف است . این نام از شیمی دان انگلیسی جان فردریک دانیل^۲ که در سال ۱۸۳۶ نخستین پیلی از این نوع

John Frederic Daniell -۲

Alessandro Volta -۱

را ترتیب داده گرفته شده است .

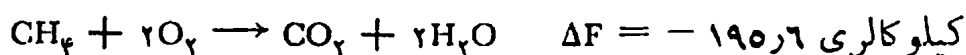
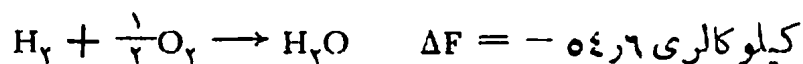
(توجه داشته باشید که پیل‌ها را يك قرن پیش از آنکه الکترون را کشف کنند ، ترتیب داده بودند . ولی به کار بردن جریان الکترون به صورت شعبه‌ای از علم فیزیک به نام الکترونیک از دهه سال ۱۸۹۰ توسعه یافته است . نتیجه‌ای که از این گرفته می‌شود آن است که برای به کار بردن پدیده‌ای ، شناختن ماهیتش لازم نیست ، آنچه باید بدانیم آن است که اگر پدیده را بشناسیم چگونه از آن استفاده ببریم .)

هرچه کاهش انرژی آزاد يك واکنش شیمیایی در تولید جریان الکترون بیشتر باشد ، پتانسیل الکتريکی محرك الکترونها نیز بیشتر خواهد شد . اندازه گرفتن پتانسیل الکتريکی سهل است (با « ولت » ، از روی « ولت‌متر » ، که از ولتاژ اندازه می‌گیرند) . محاسبات ریاضی میس نشان داده‌اند که چگونه از روی این پتانسیل می‌توان کاهش انرژی آزاد را اندازه گرفت . میس از این راه نه تنها انرژی شیمیایی را با ترمودینامیک ، که در اساس از مطالعه ماشینهای بخار سرچشمه گرفته بود ، مربوط ساخته ، بلکه انرژی الکتريکی را نیز به ترمودینامیک ربط داده است .

هنوز بعضی از واکنشهای شیمیایی مهم وجود دارند که مطالعه مستقیم آنها امکان ندارد . مثلاً ترکیب کربن و اکسیژن که به تشکیل انیدرید کربنیک می‌انجامد ، نقطه تعادلش چنان نزدیک انتهای واکنش انیدرید کربنیک است که کاهش انرژی آزاد همراه آن را از روی نقطه تعادل نمی‌توان اندازه گرفت . نیز نمی‌توان پیل الکتروشیمیایی چنان ساخت که در آن کربن و اکسیژن بتوانند با هم ترکیب شوند (اگر چنین پیل بسازند ، « پیل سوخت » نام خواهد گرفت و الکتريسته ارزانی به وجود خواهد آورد .)

خوشبختانه معادل قانون هس در اینجا قابل استعمال است. چنانکه می‌دانید، قانون هس امکان داده که معادلات شیمیایی را مانند معادلات جبری حل کنند، و مقادیر ΔH را نیز به همین روش محاسبه نمایند (به فصل هشتم مراجعه شود)، همین عمل عیناً در مورد ΔF نیز قابل اجراست. از طریق حل معادلاتی که اندازه‌گیری تغییر انرژی آزاد را به روش مستقیم ممکن می‌سازند، می‌توان مقدار تغییر انرژی واکنشهایی را که اندازه‌گیری مستقیم در آنها میسر نیست اندازه گرفت.

بنابراین با اطمینان خاطر می‌توان گفت و کاملاً معقول به نظر می‌رسد که:



و سایر واکنشها نیز بر همین قیاس اند.

فصل یازدهم

تحريك واكنش

استفاده فاتحانه از ترمودینامیک در شیمی ، طی دهه سالهای ۱۸۷۰ و ۱۸۸۰ چنانکه در دو فصل اخیر بیان گردید ، بدون نقص نبود .

بارها گفته‌ام که ترکیب ئیدروژن و اکسیژن (نیز ترکیب کربن و اکسیژن) متضمن کاهش زیاد مقدار گرما و کاهش انرژی آزاد است و خود به خود صورت می‌گیرد . نیز چند بار یاد آور شده‌ام که مخلوط ئیدروژن و اکسیژن باید قبل از آغاز ترکیب شدن ، گرم شود . به عبارت دیگر برای آنکه ترکیب خود به خودی فرضی را آغاز کند باید تحريك شود . این مسئله در مورد ترکیب کربن و اکسیژن بیشتر صدق می‌کند . هیچ خانه‌داری موقع ریختن ذغال سنگ در انبار زیرزمینی خانه از این نگران نخواهد شد ، که پیش از ریختن آنها در کوره با هوا ترکیب شود . واقع امر این است آغاز کردن احتراق ذغال سنگ دشوار است .

اکنون باید دید که چرا باید چنین باشد ؟ اگر طرحی را که در فصل پیش راجع به انرژی آزاد رسم کرده‌ام درست است پس مخلوط ئیدروژن و اکسیژن باید بدون تحريك شدن ترکیب شود . اگر با مسائل مکانیکی تشبیه کنیم مانند آن

است که وقتی سنگی در بالای سطحی شیبدار قرار می‌گیرد، به محض رها شدن و بدون هل دادن باید به تدریج سرازیر شود. پس چرا مخلوط ئیدروژن و اکسیژن را باید با گرم کردن به اصطلاح هل داد تا واکنش شیمیایی خود به خود را انجام دهد؟ آیا در این مورد نقصی در اصل ترمودینامیک شیمیایی هست؟

یکی از راههای رفع این اشکال آن است که گفته شود مطالعات ترمودینامیکی جهت وقوع واکنشها را پیشگویی می‌کنند نه سرعت وقوع آنها را. به عبارت دیگر مخلوط ئیدروژن و اکسیژن در حال ترکیب شدن هستند نیز ذغال سنگ در حال ترکیب شدن با اکسیژن هوا هست ولی هر دو فرایند با چنان کندی صورت می‌پذیرند که حتی به مدتی دراز، چیزی مشهود نمی‌سازند.

چنین توجیهی مانند آن است که خود را در پس فرضی غیر قابل بررسی پنهان سازیم، ولی قرائنی در دست است که نشان می‌دهد واقع امر همین است و صورت فرضی ندارد. کاغذ (که از مولکولهای حاوی اتمهای کربن و ئیدروژن و اکسیژن ساخته شده است) با اکسیژن ترکیب می‌شود و این واکنشی است متضمن کاهش انرژی آزاد. هر وقت که کاغذی بسوزد گرما و نور تولید می‌کند و واکنشی خود به خود به نظر می‌رسد. ولی تا آنجا که اطلاع داریم کاغذ با اکسیژن ترکیب نمی‌شود مگر آنکه به وسیله‌ای آن را بسوزانیم. ولی آیا جریان امر همین است و بس؟ آیا اگر زمان را در نظر بگیریم می‌توانیم کاغذی را ببینیم که بدون آنکه سوزانده شود با اکسیژن ترکیب گردد؟

اوراق کتابهای کهنه عموماً زرد و شکننده‌اند و لبه آنها، که بیشتر در معرض هواست، زردتر و شکننده‌تر است. مثل آن است که کاغذ اندکی برشته شده باشد. حقیقت امر آن است که کاغذ برشته شده است، زیرا کاغذ طی دهها سال با کندی بسیار با اکسیژن ترکیب شده و به اصطلاح به آهستگی «سوخته است».

مثال دیگری که کمتر به چشم می خورد بعضی از مواد روغنی هستند . این مواد که بیشتر از کربن و ئیدروژن ساخته شده اند با اکسیژن ترکیب می شوند و واکنشی که متضمن کاهش انرژی آزاد است انجام می دهند و طبیعی است که گرما تولید می کنند . ولی بدون آنکه با وسیله ای سوختن آنها را آغاز کنیم ، ترکیبشان با اکسیژن با چنان کندی صورت می گیرد که غیر قابل تشخیص است .

مواد روغنی گرما را خوب هدایت نمی کنند . اگر مقداری کهنه آغشته به ماده روغنی را در جایی که هوا جریان ندارد ، روی هم انبار کنند ، گرمای بسیار ناچیزی که رفته رفته از ترکیب بسیار کند ماده روغنی با اکسیژن ، حاصل می شود ، به خارج هدایت نخواهد شد . این گرما رفته رفته جمع می شود . در نتیجه جمع شدن گرما ، دما بالا می رود . در نتیجه بالا رفتن دما سرعت ترکیب ماده روغنی با اکسیژن بالا می رود . گرما بیش از پیش زیاد می شود و دما را بالا می برد تا به درجه ای می رسد که کهنه آتش می گیرد . کهنه آتش می گیرد و ممکن است خانه را هم با خود طعمه آتش سازد . مأموران آتش نشانی اینها را احتراق خود به خود می گویند ، و مردم را به توجه از کهنه های آلوده به مواد روغنی ، آگاه می سازند . بنابراین واکنشهای خود به خود ، به راستی خود به خودند . آنچه که باید توضیح بدهیم این است که اشکال آغاز سوختن آنها ، نیاز به تجدید نظر در ترمودینامیک شیمیایی ندارد بلکه به اصولی وابسته است که از مطالعه دقیق تر سرعت واکنشها (یعنی « سینتیک شیمیایی ») نتیجه می شود . باید دید که چه عاملی سبب می شود واکنشی در بعضی شرایط با کندی غیر قابل تشخیص ، و در شرایط دیگر با سرعت انفجار آمیز صورت گیرد ؟



نخستین نتیجه ای کلی که بایستی در مورد سینتیک شیمیایی کشف شده باشد

این است که افزایش دما موجب تسریع واکنشهای شیمیایی است. بدیهی است که این موضوع خودجزئی از تجربیات روزانه انسان است. حتی در ایام ماقبل تاریخ، انسان می دانست که آتش قوی، به سرعت پختن و ذوب فلز و شیشه سازی و سایر چیزها می افزاید. نیز تا حدی واقف بود که آب میوه در مکان گرم سریعتر از جای سرد تخمیر می شود ولی میان آگاهی عمومی از یک اصل و اندازه گیری دقیق آن تحت شرایط کنترل شده، تفاوت بسیار هست و در علم، قسمت اخیر به حساب می آید. در دهه سال ۱۸۸۰ عده ای از شیمی دانها، تعدادی واکنشهای شیمیایی را در دماهای گوناگون هدایت کردند و سرعت وقوع آنها را با دقت اندازه گرفتند. نتیجه ای که به دست آمده این بوده که تقریباً به ازای افزایش هر ده درجه دما سرعت واکنش دو برابر می شود.

این پدیده از نظر انرژی سینتیک منطقی به نظر می رسد. واکنش شیمیایی میان دو ماده به خوبی صورت نمی گیرد مگر آنکه مولکولهای آن دو ماده با هم تصادم کنند. با افزایش دما، حرکت مولکولها تسریع می شود (به فصل ششم مراجعه شود) و تصادمهای بیشتری در هر ثانیه صورت می گیرد، پس واکنش تسریع می شود.

اکنون اندکی بیشتر درباره این مسئله فکر کنیم. حرکت متوسط مولکول به تناسب ریشه دوم دمای مطلق افزایش می یابد. هنگامی که دما از 20°C به 30°C می رسد ما از 293°K به 303°K می رسیم و این افزایشی در دمای مطلق است. پس سرعت مولکولی چند درصدی افزایش می یابد. حال که حرکت مولکولی به این کمی زیاد می شود چرا سرعت واکنش باید دو برابر شود یعنی چرا ۱۰۰ درصد افزایش حاصل کند؟

از این گذشته اگر از این مسئله بگذریم مسئله دیگری پیش می آید و آن

این است که اگر مخلوطی از ئیدروژن و اکسیژن را با کندی بسیار گرم کنیم، با افزایش دما هیچ اتفاقی نخواهد افتاد تا وقتی که دما به 600°C برسد. در این موقع دفعتاً انفجار صورت می‌گیرد.

عجیب است! زیرا اگر سرعت واکنش به ازای افزایش هر ده درجه دما دو برابر می‌شود، پس باید اکسیژن و ئیدروژن با سرعتی که رفته رفته افزایش می‌یابد باهم ترکیب شوند. درست است که در دمای زیاد با شدت ترکیب می‌گردند ولی در دماهای حد فاصل نیز باید با سرعتهای متوسط ترکیب گردند، و حال آنکه افزایش سرعت ابتدا «به قدری کند است که قابل اندازه گیری نیست» سپس دفعتاً با مختصر افزایش دما «به قدری زیاد می‌شود که قابل اندازه گیری نیست». چرا باید چنین باشد؟ بهتر این بود که مسائل دیگری را در واکنش شیمیایی در نظر می‌گرفتیم. این مسائل را اکنون به منظور روشن شدن موضوع، در مورد مخلوط ئیدروژن و اکسیژن بررسی می‌کنیم.

هنگامی که از ترکیب شدن ئیدروژن و اکسیژن صحبت می‌کردم، سخنی از جزئیات این واکنش به میان نیاوردم. بلکه فقط به این نکته اشاره کردم که در مخلوط این دو گاز، سطح انرژی آزاد زیاد است ولی پس از ترکیب شدن و تولید آب، سطح انرژی آزاد کاهش فراوان می‌یابد. تا اینجا درست. ولی باید دید که در جریان ترکیب شدن دو گاز چه اتفاقی می‌افتد؟ مطمئناً مولکولهای ئیدروژن و اکسیژن آنآ با هم ترکیب نمی‌شوند بلکه ترکیب آنها طی مراحل صورت خواهد گرفت که نیاز به زمان دارد.

فرض کنیم ئیدروژنی که در مخلوط هست شامل مولکولهایی است که هر یک از پیوند شیمیایی دو اتم ئیدروژن به وجود آمده است. این ئیدروژن را با H_2 نمایش می‌دهیم. اکسیژن نیز همانند ئیدروژن مرکب از مولکولهایی است که هر

يك از پیوند شیمیایی دو اتم اکسیژن ساخته شده است (OO). آبی که در پایان به وجود می آید، به طوری که از قرائن موجود استنباط می شود، مولکولهایی دارد که هر يك از يك اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن ساخته شده است (HOH).

برای آنکه اتم اکسیژن میان دو اتم هیدروژن قرار گیرد ابتدا باید پیوند دو هیدروژن گسیخته شود. نیز برای آنکه يك اتم اکسیژن میان دو اتم هیدروژن قرار داده شود، آن اتم باید از اتم دیگری که با هم يك مولکول ساخته اند، جدا شود. بنابراین، پیش از آنکه مولکول آب به وجود آید واکنشهای زیر باید صورت بپذیرند:

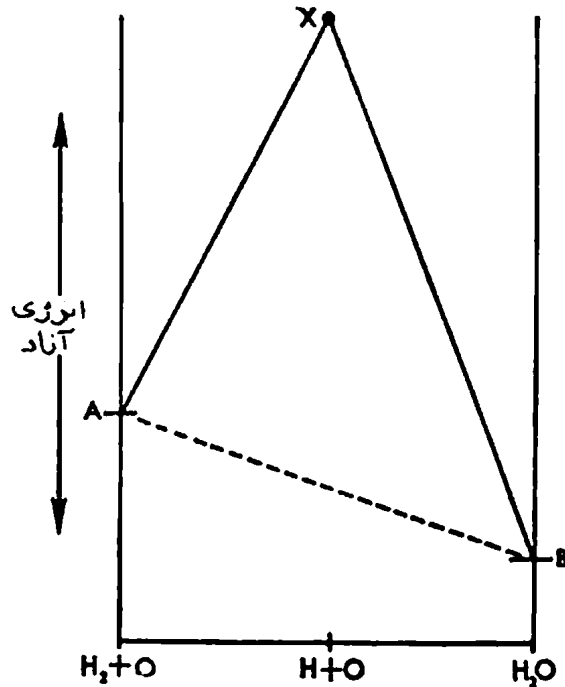


ولی، چنانکه در فصل هفتم اشاره کرده ام، تجزیه چنین مولکولهایی به اتمهای آزاد متضمن « کاهش بسیار » انرژی آزاد است.

اگر بدین صورت به ترکیب شدن هیدروژن و اکسیژن بنگریم، آن را مرکب از دو واکنش خواهیم یافت. واکنش اول تبدیل مولکولهای هیدروژن و اکسیژن به اتمهای هیدروژن و اکسیژن است ولی واکنش دوم ترکیب شدن اتمهای آزاد این دو گاز و تولید آب است. رابطه انرژی آزاد را می توان چنانکه در تصویر ۱۵ هست نشان داد.

اگر در تصویر ۱۵، به انرژی آزاد مخلوط مولکولهای هیدروژن و اکسیژن (A) توجه کنیم و آن را با انرژی آزاد آب (B) مقایسه نماییم، خواهیم دید که انرژی آزاد چنانکه با نقطه چینها نشان داده شده، در همه حال در سرازیری است. ولی، چنانچه مرحله حد واسط هیدروژن و اکسیژن اتمی را به میان بکشیم، مقدار انرژی آزاد (X) خیلی بیشتر از A یا B خواهد شد. پس اگر اشکالی در

ترکیب شدن هیدروژن و اکسیژن هست تعجبی نخواهد داشت .
 موضوع این است که (با استفاده از تشبیه بدانرژی مکانیکی) غلتیدن
 گلوله‌ای در سطح شیب‌دار صافی از نقطه A به نقطه B کاملاً بانبعیت گلوله از مسیری
 برای غلتیدن به سمت بالای تپه تفاوت دارد .

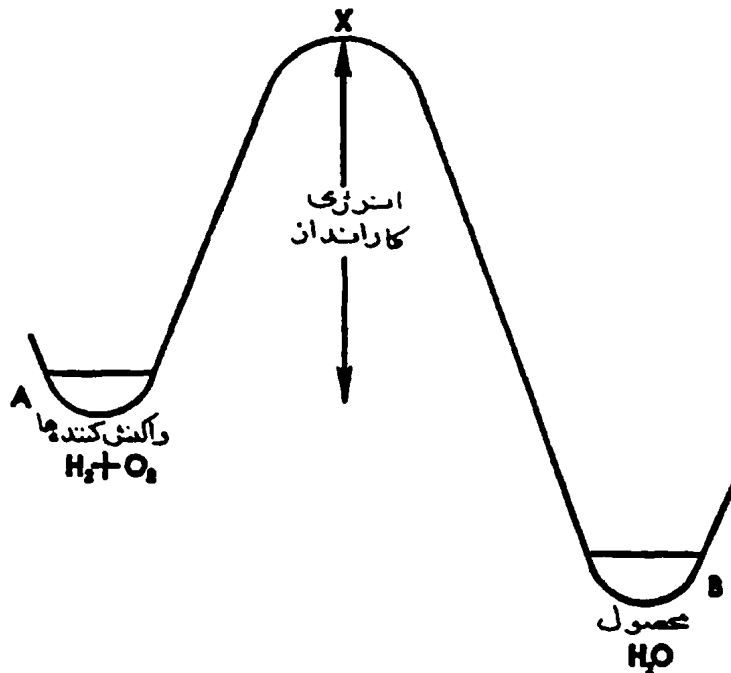


تصویر ۱۵ . ترکیب دو مرحله‌ای هیدروژن و اکسیژن

اکنون این سؤال ، که عکس سؤال پیش است ، مطرح است : « چرا
 مولکولهای هیدروژن و اکسیژن اساساً باهم ترکیب می‌شوند ؟ » چنانکه در فصل
 هفتم اشاره کرده‌ام ، در دمایی معادل 3500°C ، کمتر از نصف مولکولهای هیدروژن
 و اکسیژن به صورت اتمی در می‌آیند ، و حال آنکه مخلوط دو گاز در 600°C با
 انفجار ترکیب می‌شود .

پاسخ این سؤال این است که باید پذیرفت که همه مولکولهای هیدروژن و
 اکسیژن باید قبل از شروع تشکیل مولکولهای آب ، تجزیه شوند ولی به وجود

آمدن مقدار کمی از آنها نیز برای آغاز واکنش کافی است .
 بنابراین طرح انرژی آزاد نباید نوك تیز مر تفعی داشته باشد زیرا نقطه X
 را فقط در مخلوطی می توان یافت که منحصراً از اتمهای ئیدروژن و اکسیژن
 مرکب باشد . مولکولهای ئیدروژن و اکسیژن در شرایط عادی هرگز به چنین



تصویر ۱۶ . انرژی کلارانداز

مرحله ای از تبدیل شدن به اتم برای تشکیل آب نمی رسند . فقط بخش کمی از
 دستگاه شامل اتمهای آزاد می شود ، پس افزایش حد واسط انرژی آزاد بسیار
 کندتر است . طرح انرژی آزاد (به تصویر ۱۶ مراجعه شود) به جای نوك تیز ،
 نوك منحنی خواهد داشت . بنابراین گلوله غلطان ما نیز به يك قسمت قوزدار
 بر می خورد و باید مختصری هل داده شود تا بتواند از آن بالا رود و بقیه مسیر را
 در سرازیری بغلند . عین همین امر در مورد انرژی يك واکنش شیمیایی نیز
 صادق است .

در سال ۱۸۸۹ نیمی‌دان سوئدی اسوانت اوهوست ارنیوس^۱ به مطالعه ارتباط ریاضی این مسئله پرداخت و نشان داد که نه تنها در انرژی آزاد ترکیب‌ییدروژن و اکسیژن چنین قله‌ای منحنی هست بلکه به‌طور کلی در همه واکنشهای شیمیایی چنین است. انرژی که باید به‌دستگاه داده شود تا انرژی آزاد آن بتواند از قله منحنی بگذرد و واکنش به‌طور خودکار صورت گیرد، اکنون به انرژی کارانداز^۲ موسوم است.

آسانترین راه افزودن معادل انرژی لازم برای آنکه واکنش از قله منحنی عبور کند و آغاز شود، گرماست. اگر مخلوطی از ییدروژن و اکسیژن به اندازه کافی گرم شود منفجر خواهد شد یا اگر کهنه‌های آغشته به ماده روغنی به اندازه کافی گرم شود، شعله‌ور خواهد شد و از آن پس واکنش خودبه‌خود، بدون نیاز به گرمای اضافی ادامه خواهد یافت.

ولی اگر واکنش شیمیایی را بدین وضع در نظر بگیریم، مسئله به‌صورت همه‌ی‌هیچ به‌نظر خواهد رسید، و چنین خواهد بود که تا وقتی مقدار انرژی دستگاه کافی برای عبور از قله منحنی نباشد، هیچ واکنشی به‌وقوع نخواهد پیوست، ولی وقتی که گرما اضافه شود دستگاه به نقطه‌ای خواهد رسید که واکنش دفعتهً آغاز می‌گردد. این‌گونه تفسیر هنگامی منطقی است که ییدروژن و اکسیژن را در دمای معینی کاملاً بدون فعالیت تصور کنیم و در دمایی يك درجه بالاتر از آن که در حال انفجار، یا کاغذ و کهنه آغشته به روغن را در دمای معینی بی‌زیان ولی در يك درجه بالاتر از آن موجد شعله‌ای ناگهانی بدانیم.

اما این نظریه بسیار ساده‌ای است زیرا من در آغاز فصل اشاره کرده‌ام که کاغذ و کهنه آغشته به مواد روغنی باکندی بسیار با اکسیژن هوا، در دمای معمولی

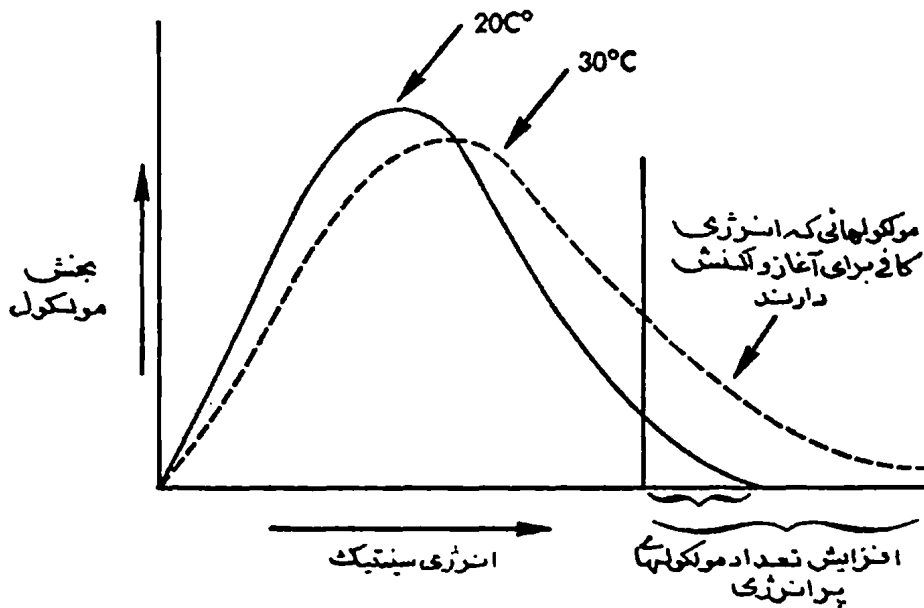
اطاق نیز ترکیب می‌شود. تیدروژن و اکسیژن نیز به همین طریق. در دمای معمولی اطاق، مقدار گرمای دستگاه بسیار کمتر از آن است که به «انرژی کارانداز» احتیاج داشته باشد. بنابراین باید دید که اساساً چرا ترکیب صورت می‌گیرد؟ بار دیگر مخلوط اکسیژن و تیدروژن را، ولی در دمای معمولی اطاق یعنی در حدود 25°C ، در نظر می‌گیریم.

معادلات ماکسول-بولتزمان (که در فصل ششم اشاره کرده‌ام) را می‌توان برای محاسبه سرعت احتمالی و در نتیجه انرژی سینتیک احتمالی مولکولهای گاز در آن دما به کار برد. اگر چنین محاسبه‌ای انجام شود، این نتیجه به دست خواهد آمد که انرژی موجود بسیار کمتر از آن است که برای گسیختن پیوندهای میان اتمهای مولکول اکسیژن یا تیدروژن لازم است. دو مولکول با انرژی که در 25°C دارند فقط پس از برخورد از هم جدا می‌شوند. ممکن است یکی به طفیل دیگری انرژی به دست آورد ولی هر دو دست نخورده باقی خواهند ماند.

ولی، نقطه بحرانی، که از معادلات ماکسول-بولتزمان برمی‌آید، نقطه‌ای است که در آن انرژی مولکول‌ها به احتمال قوی تعیین شده است و جنبه کلی ندارد. در هر دمایی مقادیر انرژی بسیار متنوع هست. در حالی که بیشتر مولکولها انرژی نزدیک حد متوسط دارند، عده معدودی از مولکولها نیز خیلی بیشتر از حد متوسط دارای انرژی هستند. حتی معدودی از مولکولها در نتیجه تصادمهای مساعدی که کرده‌اند ممکن است انرژی فراوان به دست آورده باشند و بر اثر حرکت سریع و برخورد با مولکولهای دیگر خود یا مولکولی را که بدان برخورد می‌کنند تجزیه نمایند. این گونه مولکولها انرژی دارند که برابر یا حتی بیشتر از انرژی کارانداز است. اتمهای آزادی که از این تصادمهای کم‌انرژی حاصل می‌گردند می‌توانند (بین خود یا با مولکولهای دست نخورده) واکنش

کنند و آب به وجود آورند.

پس در دمای معمولی اطاق نیز بعضی از مولکولهای ئیدروژن و اکسیژن به آن اندازه انرژی دارند که برای عبور از قله منحنی کافی باشد و با هم ترکیب شوند و آب به وجود آورند. اما تعداد در صد این مولکولها بقدری کم است که سرعت تشکیل آب به صورت غیر قابل تشخیصی کند باقی می ماند.



تصویر ۱۷. افزایش دما و سرعت واکنش

هر چه دمای مطلق بالا رود انرژی متوسط مولکولها نیز به همان تناسب بالا خواهد رفت. مثلاً افزایش دما از 20°C به 30°C ، چنانکه در آغاز فصل اشاره کرده ام، ممکن است فقط افزایشی در حدود چند در صد سرعت احتمالی را باعث شود ولی تعداد ملکولهایی که انرژی زیاد دارند، دو برابر یا سه برابر خواهد شد. (به تصویر ۱۷ مراجعه شود).

(درست مانند آن است که تابستان گرمی فقط 1°C به طور متوسط گرمتر از تابستان معتدل باشد و حال آنکه تعداد روزهایی از آن که دما 32°C بوده است دو تا سه

برابر تابستان معتدل بوده باشد.)

از آنجا که سرعت واکنش به انرژی متوسط مولکولها بستگی ندارد بلکه به تعداد مولکولهای سی و بسته است که انرژی آنها به «انرژی کارانداز» برسد، سرعت واکنش به ازای هر ده درجه (C) دو برابر یا بیشتر می شود.

در مورد ترکیب ئیدروژن با اکسیژن، سرعت واکنش به قدری در دمای معمولی اطاق کم است که حتی دو برابر یا چند برابر شدن سرعت، در نتیجه افزایش دما قابل تشخیص نیست. بسیاری از واکنشها به «انرژی کارانداز» کمتر از آنچه برای واکنش «ئیدروژن - اکسیژن» لازم است، نیاز دارند. در مورد واکنشهای اخیر، مقدار نسبتاً قابلی از مولکولها در دمای معمولی اطاق از منحنی نسبتاً پست قله عبور می کنند و سرعت واکنش به آسانی قابل اندازه گیری می شود. واکنشهایی از این قبیل بودند که اطلاعات لازم برای اندازه گیری افزایش سرعت را با دما، در اختیار شیمی دانهای دهه سال ۱۸۸۰ قرار دادند. اگرچه دو برابر شدن سرعت واکنشها در نتیجه افزایش کم دما بدین طریق توجیه می شود ولی مسئله انفجار همچنان حل نشده باقی ماند. بدین معنی که باید فهمید، حد فاصل میان «کمتر از آنچه قابل اندازه گیری است» و «سریعتر از آنچه قابل اندازه گیری است» چگونه طی می شود؟

اگر تنها منبع گرما، گرمایی را بدانیم که از خارج به دستگاه می رسد، مسئله صورت معما به خود خواهد گرفت و حال آنکه چنین نیست. تشکیل مولکولهای آب در نتیجه فعالیت اتمهای آزاد گرمازا است و گرما تولید می کند منتها گرمایی که حاصل می شود بسیار کم است و افزایش دمای نتیجه آن نیز کم می شود. مخلوط گاز این گرمای اضافی را به خارج نشعشع می کند و خود به دمای ثابت باقی می ماند.

هر چه دما، در نتیجه ورود گرما از خارج، بالاتر رود تعداد ترکیبها افزایش می‌یابد و مقدار کل گرمای حاصل به وسیله این ترکیبها نیز زیاد می‌شود. در لحظه معینی مقدار گرمای حاصل در ثانیه اندکی بیش از مقدار گرمایی می‌شود که مخلوط گاز می‌تواند به خارج تشعشع کند، پس دما رو به افزایش می‌گذارد. ولی با افزایش دما، مقدار گرمای حاصل از طریق ترکیبات داخلی نیز در ثانیه زیاد می‌شود و اضافه مقداری که می‌تواند تشعشع یابد نیز بالاتر می‌رود، پس دما با سرعت بسیار رو به افزایش می‌گذارد. این دور و تسلسل سبب می‌شود که عدم توازن حاصل موجب امری گردد که عدم توازن را بیشتر سازد. عدم توازن حاصل به نوبه خود عواملی به بار می‌آورد که موجب تشدید عدم توازن می‌گردد و بر این قیاس در دمای معینی مخلوط نیدروژن و اکسیژن ظاهراً کاملاً آرام به نظر می‌رسند. سپس موقعی می‌رسد که تشعشع دیگر نمی‌تواند برابری کند و عدم توازن آغاز می‌شود و نتیجه حاصل به قدری سریع است که حتی زمان کافی برای بیرون کردن منبع خارجی گرما موجود نخواهد بود.

نظیر همین اصل، ولی به درجه ملایمتری، در مورد سوختن کاغذ به کار می‌رود. فرض کنید که کبریت افروخته‌ای را به گوشه‌ای از یک ورق کاغذ نزدیک کنید. «انرژی کار انداز» در آن گوشه کاغذ فراهم می‌شود و مولکولهای کاغذ به سرعت با اکسیژن ترکیب می‌گردند. در حین ترکیب این مولکولها با اکسیژن گرما تولید می‌شود. این گرما، انرژی لازم برای به کار انداختن مولکولهای مجاور را فراهم می‌سازد. نتیجه‌ای که حاصل می‌شود تولید گرماست و بر این قیاس. کبریت را می‌توان دور انداخت زیرا دیگر مورد احتیاج نیست و کاغذ به خودی خود می‌سوزد و مقدار زیادی از کاغذ بدین طریق می‌تواند طعمه آتش گردد. و چنانکه می‌دانید یک کبریت نیم سوز انرژی اولیه کافی برای به آتش

کشیدن چندین کیلومتر مربع جنگل کفایت می کند .



انرژی کار انداز يك واکنش مخصوص، ممکن است افزایش صورت دیگری از انرژی، غیر از گرما، باشد. مثلاً مخلوطی از حجم برابر ئیدروژن و کلر، اگر حرارت داده شود، سریعتر از مخلوط ئیدروژن و اکسیژن منفجر خواهد شد ولی اگر در تاریکی حفظ شود، در حرارت معمولی اطاق بدون تغییر خواهد ماند. اما هنگامی که در معرض نور قرار گیرد، به خصوص اگر تحت تأثیر مستقیم نور خورشید یا شعله منیزیم باشد، در حرارت معمولی اطاق نیز منفجر خواهد شد. اثر نور بر مخلوط ئیدروژن و کلر نخستین بار در سال ۱۸۰۱ به وسیله شیمی دان انگلیسی ویلیام کرویک شانک^۱ خاطر نشان شد ولی در طول قرن نوزدهم کمتر درباره آن تحقیق به عمل آمد. اما برای درک تأثیر نور در واکنش شیمیایی، شناختن ماهیت حقیقی نور لازم بود. مسئله ماهیت نور پیش از قرن نوزدهم مورد تحقیق قرار گرفته بود. پس باید به عقب بازگردیم و در باره نور تفحصی بکنیم. نخستین تحقیق جدیدی که در باره نور به عمل آمده در دهه سال ۱۶۶۰ به وسیله آیزاک نیوتون بوده است. وی نشان داد که نور خورشید را به وسیله منشوری مثلثی می توان به يك دسته نورهای مختلف (طیف)^۲ تجزیه کرد. نیوتون معتقد بود که نور مرکب از ذرات بینهایت کوچکی است که در همه جهات از منبع نورانی خارج شده و با سرعت بینهایت زیاد حرکت می کند. (سرعت واقعی نور نخستین بار در سال ۱۶۷۱ به وسیله منجمی هلندی به نام اولوس رومر^۳ با دقت تمام اندازه گیری و ۳۰۰٫۰۰۰ کیلومتر در ثانیه تعیین شد - محققاً سرعتی بی نهایت زیاد است.)

منجم هلندی دیگری به نام کریستیان هویگنس^۱ که در زمان نیوتون می‌زیسته نظریه‌ای مبنی بر حرکت موجی ماهیت نور ابراز داشته‌است . طی دههٔ سال ۱۷۰۰ «تئوری ذره‌ای» نیوتون بیشتر مورد قبول بود ولی بر اثر سلسله تحقیقاتی که در نیمهٔ اول قرن نوزدهم به عمل آمده این نتیجه حاصل شده که نور صورت موج دارد و «تئوری موجی» نور جای خود را به خوبی باز کرد .

موج نور بسیار کوتاه است و طول آن از رنگی به رنگ دیگر متفاوت است . طول موج نور را از راه‌های گوناگون می‌توان به دقت اندازه گرفت . آنچه از همهٔ آنها به دست آمده نشان می‌دهد که طول موج نور در حدود ۰۰۰۰۰۰۰۷ متر است .

بدیهی است که متر واحد بسیار بزرگی برای اندازه‌گیری طول موج نور است . واحدهای کوچک سیستم متری یکی میکرون^۲ است که برابر ۰۰۰۰۰۰۱ متر است و دیگری میلی میکرون^۳ است که ۰۰۰۰۰۰۰۰۱ یک متر است . منجم سوئدی به نام اندرس یوناس آنگستروم^۴ که در اواسط قرن نوزدهم مطالعاتی دربارهٔ نور انجام داده واحدی ابداع کرده که معادل یک دهم میلی میکرون است . این واحد را برای بزرگداشت نام وی آنگستروم نامیدند و با «Å» نمایش می‌دهند بنابراین طول موج نور قرمز را می‌توان در حدود ۷۰۰۰ Å نشان داد (تصویر ۱۸) . طول موج نور به صورتی مداوم با تغییر رنگهای سازندهٔ آن ولی به طرز نامحسوس تغییر می‌کند . در رنگ نارنجی طول موج ۶۰۰۰ Å است . زرد در حدود ۵۷۰۰ Å و سبز ۵۳۰۰ Å و آبی ۴۸۰۰ Å و بنفش ۴۲۰۰ Å است . بدیهی است این

اعداد حد متوسط را نشان می دهند. هر رنگی به طور نامحسوس در دور رنگ مجاورش محو می شود. نور قرمز در 7600 \AA به تاریکی محدود می شود و نور بنفش در 4000 \AA . مسئله بسامد نور، یعنی تعداد امواجی که در هر ثانیه به چشم می خورد، مانند خود طول موج واجد اهمیت بسیار است. نور در هر ثانیه:

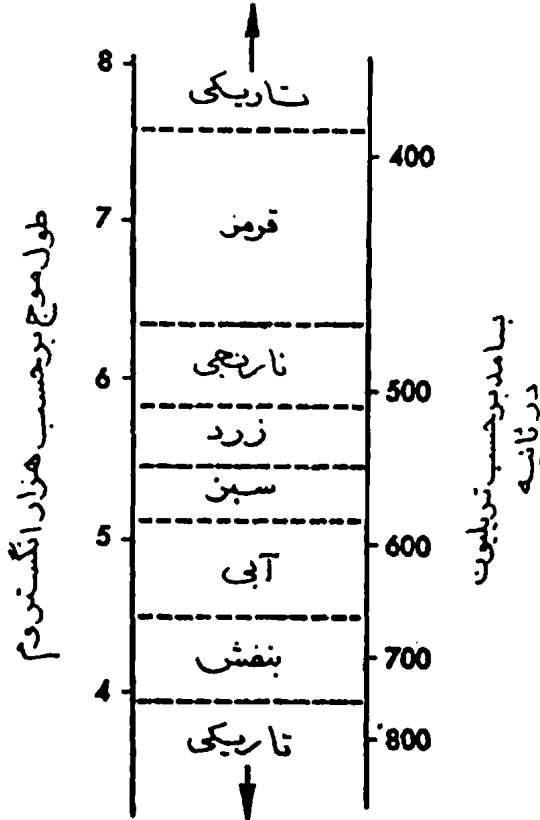
$3,000,000,000,000,000,000$ آنکستروم طی می کند. پس تعداد دفعاتی که درازترین موج نور قرمز با این سرعت مطابقت می کند عبارت است از $\frac{3,000,000,000,000,000,000}{7600}$ یا $400,000,000,000,000,000$. به عبارت دیگر در هر

ثانیه چهارصد تریلیون موج از نور قرمز به چشم شما می رسد. این را بسامد می گویند. طبیعی است که هر چه طول موج کوتاهتر باشد تعداد موجهای آن در یک ثانیه بیشتر خواهد بود. پس هر چه طول موج کوتاهتر بسامد آن بیشتر است. بسامد نور بنفش که کوتاهترین طول موج را دارد در حدود $730,000,000,000,000,000$ یا تقریباً دو برابر بسامد نور قرمز خواهد بود.

در حدود سال ۱۸۶۰ ماکسول به مطالعه ماهیت نیروهای الکتریکی و مغناطیسی، که عموماً در فضای مجاور مغناطیس و بار الکتریکی وجود دارند پرداخته است. وی الکتریسته و مغناطیس را مربوط به هم یافته و «میدان الکتروماتیک» واحدی تشخیص داده است. از این گذشته نشان داده که هر بار الکتریکی نوساندار، انرژی (تشعشع الکتروماتیک) به صورت موج و با بسامدی درست برابر سرعت نوسان از خود بیرون می دهد. این انرژی با سرعت نور در فضا سیر می کند.

به نظر ماکسول شباهت میان سرعت فرضی تشعشع الکتروماتیک و سرعت شناخته شده در نور، يك امر تصادفی نیست. وی چنین اظهار نظر کرده که نور صورتی از تشعشع الکتروماتیک است.

مسلماً این سؤال پیش می‌آمد که کدام بار است که با بسامد صد‌ها تریلیون نوسان می‌کند و نور به وجود می‌آورد. ماکسول جوابی برای این پرسش نداشت. فقط در دهه سال ۱۸۹۰ که ساختمان اتم کشف گردید پاسخی برای پرسش فوق



نصویر ۱۸. طیف مرئی

پیدا شد. پس از آن دو فیزیک دان هلندی به نام‌های هندریک انتون لورنتس^۱ و پیتر زیمان^۲ توانستند نشان دهند که عوامل نوسان کننده، همان الکترونهاي دارای بار الکتریکی بخش خارجی آنها هستند.

نیز به نظر ماکسول، بارهای الکتریکی می‌توانستند با هر بسامدی نوسان کنند، پس بایستی برای هر بسامدی تشعشعات الکتروماتیکی وجود داشته باشد،

به خصوص تشعشعات دارای بسامدهای پایین تر و طول موجهای درازتر از نور قرمز و تشعشعات دارای بسامدهای بالاتر و طول موجهای کوتاهتر از نور بنفش .

از آن پس تشعشعات آن سوی قرمز (مادون قرمز) و بنفش (مافوق بنفش) کشف شدند و چون چشم نسبت به این تشعشعات حساس نیست ، پس مرئی نیستند ولی از نظر فیزیکی واقعیت دارند . در حدود سال ۱۸۰۰ منجم انگلیسی ، زاده آلمان به نام ویلیام هرشل ، دماسنجی را در آن سوی رنگ قرمز طیف که چشم چیزی نمی بیند ، قرار داده و دیده است که دمای دماسنج ، بیش از وقتی بالا رفته که در نور مرئی قرار داشته است . بنابراین در مادون قرمز بایستی انرژی تشعشعی وجود داشته باشد .

در همان ایام بود که فیزیکدان آلمانی یوهان ویلهلم ریتر^۲ چنین کشف کرده که ، ناحیه غیر مرئی طیف در آن سوی بنفش ، مانند رنگهای آبی و بنفش ، ولی سریعتر از آنها نیترات نقره را به نقره فلزی تجزیه می کند ، و موجب سیاه شدن این ملح می شود ، پس در این ناحیه نیز انرژی تشعشعی وجود دارد .

ولی مادون قرمز و مافوق بنفش در نزدیکی بخش مرئی طیف نور قرار داشته اند و حال آنکه بنا به تئوری ماکسول ، در مناطق دورتر از آن بایستی انرژی تشعشعی وجود داشته باشد . تا وقتی که ماکسول زنده بود هنوز قرائنی دال بر وجود این تشعشعات انتهایی طیف به دست نیامده بود .

ماکسول در سال ۱۸۷۸ در ۴۸ سالگی از این جهان رفت و عمرش کفاف نکرد که تثبیت شدن تئوری خود را ببیند . در سال ۱۸۸۶ فیزیکدان آلمانی هاینریش رودلف هرتس^۳ مداری ترتیب داد که در آن جریان الکتریسته با بسامدهای بسیار

۱- William Herschel

۲- Johann Wilhelm Ritter

۳- Heinrich Rudolph Hertz

کم نوسان می‌کرد. بنا به تئوری ماکسول این مدار بایستی در بسامدهای کم و طول موجهای بسیار دراز هم تشعشع کند. هرتس موفق به تشخیص این تشعشعات شد و نام کنونی آنها امواج رادیویی است.

بسامدهای امواج رادیویی در حدود ۱۰۰۰۰،۰۰۰ یا کمتر است. امواج کوتاه رادیویی یا « میکروویو » بسامدهایی در حدود ۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ (ده میلیارد) دارند. امواج رادیویی به تدریج به میکروویوها می‌رسند و میکروویوها تدریجاً به مادون قرمز می‌رسند و مادون قرمز هم تدریجاً به نور مرئی می‌رسد، به طوری که میان آنها فاصله‌ای نیست بلکه همه جور بسامد (و طول موجی) وجود دارد. آن سوی طیف چه؟ در سال ۱۸۹۵ فیزیک دان آلمانی ویلهلم کونراد رونتگن^۲

نوعی تشعشع جدید تشخیص داد که از برخورد الکترونهاى سریع بر ماده آزاد می‌شد. وی این نوع تشعشع را اشعه X نامید و بسامدهای آنها را بیش از بسامدهای مافوق بنفش یافت. بسامدها در حدود میلیونها و میلیاردها هستند. سرانجام معلوم شد که اشعه X به وسیله نوسانهای الکترونهاى داخل ترازم، که به اصطلاح روى مدارهای کوتاهتر به دور هسته حرکت می‌کنند، حاصل می‌شوند و در نتیجه سریعتر در مدار خود حرکت می‌کنند. يك سال بعد کشف شد که اورانیوم تشعشعات مجهولی خارج می‌کند که تا آن وقت شناخته نشده بود. این تشعشعات نیز از تشعشعات الکترو-مانیٹیکی مخصوصی بودند که اشعه گاما نامیده شدند. بسامد این تشعشعات از بسامد اشعه X نیز بیشتر و در حدود میلیاردها و تریلیونها بود. این تشعشعات نتیجه نوسانهای ذرات باردار درون خود هسته اتم بود.

اشعه گاما نیز تدریجاً به اشعه X می‌رسد و اشعه X به نوبه خود به اشعه مافوق بنفش و اشعه اخیر نیز به نور مرئی. تمام « طیف الکترومانیٹیک » (تصویر ۱۹)

بر روی هم ۱۶۰ اوکتاو را شامل است (يك اوکتاو ردیفی از بسامد است که پس از آن بسامد مضاعف می شود). از میان ۶۰ اوکتاو فقط يك اوکتاو نور مرئی را تشکیل می دهد. سال ۱۹۰۰ سال تثبیت تئوری ماکسول بود.

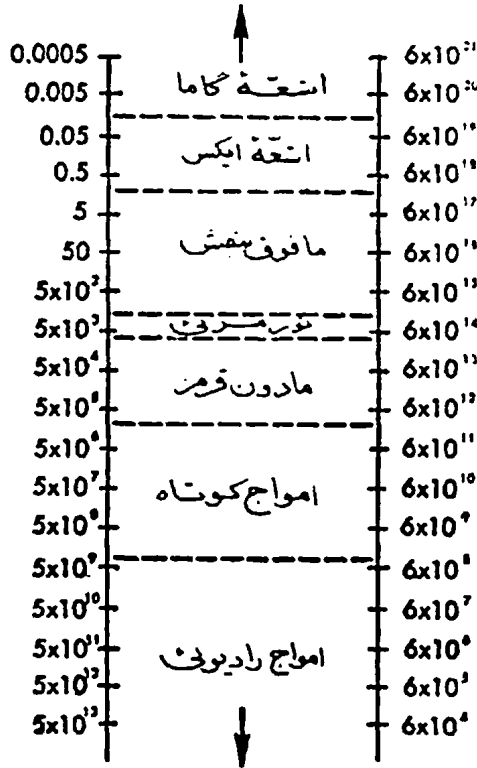


نور صورتی از انرژی است ولی، چنانکه از آغاز قرن نوزدهم معلوم شده، رنگهای مختلف نور انرژی برابر ندارند. در تجزیه نمک نقره و تولید نقره فلزی (پدیده‌ای که مبنای عکاسی است) فقط نورهای پربسامد^۱ یعنی بخش آبی طیف مؤثر است و نورهای کم بسامد^۲ یعنی بخش قرمز اثری ندارد.

این تفاوت تأثیر دو بخش طیف، و سلسله قرائن دیگری که به دست آمده اند نشان داده اند که مقدار انرژی نور پربسامد بیش از مقدار انرژی نور کم بسامد است. به وجود نور مافوق بنفش از آنجا پی برده اند که ملخ نقره را مؤثرتر از نور مرئی تجزیه می کرده است. نور مافوق بنفش پوست را نیز می سوزاند و قرمز می کند. اشعه X به طور عمقی در مواد نفوذ می کند و نفوذ اشعه گاما از اشعه X هم بیشتر است و هر دوی آنها در بافت موجب وقوع واکنشهایی می گردند که به مقدار زیادی انرژی نیازمند است (و از این نظر زیان آورند).

بیشتر بودن انرژی تشعشعات پربسامد، از گرم کردن اشیائیز هویدامی شود. وقتی که دمای اشیا در نتیجه گرم شدن بالا می رود، مقداری از انرژی به صورت تشعشع آزاد می گردد. هر چه دما بالاتر برود، بسامد تشعشع حاصل، بیشتر می شود. قطعه‌ای از فلز هنگامی که گرم می شود، تشعشع انرژی را آغاز می کند (به طوری که اگر دست خود را بدان نزدیک کنیم احساس گرما خواهیم کرد) حتی اگر در تاریکی قرار داشته باشد و دیده نشود. تشعشعاتی که فلز می کند در مادون قرمز

است . هنگامی که دما بالا می‌رود مقدار زیادی از تشعشع در ناحیه مرئی طیف صورت می‌گیرد و فلز را سرخ می‌کند. برای آنکه فلز «کاملاً» فروخته و قرمز شود دمایی در حدود 650°C لازم است .



تصویر ۱۹. طیف الکترومغناطیس

در دماهای بالاتر بسامد تشعشع افزایش می‌یابد به طوری که فلز قرمز درخشنده می‌شود و در 2000°C به «گرمای زرد رنگ» می‌رسد . آفتاب که دمای سطحش در حدود 5700°C است «گرمای سفید» دارد و مقدار قابل توجهی اشعه مافوق بنفش تولید می‌کند . از هر صد ستاره ، تعداد محدودی دمای بالاتر از این درجه دارند و بیشتر در بخش آبی طیف و در مافوق بنفش تشعشع می‌کنند . هاله اطراف خورشید (که در کسوف کامل به خوبی دیده می‌شود) به دمای یک میلیون درجه با

بیشتر است و اشعه X تشعشع می‌کند.

در اواخر قرن نوزدهم جزئیات چگونگی تشعشع در دماهای مختلف مورد توجه کامل قرار گرفت. سرانجام مسئله تشعشع را به صورت ساده‌ی زیر پذیرفتند: هر جسمی که همه‌ی تشعشعات وارد به خود را، با هر بسامدی که باشند، کاملاً جذب کند، چون تشعشعی نمی‌کند، پس «جسمی سیاه» به نظر خواهد رسید. چنانچه چنین جسم سیاهی گرم شود همه‌ی بسامدها را با سهولت تشعشع خواهد کرد. (جسمی که سیاه نیست و فقط بعضی از بسامدها را جذب می‌کند، پس از گرم شدن فقط همان بسامدها را تشعشع خواهد کرد.)

اگر جسم سیاه می‌تواند همه‌ی بسامدها را با سهولت برابر تشعشع کند، پس موضوع زیر که با آن مخالف به نظر می‌رسد چگونه تفسیر می‌شود؟ تعداد تشعشعات پر بسامد بیش از تعداد تشعشعات کم بسامد است (مانند آنکه اعداد بالاتر از تریلیون خیلی بیشتر از اعداد پایین آنند). به همین دلیل اگر نور همه‌ی بسامدهای ممکن را به طور مساوی «انتخاب می‌کند» پس باید تعداد بسامدهای زیاد بیشتر از تعداد بسامدهای کم تشعشع شود. ولی هنگامی که جسم سیاهی را گرم کردند چنین چیزی پیش نیامد. حتی در دماهای بسیار زیاد بیشتر تشعشعات، متعلق به بخش مرئی طیف، یعنی بسامدهای پایین بود. برای تولید تشعشعات پر بسامد، دماهای بسیار زیاد لازم است.

مسئله تا سال ۱۹۰۰ که فیزیکدان آلمانی ماکس کارل پلانک^۱ نظر نوی اظهار داشته، بدون تفسیر باقی مانده بود. آیا تشعشعات مانند خود ماده منفصل نیستند؟ حال که ماده به صورت ذرات کوچک به نام اتم وجود دارد، چرا تشعشعات از ذرات کوچک مرکب نباشند؟ برای تفسیر این مسئله که تشعشعات پر بسامد از تشعشعات

کم بسامد بیشتر انرژی دارند ، تنها راه موجود این بود که فرض کنند تشعشعات پربسامد به مقدار زیاد به وجود می آیند .

پلانک ذرات انرژی را کوانتوم^۱ نامید و چنین عنوان کرد که انرژی موجود در هر کوانتوم متناسب با بسامد تشعشع است . اگر انرژی را با e و بسامد نوع مخصوصی از تشعشع را با حرف یونانی ν (نو Nu) نمایش دهیم ، گفته پلانک در این فرمول خلاصه می شود :

$$e = h\nu$$

که در آن h یعنی مقدار ثابت تناسب است و امروزه در همه جا آن را بدنام «مقدار ثابت پلانک» می شناسند .

با در نظر گرفتن فرمول فوق ، اگر جسمی گرم شود ، حتی اگر سیاه باشد ، دیگر تشعشعات دارای همه نوع بسامد را با سهولت برابر تولید نمی کند . از آنجا که اشعه گاما یک میلیارد برابر اشعه مادون قرمز بسامد دارد ، پس برای به وجود آمدن یک کوانتوم اشعه گاما یک میلیارد برابر بیشتر از به وجود آمدن یک کوانتوم اشعه مادون قرمز انرژی لازم می شود . در دمای کم ، که انرژی کمی در دسترس هست ، فقط کوانتومهای مادون قرمز به سهولت به وجود می آیند . با افزایش دما و زیاد شدن مقدار انرژی که در دسترس قرار می گیرد ، کوانتومهای بزرگ مربوط به بسامدهای زیاد نور به وجود خواهند آمد . در واقع با استفاده از «تئوری کوانتوم» وضع تشعشع جسم سیاه به خوبی تفسیر می شود . این مسئله قبلاً قابل تفسیر نبود .

تئوری کوانتوم چنان انقلابی بوده که تا مدتی فقط مورد استفاده معدودی از فیزیک دانان قرار گرفته است . در سال ۱۹۰۵ آلبرت انشتاین^۲ فیزیکدان زاده

آلمان ، تئوری کوانتوم را برای تفسیر روشی که طی آن ، نور موجب انتشار الکترون از بعضی فلزات می‌شد ، به کار برده است .

در اواخر قرن نوزدهم متوجه شده بودند که بعضی از فلزات پس از آنکه در معرض نور قرار می‌گیرند الکترون منتشر می‌سازند . انرژی الکترونیهای منتشر شده به شدت نور بستگی نداشته بلکه به بسامد آن وابسته بوده است . مثلاً نور قرمز ، با هر شدتی که اثر داده می‌شد موجب انتشار الکترون نمی‌گردید . نور زرد موجب انتشار الکترونیهای کم انرژی می‌گشت . نور آبی الکترونیهای انرژی‌دار منتشر می‌ساخت . نور آبی بسیار ضعیف ، تعداد کمی الکترون منتشر می‌ساخت ولی الکترونیهای پر انرژی در میان نبودند .

بدنظر انشتاین ، این مسئله هنگامی قابل تفسیر است که قبول کنیم ، انرژی فقط به صورت کوانتومهای کامل جذب می‌شود . کوانتوم کوچک نور قرمز انرژی کافی برای انتشار يك الکترون ندارد و هنگامی که شدتش زیاد می‌شود نیز بی‌اثر خواهد ماند زیرا يك اتم تا کوانتوم دیگری نگیرد کوانتومی را آزاد نخواهد ساخت . ولی کوانتومهای نور زرد که بزرگترند به محض جذب شدن ، الکترونی کم انرژی را بیرون خواهند کرد و کوانتومهای بزرگتر نور آبی ، الکترونی را با مقدار بیشتری انرژی آزاد خواهند ساخت .

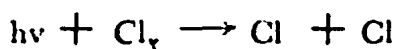
بدین صورت بود که تئوری کوانتوم پلانک تثبیت شد و مورد قبول همه دانشمندان قرار گرفت .



اکنون می‌توانیم به مخلوط ئیدروژن و کلر باز گردیم و ببینیم که در پرتو تئوری نو ، نور چه تأثیری بر آنها می‌کند . هنگامی که مخلوطی از گاز روی صفحه‌ای داغ یا به وسیله شعله‌گازی گرم شود ، گرمای تشعشی که وارد مخلوط می‌گردد:

بیشتر در بخش مادون قرمز است و اگر با شعله گرم شده باشد اندکی از بخش کم-بسامد نور مرئی نیز همراه آن خواهد بود. پس کوانتومهای وارد جریان کوچکنند. تا وقتی که مولکولهای گاز کوانتومهای کافی برای به دست آوردن انرژی سینتیک زیاد، جذب نکرده باشند، تصادمهای میان مولکولها برای گسیختن آنها از هم مؤثر نخواهد بود.

کوانتومهای نسبتاً پرسامد تشعشعات بنفش و مافوق بنفش نور خورشید یا شعله منیزیم بزرگترند. مولکولی از کلر (که از یک جفت اتم تشکیل یافته است و پیوند میان آن دو اتم از پیوند دو اتم مولکول ئیدروژن یا اکسیژن شل تر است) وقتی که چنین کوانتومی را جذب می کند، فوراً انرژی لازم برای گسیختن را به دست می آورد، اگر $h\nu$ را معرف کوانتوم بدانیم می توانیم معادله را چنین بنویسیم:



هر اتم کلری که بدین صورت به وجود آید، می تواند روی مولکول ئیدروژن اثر کند و اسید کلریدریک به وجود آورد.

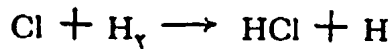
اگر جریان امر بدین صورت است که بیان کردید، پس هر کوانتومی مسئول به وجود آمدن دو مولکول اسید کلریدریک خواهد شد و تعداد کل کوانتومهای لازم برای تبدیل همه مخلوط به اسید کلریدریک برابر تعداد مولکولهای کلر موجود خواهد بود.

اما واقع امر این است که تعداد کوانتومهای لازم بسیار کمتر است. اندازه گیریهای دقیق مقدار تشعشع موجود و مقدار اسید کلریدریک حاصل نشان داده اند که یک کوانتوم می تواند به وجود آمدن تعداد ۱۰,۰۰۰ تا ۱,۰۰۰,۰۰۰ مولکول اسید کلریدریک را موجب گردد.

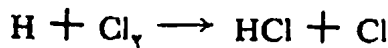
از آنجا که کوانتوم به تنهایی انرژی لازم برای انجام دادن کار بزرگی را که

صورت می گیرد ندارد، پس چیز دیگری باید وارد جریان باشد.

تفسیری که به عمل آمد نخستین بار به وسیله دانشمند آلمانی والتر هرمان نرنست^۱ در سال ۱۹۱۸ بود. وی معتقد بود که گسیختن مولکول کلر به وسیله یک کوانتوم پر انرژی فقط قدم اول فرایند است. اتم کلر حاصل پس از ترکیب شدن با مولکول نیدروژن نه تنها یک مولکول اسیدکلریدریک به وجود می آورد بلکه یک اتم نیدروژن آزاد نیز تولید می کند. بدین صورت:



اتم نیدروژن حاصل به نوبه خود با یک مولکول کلر ترکیب می شود و یک اتم کلر آزاد به وجود می آورد:



اتم کلر با مولکول نیدروژن دیگر ترکیب می شود و اتم نیدروژن آزاد می کند که روی مولکول کلر دیگر اثر خواهد کرد و این دور و تسلسل، با تولید یک مولکول اسیدکلریدریک در هر بار همچنان ادامه خواهد یافت. پس کار انرژی کوانتوم فقط آغاز کردن یک سلسله از واکنشهاست که به واکنش زنجیری^۲ معروف است.

جای این سؤال بازمی شود که چرا واکنش زنجیری تا تبدیل همه مولکولهای نیدروژن و کلر به اسیدکلریدریک ادامه نمی یابد؟ ولی واکنش زنجیری جاویدان نیست زیرا دیر یا زود واکنشی با ناخالصی موجود در مخلوط، مثلاً بایک مولکول آب یا یک مولکول اکسیژن صورت خواهد گرفت. بدیهی است از این واکنشها اتم آزادی حاصل نمی شود که بتواند دور و تسلسل را ادامه دهد. حتی اگر به طور کلی هیچگونه ناخالصی در مخلوط نباشد (تهیه مخلوط

خالص به صورتی که واکنشی زنجیری را جاویدان سازد، به آن آسانی که تصور می‌رود نیست) امکان دارد که یک اتم آزاد با یک مولکول دیواره ظرف ترکیب شود. نیز ممکن است که دو اتم به یکدیگر برخورد کنند و مولکولی بسازند و مانع ادامه یافتن دو واکنش زنجیری شوند. حتی در شرایط ایده‌آلی یک واکنش زنجیری نمی‌تواند برای همیشه ادامه یابد.

طبیعی است مخلوطی از گاز ه شانس به پایان رساندن یک واکنش زنجیری آغاز شده را دارد تا آنجا که دیده‌شدنی است به وسیله تشعشع نور مختل نمی‌شود. مثلاً مخلوطی از نیدروژن و اکسیژن تحت تأثیر تشعشعات نور قرار نمی‌گیرد. حتی اگر کوانتومی با تشعشع زیاد اثر داده شود تا مولکول اکسیژن با جذب آن به اتمها تبدیل شود، اتم اکسیژن آزاد فقط با مولکول نیدروژن ترکیب می‌شود، پیش از آنکه زنجیر آغاز شود، آن را به پایان می‌رساند. $O + H_2 \rightarrow H_2O$

من تاحدی به تفصیل درباره ماهیت نور و اثرات آن روی واکنشهای شیمیایی صحبت کرده‌ام زیرا در پایان کتاب از جنبه بسیار مهمی به مسئله نور باز خواهیم گشت ولی راهی را که با زحمت زیاد دنبال کرده‌ایم باید ترک کنیم زیرا از کار اصلی که در پیش داریم منحرف خواهیم شد و به مسائل جالب دیگر روی خواهیم آورد.

فصل دوازدهم

تحريك بدون انرژی

اندکی توقف کنیم و به موقعیتی که کسب کرده ایم بیندیشم . ما در پی وجه تشخیص میان جاندار و بیجان بودیم که به مطالعه ترمودینامیک ماشینهای بخار راهنمایی شدیم ، و به این نتیجه رسیدیم که موجودات زنده چون ماشینهای بخار نیستند، ولی این امکان وجود داشت که انرژی خود را از طریق همانند احتراق به دست آورند . این فکر ما را به مطالعه انرژی شیمیایی و رابطه آن با قوانین ترمودینامیک کشانید . مسئله اخیر به نوبه خود ما را تا بدانجا برد که تحقیق کنیم واکنشهایی که متضمن احتراقند و ظاهر آدر ماده زنده نیز صورت می پذیرند ، گرچه بر طبق قوانین ترمودینامیک خود به خودی هستند، پس چرا خود به خود آغاز نمی شوند. مسئله اخیر ما را به موضوع فصل پیش هدایت کرد و بدانجا رسیدیم که برای آغاز یک واکنش خود به خود «انرژی کارانداز» لازم است .

اکنون باید دید که این موضوع چگونه در مطالعه ماهیت حیات ، مورد استفاده قرار می گیرد . فرض کنید که واکنشهایی مشابه احتراق در بدن آدمی صورت می گیرند . این واکنشها چنانکه معلوم است انرژی کاراندازی لازم دارند،

که بدن باید آن را فراهم سازد تا به طور خود به خود صورت گیرند و انرژی لازم بدن را به نوبه خود فراهم سازند. موضوع دیگری در فصل پیش نبود که به نظر قابل تعمیم در بافت زنده آید.

چنانکه شرح داده ام دو راه برای فراهم ساختن انرژی کارانداز وجود دارد: یکی از گرما دیگری از نور و بدن از هیچیک نمی تواند استفاده کند. زیرا دمای بافت زنده هرگز از 37°C یا در این حدود تجاوز نمی کند و این مقدار دما برای تأمین انرژی کارانداز مورد نیاز واکنشهای احتراق کافی نیست، نیز موجود زنده اگر چه در پاره ای موارد منبع تولید نور است (مانند کرم شب تاب) هرگز منبع تشعشعی از نوع پراثری، که بتواند نیازمندیهای انرژی کارانداز را رفع کند، نیست. پس ماده زنده چگونه انرژی کارانداز را فراهم می سازد؟

آیا ممکن است که بافت زنده، از تبعیت از قوانین ترمودینامیک سرپیچی کند؟ آیا همین خود وجه تشخیص جاندار از بیجان، که مدت ها است به دنبال پیدا کردن آن هستیم، نیست؟

پیش از آنکه به حل این مشکل بپردازیم، ببینیم که در جهان بیجان پدیده ای هست که بدون نیاز به انرژی کارانداز بتواند یک واکنش خود به خود را سبب شود. اگر چنین است پس آنچه در ماده زنده می گذرد نوعی از همین پدیده ها خواهد بود.



نخستین موردی که از پدیده فوق کشف گردیده مربوط به تهیه اسید سولفوریک بوده است. اسید سولفوریک با چند اسید قوی دیگر در قرون وسطی کشف شده و یکی از محصولات شیمیایی بسیار مهم به حساب آمده، ولی در عین حال مورد توجه چندان قرار نگرفته است. (زیرا کیمیاگران که همواره به دنبال تولید طلا

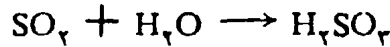
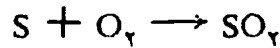
می گشتند برای آنچه که غیر از طلا از کوشش خود به دست می آوردند، توجه زیادی مبدول نمی داشتند .

اسید سولفوریک بسیار قوی تر از قوی ترین اسیدی بود (اسید استیک سر که) که در قدیم می شناختند . اسید سولفوریک موجب واکنشهای متنوعی می شد که با سایر اسیدها یا به کندی صورت پذیر بودند یا اساساً انجام نمی گرفتند. اسیدهای قوی عموماً و اسید سولفوریک بالاخص سلاحی قوی بود که در تحقیقات شیمیایی صرف، یا در فرآیندهای صنعتی به کار می رفت . در حال حاضر جز آب و هوا و شاید نمک که در همه جا به وفور هست ، اسید سولفوریک بیش از مواد دیگر در صنعت به کار می رود . سالیانه قریب ۱۵ میلیون تن اسید سولفوریک برای مصارف صنعتی تهیه می شود و درجه صنعتی بودن هر ملتی را از روی مصرف مقدار اسید سولفوریک آن معلوم می دارند .

بنابراین ابداع روشهای تولید اسید سولفوریک ارزان و به مقدار زیاد اهمیت بسیاری پیدا کرده بود ، ولی در آغاز عصر جدید تولید اسید سولفوریک دشوار و مقداری که در دسترس بود محدود بود .

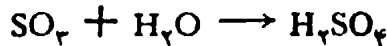
علت آن ، اشکال تهیه مواد اولیه نبود زیرا برای تهیه اسید سولفوریک به گوگرد احتیاج بود (S) و از قدیم این ماده را می شناختند و به وفور یافت می شد و قریباً به هر مقدار ممکن با سهولت کامل از جاهایی چون سیسل به دست می آمد. گوگرد به آسانی می سوزد و با اکسیژن گازی زننده به نام انیدرید سولفور (SO_2) تولید می کند ، این همان گازی است که بوی معمولی گوگرد را تولید می کند و گزته خود گوگرد بی بو است .

انیدرید سولفور در آب حل می شود و در آنجا با یک مولکول آب ترکیب می گردد و اسید سولفور (H_2SO_4) به وجود می آورد :



اسید سولفورو اسیدی نسبتاً قوی است و از این گذشته ناپایدار است ، ولی اسید سولفورو ، اسید سولفوریک دلخواه که یک اتم اکسیژن اضافی دارد (H_2SO_4) نیست .

افزودن یک اتم اکسیژن به اسید سولفورو کاری دشوار است . انیدرید سولفورومی تواند با اکسیژن ترکیب شود و انیدرید سولفوریک (SO_3) به وجود آورد . انیدرید سولفوریک در آب حل می شود و با آن اسید سولفوریک می سازد .



اشکال مسئله ، که روی کاغذ به این آسانی حل می شود ، آن است که گرچه ترکیب انیدرید سولفورو با اکسیژن همراه کاهش انرژی آزاد است و خود به خود صورت می گیرد ، نیاز به «انرژی کارانداز» بسیار زیاد دارد ، به طوری که اگر مستقیماً انیدرید سولفورو را با اکسیژن ترکیب کنند مقدار بسیار کمی انیدرید سولفوریک حاصل می شود . طی قرن هفدهم و اوایل قرن هجدهم اسید سولفوریک به مقدار کم تولید می شد و با صرفه جویی به کار می رفت . برای تهیه یک کیلوگرم اسید سولفوریک یک هفته کار طاقت فرسا لازم بود .

در دهه سال ۱۷۴۰ یکی از سازنده های اسید سولفوریک به نام یوشوآوارد^۱ چنین کشف کرد که اگر نیترا تپتاسیم^۲ به گوگرد بیفزایند و سپس آن را بسوزانند اسید سولفوریک بیشتری با همان شرایط قبلی به دست می توان آورد . معلوم نیست که این کشف بر حسب تصادف صورت گرفته یا آنکه برای بهتر سوزاندن

گوگرد آن را به باروت شبیه‌تر ساخته‌اند (باروت از گوگرد و نیترات پتاسیم و پودر ذغال مرکب است). به هر حال وی این فرایند را معمول کرد و قیمت اسید سولفوریک یکباره کاهش فراوان یافت .

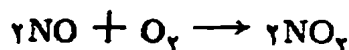
با افزایش تولید اسید سولفوریک دیگر ظرفهای شیشه‌ای شکننده به کار نبردند بلکه آن را در اطاقهای سربی تهیه کردند. فرایند سوزاندن گوگردی را که نیترات پتاسیم بدان افزوده‌اند فرایند اطاق سربی می‌گویند .

سازندگان اسید سولفوریک مدت نیم قرن همچنان با افزودن نیترات به گوگرد اسید سولفوریک تهیه می‌کردند بدون آنکه به فکر لزوم نیترات بیفتند. نیترات در محصول وجود نداشت بلکه در اطاق باقی می‌ماند و همواره به کار می‌رفت. ظاهراً چیزی برای فرایند سوختن گوگرد فراهم نمی‌کرد نیز به مصرف نمی‌رسید. پس چه نقشی در این فرایند ایفا می‌کرد؟

در سال ۱۸۵۶ دو شیمی‌دان فرانسوی به نام شارل برنارد دزورم^۱ و نیکولا کلمان^۲ تفسیری از این فرایند به عمل آوردند که در حال حاضر نیز مورد قبول است . وقتی که گوگرد و نیترات بسوزد دو گاز به وجود می‌آید یکی انیدرید سولفورو (SO_۲) دیگری بی‌اکسید نیتروژن (NO_۲) . بی‌اکسید نیتروژن یکی از اتمهای اکسیژن خود را به انیدرید سولفورو می‌دهد و آن را به انیدرید سولفوریک تبدیل می‌کند و خود به اکسید نیتروژن (NO) تبدیل می‌گردد . بنابراین :



اکسید نیتروژن از هوا اکسیژن می‌گیرد و بار دیگر به بی‌اکسید نیتروژن تبدیل می‌شود .



پس بی‌اکسید دازت در اینجا نقش واسطه را ایفا می‌کند. بدین معنی که یک اتم اکسیژن از خود به‌اندزید سولفورو می‌دهد و یکی اتم دیگر از هوا می‌گیرد و آن را دوباره به‌مولکول دیگر انیدرید سولفورو می‌دهد، باز هم یک اکسیژن دیگر می‌گیرد و به‌اندزید سولفوروی دیگر می‌دهد و براین قیاس. در همه این داد و ستدها بی‌اکسید دازت مصرف نمی‌شود و در پایان عمل به‌صورت نترات درمی‌آید و بدین سبب است که بدون تغییر و بدون آنکه در فرایند دخالت کند به‌نظر می‌رسد.

ولی از زمان دزورم و کلمان، تاکنون در نظری که اظهار داشته بودند، تغییراتی داده شد و به‌صورت پیچیده‌تری عرضه گردید. به‌طوری که معلوم شده بی‌اکسید دازت و انیدرید سولفورو به‌اضافه آب و اکسیژن ماده مرکبی به‌نام محصول اضافی تولید می‌کنند، سپس این ماده به‌اسید سولفوریک تبدیل می‌شود و بی‌اکسید دازت را آزاد می‌سازد. ولی اصل فرایند همان است که بود یعنی شرکت بی‌اکسید دازت در فرایند و تولید مجدد آن.

از نظر تولید انرژی فرایند بدین قرار است که انرژی کارانداز زیادی که برای ترکیب مستقیم انیدرید سولفورو و اکسیژن لازم است فراهم نشده (به‌تصویر ۲۰ مراجعه شود) و از ترکیب مستقیم انیدرید سولفورو و اکسیژن اجتناب شده است، ولی چون ترکیب شدن انیدرید سولفورو و بی‌اکسید دازت (و تولید محصول اضافی) احتیاج به انرژی کارانداز کمتری دارد، در حالی که اسید سولفوریک به‌وجود می‌آید، بی‌اکسید دازت دوباره آزاد می‌شود تا در واکنش دیگری که به انرژی کارانداز کم احتیاج دارد، وارد گردد.

پس در این فرایند چیزی از هیچ گرفته نشده و به‌قوانین ترمودینامیک خدشه‌ای

وارد نیامده است. انرژی آزاد انیدرید سولفورو از يك طرف و انیدرید سولفوريك (یا اسید سولفوريك) از طرف دیگر به همان صورت اولیه خود باقی می ماند، و در همه حال حرکت در هر دو جهت بدست پایین تپه است. ولی به جای آنکه در تبدیل انیدرید سولفورو به انیدرید سولفوريك از يك قله بلند عبور کنند، راه (بدخاطر نیترا ت اضافی) از روی دو تپه كوچك هدایت می شود. این تفسیر که از نظر انرژی کار انداز بدعمل آمده نخستین بار برای همه این قبیل پدیده ها، در سال ۱۸۹۴ به وسیله دانشمند آلمانی ویلهلم اوسوالد عنوان شده است.

اگر واکنش انیدرید سولفورو با اکسیژن برای تولید انیدرید سولفوريك را به سفری با قطار تشبیه کنیم که از دره ای شروع شود و به بالای کوهی برسد و سپس به دره دیگری که پایین تر از دره اولی است منتهی گردد، افزودن نیترا ت مانند آن است که جاده نوی برای عبور قطار از روی کوه کوتاهتری احداث کنند. اگر قطارها گاه گاه دچار کمبود سوخت می شوند، تعداد کمی از بالای کوه بلند عبور خواهند کرد و از دره ای به دره دیگری وارد خواهند شد و حال آنکه احداث جاده نو که سوخت را زیاد نمی کند آمدورفت میان دو دره را فراوان افزایش می دهد.



با پیشرفت قرن نوزدهم موارد دیگری پیدا شدند که در هر يك از آنها مقدار کم ماده ای موجب تسریع واکنش مقدار زیادی از دو ماده، بر یکدیگر می شد و به طور کلی در همه آن موارد ماده تسریع کننده واکنش، به مصرف نمی رسید. مثلاً در سال ۱۸۱۲ شیمی دان روسی گوتلیب سیگسموند کیرشوف متوجه شد که اگر نشاسته را در آب بجوشاند و مقدار کمی اسید سولفوريك به محلول بیفزاید نشاسته به قندی تبدیل می شود که شبیه قند انگور است (و بعداً به گلوکز موسوم شد).

اگر نشاسته را به تنهایی در آب می جوشانند این تجزیه صورت نمی گرفت. از این گذشته هنگامی که نشاسته به وسیله اسید تجزیه می شد، اسید در این فرایند به مصرف نمی رسید. و محلول قند حاصل همان قدر اسید داشت که محلول نشاسته اولیه دارای اسید بود.

نیز شیمی دان انگلیسی همفری دیوی^۱ در سال ۱۸۱۶ به کشف این موضوع توفیق یافت که سیم بعضی از فلزات ترکیب بخارات مختلف را، چون الکل و اکسیژن، تسریع می کند. فلزات نادرى مانند پلاتین و پالادیوم بخصوص در این موارد مؤثرتر بودند.

این رشته مطالعات تا بدانجا ادامه یافت که شیمی دان آلمانی یوهان ولف گمانک دوبراینر^۲ کشف کرد که پودر پلاتین ترکیب شدن ئیدروژن و اکسیژن را در دمای معمولی اطاق موجب می شود. وی سالها پیش از اختراع کبریت، چراغ خودکاری اختراع کرد (چراغ دوبراینر). چراغ دوبراینر شامل ظرفی محتوی اسید بود و چنان ترتیب داده شده بود که اسید می توانست به دلخواه شخص بالا بیاید و وارد ظرف داخلی تر که محتوی یک میلیه روی بود بشود. واکنش اسید بر روی باعث تولید ئیدروژن می شد که از سوراخی در بالای ظرف بیرون می آمد. ئیدروژنی که از سوراخ بیرون می جهید به ظرفی محتوی پودر پلاتین می خورد و به سرعت مشتعل می گشت.

چون پودر پلاتین گران بود و وجود ناخالصی در ئیدروژن حاصل، بدزودی خواص غیر عادی آن را زایل می کرد بنابراین چراغ دوبراینر فقط صورت ابزار تفریحی شیمیایی به خود گرفت، ولی به هر صورت خاصیت عجیب پلاتین را به صورت جالبی نشان می داد. نیز نشان داد که واکنشهای احتراق (و احتمالاً واکنشهای

بدن آدمی) ، بدون افزودن انرژی کارانداز (که در آغاز فصل از آن یاد کردم) در دمای معمولی اطاق صورت پذیرند .

در سال ۱۸۳۶ این مورد و موارد دیگری از پدیدۀ فوق نظر شیمی دان سوئدی یونس یاکوب برزیوس^۱ را به خود جلب کرد . برزیوس در این موقع نفوذ بسیاری در شیمی داشت . زیرا نسبت بدهمه شاخه های این علم ، که به سرعت در حال پیشرفت بود ، ابراز علاقه می کرد و نتایج پرثمری نیز به بار آورده بود .

برزیوس موارد پراکنده این پدیده را جمع آوری کرد و تحت سازمان معینی در آورد و اهمیت آنها را خاطر نشان ساخت و نام کاتالیزوری^۲ را بدان تخصیص داد . کلمه کاتالیزوری از کلمات یونانی بدمعنی « تجزیه کردن » مشتق است و از آنجا برای این پدیده در نظر گرفته شده است که نشاسته با وجود اسید ، چنانکه قبلاً اشاره شد ، به قند تجزیه شده است . این اصطلاح مورد قبول واقع شد و اکنون نیز به کار می رود .

بنابر این هر ماده ای که وجودش به مقدار کم (بعضی اوقات بسیار کم) موجب شود که دو ماده به مقدار بسیار زیاد روی هم واکنش کنند ، و خود ماده نه در فرایند دخالت کند نه از بین برود ، کاتالیزور نام دارد . اسید کاتالیزور تجزیه نشاسته به قند است . پلاتین کاتالیزور ترکیب شدن ئیدروژن و اکسیژن در دمای معمولی اطاق است . بی اکسید دازت کاتالیزور تولید اسید سولفوریک در فرایند اطاقهای سربی است . کشفیات جدید ، متضمن مسئله فرایند اطاق سربی که تازه آغاز شده بود نیز بودند . در سال ۱۸۳۱ شیمی دان انگلیسی پرگرین فیلیپس^۳ متوجه شد که پلاتین رامی توان به عنوان کاتالیزور برای تبدیل انیدرید سولفورو به انیدرید سولفوریک به صورتی سهلتر از نیترات ، به کار برد و این روش را معمول ساخت . با پایان قرن

نوزدهم روش نو یعنی فرایند مجاورت که در آن انیدرید سولفورو بر اثر مجاورت با پلاتین با اکسیژن ترکیب می‌شد، جای فرایند «اطلاق سربی» را گرفت و بزودی روشهایی نیز برای جلوگیری از زایل شدن خاصیت پلاتین، این فایزگران در حین فرایند، کشف گردید.

عواملی چون گرما و نور را نیز می‌توان کاتالیزور به حساب آورد زیرا مقدار کم گرما هر واکنشی را تسریع می‌کند و مقدار کم نور موجب انفجار مخلوط کلر وئیدروژن می‌شود. هر فرایندی که نور تسریع‌کننده آن است غالباً به «کاتالیزور شده نور» نامیده می‌شود. ولی اصطلاح «کاتالیزور» را عموماً فقط برای مواد به کار می‌برند.



کاتالیزورهایی چون بی‌اکسید دازت و اسید در واکنش وارد می‌شوند و سرانجام به صورت اولیه خود باز می‌گردند. پس کاتالیزورها موادی فعالند و در موقع مقتضی در واکنش شرکت می‌کنند و حال آنکه جالبترین کاتالیزورها یعنی پلاتینی که در اوایل قرن نوزدهم کشف شده است چنین نبود.

پلاتین فلزی بی‌اثر است و به اصطلاح با میلی بسیار و با قوی‌ترین محرکها با سایر مواد ترکیب می‌شود. با این حال چگونه در عده زیادی از واکنشهای متنوع موجب ترکیب شدن مواد می‌گردد؟ در این که پلاتین در واکنش شرکت می‌کند حرفی نیست زیرا تصور این که اثر مرموزی روی مولکولهای دیگر داشته باشد غیر قابل تصور است.

در سال ۱۸۳۳ دانشمند انگلیسی مایکل فاراده^۱ متوجه شد که ورقه نازکی از پلاتین ترکیب شدن اکسیژن و ئیدروژن را موجب می‌شود ولی چنانچه

مقدار کمی اکسید دوکربن (CO) به مخلوط گاز وارد شود، موجب قطع واکنش می‌گردد. به اصطلاح اکسید دوکربن پلاتین را «مسموم» می‌کند. (در اینجا شباهت زیادی با مسئله تنفس در میان هست. اندکی اکسید دوکربن اگر در هوای تنفسی موجود باشد موجب مرگ، خواهد شد).

به نظر فاراده مولکولهای اکسیژن و نیدروژن به صورت ورقه نازکی روی سطح پلاتین قرار می‌گرفتند و در نتیجه به وجود آوردن چنین ورقه‌ای بیش از وقتی که در مخلوط گاز معلق هستند، به هم نزدیکتر می‌شدند. نزدیک بودن مولکولها، مانند آن است که فشار مخلوط گاز بالا رفته باشد و چنانکه می‌دانیم افزایش فشار واکنش را تسریع می‌کند. افزودن اکسید دوکربن، چنانکه فاراده خاطر نشان ساخته، سبب می‌شود که ورقه نازکی از مولکولهای این گاز روی ورقه پلاتین به وجود آید و مانع گردد که نیدروژن و اکسیژن روی آن بنشینند، در نتیجه با هم ترکیب نشوند.

تصور اینکه سطح بعضی از کاتالیزورها موجب تسهیل واکنش می‌شود (کاتالیزوری سطحی) هنوز هم به قوت خود باقی است ولی در آن تغییراتی داده شده است. این که فقط لایه نازکی از این گاز روی سطح پلاتین می‌نشیند ظاهراً کافی برای حل مسئله نیست زیرا فشار زیاد، که معادل آن است، بر اساس اطلاعاتی که در زمان فاراده هنوز به دست نیامده بود، نمی‌تواند واکنشی را به اندازه کافی تسریع کند.

در سال ۱۹۱۶ شیمی‌دان امریکایی ایروینگ لانگمویر^۱ تئوری فاراده را بدین صورت تغییر داد که ورقه نازک مولکولهای گاز به وسیله پیوندهای شیمیایی به پلاتین متصلند.

اتمهای پلاتین که در سطح فلز قرار دارند، چون کاملاً به وسیله سایر اتمها محصور نشده‌اند، تعدادی پیوند آزاد دارند. پیوندهایی که متوجه خارج سطح یعنی در معرض هوا قرار دارند، مانند نیروی جاذبه‌ای میان پلاتین (Pt) و اتمهای دیگر فعالیت می‌کنند. این که پودر پلاتین کاتالیزوری قوی‌تر از یک قطعه پلاتین است، به علت آن است که پودر پلاتین سطح بیشتری نسبت به وزن دارد و اتمهای بیشتری از آن در سطح زیاد ذرات بینهایت زیاد قرار می‌گیرند.

ممکن است تصور شود که پلاتین با اکسیژن ترکیب شود و همه اتمهای سطحی آن با اتمهای اکسیژن متصل گردند و نوعی ترکیب به نام «اکسید پلاتین» به وجود آورند. انرژی کارانداز تشکیل این اکسید بسیار کم است و ترکیب تئیدروژن با اکسیژن این اکسید (به خلاف مولکولهای آزاد مخلوط گاز) نیز کم است. بنابراین ترکیب دو گاز به سرعت صورت می‌گیرد زیرا انرژی سینتیک مولکولهای گاز در دمای معمولی اطاق بیش از انرژی است که برای کاراندازی لازم است. وقتی که ترکیب شدن پایان می‌یابد هر اتم پلاتین به یک مولکول متصل می‌گردد. پیوند میان اتم پلاتین و مولکول آب بسیار ضعیف است به طوری که بر خورد مولکولهای گاز آن را از جایی که متصل شده است می‌کند و پلاتین را آزاد می‌گذارد تا بتواند با اتم اکسیژن دیگر متصل شود.

مسموم شدن سطح پلاتین به وسیله اکسید دوکربن از آنجا نتیجه می‌شود که پلاتین به همان گونه که با اکسیژن ترکیب می‌شود قدرت ترکیب با اکسید دوکربن نیز دارد. وقتی که مولکول اکسید دوکربن با پلاتین متصل می‌شود، دیگر با تئیدروژن واکنش نمی‌کند (یا با چیز دیگر دستگاہ) تا مولکول دیگر دارای پیوند ضعیف به وجود آورد، و به همان صورت باقی خواهد ماند. پس هر اتم پلاتین که با مولکول اکسید دوکربن متصل شد به همان صورت می‌ماند و رفته رفته سطح

بیشتری از پلاتین اشغال می‌شود و دیگر قدرت کاتالیزوری پلاتین از میان می‌رود. کاتالیزوری سطحی، ارتباطات اساسی انرژی و واکنش را مختل نمی‌سازد. اگرچه کاتالیزور ممکن است راه واکنشی را به‌سوی هدایت کند که نیاز به انرژی کارانداز کم دارد و سرعت آن را افزایش دهد ولی نمی‌تواند تفاوت انرژی آزاد واکنش را تغییر دهد.

مفهوم آن این است که کاتالیزور نمی‌تواند جهت واکنش خود به‌خود را تغییر دهد و چنین کاری نمی‌کند. اگر کاتالیزور خود به‌خود با اکسیژن ترکیب می‌شود و آب به‌وجود می‌آورد، کاتالیزور در نتیجه پایین آوردن انرژی کارانداز فرایند را تسریع می‌کند ولی هیچ کاتالیزوری نمی‌تواند، در دمای که از دمای معمولی اطاق بیشتر نباشد، مقدار زیادی آب را به‌تئیدروژن و اکسیژن تجزیه کند. از این گذشته در هر واکنش دو طرفه، محل نقطه تعادل (که به‌خاطر دارید در نقطه حداقل انرژی آزاد است) در حضور کاتالیزور تغییر نمی‌کند. کاری که کاتالیزور می‌کند این است که واکنش را در هر دو طرف تسریع می‌کند و رسیدن نقطه تعادل را سریعتر می‌سازد. کاتالیزور نمی‌تواند کوچکترین تغییری در وضع نقطه تعادل به‌وجود آورد.



با پشت‌سر گذاشتن مطالعه کاتالیزورها، اکنون که مجهز به مفاهیم اساسی لازم هستیم جا دارد که به‌بافت زنده بازگردیم. در بخش دوم این کتاب، کوشش خواهیم کرد تا نشان دهیم مفاهیم فوق، که از پدیده‌های جهان بیجان اشتقاق یافته‌اند، تا چه حدی در فعالیت بدن آدمی قابل تعمیم هستند.

بخش دوم

بدن انسان

فصل دهم

باز هم جاندار و بیجان

آنچه در باره بقای انرژی و افزایش انتروپی و انرژی آزاد و کاتالیزوری دانسته شده از مطالعه جهان بی جان حاصل گردیده است. از اینکه نیمه اول این کتاب را به شرح آنها اختصاص داده‌ام، قصدم این بود که برای بیان طرز کار بافت زنده از آنها کمک بگیرم.

ولی هنگامی می‌توانیم چنین کاری بکنیم که نتایج کلی حاصل از پدیده‌های جهان بیجان قابل تعمیم در جانداران باشند. باید دید که آیا برآستی چنین هست؟ به عبارت دیگر خواص يك سنگ و يك سوسمار تابع قوانین یکسان طبیعتند؟ در قسمت اعظم تاریخ بشریت، عنوان کردن چنین پرسشی ابلهانه به نظر می‌رسید و پاسخ آشکاری داشت و آن کلمه «نه» بود. اینکه در بسیاری از صفحات این کتاب با دقت فراوان کوشش کرده‌ام که زمینه‌ای برای تشخیص جاندار از بیجان را فراهم سازم خود دلیلی بر این است که چنین تشخیصی دشوار است. وجود چنین اشکالی تا يك قرن پیش انتظار نمی‌رفت و همواره چنین معتقد بودند که جاندار به‌طور قاطع و آشکارا از بیجان متمایز است. کدام ابله بود که در این شک

کند و حتی برای يك لحظه که شده نتواند فاصله قاطع میان خواص و ماهیت سنگ و سوسمار را نبیند!

تقسیم اشیای جهان ، بدون آنکه ابهام یا اشتباهی پیش آید ، به سه دسته بزرگ بد نظر طبیعی می آید : (۱) جهان بیجان که شامل دریاها و خشکی ها و سنگها و ماسدها و هواست ، (۲) جهان گیاهان که شامل اشیایی است که زاده می شوند و زندگی می کنند و می میرند ولی همواره از ریشه در خاک ثابتند و از جا نمی جنبند ، (۳) جهان حیوانات که شامل اشیایی است که زاده می شوند و زندگی می کنند و می میرند و در عین حال می توانند به دلخواه حرکت کنند . هنگامی که بازی « بیست سؤالی » را آغاز می کنیم این تقسیم بندی را در نظر می گیریم تا تعیین کنیم که چیز مورد سؤال « حیوان است ، گیاه است ، یا ماده کانی » .

چنانچه بیشتر تعمق شود ، تفاوت گیاه و حیوان کمتر از تفاوت آن دو با جهان کانیها بد نظر خواهد آمد . زیرا اولاً انسان می تواند بعضی از انواع حیوانات و گیاهان را به عنوان غذای خود به کار برد . ثانیاً با اختراع میکروسکوپ در قرن هفدهم و کشف موجودات زنده ای که با چشم دیده نمی شوند ، مسئله تشخیص مبهم تر شد زیرا بسیاری از موجودات میکروسکوپی را نمی توان با اطمینان خاطر گیاه یا حیوان نامید .

يك تقسیم بندی دیگر ، که کلی تر از تقسیم بندی قبلی است ، نیز به نظر طبیعی می آید و آن تقسیم همه موجودات به دو دسته بزرگ است : جانداران (که شامل حیوانات و گیاهان است) و بیجانها .

در این تقسیم بندی ، دو دسته اشیا از نظر ماهیت کاملاً متفاوت به چشم می خورند . پس قبول اینکه دو دسته قوانین طبیعی خاص آن دو دسته اشیا وجود داشته باشد ، اجتناب ناپذیر به نظر می رسد . در قرن نوزدهم مسئله مشخص بودن

جاندار از بیجان و وجود دودسته قوانین مخصوص آن دو مسلم بود .
این نظر نه تنها برای اشیای مجردمانند سنگ و سوسمار وجود داشت بلکه
مواد شیمیایی سازنده پیکر این اشیا را نیز متفاوت می پنداشتند .
سنگ را خرد کنید ، خاکی که حاصل می شود وضعی ثابت و بی تفاوت دارد
به طوری که سالها بگذرد تغییر نمی کند . آن را با آب مخلوط کنید سپس بر اثر
گرم کردن آب آن را تبخیر کنید خواهید دید که خاک ماهیت خود را همچنان
حفظ کرده است . خاک را تا حد سرخ شدن گرم کنید سپس بگذارید سرد شود
تغییری اساسی نخواهد کرد .

از سوی دیگر سوسمار را له کنید ، توده ای گوشت نرم و خون آلود به دست
می آید که در مدت کوتاهی می گندد و بوی بد می دهد و غذای نوزادهای گرمی
شکل حشرات می شود . گوشت را گرم کنید چنان می سوزد و سیاه می شود که شناخته
نخواهد شد و اگر سردش کنند به صورت اولیه باز نمی گردد .

این تفاوت اساسی هنگامی وجود دارد که با بخشی از يك ماده شیمیایی
خالص آزمایش کنید . از يك سنگ ممکن است سیلیکات آلومینیوم یا مس خالص
به دست آورد . از يك موجود زنده می توان قند یا چربی خالص به دست آورد .
سیلیکات آلومینیوم و مس را می توان گرم کرد و سپس سرد کرد بدون آنکه
تغییری متحمل شوند ولی اگر قند را گرم کنند ، خواهد سوخت و دیگر قند
نخواهد بود ، نیز چربی خواهد سوخت و دیگر چربی نخواهد بود .

مسئله تشخیص دو دسته مواد فوق از همان موقعی که علم آغاز شده بود بر
دوش شیمی دانها سنگینی می کرد . به طوری که در قرن هفدهم شیمی دان آلمانی
یوهان رودولف گلاوبر^۱ با موادی شروع به کار کرد که از دو جهان جاندار و بیجان

به دست آورده بود. از جهان کانیها بلورهای سولفات سدیم تهیه کرد. چنانکه می دانیم در بلور سولفات سدیم هر مولکول با ده مولکول آب پیوند سست دارد و روی این اصل فرمول سولفات سدیم را، که به « نمک گلابر » نیز موسوم است بدین گونه نشان می دهند $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. موادی که گلابر از جهان بیجان تهیه کرده بود استون و بنزن بود.

همه این مواد در گرمای کم تغییر پیدا می کنند. پس این خود يك وجه تشخیص است. نمک گلابر پس از گرم شدن مولکولهای آب خود را که پیوند سست دارند از دست می دهد و به سولفات سدیم انیدر تبدیل می شود. اگر به این سولفات سدیم انیدر آب بیفزایند، بلورهایی شبیه آنچه از آغاز گرم شده بود به دست خواهند آمد.

از سوی دیگر اگر استون یا بنزن گرم شود، آتش می گیرد و هیچ قدرتی نمی تواند بخارات حاصل از آتش گرفتن این ماده را با وسایل ساده ای چون سرد کردن یا افزودن آب به استون یا بنزن اولیه بازگرداند.

مثل آن بود که مواد حاصل از جهان بیجان در بی تفاوتی و ثبوت وضع همانند سنگی هستند که از آن به دست آمده اند و مواد حاصل از جهان جاندار در ظرافت و شکنندگی چون خود جاندارانند. نیز ممکن است عکس این وضع را در نظر بگیریم و بگوییم که چون سنگ از اجزای بی اثر و غیر حساس ساخته شده بی اثر و غیر حساس است و حال آنکه جانداران چون از اجزای ناپایدار و شکننده ساخته شده اند، تغییرپذیر و ظریف و حساسند.

در سال ۱۸۰۷ برزیوس، این وجه تشخیص را با نامهایی نشان داد. وی موادی را که از موجودات زنده یا از بقایای مرده آنها به دست می آمد مواد آلی

نامید. مواد حاصل از جهان بی جان را غیر آلی نام گذاشت و چون عقیده بر این بود که دو دسته قوانین طبیعی برای این دو دسته مواد هست، شیمی نیز دو بخش شده بود: شیمی آلی و شیمی غیر آلی.

از آنجا که مواد آلی از بدن موجودات زنده به دست می آمدند و هیچگاه در جهان غیر زنده پیدا نمی شدند، قبول این نکته طبیعی به نظر می رسید که به وجود آمدن آنها تحت تأثیر حیات است (یعنی يك « نیروی حیاتی ») موجود آنهاست. اگر چنین بود پس شیمی دان با شعله و دم و اسیدهایش موفق به ساختن ماده آلی از مواد غیر آلی نمی شد زیرا در هیچیک از ابزارها یا موادی که به کار می برد نیروی حیاتی لازم برای این کار وجود نداشت!

از مدافعان مهم این نظریه خود برزیلیوس بود. و هنگامی که شیمی دان آلمانی فریدریش وهلر این نظریه را در سال ۱۸۲۸ دگرگون ساخت، مطمئناً بر برزیلیوس گران آمد. وهلر شیمی دانی بود که در شناختن مواد غیر آلی تخصص داشت و نخستین کسی بود که توانست آلومینیوم و بریلیوم را به صورت خلوص به دست آورد، نیز روشهای نوی برای تهیه نیکل ترتیب داد. در ایامی که به این کشف مهم نایل آمد به مطالعه سیانات دامونیوم مشغول بود. سیانات دامونیوم ماده ای کاملاً غیر آلی تصور می شد. وهلر پس از آنکه این ماده را گرم کرد با کمال تعجب دید که به کلی تغییر خاصیت داده و به ماده ای تبدیل گشته که همه خواص او را دارد. او را ماده ای کاملاً آلی است و قسمت اعظم مواد محلول در ادرار پستانداران را تشکیل می دهد.

پس در نتیجه گرم کردن ماده ای غیر آلی، ماده ای آلی به دست آمد، بدون آنکه نیروی حیاتی (جز نیروی خود وهلر) دست اندر کار باشد. پیش از آنکه

و هلر جرأت اظهار آن را داشته باشد بارها به آن آزمایش دست زد و پس از حصول اطمینان نظر خود را اعلام داشت ، ولی به محض اظهار نظر چنان مورد تأیید قرار گرفت که بسیاری از شیمی دانها دست به کار آن شدند و مواد گوناگونی آلی از مواد غیر آلی ترکیب کردند .

کشف و هلر فقط از نظر شیمی اهمیت نداشت زیرا واکنش شیمیایی مورد عمل وی به خودی خود چیز مهمی نبود ولی از نظر روانشناسی بسیار مهم بود زیرا وی سد قاطعی را که میان جهان جاندار و بی جان وجود داشت ، درهم شکست ، و تئوری نیروی حیاتی را دچار سرنوشت بدی ساخت و دانشمندان برای قبول اینکه قوانین یکسانی به عالم جاندار و بی جان حکمفرمایی می کنند ، آماده تر شدند .



هنگامی که یقین حاصل شد که چنین تفاوتی وجود ندارد شباهتهای گوناگونی که اهل علم ، قبل از رد نظریه نیروی حیاتی ، میان جاندار و بیجان پیدا کرده بودند رفته رفته به میان کشیده شدند و در تغییر دادن طرز فکر علمی نقش مؤثری ایفا کردند . مهمترین آنها عمل هوا بود .

انسان و هر حیوان ساکن خشکی طبق تحقیقات محققان قدیمی ، برای زنده ماندن نیاز به تنفس هوا داشتند و هوای تنفسی می بایست تازه باشد . حیواناتی که در مکان محبوس نگهداشته می شدند ، به حالت خفگی دچار می شدند و سرانجام می مردند . مثل آن بود که در حین تنفس بخشی از ماده حیاتی هوا را کاملاً به مصرف می رسانند . (اگر چه تغییری در هوا به چشم نمی خورد .)

پس تنفس حاکی از خواص آتش بود . آتش هنگامی شعله ور می شود که جریانی از هوا از آن بگذرد و زمانی رو به خاموشی می گذارد که در محل بسته ای قرار داشته باشد . (غالباً مواد آلی نظیر چوب و ذغال سنگ می سوزند و شاید

بتوان گفت که بهر حال ماده جاندار ، غیر مستقیم در این جا دخالت دارد . ولی عین همین جریان در مورد ئیدروژن و گوگرد ، که بی شك از مواد بیجانند ، نیز صادق است) .

در حدود ۲۰۰ سال بعد از میلاد جالینوس پزشك رومی ، خاطر نشان ساخته بود که شناختن اصول احتراق ما را به شناختن مسئله تنفس راهنمایی خواهد کرد و پیشگویی وی با مطالعات لاوزیه درست از آب در آمده بود .

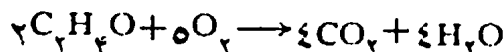
هنگامی که لاوزیه در اواخر دهه سال ۱۷۷۰ نشان داد که هوا از نیتروژن و اکسیژن مرکب است مدلل داشت که اکسیژن عامل احتراق است و برای حیات لازم است . از این گذشته نشان داد که هوای بازدم ندهنها اکسیژن کمتر دارد بلکه ایندیریدکربنیک زیادی هم دارد . مطالعه دقیق تر موضوع بر لاوزیه روشن ساخت که ایندیریدکربنیک موجود در هوای بازدم ، حاوی همه اکسیژن کاهش یافته نیست . بنابراین غیر از کربن چیز دیگری هم باید باشد که با اکسیژن ترکیب می شود . هنگامی که ، هنری کاوندیش شیمی دان انگلیسی ، نشان داد که ئیدروژن در اکسیژن می سوزد و آب به وجود می آورد ، دفعته مسئله بر لاوزیه روشن شد . هوای بازدم محققاً مرطوب است و مولکولهای غذایی محققاً ئیدروژن دارند . در فرایند تنفس اکسیژن باید با ئیدروژن ترکیب شود و آب به وجود آورد به همان گونه که با کربن ترکیب می شود و ایندیریدکربنیک می سازد . وقتی که چوب می سوزد و عین همین جریان واقع می شود ، اکسیژن مصرف می گردد و آب و ایندیریدکربنیک به وجود می آید .

بدون شك در آن ایام کسی جرأت نمی کرد که جهان بیجان و جاندار را بدین صورت مقایسه کند ولی چون وهلر « اوره » را مصنوعاً ترکیب کرده و مرز

میان جهان جاندار و بی جان را از میان رفته برده بود ، چنین مقایسه‌ای اجتناب ناپذیر می نمود .

هنگامی که پذیرفته شد قوانین شیمی آلی با قوانین شیمی غیر آلی شباهت دارند و حتی یکسانند ، شیمی آلی به سرعت عجیبی مورد توجه قرار گرفت و شیمی دانها شروع کردند به تجزیه مواد آلی و به کار بردن تئوری اتمی (که تازه به میدان آمده بود) تا بتوانند به همان صورتی که فرمول مواد غیر آلی را پیدا می کنند ، فرمول مواد آلی را نیز بیابند .

به طوری که معلوم شد مواد آلی غذاها بیشتر شامل کربن و ئیدروژن و اکسیژن هستند. نسبت این عناصر تقریباً برابر دو اتم کربن و چهار اتم ئیدروژن و یک اتم اکسیژن است . (مقادیر کم نیتروژن و مقادیر کم گوگرد و فسفر و مانند اینها نیز وجود دارند ولی فعلاً از آنها صرف نظر می کنیم) . اگر غذایی را با فرمول C_4H_4O در نظر بگیریم ، می توانیم معادله زیر را واکنشی به حساب آوریم که در بدن آدمی صورت می گیرد .



ساختمان شیمیایی چوب با ساختمان شیمیایی غذاها به طور کلی چندان تفاوتی ندارد. (مثلاً ممکن است فرمول $C_4H_4O_4$ را برای آن در نظر گرفت) و چوب نیز با اکسیژن ترکیب می شود و انیدرید کربنیک و آب به وجود می آورد. پس از نظر شیمی هم بدن آدمی و هم ماشین بخار ، انرژی خود را از منبع یکسانی می گیرند و آن ترکیب کردن اتمهای کربن و ئیدروژن با اکسیژن است.

این مسئله فی نفسه برای کسانی که بدن آدمی را چیزی کاملاً جدا و بسیار عالتر از یک دستگاه مکانیکی می پندارند، تند روی به حساب نمی آید زیرا این شباهت صورت قاطع ندارد. چوبی که می سوزد گرما و نور تولید می کند و حال

آنکه از «سوختن» غذا در بدن گرمای مایملایمی حاصل می‌شود و هیچ نوری تولید نمی‌شود. سؤالی که در اینجا پیش می‌آید این است که «آیا این تفاوت حاکی از تفاوت‌های اساسی‌تر نیست؟» آیا چون بدن آدمی (و موجودات زنده عموماً) انرژی را بد صورتی دیگر غیر از تولید شعله به وجود می‌آورد، این طریق تولید انرژی مؤثرتر نیست؟ آیا بافت زنده بازدهی بیش از آنچه که در ماشین بخار بیجان حاصل می‌شود و حدودش را کسانی چون کارنو تعیین کرده‌اند، ندارد؟ آیا بدن نیز باید از قوانین ترمودینامیک، که در قرن نوزدهم شناخته شده‌اند، تبعیت کند یا آنکه با کارآمدی خود می‌تواند منبعی از انرژی در غذاها پیدا کند که ماشین بخار هیچگاه نتواند از چوب یا ذغال به دست آورد؟

برای یافتن پاسخ سؤالات بالامطالعه دقیق‌تری درباره ماهیت غذاها به عمل

آوریم.



انسان از قدیم‌ترین ایام ناگزیر بوده که در تهیه غذای خود از انواع گوناگون مواد دارای خواص مختلف استفاده کند. مثلاً ماده سفید نرم و بی طعمی که به سهولت آرد می‌شده از دانه‌هایی چون گندم یا برنج به دست آورده که قسمت اعظم آن نشاسته بوده است. نیز ماده شیرینی از آب میوه‌ها و از عسل به دست آورده است. از عصاره گیاهی مانند نیشکر، که بخصوص مقدار زیادی قند داشته، این ماده شیرین را به صورت جامد به دست آورده است. احتمال دارد که نخستین بار در هندوستان و قریب ۴۰۰ سال پیش از میلاد به استخراج قند از نیشکر توفیق یافته باشند. مقادیری از قند احتمالاً به روم برده شده و نام لاتینی ساکارز از نام اصلی هندو از آنجا مشتق شده است. اروپا در قرون وسطی در مراجعت سر بازان

جنگهای صلیبی به قند کافی دسترسی پیدا کرد.

در قرن نوزدهم معلوم شد که تعداد قندها بیش از یکنوع است. در سال ۱۸۰۲ شیمی‌دان فرانسوی ژوزف لوئی پروست^۱ (که در اسپانیا به کار مشغول بود) از انگور ماده‌ای استخراج کرده بود که شبیه قند، سفید و بلور مانند، شیرین و محلول در آب بوده است، ولی از قند معمولی نبوده زیرا نه مانند آن شیرینی داشته و نه به خوبی در آب حل می‌شده است. بنابراین دو نوع قند تشخیص داده شد: قند نیشکر و قند انگور. قندی را که در حدود ده سال پیشتر از عسل به دست آورده بودند و شیرین‌تر از قند نیشکر بود، پروست «قند میوه» نامید.

امروزه به نام همه قندها پسوند اوز^۲ می‌افزایند. نام قند نیشکر سوکروز^۳ است. نام قند میوه فرکتوز^۴ است. قند انگور اگر چه از دو قند دیگر شیرینی کمتری دارد به نام «گلوکز» مشتق از کلمه «شیرین» یونانی، نامیده شد. قندی از شیر به دست آوردند (که در چیز دیگری وجود نداشت) و به آن «قند شیر» یا لاکتوز^۵ نام دادند. این کلمه مشتق از کلمه «شیر» لاتینی است. ولی اکنون هر وقت کلمه قند به کار می‌رود منظور سوکروز است.

چنانکه در فصل پیش اشاره کرده‌ام، در سال ۱۸۱۲ میرشوف کشف کرده بود که نشاسته بر اثر گرما و افزودن مقداری اسید به قند انگور تبدیل می‌شود. پس می‌توان مولکول نشاسته را مرکب از تعدادی مولکول گلوکز دانست که به صورتی به یکدیگر متصل شده‌اند. گرم کردن با اسید اتصال گلوکزها را گسیخته و مولکولهای آنها را آزاد می‌سازد.

در سال ۱۸۱۹ شیمی‌دان فرانسوی ام. هاش براکونوت^۶ خاک اره و کتان و

Fructose -۴

Sucrose -۲

Ose -۲

Joseph Louis Proust -۱

M. H. Braconnot -۶

Lactose -۵

پوست تنه درخت و گاه و چند ماده گیاهی دیگر را در آب اسیددار جوشانید و از همه آنها گلوکز به دست آورد. این ماده گیاهی که مانند نشاسته از مولکولهای گلوکز ساخته شده ولی خوراکی نبود، چیز سفتی بود که سلول گیاهی را در میان می گرفت و شیمی دان فرانسوی آنسلم پاین^۱ آن را سلولز^۲ نامیده بود. (این نام طبق معمول پسوند اوز دارد).

شیمی دان فرانسوی ژوزف لوئی گیلوساک^۳ تجزیه شیمیایی قند و مواد منسوب آنها را به عهده گرفت. نتیجه مطالعاتش این شد که به ازای هر اتم کربن موجود در قند دو اتم نیدروژن و یک اتم اکسیژن هست. چون هر دو اتم نیدروژن و یک اتم اکسیژن یک مولکول آب به وجود می آورند، پس به نظر گیلوساک قند از تعدادی اتم کربن که هر یک با مولکول آب همراه است ساخته شده است. روی این اصل همه این گروه مواد، چون نشاسته و سلولز و قندهای گوناگون، نیدراتهای کربن^۴ (یا کربنهای آبدار) نامیده شدند. اگرچه بعداً مولکول این گونه مواد پیچیده تر از آنچه نامشان نشان می دهد از آب در آمده معینا نام نیدرات کربن همچنان باقی مانده است.

به طوری که معلوم شد مولکول گلوکز شش اتم کربن دارد، بنابراین این فرمولش $C_6H_{12}O_6$ خواهد شد و می توانیم این فرمول را به عنوان فرمول عمومی نیدراتهای کربن به حساب آوریم.

ماده دیگری که از قدیم الایام از مواد غذایی به دست آوردند چربی و روغن است. چربی ها که موادی جامد و روغنهایی آبگونند چون از جهات دیگر شباهت بسیار به یکدیگر دارند تحت نام لیپید^۵ دسته بندی می شوند. لیپیدها در آب غیر

Joseph Louis Gay - Lussac - ۲

Cellulose - ۲

Anselm Payen - ۱

Lipid مشتق از کلمه چربی، یونانی

Carbohydrates - ۴

محلولند و در لمس روغنی هستند .

در ایامی که براکونوت مشغول تحقیق ماهیت شیمیایی ئیدراتهای کربن بود، شیمی‌دان فرانسوی دیگری به نام میشل اوژن شورول^۱ به تحقیق درباره ماهیت لیپیدها اشتغال داشت . نتیجه تحقیقاتش این شد که لیپیدها ، چون ئیدراتهای کربن ترکیبی از سه‌گونه عنصر کربن و ئیدروژن و اکسیژنند. تفاوت کلی این دو دسته ماده این است که چربی‌ها اکسیژن کمتر دارند. یکی از مولکولهای معروف لیپیدی دارای این فرمول است : $C_{57}H_{104}O_6$

سومین جزء مهم سازنده مواد غذایی ، که از ئیدراتهای کربن و لیپیدها کاملاً متفاوت است به صورت محلول از سفیده تخم مرغ یا آلبومین^۲ به دست آمده است . محلول این ماده ، نظیر سفیده تخم مرغ ، غلیظ و چسبنده است و هنگامی که به آرامی گرم شود منعقد می‌گردد یعنی به صورتی درمی‌آید که بار دیگر حل نمی‌شود . پس گرمای ملایم خاصیتش را برای همیشه از بین می‌برد .

در اواخر قرن هجدهم ، گروه کاملی از مواد آلبومینوئید که همه محلولهای چسبنده به وجود می‌آوردند و در نتیجه گرم شدن منعقد می‌گشتند ، شناخته شدند . موادی از شیر و خون و نیز بعضی از محصولات گیاهی جزء این دسته از مواد بودند . آنچه بیشتر این گروه مواد را از ئیدراتهای کربن و چربیها متمایز می‌ساخت این بود که آلبومینوئیدها فقط از کربن و ئیدروژن و اکسیژن مرکب نبودند بلکه نیتروژن نیز داشتند و حتی گوگرد و فسفر نیز در مولکولشان بود . همین خود کافی بود تا نشان دهد مولکول آلبومینوئیدها پیچیده‌تر از مولکول سایر گروههای مواد غذایی است . آنچه کوشش در اوایل قرن نوزدهم برای به دست آوردن فرمول این مواد به عمل آمد بی نتیجه ماند .

۲ - Albumen مشتق از کلمه لاتین «سفید»

۱ - Michel Eugene Chevreul

شیمی دان هلندی ژرار دوس یوهانی مولدر^۱ در سال ۱۸۳۸ کوشش فراوان به عمل آورد که مولکولی با هشتاد و هشت اتم تدبیر کند و نشان دهد که مواد آلبومینوئیدی مختلف از تعدادی از این مولکولها به اضافه مقدار کم مولکولهای کوچک گوگرد و ازت دار ترکیب یافته است. اگر چه کوشش مولدر بی نتیجه ماند ولی باعث شد لغتی بر جمع لغات علمی افزوده شود. مولدر، بنا به پیشنهاد برزلیوس (لغت ساز دیرینه) واحد خود را پروتئین^۲ نامید، زیرا به نظر وی، این واحد در ساختمان مواد آلبومینوئیدی در درجه اول اهمیت قرار داشت. سرانجام نام پروتئین به مولکول ماده آلبومینوئیدی داده شد و امروز، بدهمین معنی در همه جا به کار می رود.

در سال ۱۸۲۷ شیمی دان انگلیسی ویلیام پروت^۳ (با شیمی دان فرانسوی همعصرش پروست^۴ اشتباه نشود) خاطر نشان ساخت که ماده آلی غذاها و به همین سبب ماده آلی بدن موجودات زنده، اساساً از سه دسته موادی که اکنون ما آنها را ئیدراتهای کربن و لیپیدها و پروتئین ها می نامیم، مرکب است. بعداً درستی اظهار پروت آشکار شد و از آن پس مورد قبول واقع گردید. این سه دسته مواد همه آنچه را که در بافت زنده هست تشکیل نمی دهند بلکه اجزای غیر آلی نیز بخصوص در استخوان هست. آب نیز یکی از مهمترین اجزای غیر آلی است. نیز اجزای آلی دیگری در بافت زنده وجود دارند، مانند موادی به نام اسیدهای نوکلئیک که اهمیت حیاتی دارند ولی جزء این سه دسته ماده نیستند.

معهدنا ئیدراتهای کربن و لیپیدها و پروتئین ها بخش اعظم اجزای آلی بافت زنده را تشکیل می دهند و ما می توانیم مطالعه خود را بدانها اختصاص دهیم.

۱- Gerardus Johans Mulder ۲- Protein مشتق از کلمات یونانی «درجه اول اهمیت»

۳- William Proust ۴- Proust



تجزیه مواد آلی در نیمه قرن نوزدهم تفاوت کاملاً نوی میان مواد آلی و غیر آلی نشان داد. اول آنکه همه موادی که از موجودات زنده به دست می آیند و خواص مواد آلی را دارند در مولکولشان کربن و ئیدروژن هست. عموماً اکسیژن هم وجود دارد. غالباً نیتروژن و گاهی هم گوگرد و سایر عنصرها دیده می شوند. از سوی دیگر موادی غیر آلی که غالباً ئیدروژن و اکسیژن و نیتروژن و گوگرد و سایر اتمهای دیگر در مولکولشان هست به ندرت کربن هم دارند. (ماده ای غیر آلی که کربن دارد، کربنات کلسیم است).

از اینجا قابل اشتعال بودن مواد آلی آشکار می شد زیرا هم کربن و هم ئیدروژن قابل اشتعالند. هر مولکولی که بیشترش از اتمهای کربن و ئیدروژن ساخته شده باشد نیز قابل اشتعال است. پس آنچه در این باره واجد اهمیت است مسئله چگونگی ساختمان شیمیایی ماده است نه تأثیر مرموز نیروی حیانی. دومین وجه تشخیص میان ماده آلی و غیر آلی در اندازه مولکولهای آنهاست. بزرگترین مولکولهای غیر آلی بالنسبه کوچکند و بیش از دوازده اتم یا در این حدود ندارند. از سوی دیگر فقط کوچکترین مولکولهای آلی دارای اتمهای معدودند. گلوکز که مولکول آلی نسبتاً کوچک است ۲۴ اتم دارد. معروفترین چربیها دارای ۱۷۰ اتم است. مولکول نشاسته و پروتئین هزارها و حتی میلیونها اتم دارد.

نیز به سبب آنکه مولکول ماده آلی درشت است و ساختمانی سست دارد در نتیجه تأثیر گرما، حتی گرمای بسیار ملایم، تجزیه می شود و خواصش را از دست می دهد نه آنکه ارتباطی با نیروی مرموز حیانی داشته باشد. این مطلب در دهه سال ۱۸۵۰ و بعد از آن یعنی هنگامی به ثبوت رسید که

شیمی دانها نه تنها توانستند نظیر موادی را که از بافتهای زنده به دست می آوردند عیناً بسازند بلکه هزارها ماده « درشت مولکول » دیگر مرکب از کربن و نئیدروژن و سایر عنصرها ساختند که در طبیعت وجود نداشته است. این مواد مصنوعی اگر چه هیچگاه جزء ماده زنده دیده نشده اند، ولی از نظر خواص بدانها مانند بودند، بدین معنی که قابل اشتعال ناپایدار و بهر جهت « آلی » بودند.

به تدریج با پایان یافتن قرن نوزدهم تفاوت میان ماده آلی و غیر آلی به عواملی شیمیایی محض بستگی پیدا کرد و دیگر به دور محور جاندار و بیجان دور نمی زد. از آنجا که ساختمان مولکولهای درشت مواد آلی، که از خصوصیات این دسته از مواد بود، به خواص مخصوص اتم کربن وابسته بود ساده ترین وجه تشخیص شیمی آلی از شیمی غیر آلی این بود که شیمی آلی با کربن و همه مولکولهای کربن دار سروکار دارد و حال آنکه شیمی غیر آلی سروکارش با سایر مواد است.

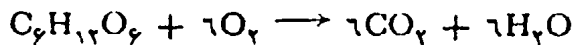
این تقسیم بندی ظاهراً دو دسته نامساوی از مواد را در برابر هم قرار می دهد و همین طور هم هست ولی اگر فقط به ظاهر آن اکتفا نشود چنین نخواهد بود. اتم کربن قابلیت دارد که می تواند با اتمهای کربن دیگر ترکیب شود و ترکیبات متنوع نامحدود به وجود آورد به طوری که مجموع مواد کربن دار شناخته شده خیلی بیشتر از مجموع موادی است که از ترکیب سایر عنصرها مرکبند و همه ساله این تفاوت افزایش می یابد.



با در نظر گرفتن ماهیت شیمیایی غذاها به صورتی که بیان شد، توانستند اندازه گیریهای کمی از تنفس به عمل آورند. مثلاً، لاوازیه که بزرگترین خدمتگر به علم شیمی این بود که مصرانه خواستار اندازه گیری دقیق باشد، نخستین کسی

بود که مقدار دقیق اکسیژن مصرف شده در تنفس و انیدرید کربنیک حاصل از آن را اندازه گرفت. اگر چه وی وسایل مخصوص این کار را فاقد بود و نمی توانست نتایج کاملاً دقیق به دست آورد معیناً اگر نتایج دقیق هم به دست می آورد کار دیگری جز ثبت کردن آنها نمی توانست انجام دهد.

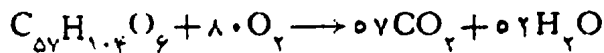
ولی پس از آنکه مطالبی درباره مولکولهای غذایی دانسته شد، از بین رفتن اکسیژن و به وجود آمدن انیدرید کربنیک به جای آن، مفهوم خاصی پیدا کرد. مثلاً گلوکز را به عنوان سوخت در نظر بگیریم. فرض کنید که این ماده را روی شعله بسوزانیم. معادله توازن این احتراق چنین خواهد بود:



از این معادله (که فقط پس از شناخته شدن ساختمان مولکولی گلوکز نوشته شده است) بد خوبی استنباط می شود که به ازای هر مولکول گرم گلوکز مصرف شده شش مولکول گرم اکسیژن به مصرف رسیده و شش مولکول گرم انیدرید کربنیک حاصل شده است. پس به ازای هر مولکول گرم گازی که از بین رفته یک مولکول گرم گاز دیگر به وجود آمده است. چون یک مولکول گرم همه گازها حجم برابر دارند، مثل آن است که بگوییم به ازای هر حجم از یک گاز که از بین می رود همان حجم از گاز دیگر به وجود می آید. یا بهتر بگوییم به ازای هر لیتر اکسیژن مصرف شده یک لیتر انیدرید کربنیک تولید می شود.

نسبت میان انیدرید کربنیک حاصل و اکسیژن مصرف شده نسبت $\frac{1}{1}$ یا واحد است. لاوازیه و سایر دانشمندان توجه خاصی به این نسبت در تنفس داشتند و روی این اصل مقدار آن را نسبت تنفسی^۱ یا مختصراً R.O. نامیدند. پس می توانیم بگوییم که نسبت تنفسی (R.Q) گلوکز (وعموم ئیدراتهای کربن) برابر واحد است.

نسبت تنفسی لیپیدها با نسبت تنفسی ئیدراتهای کربن تفاوت دارد. لیپید معروف ما دارای فرمول $C_{57}H_{104}O_6$ است و معادله متوازن احتراقش با اکسیژن چنین خواهد بود:



برای هر هشتاد مولکول گرم اکسیژن مصرف شده ۵۷ مولکول گرم انیدرید کربنیک به دست می آید. پس نسبت تنفسی لیپیدها در این مورد ۰.۸ یا ۰.۷۱۳ است. نسبت تنفسی پروتئینها حد واسط میان نسبت تنفسی لیپیدها و ئیدراتهای کربن است. مقدار تقریبی این نسبت در سه ماده فوق به قرار زیر است:

نسبت تنفسی ئیدراتهای کربن مساوی است با	۱.۰
« « پروتئینها	۰.۸
« « لیپیدها	۰.۷

اکنون باید دید که این استنتاجات شیمیایی محض تا چه حدی با پدیده حیات جور درمی آید؟ پاسخ این سؤال در سال ۱۸۴۹ یعنی هنگامی داده شد که دو شیمی دان فرانسوی هانری ویکتور رنولت^۱ و ژ. رایزت^۲ توانستند جعبه ای ترتیب دهند و حیوانی را درون آن نگهدارند و مقدار اکسیژنی را که در اختیار آن می گذاشتند اندازه بگیرند. نیز انیدرید کربنیک حاصل از تنفس حیوان را به وسیله بعضی از مواد شیمیایی جمع آوری و توزین کنند. رنولت و رایزت بدین طریق توانستند با محاسبات مخصوصی حجم اکسیژن مصرف شده در تنفس حیوان و انیدرید کربنیک حاصل از آن را تعیین کنند. به عبارت دیگر توانستند نسبت تنفسی حیوان را اندازه بگیرند و این آزمایش را در مورد همه نوع حیوانی از کرم خاکی گرفته تا سگ انجام دهند.

نتیجه‌ای که این دو محقق به دست آوردند این بود که نسبت تنفسی موجودات زنده بین دو حد ۷ر۰ و ۱ متغیر است. از این گذشته، این مقدار با نوع غذای مصرف شده تغییر می‌کند. وقتی که غذای شبانه روزی بیشتر از نیدراتهای کربن باشد نسبت تنفسی به واحد نزدیک می‌شود و وقتی که بیشتر آن از لیپید است به ۷ر۰ نزدیک می‌گردد.

در حدود بیست سال بعد شیمی‌دان آلمانی ماکس فن پتن کوفر^۱ و همکارش کارل فن ویت^۲ فیزیکیان، دستگاهی برای این کار ترتیب دادند که انسان را می‌توانستند در آن مورد مطالعه قرار دهند. نسبت تنفسی انسان نیز همان بود که در حیوانات پست به دست آمده بود. بدین معنی که به تناسب غذای مصرف شده همواره میان ۷ر۰ و واحد محدود بود. نسبت تنفسی وقتی که غذای مخلوط معمولی خورده می‌شود، یا وقتی که شخص مورد آزمایش در حال روزه باشد و از ذخایر نیدرات کربن و چربی بدنش مصرف کند در حدود ۸ر۰ می‌شود.

در اواسط قرن نوزدهم کاملاً روشن گردید که احتراق مواد آلی به‌طور کلی در بافت زنده و در خارج یکسان صورت می‌گیرد و این همانندی دست کم در نسبت میان انیدرید کربنیک حاصل و اکسیژن مصرف شده است و درست همان نسبتی است که بر اساس قوانین حاصل از مطالعه جهان بیجان برای واکنشهای شیمیایی پیشگویی شده است. پس بدن تابع قانون بقای ماده است به طوری که نه می‌تواند انیدرید کربنیک از هیچ خلق کند و نه ذره‌ای از آن را از میان ببرد.

اما وضع قانون بقای انرژی در ماده زنده معلوم نبود. این قانون در زمان رنولت و رایزت که تازه به آزمایشهای خود پرداخته بودند به تازگی مورد قبول واقع شده بود. آیا قانون بقای انرژی در مورد جاندار هم، مانند مواد بیجان، صادق است؟

فصل چهاردهم

سرعت بهبوده

به منظور مطالعه موازنه انرژی در موجودات زنده ، نخستین قدم آن است که مقدار انرژی شیمیایی حاصل از احتراق مواد غذایی را در شرایطی تعیین کنیم که حیات در آن نقشی نداشته باشد. ممکن است مواد غذایی گوناگون را در بمب کالوریمتری بسوزانند و گرمای حاصل از واکنش را اندازه بگیرند. ولی در این مورد تعیین گرمای واکنش مولکول گرم دچار اشکال خواهد شد زیرا مولکولهای بعضی از اجزای سازنده غذاها به قدری بزرگ است که گرمای واکنش يك مولکول گرم آنها بینهایت زیاد خواهد شد.

اگر فقط ساده ترین ماده غذایی را در نظر بگیریم ، معادله زیر را که متضمن گرمای واکنش يك مولکول گرم آن است ، می توانیم به صورت زیر بنویسیم (به فصل هشتم مراجعه شود) :



چنانکه می بینید ، با هزارها کیلوکالری سروکار خواهیم داشت . این مقدار

برای نشاسته و پروتئین که مولکولهای غول پیکر دارند با اشکال بیشتری مواجه می‌شود. یک مولکول گرم نشاسته یا پروتئین ممکن است در حدود چند صدکیلو گرم وزن داشته باشد و گرمای واکنش حاصل از سوختن چنین توده‌ای سر به میلیونها و حتی میلیاردها کیلوکالری بزند.

از این گذشته در اوایل قرن بیستم وسیلهٔ دقیقی برای تعیین وزن مولکولی این مولکولهای غول پیکر در دست نبود به طوری که اگر تعداد زیادی از محققان هم اشتیاق یافتن آن را داشتند نتیجهٔ قابلی عایدشان نمی‌گردید.

گرمای واکنش را می‌توان بنا بر مصلحت بر مبنای گرم اندازه گرفت. احتراق یک گرم نئیدرات کربن در بمب کالوریمتری ۱۷ کیلوکالری به وجود می‌آورد. چنانکه می‌بینید این مقدار نسبت به بعضی از سوخته‌هایی که در فصل هشتم اشاره کرده‌ام بسیار کم است. به منظور یادآوری، در جدول شماره ۴ گرمای واکنش بعضی از آن مواد را بر حسب گرم نشان داده‌ام.

جدول چهارم

گرمای واکنش بر حسب گرم

ماده	فرمول	گرمما بر حسب گرم
نئیدروژن	H_2	۳۴٫۲ کالری
متان	CH_4	۱۳٫۲
ذغال سنگ	C	۷٫۴
الکل اتیلیک	C_2H_6O	۷٫۱
گلوکز	$C_6H_{12}O_6$	۴٫۱

چنانکه در فصل هشتم اشاره کرده‌ام، نئیدروژن بر حسب گرم بیش از کربن گرما تولید می‌کند و نئیدروکربوری چون متان قاعدتاً گرمایی حد واسط آن دو

به وجود می آورد. علت این که الکل بر حسب گرم از کربن هم کمتر گرما تولید می کند، وجود اتم اکسیژن در مولکول آن است. در واقع می توان گفت که بخشی از مولکول الکل از پیش سوخته است و کمی انرژی آزاد باقی مانده تا در موقع احتراق از دست داده شود. به همین دلیل کلوکز (که آن را به عنوان یک ئیدرات کربن نمونه می توان به حساب آورد) با فرمول $C_6H_{12}O_6$ بیشتر از الکل از پیش سوخته است. یک چهارم اتمهای مولکول گلوکز اکسیژن است و حال آنکه اتم اکسیژن یک نهم مولکول الکل است. پس تعجبی نخواهد داشت اگر بر حسب گرم از الکل کمتر گرما تولید کند.

مسئله در مورد لیپیدها صورت دیگری دارد. مولکول لیپید، که تقریباً $\frac{1}{28}$ اتمهایش اکسیژن است، کمتر از ئیدرات کربن و حتی از الکل از پیش سوخته است. پس گرمای واکنش (به حسب گرم) حاصل از احتراق لیپیدها باید بیشتر از گرمای واکنش الکل ولی کمتر از گرمای واکنش متان باشد زیرا متان اساساً اکسیژن ندارد. آزمایش همواره نظر فوق را تأیید می کند زیرا گرمای واکنش حاصل از احتراق لیپید بر حسب گرم 9450 کیلو کالری است. پروتئید که در مولکولش اکسیژن کمتر از ئیدراتهای کربن و بیشتر از چربیها دارد پس از سوختن در کالوریمتر بر حسب گرم گرمای واکنش حد واسط میان آن دو یعنی 6500 کیلو کالری به وجود می آورد.

پس با سوزاندن غذاها آتش خوبی می توان افروخت. اکنون باید دید اگر غذا به عنوان سوخت به کار نرود ولی در بدن موجود زنده به مصرف برسد چه خواهد شد. بررسی یک موجود زنده بسیار مشکلتر از بررسی یک شعله است ولی به هر حال عملی است. تنها چیزی که لازم است کالوریمتری بزرگ برای جا دادن موجود زنده است. موجود زنده غذا می خورد و مدفوع از بدن خارج می سازد، اکسیژن

به درون خود می‌برد و انیدرید کربنیک بیرون می‌فرستد. اگر جزئیات خوردن و تنفس کردن با دقت تمام اندازه‌گیری شود می‌توان مقدار مواد غذایی را که در بافتها با اکسیژن ترکیب می‌شوند به بهترین صورتی محاسبه کرد. اگر گرمای حاصل در کالوریمتری هدایت شود، از روی مقدار گرمای شناخته شده می‌توان مقدار ترکیب مواد را با اکسیژن محاسبه کرد. اگر گرمای حاصل به وسیله موجود زنده اندازه‌گیری شود معلوم خواهد شد که بیشتر یا کمتر با برابر گرمایی است که از سوختن عادی تولید می‌گردد. بسته به این که نتیجه حاصل کدام یک از این سه باشد، می‌توان تعیین کرد که قوانین ترمودینامیک در مورد موجودات زنده نیز صادق است. آزمایشهایی از این قبیل برای اندازه‌گیری انرژی، نخستین بار به وسیله فیزیولوژیست آلمانی ماکس روبنر^۱ در دهه سال ۱۸۸۰، با دقتی تمام به عمل آمد. وی ابتدا مدفوع جانور مورد آزمایش را با دقت تجزیه کرد. حتی موقعی که به جانور غذاهای کاملاً قابل جذب می‌داد مقدار کمی از آنها بدون آنکه جذب شود در مدفوع وارد می‌گردید. پس برای محاسبه دقیق باید این مقدار غذای جذب نشده از غذای خورده شده کسر شود زیرا در تولید انرژی به کار نرفته است. به طوری که معلوم شد مقدار کمی ئیدرات کربن به مدفوع می‌رسد و حال آنکه مقدار چربی مدفوع از آن بیشتر است. با محاسبه مقدار ئیدرات کربن و چربی جذب نشده کالری حاصل از آنها به کیلوکالری برای هر گرم ئیدرات کربن و ۹ کیلوکالری برای هر گرم چربی تقلیل می‌یابد.

مسئله احتراق پروتئین با اشکال نوی مواجه شد. از احتراق ئیدرات کربن ولیپید انیدرید کربنیک و آب تولید می‌شود - خواه احتراق در کالوریمتر صورت گیرد، خواه در بدن، و حال آنکه در مورد پروتئین‌ها چنین نیست. ئیدروژن

و کربن مواد پروتئینی، اگر این ماده در کالوریمتر سوخته شود، به آب و انیدرید کربنیک تبدیل می‌گردد ولی نیتروژن موجود در آن را نیز باید به حساب آورد. نیتروژن به صورت مولکول (N_2) آزاد می‌شود. (اتمهایی چون گوگرد و سایر عناصرها نیز در بسیاری از مولکولهای پروتئینها هست، ولی مقدارشان به قدری کم است که می‌توان در این محاسبه صرف نظر کرد.)

ولی نیتروژن پروتئینها در بدن پستانداران به نیتروژن گازی تبدیل نمی‌شود بلکه به اوره (CH_4ON_2) تبدیل می‌گردد که ماده جامد محلولی است و در ادرار وارد می‌گردد. مولکول اوره اگر سوخته شود مقداری انرژی تولید خواهد کرد، بنابراین وقتی که مصرف نمی‌شود و به همان صورت دفع می‌گردد، انرژی کل حاصل از احتراق پروتئین را کاهش خواهد داد. پس باید آن را از مقدار کل انرژی تفریق کرد. پس از محاسبه کاهش از طریق دفع اوره، این نتیجه به دست آمد که انرژی حاصل از احتراق پروتئینها در بافتهای پستانداران درست برابر انرژی حاصل از احتراق ئیدرانهای کربن، یعنی ۴ کیلوکالری بر حسب گرم است.

انفاقاً تولید اوره از نیتروژن، چنانکه هم‌اکنون شرح خواهم داد، بسیار مفید از آب در آمد. مقدار کل ماده غذایی مصرف شده و «سوخته شده» در بافتهای بدن، در مدت معینی، از روی مقدار انیدرید کربنیک حاصل در همان مدت تعیین می‌شود ولی مقدار انرژی که بدین طریق حاصل می‌شود به نوع غذایی مصرف شده بستگی دارد. انیدرید کربنیک که از احتراق لیپیدها حاصل می‌شود انرژی بیشتری از مقدار انیدرید کربنیک حاصل از احتراق ئیدرات کربن نشان می‌دهد.

بنابراین روبرو به این نتیجه رسید که علاوه بر انیدرید کربنیک حاصل، اکسیژن مصرف شده را نیز باید به حساب آورد. از اینجا «نسبت تنفسی» به دست

می آید و از روی آن می توان گفت که بچه نسبتی چربی و ئیدرات کربن در بدن مصرف شده است. بدیهی است هر چه نسبت تنفسی بزرگتر باشد ئیدرات کربن بیشتری در بدن مصرف شده و بعد از ای هر لیتر اکسیژن مصرف شده، انرژی کمتری به وجود آمده است، و هر چه نسبت تنفسی کمتر باشد، لیپید بیشتری مصرف شده و بد از ای هر لیتر اکسیژن انرژی بیشتری تولید شده است.

ولی مسئله فوق هنگامی درست است که غذای مصرف شده در بافتها فقط شامل ئیدرات کربن و لیپید فرض شده و پروتئین در بافتها به مصرف نرسیده باشد، ولی این فرض درستی نیست زیرا پروتئین همواره در غذا هست و در حدود ده درصد ئیدراتهای کربن و چربیهاست. پس تا مقدار پروتئین مصرف شده معلوم نشود، نسبت تنفسی حاصل، به درستی مقدار انرژی مورد استفاده موجود زنده را نمی رساند.

فرض کنید که نسبت تنفسی ۸٫۰ است. اگر غذا منحصر آ از ئیدراتهای کربن و چربی مرکب باشد و نسبت آنها به هم چون نسبت ۲ برابر لیپید و یک برابر ئیدرات کربن باشد، تولید انرژی بر اساس بمب کالوریمتریك قریب ۷ کیلوکالری به از ای هر گرم خواهد شد.

اکنون فرض کنید که مخلوط مصرف شده شامل ۲ بخش لیپید و یک بخش ئیدرات کربن و یک بخش پروتئین باشد. نسبت تنفسی همچنان ۸٫۰ باقی خواهد ماند. (زیرا ۸٫۰ خود نسبت تنفسی پروتئین خالص است و افزایش پروتئین خالص به مخلوطی از ۲ بخش لیپید و یک بخش پروتئین نسبت تنفسی را تغییر نخواهد داد.) ولی تولید انرژی به وسیله این مخلوط در حدود ۶ کیلوکالری بر حسب گرم خواهد بود زیرا پروتئین از ئیدرات کربن و لیپید انرژی کمتری تولید می کند. اما تنها پروتئینها هستند که اوره تولید می کنند پس، از تجزیه ادرار

(بدعت دیگری از روبنر است) می‌توان مقدار پروتئین مصرف شده در بافتها را محاسبه کرد. روبنر با تعیین وزن غذایی که به حیوان مورد آزمایش خورانده بود و تجزیه مدفوع و ادرار و اندازه‌گیری اکسیژن مصرف شده و انیدرید کربنیک حاصل، توانست تعیین کند که در مدت معینی، چه مقدار از هر نوع ماده غذایی به مصرف رسیده است. قبلاً نیز از آزمایشهای انجام شده در بمب کالوریمتری، مقدار انرژی که این مواد می‌بایستی تولید کنند به دست آورده بود.

روبنر (و سایر محققان بعد از وی) پس از اندازه‌گیری مقدار گرمای حاصل از بدن جاندار، به نتیجه‌ای که انتظار داشتند رسیدند. یعنی جاندار پس از مصرف کردن غذا، به همان اندازه گرما تولید می‌کرد، که احتراق آن غذا در بمب کالوریمتری گرما به وجود می‌آورد، نه کم و نه بیش.

در پایان قرن نوزدهم به درستی معلوم شده بود که موجود زنده منبع سحر آسایی از انرژی ندارد و از دستگاهی، بیش از آنچه می‌تواند انرژی تولید کند، انرژی به دست نمی‌آورد. خلاصه آنکه قانون اول ترمودینامیک به همان اندازه در مورد سوسمار صادق بود که در مورد سنگ صدق می‌کرد.



معادل بودن کالریهای غذای مصرف شده و انرژی حاصل در بدن جاندار، این مفهوم را نمی‌رساند که مقدار هر دو، بر روی هم تغییر فراوان نکند. کالوریمترهای بزرگی ساختند که انسان در آن می‌توانست کارهای گوناگون چون ایستادن، نشستن، ماشین نویسی و مانند آنها انجام دهد. به روشهای غیر مستقیم توانستند انرژی حاصل در موقع دویدن و بالا رفتن از پله و دوچرخه سواری و اسب سواری و مانند آنها را اندازه بگیرند.

هنگامی که فعالیت بدنی تشدید می‌شود، تولید انرژی نیز افزایش می‌یابد.

و مقدار ئیدرات دو کربن و لیپیدی که باید مصرف شود نیز افزایش می‌یابد. تأمین مازاد یا با افزایش مواد غذایی صورت می‌گیرد یا از ذخایر بدن استفاده می‌شود در حالت اخیر وزن بدن کاهش می‌یابد.

مسئله کاهش یا افزایش وزن متضمن قانون بقای انرژی نیز هست. زیرا برای کاهش وزن باید کالری وارد به بدن کمتر از کالری خرج شده باشد به عبارت دیگر غذای کمتر خورده شود (رژیم گرفته شود) یا انرژی بیشتری تولید گردد (ورزش) یا هر دو توأمأ صورت گیرد. افزایش وزن درست به عکس آنچه گفته شد حاصل می‌گردد.

مقدار انرژی که خرج می‌شود حد اکثر و حد اقلی دارد. اگر برای رسیدن به بالای آپارتمانی سه پله یکی بکنیم یا با تمام قوت هیزم بشکنیم یا با همه نیرویی که داریم تنیس بازی کنیم، برای مدت کوتاهی انرژی تولید شده در هر دقیقه ممکن است به ۱۰ کالری برسد، ولی چنانکه می‌دانیم نمی‌توان آن را به مدت درازی ادامه داد.

از سوی دیگر با متوقف ساختن فعالیت‌های ارادی، انرژی حاصل را فقط تا حدود $\frac{1}{15}$ می‌توان تقلیل داد نه بیشتر. به هر صورتی که استراحت کنیم و در آسایش کامل به سربریم مقداری انرژی برای ضربان قلب و تنفس و فعالیت کبد و کلیه‌ها و غیره لازم است. این حد اقل انرژی خرج شده را می‌توان با مقدار انرژی مقایسه کرد که موتور اتومبیلی فقط برای متوقف ماندن نیازمند است. (بدیهی است در این مقایسه باید در نظر داشته باشیم که موتور اتومبیل می‌تواند خاموش شود و دوباره به کار افتد و حال آنکه «موتور» بدن آدمی به آسانی می‌تواند از حرکت بایستد ولی دوباره نمی‌تواند به کار افتد.)

طبیعی است که خرج انرژی بدن هنگامی به حد اقل می‌رسد که شخص

خواب باشد ولی اندازه گیری انرژی خرج شده در شخص خوابیده عملاً دشوار است زیرا خواب تغییراتی دربر دارد و ممکن است مثلاً خواب آشفته باشد و از این گذشته نمی توان به کسی گفت «راحت بخواب».

بهترین وضع آن است که شخص بیدار ولی کاملاً بی حرکت باشد. اگر چه خرج انرژی در بیداری در حدود ۱۰ درصد بیش از خواب است با همه این احوال اجباراً اندازه گیری در بیداری صورت می گیرد.

تغییرات شیمیایی انرژی زای بدن که انرژی حاصل از آنها اندازه گیری می شود، و نیز سایر تغییرات شیمیایی واقع در آن، را عموماً متابولیسم می نامند. این اصطلاح در سال ۱۸۳۹ به وسیله طبیعی دان آلمانی تئودور شوان^۱ معمول شد و از کلمات یونانی به معنی «به وضع دیگر در آوردن» و «تغییر» گرفته شده است. حداقل خرج انرژی باید با حداقل متابولیسم موازنه داشته باشد. حداقل خرج انرژی را «متابولیسم پایه»^۲ یا مختصراً BMR می نامند.

برای به دست آوردن مقدار متابولیسم پایه، شخص مورد آزمایش باید دراز بکشد (نشستن تنها، خود موجب مقداری خرج اضافی است زیرا ماهیچه-های تنه باید متقابلاً منقبض شوند تا بدن را در حال تعادل نگهدارند). نیز شخص مورد آزمایش باید حداقل ۱۲ ساعت قبل از آزمایش روزه باشد تا نیازی به خرج انرژی اضافی برای حفظ فرایند گوارش نباشد. اطاق آزمایش باید دمای معتدل (۱۸ با لباس سبک) داشته باشد تا مقداری انرژی خرج تولید گرمای اضافی (به شرط سرد بودن اطاق) یا تعریق (به شرط گرم بودن اطاق) نشود. شخص مورد آزمایش باید در کمال آسایش فکری باشد تا مقداری انرژی خرج تنش^۴

ماه‌یچده‌ای که همراه تنش فکری است نشود. بهترین راه تأمین آسایش شخص مورد آزمایش این است که مدت نیم ساعت در سکوت و آرامش دراز بکشد. (در این حالت با اندازه‌گیری اکسیژن مصرف شده و انیدرید کربنیک دفع شده و اوره ادرار، می‌توان به دقیق‌ترین صورتی متابولیسم پایه را تعیین کرد. ساده‌تر از این وقتی است که تأثیر مصرف پروتئین را در متابولیسم پایه نادیده بگیریم. از این ساده‌تر فقط اندازه‌گیری اکسیژن مصرف شده است که کسر تنفسی يك انسان روزه دار را ۸۲٫۰ نشان می‌دهد.

عدد تقریبی متابولیسم پایه در انسان متوسط قریب ۴۳ کیلوکالری در ساعت یا قریب ۱۰۰۰ کیلوکالری در روز است. این مقدار با تفاوت وزن شخص تغییر می‌کند زیرا وقتی که مقدار کل بافت زیادتر باشد انرژی بیشتری برای زنده نگاهداشتن آن توده بزرگتر لازم می‌شود. به این حساب در شخصی که ۱۱۵ کیلوگرم وزن دارد متابولیسم پایه ۶۸ کیلوکالری در ساعت و حال آنکه در شخص ۷۰ کیلوگرمی، چنانکه گفته شد ۴۳ کیلوکالری در ساعت و در پسر بچه‌ای که وزنش ۳۰ کیلوگرم است فقط ۲۰ کیلوکالری است.

اگر متابولیسم پایه به ازای هر کیلوگرم وزن بدن حساب شود تغییر حاصل کمتر خواهد بود چنانکه، خرج انرژی شخص ۱۱۵ کیلوگرمی ۵۹ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در هر ساعت می‌شود و حال آنکه در شخص ۷۰ کیلوگرمی ۶۱ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در هر ساعت می‌شود و در پسر بچه ۳۰ کیلوگرمی ۶۷ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم وزن در هر ساعت می‌شود. تعجبی ندارد زیرا در بدن پسر بچه که در حال رشد سریع است، فرایندهایی برای به وجود آمدن بافتهای نوسورت می‌گیرد که نیاز به انرژی دارند. (روبنر در سال ۱۸۸۳ به این نتیجه رسیده بود که اگر متابولیسم پایه، به

جای وزن بدن با سطح کل بدن مقایسه شود ، وضع ثابت تری به خود می گیرد . (تعیین متابولیسم پایه سایر پستانداران چیز غیر عادی نشان نمی دهد . پستانداران بزرگتر از انسان متابولیسم پایه بیشتر و پستانداران کوچکتر از انسان متابولیسم پایه کمتر دارند . اگر وزن را اساس مقایسه قرار دهیم ، هر چه وزن بیشتر باشد متابولیسم پایه بالنسبه کمتر خواهد شد درست بهمان نسبت که متابولیسم پایه يك نوجوان با يك انسان بالغ مقایسه شود .

مثلاً در حالی که متابولیسم پایه يك مرد کامل ۱۰۰۰ کیلو کالری در روز است ، متابولیسم پایه موش ۳ کیلو کالری در روز و از فیل ۵۰۰،۰۰۰ کالری در روز است . ولی هر کیلو گرم بدن موش ۱۵۸ کالری در روز مصرف می کند و حال آنکه يك کیلو گرم بدن انسان ۱۵ کالری و يك کیلو گرم بدن فیل ۱۰ کالری به مصرف می رساند .

غالباً تصور می کنند که حیوانات بزرگ بر روی هم نسبت به حیوانات کوچک عمر بیشتری دارند ولی جالب اینجاست که طول عمر با مقدار متابولیسم پایه نسبتی دارد . آیا کوتاه بودن عمر حیوانات کوچک به این جهت نیست که با سرعت بیشتری زندگی می کنند ؟

اشکال مسئله در این است که موارد استثنایی فراوان دارد و عده زیادی از حیوانات کوچک وجود دارند که عمری طولانی تر از حیوانات بزرگ دارند . مشهورترین استثنائات خود انسان است .

عمر انسان بیشتر از عمر میمونهای بزرگ انسان ریخت است . حتی انسان از گوزیل که درشت تر از اوست بیشتر عمر می کند . عمر انسان از عمر فیل هم بیشتر است . تاکنون جایی یادداشت نشده است که فیلی ، حتی با مراقبتهای کافی ، به سن هفتاد برسد و حال آنکه همه می دانیم نیمی از مردم نواحی پیشرفته جهان

تا هفتاد سالگی عمر می‌کنند و تعدادی نیز بیش از صد سال زنده می‌مانند. حتی وال، که تعیین طول عمرش دشوار است احتمالاً طول عمر انسان را ندارد زیرا بزرگترین والها در سه سالگی می‌توانند بچه آورد و طول عمر با سن بلوغ رابطه دارد. سن بلوغ وال را با سن انسان که در ۱۳ سالگی است مقایسه کنید.

تنها حیواناتی که طول عمری بیش از انسان دارند، لاکپشتان بزرگند. بعضی از این لاکپشتها تا ۲۰۰ سال زنده می‌مانند. کند بودن سرعت زندگی لاکپشتان مشهور است. هیچ حیوانی از نظر سرعت زندگی و تعداد سال عمر به پای انسان نمی‌رسد.



اگر تغییر مقدار متابولیسم پایه در شرایط مخصوصی در نظر گرفته نشود، چیزی جز آمار نخواهد بود. برای توضیح این مطالب لغت غده^۱ را مورد بررسی قرار می‌دهم.

کلمه غده از لغت لاتینی بلوط^۲ مشتق است و سابقاً به هر تکه مجزا از بافت بدن، مانند «غده‌های لنفی» گفته می‌شد. غده‌های لنفی اجسام کوچک بیضوی هستند که در مسیر بعضی از رگهای حامل لنف (یعنی مایعی که از مویرگها به بیرون از رگ تراوش می‌کند و سلولهای بدن را در میان می‌گیرد) قرار دارند. بلوط عموماً برای تشبیه اجسام کوچک به کار می‌رود زیرا جثه کوچک میوه بلوط در مقایسه با درخت عظیم الجثه بلوط همواره مورد توجه مردم بوده است.

رفته رفته این نام شامل اعضای بزرگتر، که برگ مانند و شبیه میوه بلوط نبودند نیز شد، در سال ۱۶۴۲ دانشمند آلمانی علم تشریح، یوهان ونورس و پرسونک^۳ مجرای پی‌دا کرد که از لوزالمعده تا قسمت ابتدایی روده کوچک ممتد بود. نیز

کشف کرد که لوزالمعده، مایعی (شیره لوزالمعده) در روده ترشح می‌کند. نتیجه‌ای که از این کشف عاید شد این بود که مردم هر عضوی را که کار اصلی اش ترشح شیره بود غده نامیدند. و روی این اصل هر عضوی که ترشح می‌کرد اگر چه بزرگ بود یا شکل بلوط نداشت نیز غده نامیده شد. مثلاً جگر که صفرا تولید می‌کند (و دو کیلو گرم در انسان وزن دارد) غده نامیده می‌شود. از سوی دیگر تکه‌هایی از بافت که شیره ترشح نمی‌کنند، اگر چه کوچک و بلوط مانند باشند، تحت نام غده نامیده نمی‌شوند. مانند عقده‌های لنفی^۱، که اسم غده ابتدا از آنها گرفته شده است ولی به نام غده نامیده نمی‌شوند. کلمه عقده^۲ از گره می‌آید زیرا برجستگی عقده شبیه گره‌هایی است که در مسیر رگهای لنفی نخ مانند قرار دارند. با همه این احوال نام غده همچنان باقی است، چنانکه وقتی عقده‌های لنفی بچه‌ای عفونی و متورم می‌شود (زیرا کارش دفاع بدن است) مادر و دکتر از «بزرگ شدن غده» سخن به میان می‌آورند.

طبیعی است غده‌هایی که شیره ترشح می‌کنند، مانند لوزالمعده و جگر، مجاری آشکاری دارند که شیره ترشحاتی از آنجا به جایی که باید ریخته شود می‌رسد. غده‌های دیگری از این قبیل غده‌های عرق و غده‌های شیر و غده‌های کوچک دیواره معده و روده و مانند آنها هستند.

در قرن نوزدهم غده‌های کوچکی شناخته شدند که مایع تولید می‌کردند ولی مجرای نداشتند بلکه آن مایع را مستقیماً در جریان خون می‌ریختند. اول بر سر اینکه به این اعضا نیز نام غده داده شود یا نه بحثها به میان آمد ولی سر انجام نظری که عاری از تعصب بود فائق شد. دانشمند آلمانی تشریح یوهان فریدریش مکل^۳ غده‌ها را به دو دسته تقسیم کرد. دسته‌ای که مجرای ترشحی داشتند و دسته دیگر که

فاقد آن بودند. این تقسیم بندی امروز نیز همچنان متداول است. « غده های بدون مجرای ترشحی »^۱ را غده های داخلی^۲ نیز می گویند زیرا ترشحات آنها درون بدن از آنها جدا می شود بدون آنکه در پوست یا لوله گوارش بریزد و از بدن خارج شود.

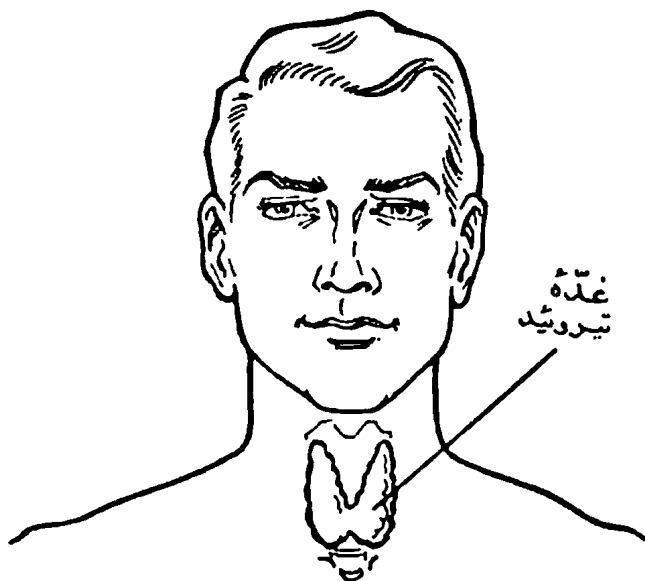
یکی از غده های داخلی، درست در زیر حنجره، نیمی از نای (یا خره) را می پوشاند (به تصویر ۲۱ مراجعه شود) حنجره از غضروف ساخته شده است و شکافی در جلو دارد که با انگشت می توانید آن را در گلو حس کنید. این شکاف شبیه شکاف سپری است که سر بازهای زمان هومر به کار می بردند. (شکاف سپر برای آن بود که در عین محافظت تن بتوانند از آن راه دشمن را نگاه کنند. کلمه یونانی مخصوصی برای این نوع سپر^۳ بوده است، از این رو غضروف حنجره غضروف تیروئید^۴ « یا سپر مانند » نامیده شده است). در سال ۱۶۴۶ پزشک انگلیسی تامس وارتن^۵ این نام را از غضروف به عضوی گوشتی که نزدیک آن بود داد. به طوری که امروزه به غده تیروئید موسوم است.

گاهی غده تیروئید بزرگ می شود و روی گردن برجستگی ایجاد می کند و حالتی به نام گواتر^۶ به وجود می آورد. در قدیم و در اوایل قرون وسطا گواتر را چیز خوش آیندی می پنداشتند و در نواحی از اروپا که گواتر شایع بود، برجستگی کم ناحیه گلو نشانه زیبایی زنان بود. در سال ۱۸۰۰ پزشکان خاطر نشان ساختند که گواتر گاهی با علائم مرضی سخت همراه است که مهمتر از همه، ولی نه خطرناکتر از انواع دیگر، برآمده شدن چشم از حدقه است.

نیز معلوم شد که گواتر کوچکتر از معمول خطر بیشتری دارد. در بعضی

Thyreoos — ۲ Separate Within & Endocrine Glands — ۲ Ductless Glands — ۱
 Goiter — ۶ مشتق از کلمه لاتینی « گلو » Thomas Wharton — ۵ Thyroid — ۲

از مناطق کوهستانی اروپا، حمقا و ناقص عقلمایی دیده می‌شوند که گرتن^۱ نامیده می‌شوند. این حالت با غده تیروئید رابطه دارد. در اواخر قرن نوزدهم متوجه شدند که برداشتن غده تیروئید حیوانات علائمی شبیه علائم گرتن‌ها در آنها به وجود می‌آورد ولی تزریق عصاره غده تیروئید له شده همه آنها را از بین می‌برد.



تصویر ۲۱. غده تیروئید

تا سال ۱۸۹۶ به درستی معلوم نبود که تیروئید چه تأثیری در بدن دارد. در این سال شیمی‌دان آلمانی اوسمن بومن^۲ عنصر ید را در تیروئید کشف کرد. مقدار ید موجود در تیروئید به قدری کم بود که این کشف به حساب نیامد. زیرا شیمی‌دانها و پزشکان آن زمان اطلاع نداشتند که امکان دارد عنصرهایی به مقدار کم در بدن موجود باشند^۳ و اهمیت حیاتی داشته باشند.

معهدنا در سال ۱۹۰۵ پزشک امریکایی دیویدماراین^۴ پس از آنکه مدتی در شرق امریکا بود به غرب نزدیک آنجا سفر کرد. موضوع جالبی که نظرش را به

خود جلب کرده این بوده که در کلیولاند^۱ گواتر در مردان (و نیز در حیوانات) بسیار شایع است و حال آنکه در شرق چین نیست . فکری که به مغزش راه یافته این بوده که علت وفور گواتر در آن ناحیه از کمی ید در خاک ، و در نتیجه در غذاهای گیاهی و بالاخره در حیوانات و انسان است ، و حال آنکه ساحل شرقی که در معرض تراوشات اقیانوس یددار است سرشار از ید است . اگر تیروئید برای درست کار کردن به ید احتیاج دارد ، شاید بزرگ شدنش برای جبران کمبود ید است و به خاطر این کمبود فعالیتش نیز کم است . و اگر در حالی که بزرگ است ید لازم را به دست آورد فعالیتش باید افزایش یابد .

ما این متوجه شدیم که اگر به حیوانات غذای بدون ید بخوراند آنها رامبتلا به گواتر می سازد و پس از افزودن ید به غذای آنها عارضه از میان می رود . وی برای مبارزه با گواتر افزودن مواد ید دار به آب مشروب شهر را آغاز کرد پس از آنکه مدتها در برابر مخالفت مردم مقاومت کرد در کار خود ، توفیق یافت . (درست مانند مقاومتی است که در حال حاضر برای افزودن مواد فلوئور- دار به آب مشروب می شود) . بدین طریق و با به کار بردن نمکی که به مقدار کم مواد یددار می افزودند (نمک یددار) ، خطر عوارض ناشی از گواتر در قسمتهای پیشرفته جهان کاهش فراوان حاصل کرد . طبق تخمینی که زده اند در حال حاضر ، که نیم قرن از مداوای به وسیله ید می گذرد ، در حدود ۲۰۰ میلیون افراد آدمی جهان به گواتر مبتلا هستند . از این عده ۳۰ میلیون در امریکای لاتین هستند . تعداد افرادی که در بعضی از نقاط ایالات متحده به گواتر مبتلا هستند در ایالات واشنگتون و اورگون قابل ملاحظه است .

در ایامی که اهمیت شیمیایی ید در کار تیروئید مورد مطالعه بود از مشاهدات

مرضی نیز چیزهایی دربارهٔ تیروئید دانسته شد. در سال ۱۸۹۵ پزشک آلمانی آ. ماکنوس لوی^۱ روش نو اندازه گیری متابولیسم پایه را در بیماریهای مختلف معمول کرد و در غالب موارد مقداری که به دست آورد طبیعی بود. تنها تغییری که در متابولیسم پایه مشاهده کرد در بیماران مبتلا به گواتر بود هنگامی که تیروئید بیش از حد معمول کار می کرد متابولیسم پایه خیلی زیادتر از معمول بود (هیپر-تیروئیدی)^۲ و هنگامی که کمتر از معمول فعالیت داشت متابولیسم پایه خیلی کمتر از حد طبیعی بود. (هیپوتیروئیدی)^۳.

از اینجا این فکر حاصل شد که تیروئید متابولیسم پایه را حفظ می کند و به اصطلاح نوعی ترموستات انرژی است. (اینکه تیروئید چگونه متابولیسم را کنترل می کند در حال حاضر نیز به خوبی روشن نیست). پس مورد استعمال متابولیسم پایه پیدا شد، و اندازه گیری آن دیگر صورت کنجاکاوی فیزیولوژیکی نداشت بلکه یکی از ابزارهای مهم تشخیص عوارض تیروئید شد. به کار بردن این ابزار چنان معمول شد که دولت هیپرتیروئیدی و هیپوتیروئیدی جزء لغتهای عادی درآمدند.

افراد هیپرتیروئید که متابولیسم پایه آنها در حدود ۱ درصد بیش از معمول است اشخاصی فعال، عصبانی و پرهیجان و بسیار عاطفی هستند، و حال آنکه افراد هیپوتیروئید که متابولیسم پایه ای کمتر از معمول دارند اشخاصی کودن و بیجانند. در نتیجه به کار بردن عصارهٔ غدهٔ تیروئید یا مواد ضد تیروئید فعالیت غدهٔ تیروئید را به دلخواه زیاد یا کم می کنند.



آزمایش متابولیسم پایه، پس از نیم قرن حکمفرمایی، به صورتی که در

صفحات قبل اشاره کردم ، چیز کهنه‌ای از آب در آمد . علتش این بود که در سال ۱۹۱۴ دانشمند امریکایی شیمی حیاتی ادوارد کالوین کندال^۱ از تیروئید ماده‌ای استخراج کرد که مولکول نسبتاً کوچک داشت و نامش رانیروکسین^۲ گذاشت . این ماده ، عامل فعال غده بود . در سال ۱۹۰۳ عامل فعال همه غده‌های داخلی به وسیله فیزیولوژیست انگلیسی ارنت هنری استارلینگ^۳ به نام اورمون^۴ نامیده شد . (این کلمه از لغت یونانی به معنی «تحریر کردن» مشتق شده است زیرا ترشحات غده‌های داخلی اثر محرک آشکاری بر روی اعضای مختلف بدن دارند) پس تیروکسین اورمون غده تیروئید بود .

مولکول تیروکسین از آنجهت غیر عادی است که دارای اتمهای ید است . در سال ۱۹۲۵ دو دانشمند انگلیسی شیمی حیاتی به نامهای جی . گروس^۵ و آر . وی . پیت ریورس^۶ ماده دیگری به نام تری یدو تیرونین^۷ در تیروئید یافتند که تفاوتش با تیروکسین در سه اتم ید اضافه بر چهار اتم موجود در تیروکسین بود . این ماده نیز خواص تیروکسین را داشت . تیروکسین و تری یدو تیرونین به خاطر اتمهای یدی که در بردارند ، و در جای دیگر بدن از آنها یافت نمی‌شود ، دارای چنین خواصی هستند .

فعالیت تیروئید موجب ترشح تیروکسین در جریان خون می‌شود . تیروکسین به بعضی از مواد پروتئینی موجود در پلاسما (بخش آبگون خون) متصل می‌شود . اگر بخش پروتئینی از آن جدا شود می‌توان مقدار ید آن را با تجزیه معلوم کرد . و از روی آن به مقدار اورمونی که تیروئید ترشح می‌کند پی‌برد (زیرا اورمون تنها منبع ید است) و از روی مقدار اورمون سطح فعالیت تیروئید را سنجید و

Ernst Henry Starling - ۳

Thyroxine - ۲

Edward Calvin Kendall - ۱

Tri-iodothyronine - ۷

R. V. Pitt - Rivers - ۶

J. Cross - ۵

Hormones - ۴

از روی آن متابولیسم پایه را تعیین کرد. بدین طریق برای تعیین متابولیسم پایه دیگر احتیاج به روزه گرفتن و يك ساعت دراز کشیدن و از لوله مخصوصی نفس کشیدن و اطباق مخصوصی و دستگاههای عریض و طویل فراهم آوردن نخواهد بود. همین قدر کافی است که مقدار کمی خون را بگیرند و مورد تجزیه قرار دهند. اشکال قضیه در اینجاست که تجربه ید خون عملاً بسیار دشوارتر از گفتن آن است زیرا باید مقدار گرم از آن را با دقت تمام تشخیص دهند. ولی در دهه سال ۱۹۵۰ به این کار توفیق یافتند.

برای تشخیص مقداری چنین ناچیز از ید، از یدیده کانالیزوری استفاده شد. وقتی که ید متصل به پروتئین را که به اختصار (PBI) نامیده می شود تجزیه کردند و ید در محلول جمع آوری شد، تشخیص مستقیم آن آسان می شود. برای این کار به محلولی که ید در آن هست ماده ای می افزایند که تحت تأثیر کانالیزوری ید واکنش کند. چون سرعت واکنش با تغییر بسیار کم ید دستخوش تغییر می شود، از روی سرعت واکنش مقدار ید را اندازه می گیرند.

جریان واکنش از روی تغییر رنگ معلوم می شود و به وسیله ابزارهای دقیق درجه تغییر رنگ اندازه گیری می شود. هر چه رنگ سریعتر تغییر کند، واکنش سریعتر است، پس مقدار ید بیشتر است و در نتیجه فعالیت غده تیروئید بیشتر است و مقدار متابولیسم پایه بیشتر می شود. روش بسیار کم زحمت ولی غیر مستقیم است.

فصل پانزدهم

کاتالیزورهای حیات

احتراق و تنفس را همانند دانستن و انسان را چون کانونی از آتش که اکسیژن بدان می‌رسد و انیدرید کربنیک از آن حاصل می‌گردد، به حساب آوردن کار خوبی است ولی نباید تفاوت‌های مهم میان موجود زنده و کانون آتش را از نظر دور داشت .

نخست آنکه کانون آتش فقط در يك جهت حرکت می‌کند . به عبارت دیگر چوب یا سوخت دیگری که در آن می‌سوزد به انیدرید کربنیک و آب تبدیل می‌شود و مقداری خاکستر بر جای می‌گذارد و نمی‌تواند سوخت خود را به وجود آورد . ولی بافت زنده که زندگیش به ئیدرات‌های کربن و لیپیدها و پروتئین‌ها وابسته است و از واکنشهایی همانند احتراق ، انرژی این مواد را به دست می‌آورد ، درعین حال ئیدرات‌های کربن و چربیهای نوآندوخته می‌کند و ، چنانکه در فصلهای آینده خواهیم گفت ، به جای پروتئین‌های کهنه ، پروتئین‌های نومی‌سازد . حتی اگر موجود زنده در حال رشد باشد بیش از مقداری که در بدنش مصرف می‌شود به ساختن این مولکولهای پیچیده دست می‌زند به طوری که مثلاً يك پسر بچه دهساله بیش از

پسر بچه هفت ساله از این مواد دارد و حال آنکه طی این سه سال همواره از آنها مصرف می کرده است .

ساخته شدن اجزای مولکولهای پیچیده بافت زنده (چنانکه بعداً خواهیم دید) متضمن افزایش انرژی آزاد است پس با کاهش انتروپی ملازمه دارد، و درست در جهت عکس راهی سیر می کند که ، طبق پیشگویی قوانین ترمودینامیک ، يك واکنش خود بخود می پیماید .

چنانکه در پایان فصل پنجم خاطر نشان ساختم، تفاوت میان جاندار و بیجان ممکن است این باشد که جاندار می تواند موجب کاهش انتروپی محلی شود . در آنجا تنها از کاهش انتروپی انرژی مکانیکی صحبت کردم (یعنی «کوشش کردن») و از قابلیت اختصاصی موجودات زنده که می توانند در خلاف جهت نیروی جاذبه به سوی بالا حرکت کنند ، نیز سخن به میان آوردم . چنانکه معلوم شده جاندار از جنبه انرژی شیمیایی نیز می تواند موجب کاهش انتروپی شود . بدین معنی که از مولکولهای ساده تر مولکولهای پیچیده تر می سازد و حال آنکه جهت واکنش خود به خود ، تبدیل شدن مولکولهای بزرگ به مولکولهای کوچک است .

اگرچه این موضوع بستگی میان حیات و کاهش انتروپی را تقویت می کند ولی هنوز وجه تشخیصی قانع کننده نیست ، زیرا چنانکه در فصل پنجم توضیح داده ام ، گرمای خورشید در حین تبخیر آب اقیانوسها و به حرکت در آوردن هوا موجب کاهش محلی انتروپی می شود . نیز نیروهای درونی زمین که کوهها را به وجود می آورند . انتروپی را کم می کنند ، و حال آنکه در هیچ يك از این دو فرایند حیات نقشی ایفا نمی کند .

درست است که کاهشهای انتروپی در عالم بیجان فقط شامل انرژی مکانیکی است ولی مواردی نیز هست که در آن انرژی شیمیایی کاهش می یابد . اگر

محلولهای دارای مولکولهای ساده راتحت تأثیر تشعشعات نور ماورای بنفش قرار دهیم، مولکولهای پیچیده تر در آن به وجود می آیند. قرائن موجود نشان می دهند که چنین ترکیبی به مقیاس بسیار بزرگ، هنگامی که زمین جوان بوده و هنوز جاننداری در اقیانوسها پیدا نشده بوده و اشعه ماورای بنفش خورشید میلیون ها سال همچنان به زمین می تابیده صورت گرفته است. در این مورد هم حیات نقشی ایفا نکرده است. واقع امر این است که کاهش اتروپی عالم بی جان در انرژی شیمیایی، خود یکی از وسایل مهم به وجود آمدن حیات بوده است.

بنابراین وجه تشخیصی که در پی آن هستیم هنوز ناکافی است.

ولی نباید دلسرد شویم بلکه می توانیم وجه تشخیص جاندار و بیجان را از طریق دیگری، که مانند تفاوت کانون آتش و بافت زنده آشکارتر است، پیدا کنیم. آتشی که مشتعل است گرمای زیاد دارد و حال آنکه بدن آدمی چنین نیست. بدن آدمی گرم هست ولی دمای متوسط بدن 37° است به طوری که قابل مقایسه با 700° یا بیشتر از آن که در شعله هست، نیست. (از این گذشته حیوانات خون سرد در دمای صفر درجه اکسیژن مصرف می کنند و انیدرید کربنیک به وجود می آورند).

چیزی که از این جریان استنباط می شود آن است که واکنشهایی شبیه احتراق در دماهای پایین نیز صورت پذیرند. دلیلی ندارد که آغاز احتراق سوخت بدن را از سوخت معمولی آتش، آسان تر به حساب آوریم، زیرا مواد غذایی گوناگون را اگر در دمای معمولی اطاق قرار دهیم (خارج از دسترس میکروبها) به مدت نامحدود بدون تغییر باقی خواهند ماند. این مواد غذایی بیش از آنچه در مورد ترکیب اکسیژن با چوب یا ذغال سنگ دیده می شود، با این گاز ترکیب نمی شوند، و حال آنکه ترکیب مواد غذایی و اکسیژن در بدن جاندار، با سهولت کامل در

گرمای ملایم صورت می‌پذیرد .

حل این مسئله ، در قرن نوزدهم با کشف کاتالیزورها ، و خواص آنها به روشی که در فصل ۱۲ بیان داشته‌ام ، صورت پذیرفته است . بدیهی است کاتالیزورهایی که مانند پلاتین و پالادیوم در آزمایشگاه موجب احتراق می‌شوند در بدن وجود ندارند ولی کاتالیزورهای دیگر باید قاعدتاً در آن وجود داشته باشند . سوالی که در اینجا مطرح است این است که آیا کاتالیزورهای بدن نیز مانند کاتالیزورهای عالم بیجان کورکورانۀ تابع قوانین ترمودینامیک هستند یا آنکه با حیات و «نیروی حیاتی» وابسته‌اند و مافوق ترمودینامیک هستند ؟

شیمی دانهای قرن نوزدهم این مسئله را حل کردند و در این کار مدیون بعضی از واکنشهایی هستند که از ماقبل تاریخ شناخته شده بودند ولی چون «نیروی حیاتی» (مدنی) رواج داشته‌آن واکنشها در پس پرده باقی مانده‌اند .



آب میوه یا خیساندهٔ دانه‌ها ، اگر به حال خود رها گردد تغییرات گوناگون متحمل می‌شود . اگر چه بعضی از این تغییرات دلخواه نیستند ولی ، چنانکه انسان ماقبل تاریخ کشف کرده ، آشامیدن مایع حاصل از بعضی از این تغییرات ، حالت نشاط و گرمی به شخص می‌دهد . سرانجام انسان به این کشف نایل آمد که برای تهیهٔ مایع نشاط‌آور لازم نیست که آب میوه به حال خود رها شود تا بر حسب تصادف تغییر مساعد بکند بلکه کافی است مقدار کمی از مایع قبلی را به آب میوه تازه بیفزایند تا آن تغییر تسریع شود .

به همین طریق خمیری که برای تهیهٔ نان آماده می‌شد گاهی متحمل تغییری می‌گشت که از آن انیدرید کربنیک برمی‌خاست . جابجایی کوچک گازی که در خمیر باقی می‌ماندند آن را به نانی سبک و ترد تبدیل می‌کردند که با نان سفت

حاصل از خمیر عادی تفاوت بسیار داشت . نیز افزودن کمی از خمیرور آمده به خمیر تازه آن را به صورت دلخواه تغییر می داد .

ماده ای را که موجب این تغییرات می شد «مخمر» نامیدند. این کلمه از کلمه سانسکریتی به معنی «جوشان» مشتق شده است . وجه تسمیه آن هم این است که خروج گاز در تهیه شراب و نان ، آنها را در حال جوشیدن بدون حرارت نشان می دهد. نام دیگری که (در کتاب مقدس) بدان داده شده خمیر مایه^۲ است که از کلمه لاتینی به معنی «ور آمدن» مشتق شده است و علت انتخاب چنین نام هم این است که خمیر ورمی آید .

فرایند ور آمدن خمیر و تبدیل آب میوه به شراب و خیسانده دانه به آبجو، در اوایل عصر جدید ، تخمیر^۳ نامیده شد . این کلمه مشتق از لغت لاتینی به معنی «جوشیدن» است .

کار مخمر ، به نظر شیمی دان های قرن نوزدهم بسیار شبیه کار کاتالیزور بود. از این گذشته با کاتالیزورهای آزمایشگاهی این تفاوت را داشت که خواص ماده آلی را دارا بود . نیز موجب تغییر موادی می شد (نشاسته دانه و قند آب میوه) که در بافت زنده وجود داشت . اگر نوعی کاتالیزور در ماده زنده موجود باشد ، قاعدتاً باید به مخمر شبیه باشد نه به پلاتین .

ولی مخمر فقط کاتالیزور به نظر نمی آمد بلکه از جهاتی شبیه جاندار بود. نیز مانند کاتالیزورهای معمولی دست نخورده باقی نمی ماند بلکه در حین واکنش زیاد می شد . اپوستل پاول^۴ در نخستین نامه اش به کورینتیانس^۵ چنین نوشته بود «مگر نمی دانید که کمی خمیر مایه همه خمیر را ورمی آورد؟»

مسلم است که این يك ضرب المثل آن زمان بود .
 همین طور است زیرا وقتی که همه خمیر ور آمد ، تکه کوچکی از آن کافی
 است که موجب ور آمدن همه خمیر دیگر شود و بر این قیاس .
 با وجود این ، گفتن این که مخمر موجود زنده است آسان نبود . زیرا
 مفهوم موجودات زنده نامرئی (چون فرشته و شیطان و پری و مانند اینها) در
 میان عوام شایع بود ولی تصور وجود موجوداتی غیر مرموز ، که فقط از نظر کوچک
 بودن به چشم نمی آمدند ، بسیار دشوار می نمود .

ولی در قرن هفدهم میکروسکوپ ، اختراع شد و نخستین متخصص آن
 انتونوان لیوون هوک^۱ بازرگان هلندی ، وجود « حیوانات کوچک » گوناگونی را
 اعلام داشت . این حیوانات که تك سلولی بودند ، اکنون به آغازیان^۲ معروفند اگر چه
 حدود يك میلیمتر درازی داشتند ولی مانند شما و من زنده بودند و فعالیت داشتند .
 این کشف در جهان علم هیجانی به وجود آورد و این بازرگان خارجی به سمت عضو
 اختصاصی گروه دانشمندان انجمن شاهنشاهی لندن برگزیده شد .

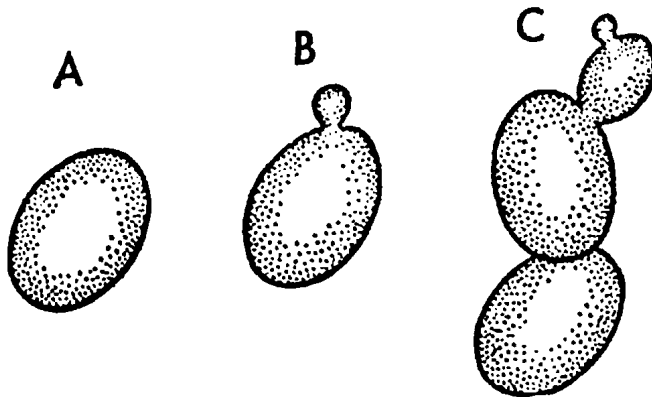
لیوون هوک (که هر چیزی را که در دسترس می یافت با ذربین های عالی
 ساخته خود با حوصله کافی تحت مطالعه قرار می داد) در سال ۱۶۸۰ مخمر را در
 زیر میکروسکوپ قرار داد و آن را به صورت کرات کوچک یافت . گرچه به وجود
 موجودات زنده میکروسکوپی پی برده شده بود ولی موجودات کره مانندی که
 مخمر بودند حرکت نمی کردند و هیچگونه علائم حیاتی ، که در آغازیان شناور
 دیده می شد ، نشان نمی دادند .

در سال ۱۸۳۷ فیزیکدان فرانسوی شارل کانیا ردولاتور^۳ در حالی که مخمر را

۱- Protozoa مشتق از کلمه یونانی « اولین حیوانات »

۱- Anton Van Leeuwenhoek
 ۲- Charles Cagnard De La Tour

در زیر میکروسکوپ مطالعه می‌کرد (میکروسکوپ وی از عدسی‌های ساده وان لیوون هوك ، کاملتر بود) متوجه شد بعضی از مخمرها جوانه زده‌اند (تصویر ۲۲) . این تولید مثل بود و تولید مثل هم از خواص جاندار است . مخمر به عنوان موجود زنده ، تك سلولی شناخته شد ولی به سلسله گیاهان نزدیک تر بود تا به سلسله



تصویر ۲۲ . سه مرحله از جوانه زدن مخمر

حیوانات زیرا قوه نامیه داشت و بی حرکت بود .

در دهه‌های ۱۸۵۰ و ۱۸۶۰ شیمی دان فرانسوی لوئی پاستور طی يك سلسله تحقیقات کلاسیک خود نشان داد که تخمیر محصول فعالیت موجودات زنده میکروسکوپی است و تولید محصولات نامطلوب چون شراب ترش ، نتیجه دخالت نژادهایی از مخمر است که با نژاد مخصوص تولید شراب خوب تفاوت دارد . نیز فساد و کندیدگی گوشت و باقی مانده‌های موجودات زنده ، پس از مرگ (اگر چه پیشینیان وی نشان داده بودند ولی نه به صورتی قاطع) فعالیت حیاتی موجودات زنده میکروسکوپی است .

خلاصه آنکه در حین مطالعه برای یافتن کاتالیزورهای آلی ، جانداران زنده کشف کردند . این مسئله بار دیگر به پیروان نظریه « نیروی حیاتی » ، که

در نتیجه ساخته شدن ماده‌ای آلی به وسیلهٔ وهلر، ضربهٔ سختی خورده بودند، نیرو بخشید.

اگرچه این عده دیگر نمی‌توانستند موقعیت قدیمی خود را دربارهٔ تفاوت مواد آلی از غیر آلی بر اساس «نیروی حیاتی» حفظ کنند، بهر حال وسیلهٔ دیگری برای دفاع از نظر خود به دست آوردند. این دسته ناگزیر شدند که قبول کنند، شیمی‌دانها، بدون دخالت حیات، در صورتی موفق به ساختن مواد آلی از مواد غیر آلی می‌شوند که راههای خاصی را دنبال کنند مثلاً باید از دمای زیاد و فشار بسیار و مواد شیمیایی قوی یا کاتالیزورهایی که در بافت زنده نیستند کمک بگیرند. و حال آنکه جاندار حتی پیچیده‌ترین مواد آلی را در دما و فشار عادی با ملایم‌ترین مواد شیمیایی می‌سازد.



راه دیگری برای شناختن ماهیت کاتالیزورهای حیاتی پیدا شد. فرایندی که بعد از مبادلهٔ گازهای اکسیژن و انیدرید کربنیک در تنفس، با حیات وابستگی داشت و به آسانی تحقیق شدنی بود، گوارش غذا بود.

دلیل آن این است که بدن شکل مخصوصی دارد که دستگاه گوارش آن از دو سمت به خارج راه دارد. يك طرف آن دهان و طرف دیگرش مخرج است. چیزی که در دستگاه گوارش هست داخل بدن نیست بلکه در واقع در خارج آن هست. مفهوم عملی گفته بالا این است که می‌توان محتویات معدهٔ شخصی را بیرون کشید بدون آنکه آسیبی بدو برسد.

سال ۱۷۵۲ بود که رنومور^۱، کسی که مقیاس دمای رنومور بدان منتسب است، فرایند گوارش را در يك قوش مورد تحقیق قرار داد. وی می‌خواست کشف کند

که غذا در معده فقط آسیا می شود و به صورت خمیر درمی آید یا آنکه تغییر اساسی متحمل می شود. لوله های فازی کوچکی که تکه های گوشت در آنها داخل کرده بود به قوش خورانید. لوله فازی مانع می شد که گوشت در معده آسیا شود. چون دوسر لوله ها با توری فلزی مسدود شده بود، شیرۀ معده می توانست داخل آنها گردد. وقتی که قوش لوله ها را استفراغ کرد، (این گوند پرنده گان طعمۀ خود را یکپارچه می بلعند، سپس مواد غیر قابل هضم را فی می کنند) رنومور متوجه شد که گوشت حل شده است بدون آنکه آسیا شود و مایع روشنی در لوله ها هست. ضمناً هیچ گونه بوی گندیدگی و فساد استشمام نمی شود. وی به این فکر افتاد که واکنش شیمیایی دیگری غیر از گندیدگی صورت گرفته و در واقع نوعی تخمیر انجام شده است.

دهها سال بعد محققان خاطر نشان ساختند که شیرۀ معده اسیدی است. در سال ۱۸۲۴ و بلیام پروت نشان داد که اسید شیرۀ معده اسید کلریدریک است. چون در آن ایام اسید را می شناختند و می دانستند که کاتالیزور خوبی برای تجزیه موادی چون نشاسته و پروتئین به مولکولهای کوچکتر است، به این نتیجه رسیدند که پاسخ مسئله گوارش در وجود اسید است. پس اسید کاتالیزور گوارش معدی است. ولی با ادامه تحقیقات درباره شیرۀ معده، موادی از آن استخراج کردند که اگر گوشت را در محلول آنها می ریختند حل می شد بدون آنکه اسید دخالتی در این کار داشته باشد. طبیعی دان آلمانی تئودور شوان در سال ۱۸۳۵ پودری از شیرۀ معده به دست آورد که اسید نبود ولی در تجزیه گوشت بسیار مؤثر بود. این ماده را پپسین^۱ نامید.

چیزی غیر عادی در میان بود زیرا پپسین در عین حال که کاتالیزور بود،

۱- Pepsin مشتق از کلمۀ یونانی «هضم»

کلاً مادهٔ آلی به نظر می‌رسید. نام این گونه کاتالیزورهای آلی را « مخمر » گذاشتند، زیرا هم تخمیر و هم هضم که وابسته به حیات بودند، یک نوع فرایند به حساب می‌آمدند.

در همین ایام دوشیمی‌دان فرانسوی آنسلم پین^۱ و ژ. اف پرسز^۲ نظیر همین عمل را با عصارهٔ مالت (خیساندهٔ جو) انجام دادند. و در سال ۱۸۳۳ مخمری به دست آوردند که نشاسته را به قندی به نام مالتوز تبدیل می‌کرد. این ماده را دیاستاز^۳ نامیدند.

(پین در نامهایی که انتخاب می‌کرد موفق بود زیرا اصطلاح سلولاز، با پسوند اوز (OSE) را برای ئیدرانه‌های کربن مناسب ساخته بود. و اصطلاح «دیاستاز» با پسوند «آز» را برای مخمرها. مدت‌ها بعد به مخمرهای هضمی نامهایی دادند که پسوند این (IN) داشت مانند پپسین.)

جدا ساختن مخمرهای مختلف همچنان ادامه یافت. شیمی‌دان آلمانی یوستوس فون لی بیگ^۴ به همراه وهلر، عصاره‌ای از بادام تلخ را مورد مطالعه قرار داد که قبلاً آن را موجب تجزیهٔ ماده‌ای گیاهی به نام آمیگدالین می‌شناختند. این دو دانشمند در سال ۱۸۳۷ مخمری در آن عصاره شناختند که نامش را امولسین^۵ گذاشتند. سپس شیمی‌دان فرانسوی اوگوست پیر دو برونفت^۶ از مخمر، عصاره‌ای به دست آورد که قند ساکارز را به قندهای ساده یعنی به گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌کرد و نام آن را انورتاز^۷ گذاشت.

از این گذشته کار این مخمرها با قوانین ترمودینامیک منافات نداشت زیرا عیناً چون کاتالیزورهای معمولی عمل می‌کردند. مخمرها سرعت واکنشها را تغییر

۱- Anselm Payen ۲- J. F. Persoz ۳- Diastase ۴- Justus Von Liebig
۵- Emulsin ۶- August Pierre Dubrunfaut ۷- Invertase

می‌دادند و وضع نقطه تعادل را به هم نمی‌زدند (به فصل نهم مراجعه شود) بنابراین بدن از این نظر نیز قدرت خاصی بامقایسه به آنچه در عالم بیجان صورت می‌گرفت نشان نمی‌داد.

این کشفیات نظریه نیروی حیاتی را متزلزل ساخت ولی آن را بدکلی و ازگون نکرد. مخمرهایی که به دست آمده بودند ماده آلی بودند ولی تنها واکنشهایی را تسریع می‌کردند که از نوع واکنشهای هضمی بودند و چون تجزیه‌های هضمی در خارج از بافت زنده بدن صورت می‌گرفت نمی‌توانست، فرایند واقعی حیاتی به حساب آید.

به نظر معتقدان به نیروی حیاتی مخمرهای شناخته شده نمی‌توانستند واکنشهایی را که درون بافتهای زنده صورت می‌گرفتند تسریع کنند. مثلاً مخمرها نمی‌توانستند قند را به الکل تبدیل کنند. تبدیل قند به الکل تنها به وسیله مخمر زنده صورت می‌گرفت و روابط انرژی درون سلول همچنان مجهول باقی مانده بود. اینان برای تأیید نظریه خود، مخمرها را به دو دسته تقسیم کردند: مخمرهای مخصوص فرایندهای حیاتی و مخمرهای دیگر. دسته اول را مخمرهای متشکل^۱ و دسته دوم، را که مانند پپسین یا انورتاز بودند مخمرهای غیرمتشکل^۲ نامیدند.

در سال ۱۸۷۶ فیزیولوژیست آلمانی ویلهلم کونه^۳ قدمی فراتر نهاد. وی پیشنهاد کرد که اصطلاح «مخمر» فقط مخصوص فرایندهای حیاتی باشد و مخمرهای غیر متشکل را که در بیرون ماده زنده اثر می‌کردند آنزیم^۴ نامید زیرا از مخمرها به دست می‌آمدند.

وضع معتقدان به نظریه نیروی حیاتی در سرتاسر قرن نوزدهم تا حدی

Wilhelm Kuhne — ۲

Unorganizeo Ferments — ۲

Organized Ferments — ۱

— ۴ Enzymes مشتق از کلمه یونانی به معنی «مخمر»

مستحکم بود. ضمناً نظریه آنها متمم این نکته نیز بود که خصوصیات نیروی حیاتی تابع قوانین دیگر، غیر از قوانینی هستند که از مطالعه عالم بیجان به دست آمده‌اند.

در سال ۱۸۹۷ بود که شیمی‌دان آلمانی ادوارد بروخنر^۱ در پی آن بود که عصاره کامل مخمر را با حداقل آسیب وارد بدان به دست آورد. برای این کار مخمرها را با ماسه کاملاً آسیا کرد و مایع حاصل را از صافی عبور داد. با این عمل شیره زلالی از مخمر حاصل شد که هیچ گونه سلول زنده در آن نبود.

به نظر معتقدان به نیروی حیاتی این شیره مرده بود و نمی‌توانست قند را تخمیر کند. ولی بروخنر به منظور حفظ شیره از تأثیر میکروبها محلول غلیظ ساکارز بدان افزود. با کمال تعجب مشاهده کرد که قند افزوده شده شروع کرده است به تخمیر شدن. حبابهای انیدرید کربنیک ظاهر شدند و الکل نیز به وجود آمد. این فرایند تخمیر که از خصوصیات حیاتی به حساب می‌آید به وسیله ماده شیمیایی مرده‌ای صورت گرفت و وضع معتقدان به نظریه نیروی حیاتی را بدکلی متزلزل ساخت به طوری که دیگر نتوانستند به هیچ صورتی دوام بیاورند. پس «مخمرهای متشکل» از نظر انرژی عیناً مخمرهای غیر متشکل عمل می‌کردند. بنابراین قوانین ترمودینامیک که در بیرون سلول زنده جاری بودند در داخل آن هم جریان داشتند. دیگر راه برگشت وجود نداشت.

مخمرها از فعالیت‌های ماده زنده نتیجه می‌شدند ولی خود زنده نبودند و عمل آنها به حیات بستگی نداشت. از این زمان به بعد اصطلاح آنزیم به همه مخمرهای داخل و خارج سلول اعم از متشکل و غیر متشکل اطلاق شد و اصطلاح مخمر به طور کلی از کتب لغت علمی خارج گردید.



دادن نام آنزیم به کاتالیزور وابسته به حیات ، موجب حل مسئله نشد . زیرا تعیین يك نام مسئله‌ای را توجیه نمی‌کند .

آنچه که فکر دانشمندان شیمی حیاتی را در پایان قرن نوزدهم به خود مشغول داشته مسئله ماهیت شیمیایی آنزیمها بود . واکنشی که به وسیله کاتالیزور تسریع می‌شود ، مقدار کاتالیزور آن بسیار کم است . (بنا بر آنچه از تجزیه کاتالیزورهای غیر آلی به دست آمده بود) به طوری که عصاره‌های حاوی آنزیم ممکن بود واکنشی را به مقدار زیاد تسریع کنند ولی آنزیم محتوی در آن آنقدر کم باشد که برای مطالعه کافی نباشد . واقعیت امر نیز چیزی جز این نبود . از این گذشته در عصاره‌های حاصل از بافتهای زنده گاهی مواد گوناگونی دیده می‌شود که اگر بخواهیم تعیین کنیم که کدامیک از آنها آنزیم است صبر ایوب و عقل سلیمان لازم است .

راهی را که برای این کار آغاز کردند راهی غیر مستقیم بود . بدین معنی که اگر واکنشی صورت می‌پذیرفت پس آنزیمش موجود بود و اگر واکنشی صورت نمی‌پذیرفت پس آنزیمش موجود نبود . هر وضعی که واکنشی را متوقف سازد ، به شرطی که هیچگونه تغییری در مواد شیمیایی مورد عمل نشان ندهد ، پس آنزیم را غیر فعال ساخته است .

مثلاً حرارت ملایم دردمایی که اندکی از نقطه جوش آب کمتر باشد معمولاً پس از چند دقیقه موجب توقف واکنشی می‌شود که آنزیمی در آن دست اندرکار است . در این جریان موادی که روی هم اثر می‌کردند تغییری متحمل نشدند زیرا اگر پس از گرم کردن آنها را بار دیگر سرد کنند و سپس آنزیم اثر دهند واکنش آغاز خواهد شد ولی اگر محلول آنزیم‌دار ابتدا گرم شده و سپس سرد

گردد واکنشی آغاز نمی‌شود. پس گرما با مولکول آنزیم سر و کار دارد و این مولکول حداقل آنقدر شکننده است که در برابر گرما نمی‌تواند مقاومت کند. فقط يك نوع مولکول شناخته شده بود که در برابر گرما حساسیت داشت و آن مولکول پروتئین بود. آیا ممکن است که آنزیم پروتئین باشد؟ قرائنی که بر له این نظر بودند رفته رفته افزایش یافتند. عوامل دیگر محیط، غیر از گرما، (مانند حالت اسیدی قوی یا تکان دادن محلول) که مولکولهای پیچیده پروتئین را متلاشی می‌کنند نیز مانع کار آنزیمها می‌شوند. موادی که با پروتئینها ترکیب می‌شوند واکنشهای آنزیمی را نیز متوقف می‌سازند. آنزیمهایی که پروتئینها را تجزیه می‌کنند، موجب توقف واکنش آنزیمی نیز می‌گردند. بر اساس این گونه قرائن غیر مستقیم بود که در اوایل قرن بیستم آنزیمها را پروتئین شناختند. این نظر در حدود سال ۱۹۲۰ بر اساس قرائنی که شیمی‌دان آلمانی ریچارد ویل اشتتر^۱ به دست آورده بود، تضعیف شد. وی محلولهای آنزیمی را تصفیه کرد و تا آنجا که ممکن بود آنها را از سایر مواد جدا ساخت. و سرانجام مابعدزالالی به دست آورد که فعالیت کاتالیزوری فراوان داشت (بنابر این محتوی آنزیم بود) ولی ظاهراً پروتئین نداشت. همه نوع آزمایش شیمیایی برای تشخیص پروتئینها را به کار برد ولی جواب همه آزمایشها منفی بود، یعنی پروتئین وجود نداشت. اگر چه ممکن بود که آنزیم پروتئین باشد ولی آزمایشهای تشخیص پروتئین در آن زمان حساسیت چندانی نداشته باشند و کمی مقدار آنزیم نیز علت عدم تشخیص این ماده بوده باشد. ولی ویل اشتتر چنین فکری به مغزش راه نیافت (اگر چه بعداً معلوم شد که فکر درستی است). نتیجه‌ای که ویل اشتتر گرفت این بود که مولکول آنزیم هر چه باشد، پروتئین نیست. چون وی شیمی‌دان

مشهوری بود و به اخذ جایزه نوبل نیز نایل آمده بود، نظرش اثر بسیاری در محافل علمی داشت. نظر ویل اشتتر تا ده سال بعد همچنان مورد قبول واقع بود. در این ایام دانشمند امریکایی شیمی حیاتی به نام جمز بچلورسمنر^۱ که باگرد نوعی باقلا^۲ آزمایش می کرد توانست محلولی از آن به دست آورد که اوره را به آمونیاک و انیدرید کربنیک تجزیه می کرد. نام این آنزیم را اوره آز^۳ گذاشت. سمنر از محلول اوره آز بلورهای کوچکی به دست آورد که پس از جدا کردن آنها از محلول و حل کردن در آب خاصیت اوره آز را به صورتی شدید داشت (و این مسئله موجب کمال تعجب وی بود).

سمنر هر چه کوشش به عمل آورد تا خاصیت کاتالیزوری را از بلورها جدا سازد موفق نشد، فقط هنگامی فعالیت بلورها از دست می رفت که عاملی آنها را خراب کند یا بدانها آسیب وارد سازد. سرانجام سمنر به این نتیجه رسید که خود آنزیم است که صورت بلور دارد. و از آنجا که بلورها پروتئین از آب در آمدند پس دست کم اوره آز یک پروتئین بود.

کشف سمنر به جهت شهرتی که ویل اشتتر داشت انتشارچندانی نیافت ولی در سال ۱۹۳۰ دانشمند امریکایی دیگری در شیمی حیاتی به نام جان هوارد نورثروپ^۴ اعلام داشت که با کمک همکارانش چندین نوع آنزیم، از آن جمله پپسین را به صورت بلور به دست آورده است. به دنبال آن آنزیمهای بسیار دیگری را به حالت بلور تهیه کردند و در همه مه ارد ماهیت آنها پروتئین بود.

سرانجام ثنوری ویل اشتتر در برابر فشارقرائن موجود از هم پاشید به طوری که در سال ۱۹۳۰ پروتئین بودن ماهیت آنزیم کاملاً مسلم شد. اکنون می توان با خاطری آسوده آنزیم را تعریف کرد و آن را « پروتئینهای کاتالیزور » یا « کاتالیزورهای پروتئینی » نامید.

فصل شانزدهم

اجزای ساختمانی پروتئین‌ها

در پرتو آنچه از فصل پیش دانسته شد، می‌توان باردیگر برای یافتن وجه تشخیص جاندار و بیجان، یعنی سوسمار و سنگ، کوششی به عمل آورد. فرض کنیم تعریف جاندار چنین باشد:

موجود زنده موجودی است که به وسیله واکنشهای شیمیایی آنزیمی، انرژی را موضعی و به طور موقت کاهش می‌دهد.

اینکه گفته شد به طور موقت، مقصود این است که سوسمار اگر چه همه نیازمندبهایش تأمین شوند جز چند سالی زنده باقی نماند. تعداد حیواناتی که ظاهراً عمرشان به یک قرن می‌رسد (انسان و بعضی از لاکپشته‌ها) و تعداد گیاهانی که عمرشان به هزار سال برسد (بعضی از درختان) بسیار محدود است و حال آنکه موجود غیر زنده‌ای چون سنگ می‌تواند حتی میلیاردها سال، یا به عبارت دیگر به مدت نامحدودی بدون تغییر باقی ماند.

اینکه گفته شد موضعی مقصود آن است که کاهش انرژی به خلاف قوانین ترمودینامیک یک پدیده کلی نیست بلکه به طفیل افزایش انرژی در جای دیگر.

دستگاهی صورت می‌گیرد که موجود زنده جزئی از آن است .

و اینکه گفته شد واکنشهای شیمیایی آنزیمی ، در واقع جان کلام است ، و همین است که موجود زنده را از همه دستگاههای دیگر متمایز می‌سازد ، زیرا کاهش موضعی انرژی موجودات غیر زنده با استفاده از منابعی چون انرژی تشعشعات خورشید یا گرمای داخلی زمین صورت می‌گیرد . نیز موجود زنده را از ماشینهایی که به دست انسان ساخته شده‌اند از آن جهت متمایز می‌سازد که در این ماشینها کاهش موضعی انرژی با استفاده از ماشینهای بخار یا سایر روشهایی که آنزیم در آنها دخالت ندارد انجام می‌گیرد .

این وجه تشخیص تا حدودی اختیاری است نه واقعی . حال باید دید که چرا این همه روی مسئله استفاده از آنزیم پافشاری می‌شود . انسان در حال حاضر ماشینهای حساب الکترونیکی و کارخانه‌های خودکاری می‌سازد که مفهوم جاندار بودن را ، چنانکه در عرف معمول است ، می‌توان بیش از پیش در باره آنها به کار برد . در این ماشینها تجربیدهایی به چشم می‌خورد که چون قوه تشخیص و اندیشیدن و یادگیری است . به فرض آنکه اشیای ساخته انسان در حال حاضر به پیچیدگی موجود زنده نباشد آیا ممکن نیست که روزی بدان درجه پیچیدگی حاصل کند؟ آیا روزی که انسان موفق به ساختن این گونه ماشینها بشود ، چون در آنها آنزیم به کار نمی‌برند ، از دادن نام جاندار بدانها خودداری خواهیم کرد؟ اگر انسان بتواند آنزیمهایی به دست آورد (یا ترکیب کند) و آنها را برای بعضی از مراحل اساسی کار آن ماشینها به کار برد آیا در این صورت می‌توان به آن ماشینها موجود زنده گفت ؟

اگر مسئله را از جهت دیگری ، که به سبب ابداعات چند ساله اخیر ، دیگر صورت تخیلی ندارد ، در نظر بگیریم و مثلاً در سایر سیاره‌ها چیزهایی

پیدا کنیم که صاحب همه خصوصیات حیاتی و حتی هوش باشند، چه؟ فرض کنید که این گونه موجودات زنده بر اساس فعالیت آنزیمی زندگی نکنند یا پروتئین نداشته باشند یا حتی واکنش شیمیایی صورت ندهند. آیا جاندار به حساب نخواهند آمد؟

با در نظر گرفتن این سؤالات، موجب تأسف است که چرا نظریه «نیروی حیاتی» در حال حاضر مورد قبول نیست. زیرا اگر این نظریه پذیرفته شده بود و دو دسته قوانین در دنیا وجود می‌داشت، یکی برای جانداران دیگری برای بیجانها، تشخیص جاندار و بیجان بسیار آسان می‌شد. جاندار موجودی بود که از قوانین دسته اول تبعیت می‌کرد و بیجان موجودی بود که از قوانین دسته دوم پیروی می‌کرد.

چون نظریه «نیروی حیاتی» غلط است - و چنانکه از استنباطات علمی محقق شده است يك سلسله قوانین معینی در عالم جاندار و بیجان حکمفرماست - تشخیص میان جاندار و بیجان دشوار شده است. اگر بخواهیم با دید وسیعی به این تمایز نگاه کنیم، این خطر در پیش است که ثوابت یا منظومه‌ها را هم زنده بخوانیم و اگر دید خود را بسیار محدود سازیم، این خطر در میان هست که وجه تمایز میان جاندار و بیجان صرفاً جنبه اندیشه انسانی پیدا کند.

بعضی اشخاص که فراوان به این مسائل فکر کرده‌اند، قضیه را پیش خود بدین صورت حل و فصل کرده‌اند که اساساً تصور تمایزی میان جاندار و بیجان بی معنی است و هر کوششی که در این راه بشود خالی از تعصبات انسانی نخواهد بود و تصویری است که بدون داشتن مبنای اساسی به ذهن ما راه یافته و سبب شده است که دسته‌ای را به نام جاندار و دسته دیگر را به نام بیجان بخوانیم. واقع امر این است که درجه‌ای از پیچیدگی را به نام بیجان و درجه دیگر از آن را به نام

جاندار خوانده‌اند و حال آنکه مرز آشکاری میان آن دو نیست .
 اگرچه من نظر اخیر را می‌پسندم ولی باید قبول کنم که کمکی به حل
 مسئله نمی‌کند . اختیاری بودن وجه تمایز اگرچه از نظر ما مفید است ، ولی لازم
 نیست که حقیقت داشته باشد . پس وجه تمایز میان جاندار و بیجان اختیاری است
 و به خاطر مفید بودنش پذیرفته شده نه بخاطر حقیقت داشتنش .

بنابراین با آنکه می‌دانیم وجه تمایزی اختیاری است و در برابر قدرت
 خلاقه نوع آدمی و نتایجی که از تسخیر فضا در آینده خواهد گرفت ناقص است ،
 معینا باید در باره آنچه که در آغاز این فصل با حروف درشت تر نوشته شده است ،
 مطالعه بیشتری کرد تا وجه تمایزی میان جاندار و بیجان پیدا شود که کافی و
 مفید و در عین حال موجز و ساده و روشن باشد و در همه مواردی که شما و من
 در این لحظه از تاریخ بشریت با آنها مواجه می‌شویم ، صدق کند .



پس از آنکه وجه تمایزی میان جاندار و بیجان ، (که مرا راضی می‌کند
 و امیدوارم برای شما هم قانع کننده باشد) ، چنانکه در اول این بخش آورده شد ،
 پیدا گردید ، به یکی از هدفهای خود رسیده‌ایم . اگر خود را به رسیدن به همین
 يك هدف خوشحال سازیم ، مژمر ثمر خواهد بود زیرا به حل بسیاری از مسائل
 جالب توفیق خواهیم یافت .

بر روی هم واکنشهای شیمیایی و کاتالیزورهای فراوان در دستگانهایی که
 بی شك غیر زنده‌اند وجود دارد ، و واکنشهای دستگانهایی زنده و غیر زنده در
 اساس همانندند و از يك سلسله قوانین یکسان طبیعت پیروی می‌کنند . پس چرا
 يك اثر کاتالیزوری باید برای مقایسه جاندار و بیجان اینهمه عظیم جلوه کند ؟
 شك نیست که زنبور عسل ساز و کاری پیچیده‌تر از هواپیمای جت دارد و

موش ساختمانی عجیب‌تر از ساختمان کوه .

پس اگر وجود آنزیم وجه تمایز آنهاست ، به مطالعه دقیق آنزیم پردازیم و کوشش کنیم که علت آن را بیابیم .

مقایسه آنزیمها با کاتالیزورهای عادی عالم بیجان ، تفاوت‌های گوناگونی نشان می‌دهد. آنزیمها شکننده‌ترند و زودتر غیر فعال می‌شوند نیز شرایط مخصوصی برای فعالیت خود نیازمندند . دما و اسید بودن محیط باید کاملاً مناسب باشد و بعضی یونها به مقدار کم در محیط موجود باشد و حال آنکه بعضی دیگر از عوامل نباید وجود داشته باشد و بر این قیاس .

نیز آنزیمها در واکنشهایی که تسریع می‌کنند وضعی بسیار اختصاصی دارند و حال آنکه کاتالیزورهای عادی مانند پلانتین و اسیدها هر يك عدة زیادی از واکنشها را تسریع می‌کنند . هر آنزیمی عموماً فقط يك واکنش را تسریع می‌کند و هیچ اثری بر واکنشهای دیگر، اگرچه بسیار شبیه آن باشد، ندارد. تفاوتی که در ساختمان آنزیمها و کاتالیزورهای عادی هست بیش از تفاوتی است که در خواص عملی آنهاست . (تفاوت خواص عملی بیشتر مربوط به اختلاف درجه تأثیر است نه مربوط به اختلاف نوع آنها ، ولی همین خود قابل اهمیت است) . آنزیمها پروتئینند ولی کاتالیزورهای دیگر پروتئین نیستند . طبیعی است اگر خواص غیر عادی آنزیمها را مربوط به ماهیت پروتئین مولکول آنها به حساب آوریم جا دارد که به مطالعه ساختمان مولکولی آنزیمها پردازیم .



در قرن نوزدهم چیزی که بیش از همه درباره مولکول پروتئین دانسته شده بود ، بزرگی آن بود .

در سال ۱۸۶۰ تامس گراهام^۱ شیمی‌دان اسکاتلندی توجه یافته بود که اگر محلول آبی بعضی از مواد را به وسیله پرده نازکی از پارشمن^۲ از آب خالص جدا سازند، مولکولهای ماده محلول غالباً از آن پرده عبور می‌کند. وجود ماده‌ای را که وارد آب خالص شده به وسیله معرفهای شیمیایی می‌توان تشخیص داد. هر ماده‌ای را که در آب حل‌کنند و به وسیله پرده پارشمن از آب مقطر جدا سازند، از پرده عبور نمی‌کند. کلرورسدیم و سایر مواد غیرآلی محلول از پارشمن عبور می‌کنند. بعضی از مواد آلی مانند قندها نیز عبور می‌کنند ولی مولکول پروتئین از پرده پارشمن نمی‌گذرد. گراهام به این دو دسته مواد دو نام مختلف داد. چون موادی که از پرده پارشمن عبور می‌کنند غالباً بر اثر تبخیر به سهولت متبلور می‌شوند آنها را کریستالوئید^۳ نامید. از سوی دیگر چون پروتئینی که وی با آن آزمایش کرد سریشم بود (و در زبان یونانی Colla گفته می‌شود) موادی را که از پرده پارشمن عبور نمی‌کنند کلوئید^۴ خواند.

ساده‌ترین تفسیری که از این پدیده به عمل آمد (و تفسیری است که با مختصر تغییر همچنان مورد قبول است) این است که پرده پارشمن سوراخهایی کوچکتر از حد رؤیت با میکروسکوپ دارد، به طوری که مولکولهای کوچک از آن می‌توانند عبور کنند و حال آنکه مولکولهای بزرگ نمی‌توانند. در نتیجه به پرده پارشمن و سایر پرده‌های نظیر آن، بخصوص پرده‌هایی که سلول‌های زنده را در میان می‌گیرند- پرده‌های نیمه تراوا^۵ می‌گویند.

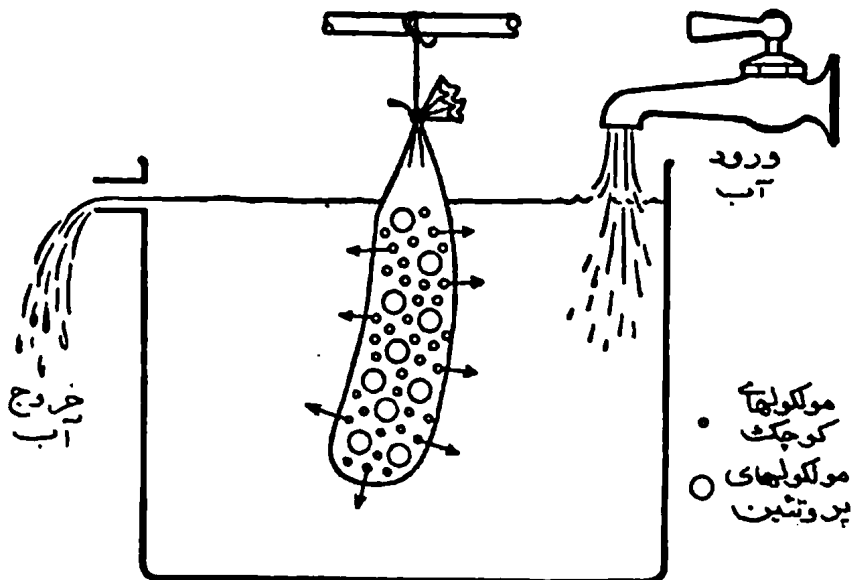
استفاده از این خاصیت، یکی از روشهای تصفیه محلول‌های پروتئینی است. برای این کار محلول پروتئینی را در يك کیسه مرکب از غشای نیمه تراوا می‌ریزند

۱- Thomas Graham
 ۲- Parchment پارشمن، پوست گوسفند است که پس از ازاله پشمهای آن با آهک و خشکاندن در هوا به ورقه نازکی تبدیل می‌شود که روی آن می‌توان نوشت یا چاپ کرد. (م)

۳- Crisalloid ۴- Colloid ۵- Semi - Permeable membranes

و مدخل آن را خوب می‌بندند و در آب جاری قرار می‌دهند. همه مولکولهای کوچک و سبک از پرده خارج شده با جریان آب می‌روند و تنها مولکولهای پروتئین را در کیسه باقی می‌گذارند. این فرایند را دیالیز می‌گویند (به تصویر ۲۳ مراجعه شود).

عبور نکردن مولکولهای پروتئینی از پرده نیمه تراوا، حداقلی برای



تصویر ۲۳. دیالیز از پرده نیمه تراوا

بزرگی مولکول آنها نشان داده و باقی ماندن آنها در آب حداکثری برای بزرگی مولکولهای آنها نمایانده است علت پدیده دوم را بیان می‌کنم.

هر ذره‌ای که در آب معلق باشد تحت تأثیر دینامیک و نیرو قرار دارد. نخست نیروی جاذبه زمین است که آن را به سوی زمین می‌کشد (با این فرض که وزن مخصوص آنها از آب بیشتر باشد و عموماً چنین است)، دوم نیروی بمباران اتفاقی مولکولهای آب، که ذرات معلق را به صورتی در آب پراکنده می‌سازد که با آن مخلوط.

یکنواخت تشکیل دهند. (اگر ذرات معلق دارای بار الکتریکی باشند، یا به هم می‌چسبند یا از هم جدا باقی می‌مانند ولی فعلاً از مطرح ساختن آن صرف نظر می‌کنیم).

هر ذره‌ای که با چشم دیده شود، به علت قوی‌تر بودن نیروی جاذبه زمین ته‌نشین می‌گردد. ولی هر چه ابعاد ذره کوچکتر می‌شود، بمباران مولکولی مهمتر گشته و سرعت ته‌نشین شدن کاهش می‌یابد. اگر يك مشت خاک را در ظرف آبی هم بزنیم، شنهای درون خاک به سرعت ته‌نشین می‌شوند. ذرات کوچکتر بعد از ذرات شن رسوب می‌کنند پس از آن ذرات کوچکتر و سرانجام ذرات بسیار کوچک ته‌نشین می‌شوند و آب تیره می‌شود زیرا بعضی از ذرات بسیار کوچک همچنان به حال تعلیق باقی می‌مانند. علت تعلیق این ذرات آن است که نیروی بمباران مولکولی ته‌نشین شدن (سرعت ته‌نشین شدن) آنها را کم می‌کند یا به صفر می‌رساند.

ذراتی که برای همیشه در آب معلق باقی می‌مانند ذراتی هستند که از حد دید میکروسکوپی معمولی کوچکترند، ولی به آن اندازه بزرگ هستند که نور را پراکنده سازند، پراکنده شدن نور به وسیله ذرات نسبتاً بزرگ به وسیله فیزیکدان انگلیسی جان تندال^۱ در دهه سال ۱۸۷۰ کشف شده و به کیفیت تندال معروف گردیده است. اگر يك دسته اشعه از چنین محلولی عبور داده شود و شخص با زاویه قائمه نسبت به مسیر نور به محلول نگاه کند، مسیر نور را تار می‌بیند. تار بودن مسیر به علت آن است که مقداری از نور به طرف چشمهای ناظر پراکنده شده است. اگر به جای آنکه با چشم به این محلول نگاه کنیم با میکروسکوپ مخصوصی (به نام اولترامیکروسکوپ) بدان بنگریم آن ذرات به صورت نقاط درخشان دیده می‌شوند. اگر ذرات از این کوچکتر باشند پراکندگی نور،

ضعیف‌تر می‌شود تا به جایی می‌رسد که ذرات کوچک، یعنی آن‌ها که از پرده پارشمن عبور می‌کنند، نوری پراکنده نمی‌سازند و محلول زلال دیده می‌شود.

محلولهای پروتئینی کیفیت تندال نشان می‌دهند. این خاصیت پروتئین‌ها و عبور نکردن آنها از پرده نیمه تراوا و تعلیق همیشگی در آب نشان می‌دهد که «ابعاد کلوئیدی» دارند.

ذرات دارای ابعاد کلوئیدی قطرشان بین ۱ و ۱۰۰۰ میلی میکرون است (به خاطر دارید که یک میلی میکرون یک میلیاردیم یک متر است). کوچکترین ذرات کلوئید قریب هزاراتم در ساختمان‌ش هست. اتمهای گوناگون سازنده مولکول‌های پروتئین، وزنشان به مقیاس اتمی به طور متوسط ۷ است. پس می‌توان گفت که دوحد نهایی وزن مولکولی، که مولکولهای پروتئینی در فاصله میان آن دو حد، به حالت کلوئیدی باقی می‌مانند باید ۷۰۰۰ و ۷۰۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ باشد. اگر از وسعت میان این دو حد کاسته شود به نظر بهتر می‌آید ولی همین قدر کافی است که نشان دهیم مولکول پروتئین از مولکولهایی چون کلرورسدیم (با وزن مولکولی ۵۸٫۵) و گلوکز (با وزن مولکولی ۱۸۰) بسیار بزرگتر است.



در ربع آخر قرن نوزدهم، دانشمندان دست به کار پیدا کردن مقدار دقیق وزن مولکولی مولکولهای درشتی چون پروتئین‌ها شدند. یکی از راههایی که به کار بردند دیالیز بود. اگر محلول از پروتئین در یک طرف پرده نیمه تراوا و آب خالص در طرف دیگر آن باشد، مولکولهای آب به آزادی می‌توانند در دو جهت از پرده عبور کنند. اگر چه در طرفی از پرده که محلول پروتئین هست، مولکولهای درشت پروتئین از سوراخهای کوچک پرده نمی‌توانند عبور کنند در عوض بعضی از آنها را مسدود می‌سازند و با این عمل مانع عبور بعضی از مولکولهای

آب می‌شوند .

نتیجه این می‌شود که مولکولهای آب از طرفی که آب خالص دارد به سوی محلول پروتئین سریعتر حرکت می‌کنند تا در جهت عکس . پس جریانی از مولکولهای آب از طرف آب به طرف محلول پروتئینی صورت خواهد گرفت . چون وزن آبی که در دو طرف پرده اختلاف سطح نشان می‌دهد ، مخالف ادامه جریان است ، سرانجام آن را متوقف می‌سازد .

جریان آب به سوی محلول مثالی از اسمز^۱ است و فشاری که به وجود می‌آید فشار اسمزی^۲ نام دارد (به تصویر ۲۴ مراجعه شود) . مقدار فشار اسمزی بستگی به تعداد مولکولهای درشتی دارد که سوراخهای پرده را مسدود می‌سازند . هر چه تعداد مولکولها بیشتر فشار بالاتر است .

فرض کنید با وزن معینی از پروتئین آزمایش را آغاز کرده‌اید . هر چه مولکول آن پروتئین بزرگتر باشد ، تعداد مولکولها کمتر خواهد بود بنابراین وقتی که وزن معینی از پروتئین را در نظر بگیریم هر چه وزن مولکولی بیشتر باشد فشار اسمزی کمتر خواهد بود .

نخستین کسی که به اندازه‌گیری فشار اسمزی محلولهای کلوئیدی مختلف دست زد گیاه‌شناس آلمانی ویلهلم پفر^۳ در سال ۱۸۷۷ بود . در سال ۱۸۸۵ فیزیک‌دان هلندی یاکوبوس هندریکوس وانت‌هوف^۴ رابطه دقیق میان فشار اسمزی و وزن مولکولی را پیدا کرد . ولی مدتی طول کشید تا اشکالات روش اندازه‌گیری رفع گردد . در سال ۱۹۱۷ اندازه‌گیری وزن مولکولی از طریق سنجش فشار اسمزی کاملاً معتبر از آب در آمد . در همان سال شیمی‌دان هلندی زورن پتر لوریتس زورنسن^۵

۱- Osmosis مشتق از کلمه یونانی «هل دادن»

۲- Osmotic Pressure

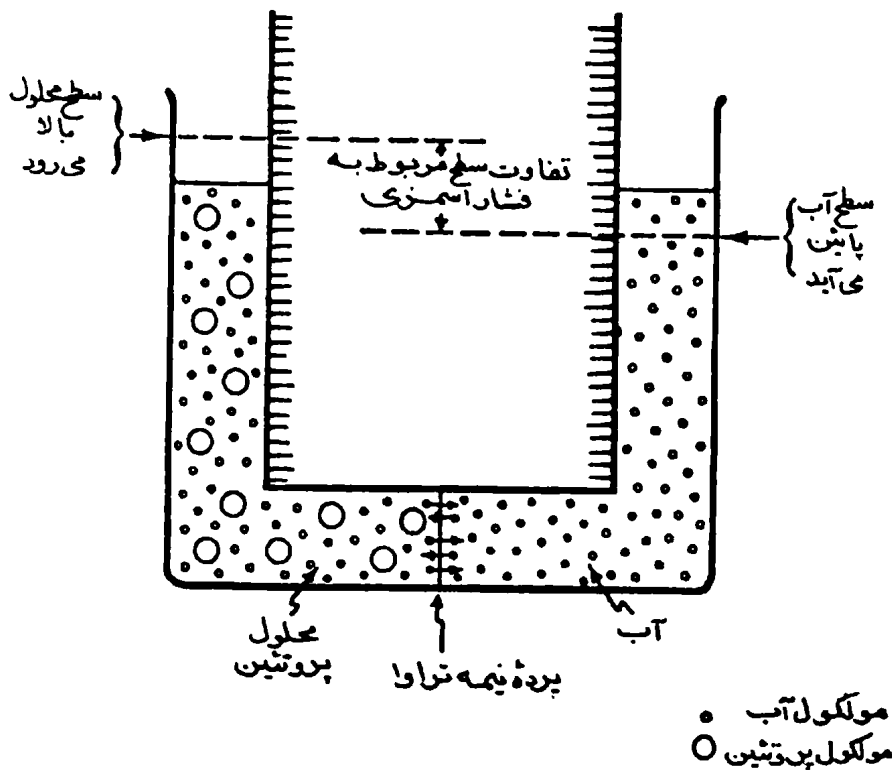
۳- Wilhelm Pfeffer

۴- Jacobus Hendricus Van't Hoff

۵- Søren Peter Lauritz Sørensen

گزارش داد که وزن مولکولی سفیده تخم مرغ (« مادهٔ آلبومینوئیدی » اصلی) ۳۴۰۰۰ است. کمی بعد وزن مولکولی هموگلوبین (پروتئین اصلی کلبولهای قرمز خون) ۶۷۱۰۰۰ گزارش شد.

بدبختانه با افزایش وزن مولکولی به ردیف صدهزار و بالا، فشار اسمزی به قدری پایین می‌آمد که تعیین درست فشار اسمزی غیرممکن بود. به طوری که



تصویر ۲۴. دستگاه اندازه‌گیری فشار اسمزی و وزن مولکولی پروتئین‌ها

تعیین وزن مولکولی بسیاری از پروتئین‌های مهم مقدور نشد. معینا در سال ۱۹۲۵ کاملاً روشن شد که وزن مولکولی پروتئین به ندرت از ۱۰۰,۰۰۰ کمتر است و بسیاری از پروتئین‌های مهم وزن مولکولی بیش از ۱۰۰,۰۰۰ دارند. راه دیگر تعیین وزن مولکولی پروتئین‌ها، مبتنی بر عبور مولکولها از

پرده نبود، بلکه مبتنی بر ته‌نشین شدن بود. چنانکه قبلاً اشاره کرده‌ام هرچه مولکول کوچکتر باشد دیرتر ته‌نشین می‌شود. بدبختانه مولکولهای پروتئینی به آن حد کوچکند که سرعت ته‌نشین شدن آنها صفر است، پس مولکولهای درشت و ریز (دست‌کم در شرایط عادی) از این راه تشخیص دادنی نیستند.

به منظور افزایش درجه ته‌نشین شدن به صورتی که مفید واقع شود باید کاری کرد که میدان جاذبه قوی‌تر شود به طوری که مولکولهای پروتئین شروع کنند به ته‌نشین شدن و هر یک با سرعتی ته‌نشین شود که متناسب با اندازه مولکولش باشد. افزایش نیروی جاذبه از قدرت انسان خارج است ولی می‌توان از پدیده دیگری که همان نتیجه را به بار می‌آورد استفاده کرد. اگر ظرفی محتوی مایع را بچرخانند، محتوی ظرف تمایلی به دور شدن از محور گردش نشان می‌دهد و به سوی بخشی از ظرف متمایل خواهد شد که دورتر از محور است. این نیروی گریز از مرکز از بسیاری جهات شبیه نیروی جاذبه است و مانند آن موجب ته‌نشین شدن می‌شود ولی نیروی گریز از مرکز را به خلاف نیروی جاذبه با تغییر سرعت گردش می‌توان افزایش داد.

در سال ۱۹۲۵ شیمی‌دان سوئدی ^۱ *تئودور اسویدبرگ* دستگاهی به نام اولتراسانتریفوژ^۲ تعبیه کرد که سرعتش بسیار بود، به طوری که مولکولهای پروتئینی می‌توانستند ته‌نشین شوند. (در حال حاضر اولتراسانتریفوژ نیرویی به وجود می‌آورد که ۵۰۰،۰۰۰ برابر نیروی جاذبه زمین است).

سرعت ته‌نشین شدن در حین حرکت اولتراسانتریفوژ را با تدابیر استادانه استفاده از نور، اندازه می‌گیرند، چنانکه اگر بیش از یک پروتئین در محلول باشد، سرعت ته‌نشین شدن هر یک را می‌توان تشخیص داد. (سرعت ته‌نشین شدن

به همان گونه‌کد به وزن مولکول بستگی دارد به شکل آن نیز وابسته است زیرا يك مولکول دراز سریعتر از ملکول گرد هم وزنش ته نشین می‌شود پس با روشهای دیگری باید شکل مولکولها را نیز پیدا کرد تا وزن مولکولی حاصل از طریق سرعت ته‌نشین شدن با دقت تمام تعیین شود.

به کار بردن روش اولتراسانتریفوژ وزن مولکولی پروتئین‌ها را بیشتر نشان داد. مثلاً فیبرینوژن (که در خون هست و در انعقاد خون دخالت دارد) دارای وزن مولکولی ۳۳۰,۰۰۰ از آب درآمد. وزن مولکولی هموسیانین (پروتئین آبی رنگ خون حیوانانی چون صدف) از ۴,۰۰۰,۰۰۰ به بالاست و پروتئین ویروس به ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ است.

موضوع مورد مطالعه ما آنزیمها هستند و این مواد مولکولهای بسیار بزرگ ندارند. وزن مولکولی آنزیمها را می‌توان بین ۱۰,۰۰۰ و ۵۰۰,۰۰۰ دانست. تعداد کمی آنزیم از این دو حد خارج‌اند.



بزرگ بودن مولکول آنزیم نسبت به کاتالیزورهای معمولی به‌تنهایی کافی برای توجیه خواص غیرعادی آنها نیست. بسیاری دیگر از مواد آلی نیز مولکولهای درشت دارند. نشاسته، سلولز و لاستیک و بسیاری از پلاستیک‌های مصنوعی، همه‌وهمه مولکولهای درشت دارند ولی دارای خواص آنزیمی نیستند. یکی از تفاوت‌های بزرگ میان پروتئینها (از جمله آنزیمها) و سایر «درشت‌مولکولها» این است که مولکول پروتئین بالنسبه زودتر تجزیه می‌شود. مولکولهای درشت طبیعتاً سست به‌نظر می‌رسند و بر اثر ارتعاشات حاصل از افزایش دما متلاشی می‌گردند ولی باید دید چرا پروتئینها در شرایط بالا متلاشی می‌شوند ولی سایر درشت‌مولکولها مقاومت می‌کنند. بزرگ بودن مولکول رابطه‌ای با

شکنندگی آن ندارد. خانه‌ای که با قطعات بزرگ چوب ساخته شود در برابر ضربات محکم مقاومت می‌کند و از هم پاشیده نمی‌شود.

از بزرگی مولکول بگذریم و به عمق مولکول آنزیم وارد گردیم.

دوساختمان که دارای اندازه برابر باشند، اگر از واحدهای متفاوت ساخته شده باشند از نظر استحکام متفاوت خواهند بود. ساختمانی به بلندی دو متر که با قطعات چوب ساخته شده باشد مستحکمتر از ساختمانی به همان بلندی است که با کارتهای بازی برپا شده است. آیا می‌توانیم واحدهای سازنده پروتئین‌ها را با گلوکز که واحد ساختمانی نشاسته و سلولز است مقایسه کنیم و تفاوت آنها را بیابیم؟ چنانکه معلوم شده، تشخیص واحدهای ساختمانی پروتئین دشوارتر از تشخیص واحد ساختمانی سایر درشت‌مولکولهاست. نخستین بار شیمی‌دان فرانسوی براکونوت تعدادی از انواع ئیدراتهای کربن را به روش کیرشوف، با افزودن اسید و حرارت دادن تجزیه کرده و در سال ۱۸۲۰ به تجزیه پروتئینی به نام ژلانتین پرداخته است.

پروتئینها را نیز توانست به روش فوق تجزیه کند ولی بلورهای شیرینی از این تجزیه به دست آمدند که به تصور وی قند بودند. و آنها را «قند ژلانتین» نامید. ولی به زودی متوجه شد که از این بلورها می‌توان ماده‌ای به دست آورد که بدون شك آمونیاك است (NH_4)، پس نیتروژن در مولکول آنها هست و نمی‌توانند قند باشند. سرانجام نام ماده حاصل از تجزیه ژلانتین را گلایسین گذاشت که از لغت یونانی به معنی «شیرین» مشتق است ولی پسوند INE طبق قرار میان شیمی‌دانها به نام موادی اضافه می‌شد که نیتروژن داشتند.

ولی این کشف مسئله واحد ساختمانی پروتئینها را حل نکرد. در حالی که

غالب درشت مولکولها از يك نوع واحد ساختمانی مرکبند، پروتئینها (کشف این جریان موجب حل مسئله شد) از واحدهای متنوع ساخته شده‌اند. غیر از گلیسین واحدهای دیگری نیز در پروتئینها شناخته شد. خود براکونوت يك واحد دیگر کشف کرد و آن را لوسین نامید. در قرن نوزدهم و در اوایل قرن بیستم واحدهای نو دیگری شناخته شدند و به اسامی قبلی افزوده گردیدند.

تعداد درست این واحدهای ساختمانی به آسانی معلوم نشد زیرا بعضی از آنها فقط در معدودی از پروتئینها هست و تشخیص اینکه اگر واحدی در پروتئین گمنامی پیدا شود باید جزء صورت اسامی واحدهای دیگر آورده شود یا نه دشوار بود. یکی از راههای توافق این بود که فقط ۱۹ واحدی را که از تجزیه غالب پروتئینها به دست می‌آیند جزء واحدهای اساسی به حساب آورند. نام این واحدها به ترتیب تاریخ کشف در جدول شماره ۵ آورده شده است.

جدول شماره ۵

واحدهای اساسی مولکول پروتئینها

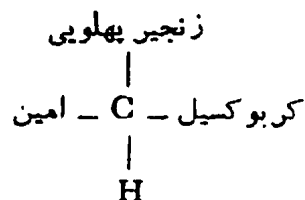
سال کشف	نام	سال کشف	نام
۱۸۹۶	هیستیدین	۱۸۲۰	گلیسین
۱۸۹۹	سیستین	۱۸۲۰	لوسین
۱۹۰۱	سیتئین	۱۸۴۹	تیروزین
۱۹۰۱	والین	۱۸۶۵	سرین
۱۹۰۱	پرولین	۱۸۶۶	اسید گلوتامیک
۱۹۰۱	تریئوفان	۱۸۶۸	اسید آسپارتیک
۱۹۰۳	ایزولوسین	۱۸۸۱	فنیل آلانین
۱۹۲۲	متیونین	۱۸۸۸	آلانین
۱۹۳۵	ترئونین	۱۸۸۹	لیزین
		۱۸۹۵	آرژینین

به طوری که از نام این واحدها استنباط می شود گروهی بسیار ناجور به وجود می آورند ولی همه آنها چیزهای مشترکی دارند. مثلاً هر يك از آنها گروهی اتمی به نام گروه کربوکسیل دارد که دارای خاصیت اسیدی است. از این گذشته هر يك از آنها گروهی اتمی به نام گروه امین دارد. روی این اصل برزیوس در سال ۱۸۴۸ نام اسیدهای امینه را برای این گونه مواد پیشنهاد کرد و مورد قبول واقع شد. پس واحدهای ساختمانی پروتئینها اسیدهای امینه متنوع هستند.

در همه اسیدهای امینه گروه امین و گروه کربوکسیل به وسیله يك اتم کربن از هم جدا هستند به طوری که مولکول اسیدهای امینه مختلف را می توان دارای استخوان بندی زیر به حساب آورد.

کربوکسیل - C - امین

در مورد گلیسین، که ساده ترین اسیدهای امینه است (و نخستین اسید امینه کشف شده است) دو اتم نیدروژن به کربن مرکزی متصل است و غیر از این چیزی در مولکول آن نیست. ولی در سایر اسیدهای امینه کربن مرکزی از يك طرف به يك نیدروژن متصل است ولی از طرف دیگر به گروهی از اتمها اتصال دارد که کمابیش پیچیده اند و همه آنها به نام زنجیر پهلویی نامیده می شوند. پس مولکول اسید امینه را دقیق تر می توان به صورت زیر نشان داد:



چنانکه می بینید اسیدهای امینه عموماً همانندند (از نظر استخوان بندی) ولی تفاوتشان در جزئیات ساختمانی زنجیر پهلویی است.

با پایان قرن نوزدهم و کشف دوازده اسید آمینه در پروتئینها، وقت آن رسیده بود که فرایند را به صورت عکس دنبال کنند یعنی از اسیدهای آمینه پروتئین بسازند. این مسئله به وسیله شیمی دان آلمانی امیل فیشر^۱ دنبال شد. فیشر با استفاده از روشی که در نیمه اول قرن نوزدهم ابداع شده بود، مخلوطی از اسیدهای آمینه را در شرایط گوناگون قرار داد تا مگر با هم ترکیب شوند و پروتئین بسازند. وی در سال ۱۹۰۷ موفق شد مولکولی بسازد که ۱۸ اسید آمینه داشت. از این ۱۸ اسید آمینه ۱۵ گلیسین و ۳ لوسین بود. (این گونه رشته‌های کم اسید آمینه‌ای را پپتید^۲ می‌گویند. این کلمه از لغت یونانی به معنی «گوارش» مشتق است زیرا پپتیدها در فرآیند گوارش به وجود می‌آیند.)

فیشر با ترکیب کردن مولکولهای اسید آمینه و به وجود آوردن پپتیدها، مدلل داشت که اسیدهای آمینه آجرهای ساختمانی پروتئین‌ها هستند، زیرا پپتید ۱۸ اسید آمینه‌ای وی همه خواص يك مولکول پروتئین را نشان می‌داد. نیز توانست نشان دهد که در موقع ساخته شدن زنجیر اسیدهای آمینه، گروه کربوکسیل يك اسید آمینه، با گروه امین اسید آمینه دیگر ترکیب می‌شود به طوری که استخوان بندی پپتید حاصل چیزی شبیه این خواهد شد:

کربوکسیل-C- امین- کربوکسیل-C- امین- کربوکسیل-C- امین- کربوکسیل-C- امین
 کربن مرکزی اسیدهای آمینه‌ای که به هم متصل شده‌اند، هر يك زنجیر پهلویی مخصوص به خود دارد (جز گلیسین که به جای زنجیر پهلویی H دارد). به طوری که استخوان بندی پپتیدی مولکول پروتئین مانند زنجیر درازی می‌شود که در نقاط مختلف زنجیرهای پهلویی اسیدهای آمینه مختلف خارج شده‌اند. و این زنجیرهای پهلویی به اسیدهای آمینه‌ای مربوطند که زنجیر دراز پپتیدی

را به وجود آورده‌اند .

اتصال میان گروه کربوکسیل و گروه امین را ، که نخستین بار به وسیله فیشر نشان داده شده ، اتصال پپتیدی^۱ می‌گویند . قرائنی که از زمان فیشر به بعد جمع آوری شده‌اند محقق ساخته‌اند که پروتئینها از اسیدهای آمینه‌ای ساخته شده‌اند که به وسیله اتصالات پپتیدی به یکدیگر متصل هستند .

از زمان فیشر به بعد روشهای نوی برای ترکیب کردن زنجیرهای پپتیدی ابداع گردیده است . یکی از آن روشها در سال ۱۹۴۷ به وسیله دانشمند اسرائیلی شیمی حیاتی به نام ا. کچالسکی^۲ ترتیب داده شده است . وی در این روش ابتدا مولکولهای اسیدهای آمینه را به صورتی تغییر می‌داد و سپس آنها را باهم ترکیب می‌کرد زنجیری که به وجود آورد بالغ بر دوست اسید آمینه داشت .



چنانکه می‌بینید ماهیت آجرهای ساختمانی پروتئینها کافی است که این مواد را در گروه خاصی قرار دهند و از سایر درشت مولکولها مجزا سازند . مولکول نشاسته و سلولز از يك نوع واحد ، یعنی گلوکز مرکب است . اینولین درشت مولکولی است (در غده‌های کوبک هست) که منحصرأ از مولکولهای فروکتوز ساخته شده است . لاستیک فقط از واحدهای کربورئیدروژن به نام ایزوپرن^۳ ساخته شده است . اسید هیالورونیک ، ماده لغزنده‌ای که در مفاصل هست و عموماً میان سلولها وجود دارد ، از دو نوع قند تغییر یافته که به تناوب قرار دارند ساخته شده است . پلاستیک مصنوعی نیز از يك نوع واحد یا دو واحد متناوب مرکب است .

ممکن است نشاسته‌ای به سبب تفاوت تعداد گلوکزهایش با نشاسته دیگر

فرق داشته باشد. نیز ممکن است اینولینی به جهت تفاوت تعداد فروکتوزهایش با اینولین دیگر فرق داشته باشد و بر این قیاس. همین تفاوت کوچک موجود تفاوت بسیاری در خواص میان يك درشت مولکول و درشت مولکول دیگر همنعش می‌شود و این تفاوت بیش از آن است که در قلمرو کوچک مولکولها مشاهده می‌گردد. آنچه بیان شده با تنوعی که بالقوه در مولکول پروتئین می‌تواند موجود باشد، بسیار ناچیز است.

مولکول پروتئین از ۱۹ اسید آمینه مختلف ساخته شده است (بایکی یا دو تا کمتر یا بیشتر) مقدار نسبی هر يك و ترتیب‌های ممکن آنها در طول زنجیر پپتیدی می‌تواند بسیار متنوع باشد. هر ترتیب مخصوص اسیدهای آمینه باعث ترتیب خاص زنجیرهای پهلویی خواهد شد و مولکولی با خواص مخصوص به وجود خواهد آورد. تفاوت پروتئینها تنها این نیست که یکی از ۱۸ نوع اسید آمینه مرکب باشد و دیگری از ۱۹ نوع. بلکه دو مولکول در عین حال که هر دو شامل ۱۸ یا ۱۹ نوع اسید آمینه هستند ممکن است از نظر ترتیب قرار گرفتن آنها متفاوت باشند.

آیا به این حساب چند نوع پروتئین ممکن است موجود باشد؟ فرض کنید مولکولی می‌سازید که از هر يك از ۱۹ اسید آمینه يك مولکول داشته باشد. می‌توانید برای شروع کار هر يك از ۱۹ اسید آمینه را که می‌خواهید انتخاب کنید. پس ۱۹ امکان در اختیار شما هست. برای هر يك از امکانات نوزده گانه می‌توانید یکی از ۱۸ اسید آمینه دیگر را در ردیف دوم قرار دهید. پس تعداد کل ترکیب‌هایی که فقط در دو اسید آمینه اول تفاوت دارند 19×18 خواهد شد. در هر يك از این ترکیبات می‌توانید یکی از ۱۷ اسیدهای آمینه باقی مانده را در ردیف سوم قرار دهید پس تعداد کل ترکیب‌های ممکن می‌شود $19 \times 18 \times 17$.

اگر همین جریان را برای همهٔ ۱۹ اسیدامینه در نظر بگیریم به طوری که همهٔ انواع ترکیبهای ممکن به حساب آمده باشند، تعداد انواع ترکیبها عبارت خواهد بود از $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 \times 9 \times 10 \times 11 \times 12 \times 13 \times 14 \times 15 \times 16 \times 17 \times 18 \times 19$. این سری را فاکتوریل ۱۹ می گویند و چنین نشان می دهند! هر چه تعداد اجزای ترکیب بیشتر باشد فاکتوریل بالامی رود و به مقداری غیر قابل تصور می رسد و از این جهت است که علامت تعجب پهلوی عدد ۱۹ قرار داده اند. بدعنوان مثال فاکتوریل ۱۹ متجاوز از صد کاتریلیون می شود: عدد درست آن $121,666,600,408,832,000$ است.

بنابر این متجاوز از صد کاتریلیون مولکول با خواص مختلف ممکن است فقط از ترکیب ۱۹ اسیدامینه بدو وجود آید. ولی مولکولهای پروتئین عموماً بیش از ۱۹ اسیدامینه دارند. مثلاً مولکول هموگلوبین که وزن مولکولیش 67000 است از ۵۳۹ اسیدامینه ساخته شده است. مسلماً همهٔ این اسیدهای امینه با یکدیگر تفاوت ندارند (در این صورت تعداد ترتیبهای ممکن کم می شد) با وجود این تعداد ترتیبهای ممکن اسیدهای امینه در مولکول هموگلوبین در حدود $10^{119} \times 4$ یعنی عدد چهار با ۶۱۹ صفر در سمت راستش خواهد شد.

براستی تعدادی غیر قابل تصور است. مسئله تعداد پروتئینهای مختلفی که می توان از ۱۹ اسیدامینه ساخت مانند تعداد کتابهایی است که با ۲۶ حرف الفبای زبان انگلیسی یا تعداد آهنگهایی است که با ۸۸ نت ساخته شود، پس نامحدود خواهد بود. مفهوم چنین عددی از نظر انرژی صریح و بسیار جالب است. متصل ساختن اسیدهای امینه با یکدیگر به روشی کورکورانه چنانکه فیشر و کچالسی کردند بالنسبه آسان و مثل آن است که یک دست ورق بازی را بدون در نظر گرفتن ترتیب دسته کنیم.

مطمئناً يك دست ورق بازی که کور کورانه دسته شده باشد مرتب‌تر از يك دست ورق پراکنده است، پس انتروپی در ورق‌های دسته شده کاهش یافته است (رابطه میان انتروپی و ترتیب را که در فصل ششم یاد شده به خاطر آورید) پس تشکیل يك پپتید از اسیدهای آمینه متضمن کاهش انتروپی است.

ولی تشکیل پروتئین خاصی مانند هموگلوبین از میان ترکیب‌های ممکن اسیدهای آمینه، معادل آن است که يك دست ورق بازی را فقط بدترتیب مخصوصی دسته کنیم. بنابراین افزایش نظم و در نتیجه کاهش انتروپی بسیار زیاد خواهد بود. کار بدن در ساختن پروتئین فقط از آن جهت که اسیدهای آمینه را به صورت زنجیرهای پپتیدی درمی‌آورد شکفت‌انگیز نیست بلکه از این نظر عجیب است که آن اسیدهای آمینه را به صورت زنجیر پپتیدی مخصوصی درمی‌آورد.

به همین دلیل است که اگر فقط تعداد اتم‌های يك پروتئین را پیدا کنیم، کار کم ارزشی انجام داده‌ایم. زیرا نتیجه آن به دست آمدن چیزی نظیر این خواهد شد:



این فرمول دقیق اتم به اتم پروتئینی به نام بتالاکتوگلوبولین است که در شیر هست. ولی از آنجا که این گونه شماره کردن اتمها چیزی در باره اسیدهای آمینه موجود در ماده به ما نشان نمی‌دهد، پس بی‌ارزش است. يك مولکول پروتئین باید به صورتی تجزیه شود که ترتیب اسیدهای آمینه سازنده آن معلوم گردد نه تعداد اتمهای گوناگون آن.

ساده‌ترین روش تجزیه يك پروتئین آن است که آن را مثلاً با اسیدی به ملایمت گرم کنیم تا به مخلوطی از اسیدهای آمینه تبدیل شود و سپس مخلوط را از نظر

مقدار هر نوع اسید امینه‌ای که دارد، مورد تجزیه قرار دهیم. بدبختانه مخلوط حاصل چنان پیچیده از آب درمی‌آید و اسیدهای امینه چنان از نظر خواص به هم شباهت دارند که می‌توان گفت تشخیص مقدار اسیدهای امینه مختلف يك پروتئین به روش فوق‌غیر ممکن است. پیش از سال ۱۹۴۰ اگر چه اطلاعات وسیعی در مورد پروتئین‌ها داشتند ولی روش تجزیه آنها ناقص و غلط بود.

در سال ۱۹۴۴ دو دانشمند انگلیسی شیمی حیاتی به نامهای ا. جی. پی. مارتین^۱ و آر. ال. ام. سینگ^۲ روشی ابداع کردند که به آن روش کروماتوگرافی روی کاغذ می‌گفتند. با این روش يك قطره از مخلوط چند اسید امینه را روی يك انتهای کاغذ بسیار متخلخل می‌ریزند (کاغذ صافی) و می‌گذارند که خشک شود. مولکولهای اسید امینه به صورت يك ورقه نازک روی کاغذ قرار می‌گیرند. در این موقع مایعی آلی مانند الکل بوتیلیک را به خاصیت لوله‌های موئین، در آن گوشه کاغذ نفوذ می‌دهند. (وقتی که گوشه کاغذ آب خشک کنی را روی قطره جوهری قرار می‌دهید، خاصیت لوله‌های موئین، جوهر را جذب کاغذ می‌کند).

به تدریج که الکل بوتیلیک از اسیدهای امینه خشک شده روی کاغذ عبور می‌کنند، هر يك از اسیدهای امینه تحت تأثیر دو تمایل قرار می‌گیرد اول آنکه در لایه آب بدون تغییر محل دادن، قرار گیرد، دوم آنکه در الکل بوتیلیک وارد شود و با آن راه بیفتد. هر نوع اسید امینه‌ای با این دو نوع تمایل به نحو خاصی عمل می‌کند و با الکل برآه می‌افتد ولی با سرعت کمتر. از این گذشته (چون ساختمان مولکولی آنها متفاوت است درجه محلول شدن آنها در آب و در الکل بوتیلیک تفاوت پیدا می‌کند) هر نوع اسید امینه‌ای به صورتی که با نوع دیگر متفاوت است تحت تأثیر این دو تمایل قرار می‌گیرد. در نتیجه هر يك با سرعت

مخصوصی برای می‌افتد و پس از مدتی اسیدهای آمینه را در نقاط مختلف کاغذ می‌توان یافت. بدین روش يك يك اسیدهای آمینه مخلوطهای بسیار درهم‌رانی توان جدا ساخته مورد تحقیق قرار داد.

با استفاده از روش «کروماتوگرافی روی کاغذ» تعدادی از اسیدهای آمینه پروتئین‌های مختلف را مورد تجزیه قرار دادند. مثلاً يك مولکول آل‌بومین پلاسماي خون انسان به‌صورتی که در جدول شماره ۶ نشان داده شده است شامل تعدادی از ۱۹ اسید آمینه مختلف است.

جدول شماره ۶

اسیدهای آمینه آل‌بومین پلاسما

تعداد مولکولها	اسید آمینه
۸۰	اسید گلوتامیک
۵۸	لوسین
۵۸	لیزین
۴۶	اسید آسپارتیک
۴۵	والین
۳۳	فنیل آلانین
۳۱	پروлін
۲۷	ترئونین
۲۵	آرژینین
۲۲	سرین
۱۸	تیروزین
۱۶	سیستین
۱۶	هیستیدین
۱۵	گلیسین
۹	ایزولوسین
۶	متیونین
۴	سیستئین
۱	تریپتوفان
۰	آلانین
۵۱۰	جمع

بدیهی است که دانستن تعداد همه انواع اسید آمینه يك مولکول پروتئین پایان داستان نیست بلکه باید دید که اسیدهای آمینه به چه ترتیبی در مولکول پروتئین قرار گرفته اند .

پیدا کردن ترتیب اسیدهای آمینه در مولکول پروتئین ظاهراً کاری غیر ممکن و مسئله‌ای حل نشدنی به نظر می‌رسد . زیرا تعداد ترتیبهای ممکن حتی در يك مولکول پروتئین کوچک به قدری زیاد است که پیدا کردن ترتیب درست از میان ترتیبهای ممکن مثل آن است که بخواهند سوزنی را در میان جهانی پر از گاه پیدا کنند .

ولی مسئله فوق در پرتو هوش خلافت آدمی حل شده و به وسیله شیمی دان انگلیسی فردریک زانگر^۱ و همکارانش انجام گردیده است . وی کار خود را با انسولین، که پروتئینی نسبتاً کوچک مولکول و مرکب از ۱۵۰ اسید آمینه است و وزن مولکولی ۶۰۰۰ دارد ، آغاز کرده است . (با این حال تعداد ترتیبهای ممکن بزرگتر از 10^{100} یعنی ۱۰ با صد صفر در سمت راستش خواهد شد) .

اساس روش زانگر به طور خلاصه این بود که مولکول پروتئین را به طور ناقص تجزیه کنند یعنی آن را به پپتیدهای تبدیل کنند که هر يك ۲ یا ۳ یا ۴ اسید آمینه داشته باشد . سپس ابتدا ترتیب اسیدهای آمینه را در این پپتیدها پیدا کنند سپس ترتیب پپتیدهای کوچک را در پپتیدهای بزرگتر بیابند ، و سرانجام ترتیب اسیدهای آمینه همه قطعات شناخته شده را بشناسند .

البته اجرای این روش به سادگی آنچه بیان گردید نیست بلکه کاری است طاقت فرسا که وقت بسیار لازم دارد و بی نهایت ظریف است . با همه این احوال در سال ۱۹۳۵ ، پس از ده سال تحقیق ، ساختمان درست مولکول انسولین با تعیین

يك يك اسیدهای آمینه سازنده آن، شناخته شد. از آن پس شناختن تفاوت میان انسولین خوك و انسولین گاو ممکن شد و معلوم گردید که تفاوت در تغییر جا یا تغییر نوع يك اسید آمینه در مولکول است.

همین روش را برای شناختن ساختمان مولکولی پروتئینهای پیچیده‌تر به کار بردند به طوری که در سال ۱۹۵۹ ساختمان آنزیمی به نام ریونوکلئاز با ۱۲۱ اسید آمینه مولکولش به طور کامل شناخته شد.

وقتی که ترتیب اسیدهای آمینه شناخته شد می‌توان کاهش فراوانی را که در انترویی ترکیب کردن يك پروتئین، بادر نظر گرفتن ترتیب خاص اسیدهای آمینه، حاصل می‌شود به تصور آورد. این يك کار آسان نیست. زیرا مولکول پروتئین باید طی چند مرحله به وجود آید و هر مرحله‌ای به منظور خاصی اسید آمینه‌ای را به جمع سایر اسیدهای آمینه می‌افزاید. طبیعی است که ابتدا فقط امید ساختن مولکولهای بسیار کوچک پروتئین در پیش بود. روی همین اصل نخستین مولکولی که شناخته شد (در سال ۱۹۵۳ به وسیله دانشمندان امریکایی شیمی حیاتی و نسان دووینهو^۱ و همکارانش اوکیتوسین^۲ اورمون غده هیپوفیز بود.

مولکول این پروتئین به قدری کوچک است که فقط ۱۸ اسید آمینه دارد و به زحمت می‌توان نام پروتئین بر آن گذاشت. با وجود این کار ساختن آن با تحسین فراوان روبرو شد. علتش آن بود که این پروتئین مصنوعی همه خواص پروتئین طبیعی را داشت و از طریق ترکیب کردن درست مولکولهای اسیدهای آمینه آن معلوم شد و حال آنکه قبلاً از روی قرائنی که به دست می‌آمد ترتیب را استنتاج می‌کردند.

در سال ۱۹۶۰ دانشمندان امریکایی دیگری به نام کلاوس هفمان^۳ قدمی فراتر

نهاد و توانست پروتئینی بسازد که ۲۳ اسیدامینه داشت و « اورمون محرك غده فوق کلیه » نام دارد و ماده ترشچی دیگر غده هیپوفیز است .

شیمی دانها در باره شناختن ساختمان داخلی پروتئینها به پیشرفتهای قابل توجهی نایل آمدند و با در نظر گرفتن این که طی نوزده سال که از آغازش می گذرد این همه پیشرفت حاصل شده ، آینده آن بسیار دلگرم کننده است .

با همه این احوال دلیل سست بودن مولکول پروتئین ، با همه مطالبی که در باره آنها گفته ام ، معلوم نشده است .

فصل هفدهم

جاذبه ضعیف

آیامی توان اطمینان داشت که فقط بزرگی زنجیر پیتیدی مولکول پروتئین موجب شکنندگی آن نیست؟ پاسخ این سؤال منفی است زیرا مولکول سلولز به همان اندازه بزرگ است ولی شکننده نیست. نیز شکنندگی اختصاصی پروتئینها را نمی توان به زنجیر پلی پیتیدی وابسته دانست زیرا مولکولهایی از پروتئین وجود دارند که اسیدهای امینه آن با پیوندهای پیتیدی به هم مربوطند ولی از سلولز هم کمتر شکننده اند.

بهترین مثال پروتئین اخیر فیبروئین^۱ است که ساختمانی نسبتاً ساده دارد. پنج ششم اسیدهای امینه سازنده مولکولهایش، گلیسین و آلانین و سرین، یعنی ساده ترین آنها هستند. از سایر اسیدهای امینه به مقدار کم در آن هست و اساساً نوع را فاقد است. با همه این احوال فیبروئین یک پروتئید است و از اسیدهای امینه ای ساخته شده است که با پیوندهای پیتیدی به هم مربوطند. چنانکه از نامش معلوم است این ماده بیشتر به صورت فیبر (رشته) دیده می شود. قسمت اعظم

ابریشم از فیبروئین است ، و چون يك رشته ابریشم از يك رشته پنبه (که قسمت اعظم آن سلولز است) محکم تر است ، پس باید بپذیریم که ، درزنجیر پلی پپتیدی چیزی که موجب شکنندگی باشد وجود ندارد .

چیزی که باید معلوم شود این است که بسیاری از مولکولهای پروتئین ، از آن جمله آنزیمها ، اگر چه دارای اسیدهای آمینه فیبروئین هستند و اسیدهای آمینه آنها به همان صورت که در این ماده هست به یکدیگر متصلند ، ولی بر اثر حرارت ملایم متلاشی می شوند . مسئله جالبی است . اجزای یکسان به صورتی یکسان در دو ماده ابریشم و سفیده تخم مرغ به یکدیگر متصلند ولی یکی چون ابریشم محکم و دیگری چون سفیده شکننده است .

از این گذشته ، وقتی که سفیده لزج تخم مرغ خام پس از حرارت دادن سفت می شود ، این تغییر نه شامل اسیدهای آمینه است و نه شامل پیوندهای میان آنها . (دست کم اتصالهایی را که بیان داشتیم) . گرمایی که سفیده تخم مرغ را فقط سفت می کند یا آنزیمی را از فعالیت باز می دارد کافی برای قطعه قطعه کردن زنجیر پپتیدی نیست . يك پروتئین قلب شده (یعنی پروتئینی که خواص زیستی خود را از دست داده است) باید شامل همان زنجیرهای پپتیدی و همان اسیدهای آمینه با همان ترتیبی باشد که « پروتئین موجود آن » پیش از حرارت داشته است .

ولی ما نمی توانیم چیزی مرموز و خارج از قوانین اساسی طبیعت را در این جریان دست اندر کار بدانیم . اگر سفیده قلب شده خصوصیات دارد که با خصوصیات سفیده اصلی تفاوت دارد ، پس باید تفاوتهایی در ساختمان سفیده تخم به وجود آمده باشد . اگر مولکول يك پروتئین قلب شود ولی هیچیک از پیوندهای معمولی میان آنها در این فرایند گسیخته نگردد ، لابد پیوندهای ضعیفتری نیز باید در میان باشند که برای ساختمان مخصوص پروتئید لازم هست و در نتیجه اثر ملایم

عامل محیط گسیخته می‌شود و موجب قلب پروتئین می‌گردد.

دلیل وجود چنین پیوندهای ضعیفتر این است که گاهی بعضی از ترکیبهای اتمی را در پروتئین قلب شده می‌توان تشخیص داد و حال آنکه این تشخیص در پروتئین اصلی میسر نیست. ترکیبهایی اتمی که بیشتر مورد تشخیص قرار می‌گیرند گروه تیول است. گروه تیول از يك اتم ئیدروژن و يك اتم گوگرد مرکب است (S - H) (به تصویر ۲۵ مراجعه شود). این ترکیب اتمی در سیستمین هست و تقریباً در همه پروتئینها وجود دارد.

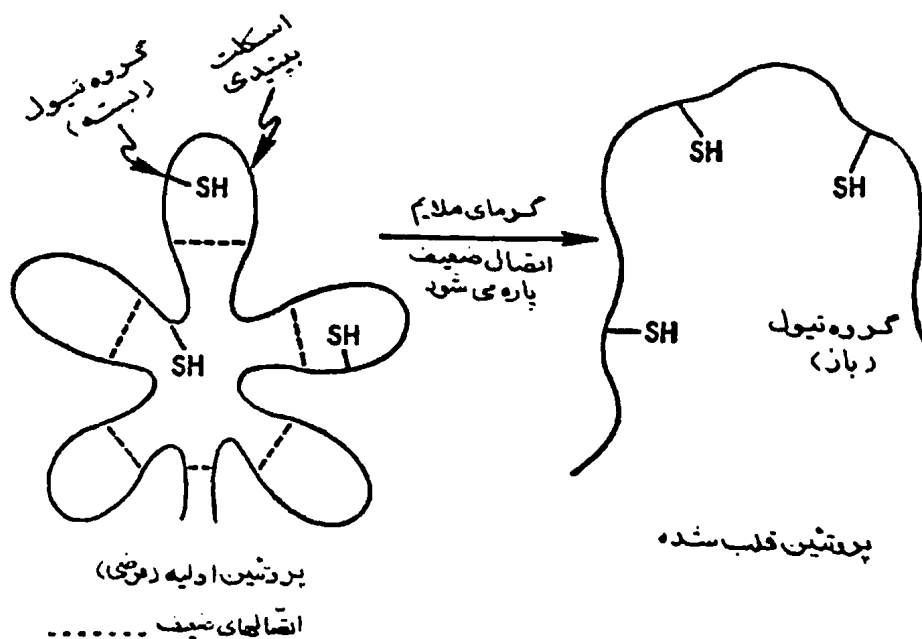
موادی وجود دارند که وقتی با گروه تیول ترکیب می‌شوند، موادی محلول یا رسوباتی به وجود می‌آورند که رنگهای مشخص دارند.

(موادی که برای تشخیص اتمها یا ترکیبات اتمی مخصوصی به کار می‌روند و مانند آنچه گفته شد تغییرات ظاهری آشکار به وجود می‌آورند معرف نامیده می‌شوند). گرچه سیستمین بخشی از يك زنجیر پپتیدی است و به سایر اسیدهای امینه اتصال دارد، ولی زنجیر پهلویی آن که شامل گروه تیول است آزاد است هر معرفي که با سیستمین خالص واکنش می‌کند با زنجیر پپتیدی دارای سیستمین نیز واکنش خواهد کرد.

ولی بسیاری از مولکولهای پروتئین محتوی سیستمین (که پس از تجزیه مولکول به کمک اسید، سیستمین آزاد می‌سازند) با معرف واکنش نمی‌کنند و حال آنکه وقتی که قلب شدند، با آن واکنش خواهند کرد.

ساده‌ترین توجیهی که می‌توان کرد این است که زنجیر پپتیدی در مولکول اصلی چنان تا شده است که بعضی از زنجیرهای پهلویی اسیدهای امینه داخل حفره درونی مولکول قرار می‌گیرند. بنابراین اگر گروه تیول يك سیستمین

به داخل مولکول متوجه شده باشد معرف نخواهد توانست با آن تماس بگیرد، پس واکنش صورت نخواهد گرفت، ولی پس از قلب شدن پروتئین، زنجیر پپتیدی باز می‌شود و گروه تیول در سطح خارجی قرار می‌گیرد و واکنش صورت می‌پذیرد. بنابراین فرایند قلب شدن طرح منظم زنجیر پپتیدی تا شده را متلاشی می‌سازد، پس زنجیر باز می‌شود و ترتیبی اتفاقی به خود می‌گیرد. این افزایش



تصویر ۲۵. قلب شدن زنجیر پپتیدی

بی‌نظمی موجب افزایش فراوان اتروپی می‌شود. برای اجرای فرایند عکس، یعنی به وجود آوردن پروتئین تا شده اصلی از صورت نامنظمی که پس از قلب شدن پیدا کرده است، کاهش فراوان اتروپی لازم است. چنین «بازگشتی به صورت اصلی» عملی نیست (به استثنای مواردی که فرایند پیشرفت زیاد نکرده باشد). به اصطلاح بازگشت به صورت اصلی، یعنی تبدیل شدن تخم مرغ سفت شده به حالت اولیه خود.

برای آنکه زنجیر پیتیدی در مولکول اصلی به صورت تا شده باقی ماند باید نوعی پیوندهای شیمیایی را در آن حال حفظ کند. این پیوندها باید به قدری سست باشند که با تغییر مختصر شرایط محیط موجب قلب پروتئین گردند.

به منظور شناختن ماهیت واقعی این گونه پیوندهای ضعیف که شکنندگی مولکول پروتئید بدانها نسبت داده می شود، ناگزیرم که اندکی از موضوع اصلی منحرف شوم و به مسئله پیوندهای شیمیایی به طور کلی، بپردازم و بعضی از مطالبی را که در فصل دهم بیان کرده ام با تفصیل شرح دهم.

از آغاز تئوری اتمی این مسئله روشن بود که اتمهای مختلف يك مولکول به وسیله نیروهایی به یکدیگر متصل باقی می مانند. از این گذشته تجلی نیروی مذکور از خصوصیات هر عنصری است. مثلاً معلوم شد که يك اتم ئیدروژن هرگز با بیش از يك اتم دیگر متصل نمی شود و يك اتم اکسیژن هرگز با بیش از دو اتم دیگر متصل نمی گردد نیز يك اتم کربن هرگز با بیش از چهار اتم دیگر متصل نمی شود و بر این قیاس.

شیمی دان انگلیسی ادوارد فرانک لاند^۱ در سال ۱۸۲۵ پیشنهاد کرد که نام ظرفیت^۲ به این قدرت ترکیب اتمهای عناصر داده شود. بنابراین ئیدروژن يك ظرفیت دارد، نیز فلوئور و کلر و برم و ید و سدیم و پتاسیم يك ظرفیت دارند. اکسیژن دو ظرفیت دارد، نیز گوگرد و منیزیوم و کلسیم دارای دو ظرفیت اند. نیتروژن سه ظرفیت دارد، نیز فسفر و آرسنیک و آلومینیوم دارای سه ظرفیت هستند. کربن و سیلیسیوم چهار ظرفیت دارند.

گاهی بعضی از عناصرها ظرفیت دیگری پیدا می کنند. مثلاً اگرچه کربن همیشه ۴ ظرفیت دارد ولی در موارد نادر دارای دو ظرفیت می شود. نیتروژن

معمولاً سد ظرفیت دارد ولی گاهی دارای ۵ ظرفیت می‌شود. آهن ۲ یا ۳ ظرفیت دارد، طلا ۱ و ۳ ظرفیت مس و جیوه یک و دو ظرفیت دارند و بر این قیاس. تا آنجا که بدمواد غیر آلی ساده مربوط است، مسئله ظرفیت در ماهیت فرمولی که به کار می‌رود تغییر به وجود نمی‌آورد. مثلاً آهن با کلر به دو صورت ترکیب می‌شود: یکی ترکیب یک اتم آهن با ۲ اتم کلر است که کلرورفرو تولید می‌کند دیگری ترکیب یک اتم آهن با ۳ اتم کلر است که کلرورفیک می‌سازد. فرمولی که برای این ترکیبات به کار می‌رود بسیار روشن است و نشان می‌دهد که آهن در ترکیب اول دو ظرفیتی و در ترکیب دوم سد ظرفیتی است.

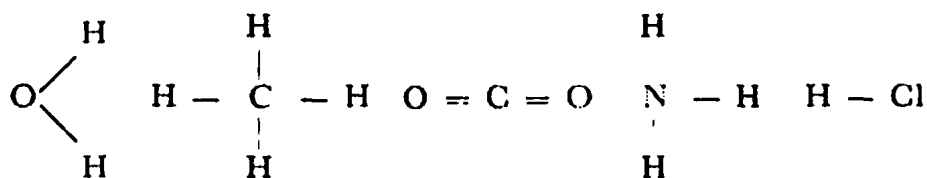
ولی در مورد ترکیبهای آلی پیچیده، مفهوم ظرفیت اهمیت اساسی پیدا کرده و در فرمول نویسی انقلابی به وجود آورده است. ناکافی بودن فرمولهای معمولی در شیمی آلی از اوایل قرن نوزدهم احساس شد و آن هنگامی بود که کشف کردند، مولکولهای مواد مختلف آلی خصوصیات اتمهای محتوی خود را ندارند.

کسی که نخستین بار با شکفتی با این مسئله روبرو شد شیمی‌دان آلمانی یوستوس فن لیبیک بود. وی در سال ۱۸۲۳ ماده‌ای به نام فولمینات نقره را به حالت خلوص به دست آورد و در مولکول آن ۴ اتم یسافت: نقره، کربن، نیتروژن و اکسیژن. اشکال قضیه در این بود که ماده دیگری به نام ایزوسیانات نقره از پیش شناخته شده بود که عیناً دارای همین ۴ اتم بود ولی خواص این دو ماده کاملاً متفاوت بودند.

برزیلیوس پس از آگاهی از این جریان، از قبول آن سر باز زد تا آنکه خود شخصاً دو ماده شناخت که ترکیب شیمیایی آنها یکی بود ولی خواص متفاوت

داشتند. وی این گونه مولکولها را ایزومر^۱ نامید. مسئله ایزومر مدت يك نسل چون رازی ناگشوده باقی ماند.

تریبی را که فرانک لاند برای ظرفیت پیشنهاد کرد به حل مسئله کمک کرد، زیرا در سال ۱۸۵۹ شیمی دان آلمانی فریدریش اوگوست ککوله^۲ هر اتم را دارای قلابها یا « پیوندهایی » نشان داد که برابر ظرفیت آنها بود و پیشنهاد کرد که در موقع نوشتن فرمول آن پیوندها را، که نگاهدارنده اتمها با هم هستند نشان دهند. به این حساب فرمول آب (H_2O) و متان (CH_4) و انیدرید کربنیک (CO_2) و امونیاک (NH_3) و اسید کلریدریک (HCl) چنین نوشته می شود:

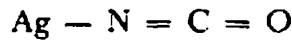


در این ترکیبات، اتم هیدروژن (H) و اتم کلر (Cl) همیشه فقط يك پیوند دارند. اتم اکسیژن (O) دو پیوند و اتم نیتروژن (N) سه پیوند و اتم کربن (C) چهار پیوند دارد.

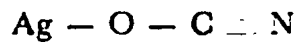
وقتی که این روش را در نوشتن مواد آلی پیچیده تر به کار بردند، مثلاً در مورد سوکروز (قند معمولی) یا تربیتوفان، درست از آب درآمد. اتمهای سازنده يك مولکول را می توان همیشه با هم به وسیله پیوندهای معینی مربوط ساخت، بدون آنکه به قانون ظرفیت لطمه وارد آید. این گونه فرمول نوشتن را فرمول گسترده می گویند و حال آنکه فرمولی که، مانند CH_4 ، فقط تعداد اتمهای موجود در مولکول را نشان می دهد، به فرمول خام موسوم است.

به زودی معلوم شد که يك عده اتم معین به بیش از يك صورت می توانند

به هم متصل گردند بدون آنکه معارض با قانون ظرفیت باشند. مثلاً دوایزومری را که نخستین بار شناخته شدند در نظرمی گیریم. فرمول فولمینات نقره رامی توان چنین نوشت:



و فرمول ایزوسیانات نقره نیز به قرار زیر است:



در هر دو مورد می بینید که اتم نقره يك ظرفیت و اتم اکسیژن ۲ ظرفیت و اتم نیتروژن ۳ ظرفیت و اتم کربن چهار ظرفیت دارد. وقتی که سروکار با مواد آلی پیچیده تر باشد تعداد ترتیبهای ممکن، که معارض با قانون ظرفیتها نباشد، زیاد می شود و به عددی سرسام آور می رسد. مثلاً اگر مولکولی چهل اتم کربن و ۸۲ ئیدروژن داشته باشد به متجاوز از ۶ تریلیون صورت می تواند ترتیب داده شود. مدت يك قرن است که شیمی دانها سیستم ککوله را به عنوان راهنمای ساختمان مواد نو و تعداد ایزومرهای ممکن در موارد خاص به کار می برند. گرچه این سیستم تغییر فراوان یافته و پیچیده تر شده و نرمش بیشتری پیدا کرده ولی اساس آن همچنان پابرجاست و به احتمال قوی تا آینده بسیار دوری پابرجا خواهد ماند.



به نظر شیمی دانهای اواسط قرن نوزدهم مسئله اساسی مربوط به ظرفیتها، اگرچه مفید بود، ولی اختیاری به نظر می رسید و همواره این سؤال مطرح بود که چرا ظرفیت اکسیژن ۲ و ظرفیت کربن ۴ و از ئیدروژن ۱ باشد؟ چرا با وجود تفاوت های بسیاری که میان ئیدروژن و سدیم و کلر هست، ظرفیت آنها باید برابر باشد. شیمی دان روسی دمتری ایوانوویچ مندلیف^۱ نشان داد که مسئله ظرفیت به صورتی

که به نظر می‌رسد اختیاری نیست و با این عمل از میزان عدم اعتماد موجود کاست. وی در سال ۱۸۶۹ عنصرهای شناخته شده را به ترتیب وزن اتمی آنها مرتب کرد و به این نتیجه رسید که خواص آنها بر طبق طرح ثابتی متغیر است. در نتیجه قرار دادن صورت اسامی عنصرها در ستونهای عمودی و ردیفهای افقی چنین استنباط کرد که عنصرهای دارای خواص بسیار شبیه، در یک ستون عمودی قرار می‌گیرند و (این جدول را جدول تناوبی عنصرها می‌گویند). از این گذشته همه عنصرهای یک ستون عمودی دارای یک ظرفیت هستند. (به تصویر ۲۶ مراجعه شود)

مثلاً فلورین و کلر و برم و ید در یک ستون عمودی هستند و ظرفیت همه آنها ۱ است. منیزیم و کلسیم و استرونیوم و باریوم نیز در یک ستون قرار دارند و همه دارای ظرفیت ۲ هستند. نیز نیتروژن و فسفر و آرسنیک و آنتیموان در یک ستون قرار دارند و ظرفیت همه ۳ و ۵ است و بر این قیاس.

از این گذشته وقتی که در طول یک ردیف افقی سیر می‌کنیم، ظرفیت‌ها به صورتی مرتب تغییر می‌کنند. مثلاً در آغاز جدول، این عنصرها به تناسب افزایش وزن اتمی در یک ردیف دیده می‌شوند: لیتیم، بریلیوم، بور، کربن، نیتروژن، اکسیژن و فلورین. ظرفیت آنها به ترتیب ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ (یا ۶) است. جدول تناوبی عنصرها، یکی از فتوحات بزرگ تئوری شیمیایی را به کرسی نشاند و اگرچه ماهیت پیوند شیمیایی همچنان رموز باقی ماند، نظریه ظرفیت عنصرها به عنوان پدیده‌های منظم مورد قبول واقع شد.

با آغاز قرن بیستم، معلوم شد که خود اتم دارای ساختمان داخلی مخصوصی است و وجود الکترون در آن به ثبوت رسید. به طوری که معلوم شد اتم هسته‌ای کوچک دارای بار مثبت در مرکز دارد و ابری از الکترونهای دارای بار منفی هسته را از خارج فرا می‌گیرد و بقیه حجم اتم را پر می‌سازد. هر عنصری از

دوره	گروه	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	دوره					
1	on	^1_1H							^2_2He	1					
2	^2_2He	^3_3Li	^4_4Be	^5_5B	^6_6C	^7_7N	^8_8O	^9_9F	$^{10}_{10}\text{Ne}$	2					
3	$^{18}_{18}\text{Ar}$	$^{11}_{11}\text{Na}$	$^{12}_{12}\text{Mg}$	$^{13}_{13}\text{Al}$	$^{14}_{14}\text{Si}$	$^{15}_{15}\text{P}$	$^{16}_{16}\text{S}$	$^{17}_{17}\text{Cl}$	$^{18}_{18}\text{Ar}$	3					
4	$^{18}_{18}\text{Ar}$	$^{19}_{19}\text{K}$	$^{20}_{20}\text{Ca}$	$^{21}_{21}\text{Sc}$	$^{22}_{22}\text{Ti}$	$^{23}_{23}\text{V}$	$^{24}_{24}\text{Cr}$	$^{25}_{25}\text{Mn}$	$^{26}_{26}\text{Fe}$	$^{27}_{27}\text{Co}$	$^{28}_{28}\text{Ni}$	4			
5	$^{36}_{36}\text{Kr}$	$^{37}_{37}\text{Rb}$	$^{38}_{38}\text{Sr}$	$^{39}_{39}\text{Y}$	$^{40}_{40}\text{Zr}$	$^{41}_{41}\text{Nb}$	$^{42}_{42}\text{Mo}$	$^{43}_{43}\text{Tc}$	$^{44}_{44}\text{Ru}$	$^{45}_{45}\text{Rh}$	$^{46}_{46}\text{Pd}$	5			
6	$^{54}_{54}\text{Xe}$	$^{47}_{47}\text{Ag}$	$^{48}_{48}\text{Cd}$	$^{49}_{49}\text{In}$	$^{50}_{50}\text{Sn}$	$^{51}_{51}\text{Sb}$	$^{52}_{52}\text{Te}$	$^{53}_{53}\text{I}$	$^{54}_{54}\text{Xe}$	$^{76}_{76}\text{Os}$	$^{77}_{77}\text{Ir}$	$^{78}_{78}\text{Pt}$	6		
7	$^{86}_{86}\text{Rn}$	$^{87}_{87}\text{Fr}$	$^{88}_{88}\text{Ra}$	$^{89}_{89}\text{Ac}$					$^{86}_{86}\text{Rn}$				7		
6	$^{58}_{58}\text{La}$	$^{58}_{58}\text{Ce}$	$^{60}_{60}\text{Nd}$	$^{61}_{61}\text{Pm}$	$^{62}_{62}\text{Sm}$	$^{63}_{63}\text{Eu}$	$^{64}_{64}\text{Gd}$	$^{65}_{65}\text{Tb}$	$^{66}_{66}\text{Dy}$	$^{67}_{67}\text{Ho}$	$^{68}_{68}\text{Er}$	$^{69}_{69}\text{Tm}$	$^{70}_{70}\text{Yb}$	$^{71}_{71}\text{Lu}$	6
7	$^{90}_{90}\text{Th}$	$^{90}_{90}\text{Th}$	$^{92}_{92}\text{U}$	$^{93}_{93}\text{Np}$	$^{94}_{94}\text{Pu}$	$^{95}_{95}\text{Am}$	$^{96}_{96}\text{Cm}$	$^{97}_{97}\text{Bk}$	$^{98}_{98}\text{Cf}$	$^{99}_{99}\text{Es}$	$^{100}_{100}\text{Fm}$	$^{101}_{101}\text{Mv}$	$^{102}_{102}\text{No}$	$^{103}_{103}\text{Lw}$	7

تصویر ۲۶. جدول تناوبی عناصر

اتمهایی ساخته شده است که هسته‌ای با بار مشخص دارد. اتم نئیدروژن هسته‌ای دارد که صاحب کوچکترین بار ممکن است و آن را ۱ اختیار کرده‌اند. اتم کربن هسته‌ای دارد که بارش ۶ برابر بار هسته نئیدروژن است، پس می‌توان بار آن را به سادگی ۶ نشان داد. به همین روش بار هسته نیتروژن ۷ و بار هسته اکسیژن ۸ است. برای هر بار الکتریکی از ۱ تا ۱۰۳ یک عنصر هست.

اتم آزاد ایده‌آلی تعدادی الکترون دارد (هر یک صاحب یک بار منفی است) که درست با بار مثبت هسته متوازن است. مثلاً اتم نئیدروژن یک الکترون و اتم کربن ۶ الکترون و اتم نیتروژن ۷ و اتم اکسیژن ۸ الکترون دارد و بر این قیاس الکترونها به صورت چند لایه قرار دارند که هر لایه‌ای می‌تواند تعدادی الکترون به حد اکثر داشته باشد. داخلی‌ترین لایه فقط می‌تواند دو الکترون داشته باشد. لایه بعد از آن ۸ الکترون و لایه سومی ۱۸ الکترون دارد و بر این قیاس. اتم کربن که ۶ الکترون دارد باید آنها را در دو لایه توزیع کند. دو الکترون در لایه داخلی و چهار الکترون دیگر در لایه خارجی‌تر. کلر که ۱۷ الکترون دارد باید آنها را در سه لایه توزیع کند. دو الکترون در لایه داخلی، ۸ الکترون در لایه دومی و هفت الکترون باقی مانده در لایه خارجی.

وقتی که دو اتم با هم تصادم می‌کنند فقط الکترونها لایه خارجی هر اتم با لایه خارجی اتم دیگر در تماس می‌افتند و ماهیت واکنشهایی که بین دو اتم صورت می‌گیرد فقط به تعداد و ترتیب الکترونها لایه خارجی آنها وابسته است. این مسئله شباهتهایی را که جدول تناوبی عناصرها نشان داده است، توجیه می‌کند. مثلاً ۹ الکترون اتم فلئور در دو لایه قرار دارند که دو الکترون در لایه داخلی و ۷ الکترون در لایه خارجی است. و ۱۷ الکترون کلر در سه لایه قرار دارند، دو الکترون در لایه داخلی، هشت الکترون در لایه میانی و هفت

الکترون در لایهٔ خارجی و ۳۵ الکترون برم در چهار لایه قرار دارند که هفت الکترون آن در لایهٔ خارجی است و ۵۳ الکترون ید در ۵ لایه توزیع شده‌اند که ۷ الکترون در لایهٔ خارجی هست. به‌طوری که ملاحظه می‌شود در هر چهار عنصر ۷ الکترون در لایهٔ خارجی است، بنابراین خواص چهار عنصر فوق همانند خواهد بود.

با گذشت زمان در قرن بیستم و بیشتر آشنا شدن دانشمندان با این امور، رفته رفته این رسم معمول شد که هر عنصری را با علامت اختصاری آن به‌اضافهٔ تعداد الکترونهای لایهٔ خارجی نشان دهند. مثلاً ئیدروژن که فقط یک الکترون دارد با H نمایش داده می‌شود و کربن که ۶ الکترون دارد ولی فقط چهار الکترونش در لایهٔ بیرونی است به C نمایش داده می‌شود. جدول ۷ بعضی از عنصرهای مهم موجود در بافت زنده و علامت اختصاری الکترونی آنها را نشان می‌دهد.

در مورد عنصرهای سبکتر، مانند عنصرهای جدول شماره ۷، پایدارترین ترتیبها وقتی است که لایهٔ خارجی ۸ الکترون داشته باشد (مهمترین عنصری که از این قاعده مستثنی است ئیدروژن است که فقط یک لایهٔ الکترونی دارد و این لایه فقط دو الکترون می‌تواند بگیرد. وجود دو الکترون در این لایه پایدارترین وضع ئیدروژن است.)

اکنون سدیم را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. ۱۱ الکترون اتم سدیم بدین طریق توزیع شده‌اند که دو الکترون در نخستین لایه است هشت الکترون در لایه دوم است و یک الکترون در لایهٔ خارجی. اگر سدیم این یک الکترون را از دست بدهد، در لایهٔ خارجی خود ۸ الکترون خواهد داشت و صورتی پایدار پیدا خواهد کرد. روی این اصل است که اتم سدیم تمایل بسیار شدیدی به از دست دادن یک الکترون دارد.

جدول شماره ۷
علامت اختصاری الکترونی

علامت	عنصر
H .	هیدروژن
. C .	کربن
. N :	نیتروژن
. O :	اکسیژن
Na .	سدیم
Mg :	منیزیم
. P :	فسفر
. S :	گوگرد
. Cl :	کلر
K .	پتاسیم
Ca :	کلسیم

اتم کلر ۱۷ الکترون به ترتیب ۲ و ۸ و ۷ دارد . این اتم برای پیدا کردن وضع ثابت باید يك الکترون بگیرد تا تعداد الکترونهاى لایه خارجى خود را به هشت برساند .

بنابراین احتیاجات اتم سدیم و اتم کلر مکمل یکدیگرند . اگر کلر و سدیم مجاور یکدیگر شوند يك الکترون از سدیم به اتم کلر انتقال می یابد و هر دو اتم پایدارتر از پیش می شوند ، چون سدیم يك الکترون از دست داده است پس با بار مثبت هسته داخلی نمی تواند موازنه داشته باشد . هسته سدیم ۱۱ بار مثبت دارد ولی اکنون يك الکترون کم است و ۱۰ الکترون باقیمانده ۱۰ بار منفی

خواهند داشت . بنا بر این اتم سدیم به یون سدیم مثبت (Na^+) تبدیل می شود . از سوی دیگر اتم کلر که يك الکترون اضافی دارد ، صاحب ۱۸ الکترون با ۱۸ بار منفی است و این بارها بیش از ۱۷ بار مثبت هسته اند . پس بار اتم کلر همان الکترونی است که گرفته است یعنی ۱- است . پس اتم کلر به یون کلر منفی (Cl^-) تبدیل می شود . تشکیل یونها که در قرن نوزدهم از مطالعه سلولهای الکتریکی (به فصل دهم مراجعه شود) معلوم شده بود ، در قرن بیستم بر اساس اطلاعات ساختمانی اتم با دلایل عقلی تعبیر شد .

وقتی که یون سدیم مثبت و یون کلر منفی به وجود آمدند با « جاذبه الکتروستاتیکی » میان بارهای مخالف ، یکدیگر را می گیرند و محصول این اتحاد تشکیل ClNa است . اتصال که در نتیجه جاذبه الکتروستاتیکی میان یونها سدیم و یونها کلر نمک طعام پیدا می شود به پیوند الکترووالان موسوم است .

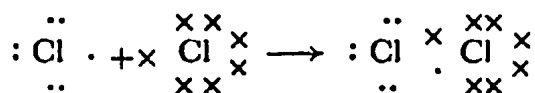
بدین طریق آشکار می شود که چرا سدیم يك ظرفیت دارد . زیرا پیش از به دست آوردن ترتیب الکترونی ثابت ، فقط يك الکترون می دهد . نیز کلر صاحب يك ظرفیت است زیرا برای به دست آوردن ترتیب الکترونی ثابت فقط يك الکترون می گیرد . اتمهای کلسیم و منیزیم دو الکترون از لایه خارجی خود می دهند پس صاحب دو ظرفیتند . اکسیژن که در لایه خارجی ۶ الکترون دارد ، می تواند دو الکترون بگیرد تا به وضع ثابت در آید پس دارای دو ظرفیت است . اگر يك اتم کلسیم دو الکترونش را به يك اتم اکسیژن بدهد هر دو اتم وضع ثابت پیدا می کنند و به یونها Ca^{++} و اکسید O^- تبدیل می شوند در نتیجه میان آن دو پیوند الکترووالان قوی به وجود می آید و تبدیل به اکسید کلسیم CaO می شوند .



پیوندهای بین اتمی همیشه متضمن انتقال يك یا چند الكترون از اتمی به اتم دیگر نیست . مثلاً دو اتم كلر چگونه يك مولكول به وجود می آورند ؟ هر دو اتم تمایل به گرفتن يك الكترون دارند و هیچيك تمایلی به از دست دادن آن نشان نمی دهند . پس وقتی که با هم يك مولكول می سازند ، هیچيك از آنها الكترونی برای رفع نیازمندی اتم دیگر بدان نمی دهد .

به عکس توده ای از الكترون به وجود می آید که هر دو سهم برابر از آن خواهند برد . برای وضوح مطلب ، الكترونهاي یکی را با نقطه ها و الكترونهاي دیگری را با ضربدر نشان می دهیم . (این کار فقط به خاطر ایضاح مطلب صورت می گیرد و الكترونهاي اتمها دو قسم نیستند بلکه تا آنجا که اطلاع داریم الكترونهاي همه اتمها نظیر یکدیگرند) .

ترکیب دو اتم كلر برای ساختن يك مولكول از آن می تواند چنین نوشته شود :

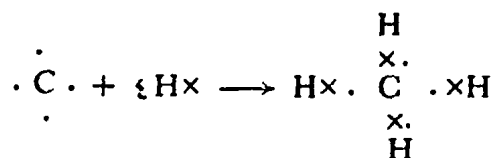


دو اتم كلر مولكول كلر در لایه خارجی خود بروی هم ۱۴ الكترون دارند و هیچ الكترونی بدانها افزوده نشده است . ولی دو الكترونی که میان دو اتمها در فرمول بالا نشان داده شده است (که هر يك متعلق به یکی از كلرهاست) در لایه خارجی هر دو قرار دارند . پس هر دو اتم در لایه خارجی خود صاحب هشت الكترونند و ترتیب دو اتمی مولكول پایدارتر از ترتیب دو اتم جداست . چون دو الكترون هنگامی می توانند جزء لایه خارجی هر دو باشند که دو اتم با هم متصل گردند پس برای جدا ساختن آنها ، یعنی تغییر آنها از حالت پایدار به حالتی که پایداری کمتر دارد ، باید انرژی مصرف شود .

به عبارت دیگر تشکیل كلر مولكولی از كلر اتمی ، همراه کاهش انرژی

آزاد، واکنشی خود به خود است. جدا شدن اتمهای مولکول کلر نیاز به بالا رفتن انرژی آزاد دارد پس خود به خود صورت نمی گیرد.

بنابراین وجود چنین توده‌ای الکترونی مشترک چون پیوندی اتمها را نگه می‌دارد. از آنجا که دو اتم با هم الکترونها را مشترک دارند، این نوع پیوند را « پیوند کووالان » می‌گویند. بیشتر پیوندهای مواد آلی از نوع کووالان است. مثلاً متان را می‌توان از نظر الکترونی، چنان ترکیبی از یک اتم کربن با چهار اتم هیدروژن دانست که چهار الکترون خارجی اش، هر یک با یکی از الکترونها منفرد هیدروژنها مجاور باشد.



اتم کربن در هر یک از الکترونهاش با یک هیدروژن مشترک است و هر اتم هیدروژن الکترونش را با توده الکترونها سهیم است. نتیجه این است که هر اتم هیدروژن دو الکترون در تنها لایه اش دارد (این حد اکثر الکترونهاست که این لایه می‌تواند بگیرد تا ترتیب ثابت پیدا کند) و حال آنکه اتم کربن هشت الکترون برای حصول وضع ثابت خود دارد.

مسائلی که قبلاً به وسیله پیوندهای مستقیم ککوله تفسیر شده بودند، اکنون با سهیم بودن الکترونها خارجی (که الکترونها ظرفیتی^۱ نیز نامیده می‌شوند) از نظر الکترونی به صورت رضایت بخشی توجیه می‌شود. از این گذشته بعضی از مسائل با الکترون توجیه می‌شوند که با سیستم ککوله مبهم باقی مانده بودند. فرض کنید که دو اتم مولکول کلر، در عین حال که نظیر یکدیگرند،

باید الکترونها را برابر بگیرند. دو اتم از دو الکترون مشترک میان خود سهم برابر می‌برند. کربن و اتمهای ئیدروژن نیز الکترونها را ظرفیتی تقریباً برابر دارند به طوری که در متان، از الکترونها جفت مشترک تقریباً سهم برابر برده می‌شود.

اما پیوند کووالان میان اکسیژن و ئیدروژن چه صورتی پیدا می‌کند؟ اتم اکسیژن دو الکترون مشترک با هر اتم ئیدروژن به وجود خواهد آورد. ولی چون اتم اکسیژن پیوند الکترونها را ظرفیتی قوی‌تر دارد، آنها را در لایه خارجی خود به اصطلاح محکم‌تر خواهد گرفت. پس الکترونها، لایه الکترونی اتم ئیدروژن را بالنسبه کمتر اشغال خواهند کرد.

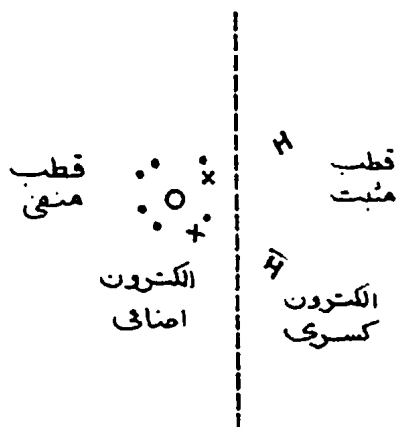
از آنجا که اتم اکسیژن سهم بیشتری در توده الکترونها دارد، در بار منفی آن الکترونها نیز دارای سهم بیشتری است. پس در اتم اکسیژن یک بار منفی کسری خواهد بود. اتم ئیدروژن که از سهم خود محروم شده است بار مثبت کمی به دست خواهد آورد.

پس مولکولی چون آب تراکم مختصری از بار مثبت در طرف ئیدروژن و تراکم مختصری از بار منفی در طرف اکسیژن خواهد داشت که در تصویر ۲۷ نشان داده شده است.

این دو نظیر دو قطب مخالف یک آهنربا هستند و می‌توان بدانها نام قطبهای بار الکتریکی داد. به همین دلیل آب یک مولکول قطبی است. مولکولهایی مانند کلر و متان که در نقاط مخصوص خود تراکم داریم بار ندارند به مولکولهای غیر قطبی موسومند.

بارهای الکتریکی مخالف مولکولهای دو قطبی یکدیگر را درست مانند

یونهای دارای بار مخالف، جذب می‌کنند. به عبارت دیگر، مولکولهای آب در حالت مایع (و بیشتر در یخ) تمایلی دارند که خود را به صورتی مرتب سازند



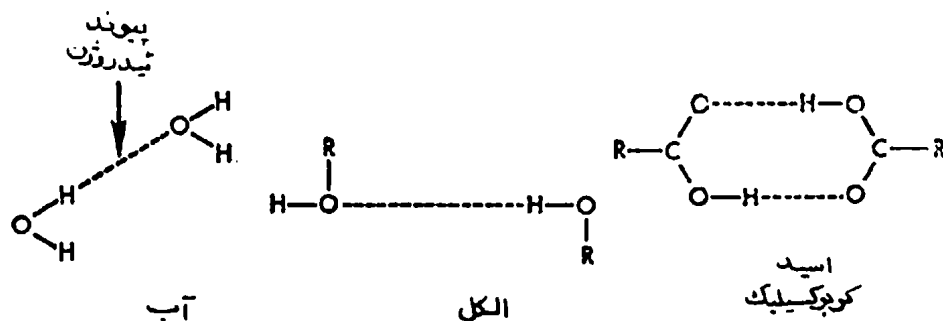
نصیر ۲۷. مولکول قطبی آب

که طرف دارای بار الکتریکی منفی اکسیژن هر مولکول، مجاور طرف دارای بار الکتریکی مثبت هیدروژن مولکول نزدیک خود قرار گیرد.

بارهای مولکولهای قطبی بسیار کمتر از بارهایی هستند که پس از انتقال الکترونها از یک اتم به اتم دیگر به وجود می‌آیند. پس جاذبه میان مولکولهای قطبی به اندازه پیوند الکترووالان قوی نیست. و در حدود یک بیستم آن است. معیناً این جاذبه‌های میان مولکولهای قطبی به آن اندازه قوی هست که مثلاً مولکولهای آب را به صورت برجسته‌ای چسبنده سازد. برای جدا ساختن مولکولهای چسبنده آب از یکدیگر انرژی بیشتری از جدا ساختن مولکولهای غیر چسبنده متان لازم است.

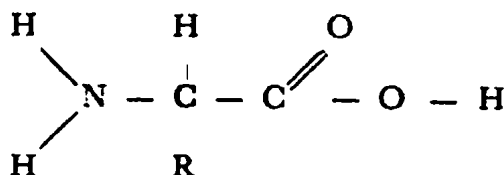
بنابراین با وجود آنکه مولکولهای آب و متان تقریباً یک اندازه‌اند و درجه پیچیدگی آنها نیز یکسان است درجه ذوب متان و آب به ترتیب 184°C و 0°C است و حال آنکه درجه جوش آنها 161°C و 100°C است.

وقتی که اتم هیدروژن دارای بار مثبت، بخشی از مولکولی را تشکیل دهد نیروهای بین مولکولی، قوی تر خواهند بود زیرا اتم هیدروژن چنان کوچک است (کوچکترین اتمهاست) که اتمهای دارای بار منفی قوی (مانند اکسیژن و نیتروژن و فلور) می توانند به صورتی غیر عادی با آن نزدیک شوند. از آنجا که جاذبه الکتروستاتیکی با مربع فاصله مرکز یک اتم تا مرکز دیگر نسبت عکس دارد، پس یک نزدیکی غیر عادی عبارت خواهد بود از یک جاذبه غیر عادی. بنابراین نیروی بین مولکولی فقط در مواردی قوی و قابل توجه است که اتمهای هیدروژن میان دو اتم دارای بار منفی قرار بگیرند. مثلاً در آب، هیدروژن میان دو اتم اکسیژن است. روی اصل نقش اساسی هیدروژن، این نیروی جاذبه را پیوند هیدروژنی می گویند (به تصویر ۲۸ مراجعه شود).

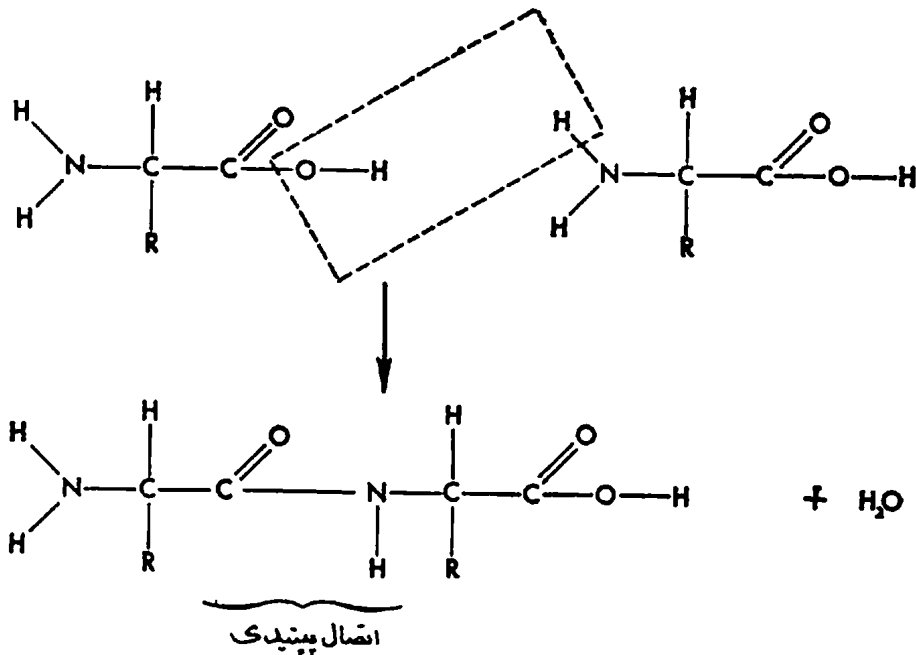


تصویر ۲۸. پیوند هیدروژنی

مورد استعمال پیوند هیدروژنی در مسئله ساختمان پروتئین بسیار روشن است. برای نشان دادن آن، جزئیات مولکول اسید آمینه را بر اساس سیستم تکوله مورد بررسی قرار می دهیم:



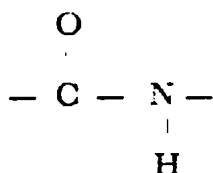
NH_2 سمت چپ يك گروه امين است . $COOH$ سمت راست يك گروه كربوكسيل است . R كه به كربن مرکزی متصل است نماينده زنجير پهلوئی است و در هر اسيدامينه ای چیز خاصی است .



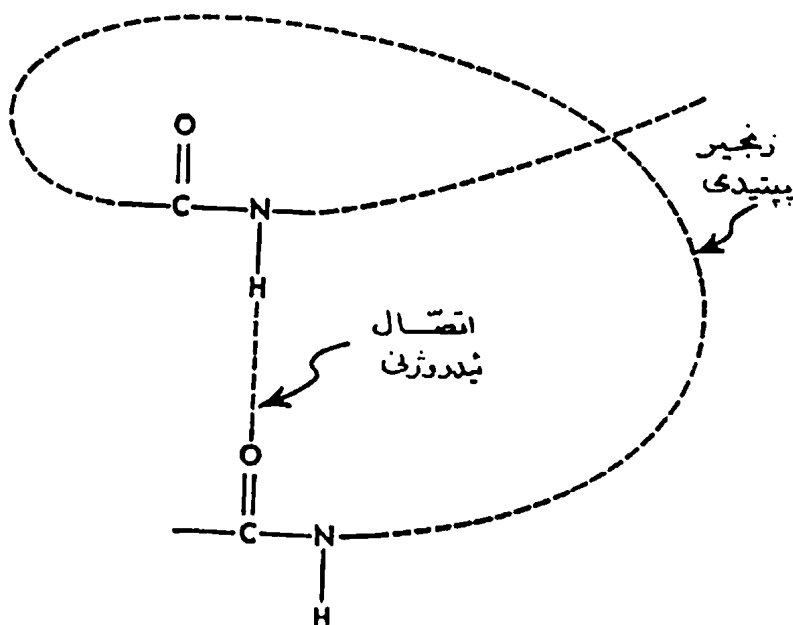
تصویر ۲۹ . ترکیب شدن اسیدهای امینه

هنگامی که دو اسیدامینه باهم ترکیب می شوند، يك OH از گروه كربوكسيل یکی از آنها جدا می شود ، نیز يك H از يك گروه امين اسيد امينه ديگر جدا می گردد . این دو باهم ترکیب می شوند و تولید آب می کنند . آنچه از دو اسيد امينه باقی می ماند از طریق پیوندهایی که بر اثر جدا شدن H و OH آزادگشته اند با هم ترکیب می شوند . این موضوع به بهترین صورت در معادله تصویر ۲۹ نشان داده شده است .

پیوند پپتیدی که اجزای دو اسیدامینه را با هم متصل می سازد ، چنانکه می بینید دارای صورت زیر است :



اگر زنجیر اسید آمینه بر روی خود پیچد، موقعیتی پیش می آید که در آن نیدروژن متصل به نیتروژن یک پیوند پپتیدی، در مجاورت اکسیژن متصل به کربن پیوند پپتیدی دیگر قرار می گیرد. پس نیدروژن میان اکسیژن و نیتروژن قرار خواهد گرفت و نیاز به وجود آمدن یک پیوند نیدروژنی پیدا می شود و موقعیتی



تصویر ۳۰. اتصال نیدروژنی و زنجیرهای پپتیدی

پیش خواهد آمد که در تصویر ۳۰ نشان داده شده و درست همان چیزی است که در تصویر ۲۵ قبلاً آمده است. این پیوند نیدروژن همان اتصال ضعیفی است که بدان اشاره کرده ام.

دانشمندان شیمی حیاتی امریکایی لینوس پاولینگ و آ. ای. میرسکی^۲ در سال

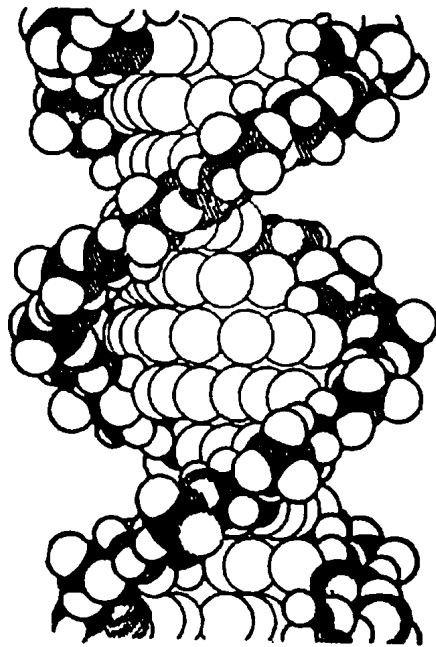
۱۹۳۶ نظر دادند که وجود پیوندهای ئیدروژنی در پروتئینها موجب شکنندگی مولکولهای آنهاست. پس بر طبق این نظریه فعالیت اختصاصی چنین مولکولی فقط وابسته به وجود زنجیر اسید امینه‌ای نیست که در آن اسیدهای امینه به ترتیب خاصی قرار گرفته باشند. بلکه بستگی به تا شدن مخصوصی زنجیر نیز دارد و پیوندهای ئیدروژنی این وضع تا شده را نگه می‌دارند.

پس گرمای ملایم اثری در پیوندهای محکم کووالانی زنجیر ندارند بلکه فقط پیوندهای ئیدروژنی را، که بیست برابر کمتر از آنهاست، پاره می‌کند. پس همه آنها باز می‌شوند و زنجیر اسید امینه‌ای به صورتی بی‌نظم درمی‌آید و پروتئین قلب می‌شود، یعنی پروتئینی به وجود می‌آید که فعالیت مخصوصش از دست رفته است. ولی به منظور تشخیص چگونگی تا شدن زنجیر اسید امینه‌ای ابتدا لازم است که از اوضاع هندسی مولکول اطلاع حاصل کنیم. باید دید که اتمهای يك مولکول تا چه اندازه از یکدیگر فاصله دارند و وضع نسبی آنها از چه قرار است؟ به عبارت دیگر درازی پیوند میان اتمها و زاویه میان آنها چقدر است؟ (اگر چه فرمول ساختمانی اتم روی صفحه کاغذ دو بعدی نوشته می‌شود، ولی توجه داشته باشید اتمهای يك مولکول در سه بعد فضا قرار دارند.)

پاسخ این پرسشها با به کار بردن اشعه X پیدا شد. اگر دسته‌ای از اشعه X را از بلور ماده‌ای عبور دهند مقداری از اشعه به وسیله لایه‌های مرتب اتمهایی که بلور را می‌سازند منکسر می‌شود. از روی وضع انکسار اشعه X می‌توان فاصله میان لایه‌های اتمهای مشابه درون بلور را نتیجه گرفت و در نتیجه طرح ساختمانی بلور را شناخت. این روش به وجود ترتیب اتمی منظمی در جسم مورد آزمایش وابسته است. در دهه سال ۱۹۲۰ تارهای ابریشم را با اشعه X آزمایش کردند. تار ابریشم متبلور نیست ولی به آن اندازه نظم در زنجیری اسید امینه‌ای آن هست که انکسار اشعه X را به صورت خاصی سبب شود. از روی نمونه‌های حاصل مثلاً توانستند.

نشان دهند که درازی يك اسیدامینه زنجیر پپتیدی ۳۵۰ میلی میکرون است . از روی این محاسبه درازی پیوندها و زوایای آنها ممکن شد . همین روش را در دهه سال ۱۹۳۰ در مورد سایر پروتئینها مانند کراتین مو به کار بردند .

در دهه سال ۱۹۵۰ ، پاولینگ و همکارانش با استفاده از این اطلاعات ، نشان دادند که زنجیر پپتیدی می تواند به شکل مارپیچ باشد (مانند پله مارپیچی) بدون آنکه در باره جهت طبیعی بندها دقتی به عمل آورند . مارپیچ می تواند چنان طراحی شده باشد که پیوندهای تیدروژن در نقاط مختلف آن موجود باشند ، از



تصویر ۳۱ . مارپیچ پروتئین

این گذشته چند تا از این مارپیچها ممکن است که با هم ترکیب شوند و مارپیچی پیچیدتر به وجود آورند . (درست مانند طنابی که از پیچیده شدن دسته تارهای نازک ساخته شده است) مارپیچهای مجاور می توانند به وسیله پیوندهای تیدروژنی با هم نکه داشته شوند . (تصویر ۳۱)

قرائنی که از آزمایشها به دست آمدند این نظر را تأیید کردند به طوری که نظریه ساختمان مارپیچی پروتئین مورد قبول بیشتر شیمی دانهاست .

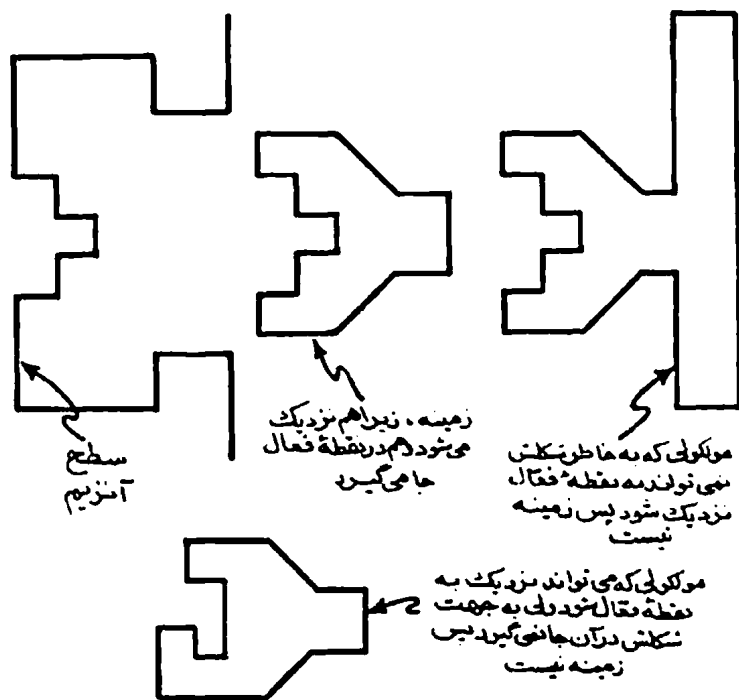
فصل هجدهم

نتیجه کار آنزیمها

ساختمان مارپیچی مولکول پروتئین و نقش پیوندهای تیدروژن در حفظ چنین ساختمانی، نه تنها شکنندگی آنزیم و سهولت غیرفعال شدن آن را به خوبی توجیه می‌کند بلکه اختصاصی بودن آن را نیز روشن می‌سازد.

بودر پلاتین را با مولکول آنزیم مقایسه کنیم. چنانکه در فصل دوازدهم بیان داشته‌ام فعالیت کاتالیزوری پلاتین احتمالاً به جهت آن است که در سطحش پیوندهای ظرفیتی زیادی دارد و آنها را با مولکولهایی متصل می‌کند که واکنش آن مولکولها به کمک پلاتین تسریع می‌شود. مولکولهای مورد بحث به احتمال قوی به نقاطی از سطح پلاتین متصل می‌گردند که در آن نقاط بی‌نظمی‌هایی وجود داشته باشد. بنابراین مولکولی که اتمهایش به شکل خاصی گرد هم قرار دارند، در روی برآمدگی یک گروه اتم پلاتین یا در درهٔ میان دو گروه اتمی جامی گیرد. از آنجا که همه نوع بی‌نظمی در سطح پلاتین موجود است، پس احتمالاً برای جاگرفتن هر نوع مولکولی در سطح آن جای مناسبی پیدا می‌شود. نتیجه این می‌شود که انواع گوناگون مولکولها می‌توانند موقتاً به سطح آن اتصال یابند.

و واکنش کنند. این گونه کاتالیزورها بالنسبه کم تاثیر نیز خواهند بود زیرا در هر صد بی نظمی، آن تعداد که مناسب بامولکول مخصوصی باشد بالنسبه کم است به عبارت دیگر برای یک واکنش مخصوص، بیشتر سطح پلاتین بی خاصیت کاتالیزوری باقی می ماند، و حال آنکه مولکول آنزیم وضعی کاملاً متفاوت دارد. آنزیم سطح اتفافی در دسترس مواد قرار نمی دهد بلکه سطح خاصی دارد که در نتیجه فرایند خاص موجود زنده ساخته شده است (تصویر ۳۲). زنجیرهای پهلویی متنوعی که



تصویر ۳۲. آنزیم و زمینه (فرضی)

اسیدهای آمینه سازنده زنجیر پپتیدی به وجود می آورند، بی نظمی های متنوعی از نظر اندازه و نوع تولید می کنند. مثلاً بعضی از زنجیرهای پهلویی مانند زنجیرهای پهلویی اسید اسپارتیک و اسید گلوتامیک، بار منفی دارند پس هر بار مثبتی را در مولکولهای مجاور خود ببیند جذب خواهند کرد. بعضی دیگر مانند لیزین، آرژینین و هیستیدین، بار مثبت دارند و هر بار منفی را جذب خواهند کرد.

نیز بعضی دیگر از اسیدهای امینه مانند سرین، ترئونین و تیروزین بارندارند ولی دارای گروههایی هستند که می‌توانند پیوندهای ئیدروژنی به وجود آورند. زنجیرهای پهلویی که پیوند تولید نمی‌کنند مانند زنجیرهای پهلویی والین، آلانین، ولوسین و ایزولوسین و فنیل آلانین و معدودی دیگر، خود سدهای متنوعی به وجود می‌آورند که فقط استقرار بعضی از مولکولهای دارای شکل خاص را به نقاطی از سطح آنزیم که با آنها تناسب دارد، ممکن می‌سازند.

زنجیرهای پهلویی با چنان وضع ثابتی به وسیله پیوندهای ئیدروژنی به یکدیگر متصل هستند که مارپیچ پروتئید را به شکل خاصی نگه می‌دارند. نتیجه این می‌شود که فقط یک نوع مولکول مخصوص می‌تواند به یک آنزیم معین متصل شود و تنها همان مولکول مخصوص خواهد توانست واکنشی را که باید انجام دهد، تحت تأثیر آن آنزیم به انجام رساند. (مولکولی که تحت تأثیر آنزیم واکنش می‌کند به زمینه «Substrat» آنزیم موسوم است). مسلم است که هر عاملی که بتواند پیوندهای ئیدروژنی ارتباط مخصوص میان زنجیرهای پهلویی را، پاره کند، میل ترکیبی خاصی آنزیم را با زمینه و نیز فعالیت کاتالیزوری آنزیم را از میان خواهد برد.

اختصاصی بودن مولکول آنزیم نتیجه‌ای جالب دارد. مطالعه دستگاه شیمیایی حیات نشان می‌دهد که زندگی هر موجودی وابسته به وقوع هزارها واکنش شیمیایی گوناگون است که با هزارها مواد مختلف انجام می‌گیرد. آیا اختصاصی بودن آنزیمها این معنی را در بر ندارد که هر موجود زنده و حتی هر سلولی از بدن هر جاندار باید هزارها آنزیم مختلف داشته باشد که هر یک برای اجرای واکنش خاص لازم باشد؟

در نظر اول مسئله به نظر بیهوده و بی‌تأثیر می‌آید و حال آنکه درس،

به عکس است و اختصاصی بودن آنزیمها سیستمی به وجود آورده که از نظر اقتصاد و درجه تأثیر بسیار عالی است .

هر آنزیم که به واکنش مخصوصی اختصاص دارد بیشتر از سطح پلاتین نقاط فعال دارد . پس مؤثرتر از پلاتین است .

سرعت وقوع واکنشی را که تحت تأثیر آنزیمی انجام می گیرد از روی تعداد مولکولهایی از زمینه که در هر دقیقه در دمای معینی تحت تأثیر يك مولکول آنزیم تبدیل می شود اندازه می گیرند (Turnover Number) . کاتالاز که آب اکسیژنه را به آب و اکسیژن تبدیل می کند در صفر درجه دما ۲,۵۰۰,۰۰۰ مولکول آب اکسیژنه را در هر دقیقه تجزیه می کند . این تعداد در بسیاری از آنزیمها از این کمتر است ولی بسیار زیادتر از تعدادی است که در کاتالیزورهای غیر آنزیم دیده می شود .

اگر آنزیمهای گوناگون درون سلول را دارای ترتیب خاصی فرض کنیم ، (همین طور هست و سرانجام دیده خواهد شد) ، می توانیم تصور کنیم که مواد زمینه در حین حرکت از نقطه ای به نقطه دیگر طبق روش معینی، در فواصل زمانی هزارم ثانیه تغییر می کنند .

از این گذشته چون تعداد زیادی کاتالیزور اختصاصی در بدن هست ، پس موجود زنده با دقتی فراوان اوضاع شیمیایی داخل سلول را می تواند کنترل کند . بدین معنی که با افزایش یا کاهش تعداد مولکولهای يك آنزیم ، یکی از میان هزارها واکنش شیمیایی تشدید یا تضعیف خواهد شد و نتیجه نهایی متفاوتی به بار خواهد آورد .

وقتی به تصور می آوریم که بدن موجود زنده محل وقوع هزارها واکنش است که هر يك به سیله آنزیمی از هزارها آنزیم کنترل می شود ، پس جانداران

ساده نیز با سادگی ظاهری خود از پیچیده‌ترین ماشین‌هایی که به دست انسان ساخته شده‌اند پیچیده‌تر خواهند بود. اگر دستگاه حیاتی را از مقیاس مولکولی افزایش دهیم که ساخته انسان است بزرگ کنیم یا حتی فقط به بزرگی اجزای کوچک سازنده ماشین‌های الکترونی برسیم، در آن صورت سلول چه جنه عظیمی خواهد داشت!

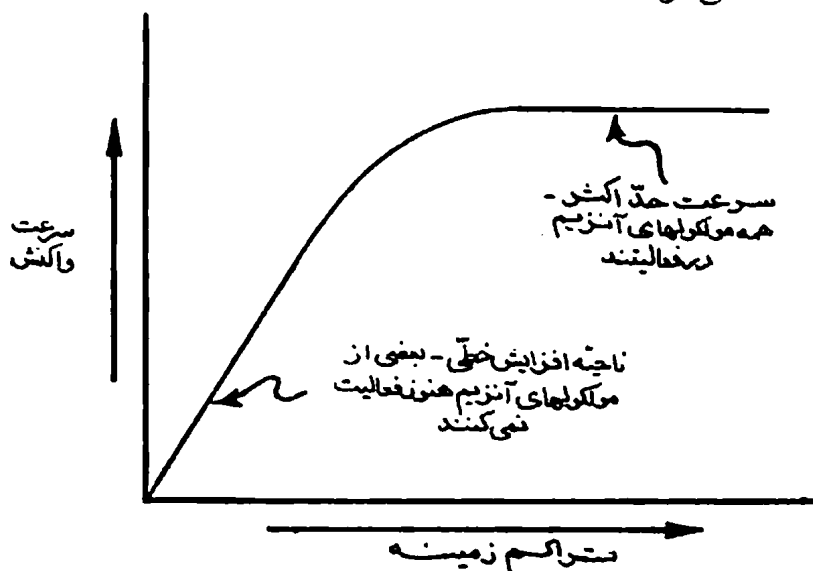
واقع امر این است که اجزای متحرک یک سلول زنده خیلی بیشتر از اجزای هر چیزی است که به دست آدمی ساخته می‌شود چون این اجزا بسیار کوچکند سلول به نظر ما «چیزی جز» یک قطره زله میکروسکوپی نمی‌آید. وقتی که موجودی از تریلیونها سلول مرکب باشد، درجه پیچیدگی آن وصف ناپذیر خواهد شد. واقعاً مقایسه سوسمار و سنگ، جز در مورد بزرگی جنه، خنده‌آور است. تردیدی ندارم که اگر پیچیدگی ساختمانی انسان را با آنچه در یک ستاره هست، مقایسه کنم به نفع انسان خواهد بود.



بدیهی است که اختصاصی بودن آنزیم بر این پایه استوار است که قبول کنیم، زمینه ظاهراً با آنزیم مجاور می‌شود و با هم یک ترکیب آنزیم - زمینه حد واسط به وجود می‌آورند. غیر از این هم نمی‌تواند باشد زیرا وقتی که آنزیمی روی مولکول اثر کند ولی به هیچ وجه با آن در تماس شیمیایی نباشد، مسئله صورت اسرار آمیزی پیدا می‌کند که دانشمندان از پذیرفتن آن همواره سر باز می‌زنند.

از این گذشته قرائن غیر مستقیمی بر له تشکیل چنین «ترکیب آنزیم - زمینه» از پیش وجود داشته است. مثلاً فرض کنیم که به یک محلول آنزیمی، مقدار کمی زمینه بیفزاییم واکنش فوراً آغاز خواهد شد و شیمی دانها از رو،

روشهای مخصوصی می‌توانند سرعت از بین رفتن زمینه یا تشکیل ماده حاصل از واکنش را حساب کنند، و از روی آن « سرعت واکنش » را بیابند. اگر زمینه به مقدار بیشتری به همان محلول افزوده شود، سرعت واکنش بیشتر می‌شود. و این درست مانند مقدار فروش يك سوپر مارکت است که هنگام مراجعه مشتری بیشتر افزایش می‌یابد. اگر تعداد مشتریهای يك سوپر مارکت دو برابر شود، قاعدتاً مقدار اجناسی که از مغازه بیرون برده می‌شود در واحد زمان مضاعف خواهد شد. به همین قیاس وقتی که تراکم زمینه مضاعف گردد، سرعت واکنش نیز مضاعف می‌گردد.



تصویر ۳۳. سرعت واکنش و تراکم زمینه»

این وضع همچنان ادامه می‌یابد تا به حدی می‌رسد. در این هنگام، یعنی وقتی که تراکم زمینه به حد معینی رسید، سرعت واکنش به حد اکثر خود می‌رسد و افزودن زمینه بیشتر، سرعت واکنش را زیادتر نمی‌کند. (تصویر ۳۳)، در اینجا مثال سوپر مارکت نیز صادق خواهد بود زیرا وقتی که مشتری بسیار زیاد باشد، خروج اجناس از مغازه از حدی تجاوز نخواهد کرد زیرا همه حسابدارها

به کار مشغول هستند و جز آنکه جلوه‌ر محاسبی تعداد زیادی صف بیندند نتیجه‌ای نخواهد داشت .

به همین روش وقتی که تراکم زمینه به صورتی است که همه مولکولهای آنزیم اشغالند و به حد اکثر سرعت کار می‌کنند ، اگر از آن بیشتر شود ، پس در برابر هر مولکول آنزیم عده زیادی مولکول زمینه به اصطلاح صف خواهند بست تا نوبتشان برسد .

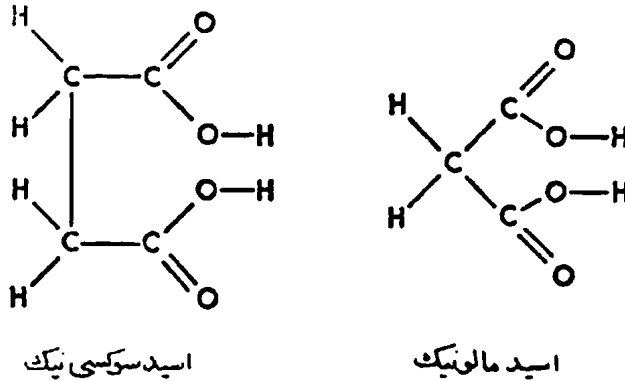
قبول این موضوع که آنزیم و زمینه با هم به طور موقت ترکیب می‌شوند ساده‌ترین راه توجیه همین پدیده است که در سال ۱۹۰۲ به وسیله دانشمند شیمی حیاتی فرانسوی و . هانری^۱ برای نخستین بار روشن شده است .

دو دانشمند آلمانی شیمی حیاتی لئونور میکائیلیس^۲ و ام . ال . منتون^۳ این موضوع را به صورتی که بیان شده پذیرفتند و آن را به روشی ریاضی ، شبیه‌روشی که در تعیین سرعت واکنشهای شیمیایی معمولی به کار می‌رود ، محاسبه کردند ، و معادله‌ای به دست آوردند که تغییر سرعت واکنش را درست به همان صورت که آزمایش نشان می‌داد ، متناسب با تراکم ماده زمینه نشان می‌دهد . حتی در نتیجه مطالعه تغییرات واقعی سرعت واکنشی در موارد خاص ، توانستند نیروی را که زمینه مخصوص را با آنزیم مخصوصی نگه می‌دارد محاسبه کنند . از آن پس از معادله میکائیل - منتون بدین منظور همچنان استفاده می‌شود .

وقتی که با قبول نظریه‌ای ، ارتباطات ریاضی یک پدیده پیدا می‌شود ، لازم نمی‌آید که آن نظریه حقیقت داشته باشد بلکه فقط ارتباطات ریاضی بر له آن گواهی خواهند داد .

قرائنی دال بر درستی نظریه فوق از راههای دیگر پیدا شد . فرض کنید که

زمینه‌ای از نظر ساختمان مولکولی شبیه ماده دیگری باشد، اگر ماده اخیر را به جای زمینه به آنزیم بیفزاییم چه پیش خواهد آمد؟ این وضعی بود که در سال



تصویر ۳۴. مولکولهای رقیب

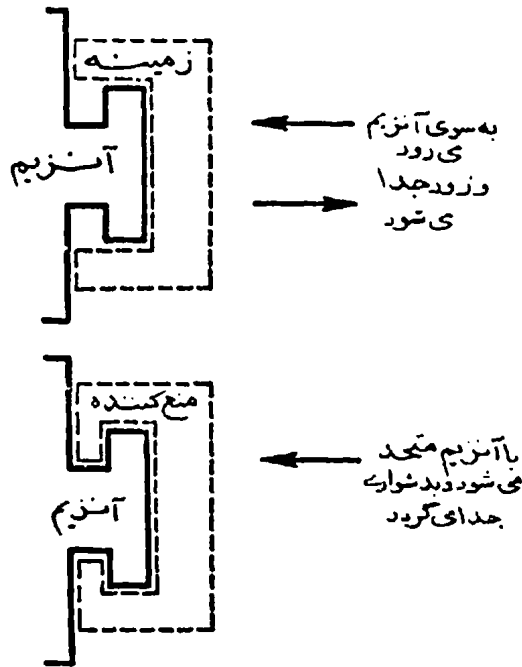
۱۹۳۰ و هنگامی پیش آمد که جی. او. کاستل^۱ با آنزیمی کار می کرد که اسید سوکسینیک ماده زمینه آن بود.

فرمول ساختمانی «اسید سوکسینیک» بسیار شبیه ماده دیگری است که نامش اسید مالونیک است (به تصویر ۳۴ مراجعه شود) اگر اسید مالونیک را به جای اسید سوکسینیک به محلول آنزیم بیفزایند هیچ واکنشی صورت نمی گیرد. اسید مالونیک فقط یک گروه CH_2 کم دارد وگرنه عیناً مانند اسید سوکسینیک است ولی آنزیم تفاوت میان آن دو را به وضوح تشخیص می دهد.

ولی اگر اسید مالونیک افزوده شود، آنزیم کاملاً از جریان امر غافل نیست زیرا چنانچه در این موقع اسید سوکسینیک، یعنی زمینه درست، افزوده شود، واکنشی واقع نمی گردد. اسید مالونیک آنزیم را مسموم کرده یا بهتر گفته شود، مانع کار آن شده است.

ساده ترین استنتاجی که می توان به عمل آورد این است که چون اسید مالونیک

مولکولی بسیار شبیه اسید سوکسینیک دارد، پس خود را به جای آن در آنزیم قرار می‌دهد ولی چون تفاوت بسیاری با آن دارد، امری واقع نمی‌شود. از این گذشته اتصال میان اسید مالونیک و آنزیم چنان محکم است که گسیخته نمی‌شود. درست مانند آنست که کلیدی شبیه کلید یک قفل را در آن وارد کنند و در آن گیر کنند و بیرون نیاید، پس در را باز نخواهد کرد و نیز نمی‌گذارد که کلید درست وارد قفل شود و آن را باز کند. (تئوری عمل آنزیم بر اساس قرار گرفتن در زمینه را اصطلاحاً ساز و کار قفل و کلید^۱ گویند تصویر ۳۵).



تصویر ۳۵. منع مسابقه‌ای

چون اسید مالونیک «مانع شونده» با اسید سوکسینیک، در جا گرفتن روی آنزیم رقابت می‌کند، به این فرایند منع مسابقه‌ای^۲ نیز می‌گویند. از سال ۱۹۳۰ به بعد تعداد زیادی از موارد منع مسابقه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. و معادله

میکائیل - منتون ، برای تشکیل یافتن « ترکیب آنزیم - مانع شونده » نیز تغییر داده شد ، و در این باره نیز استنتاجات ریاضی با مشاهدات انجام شده کاملاً جور در آمدند .

منع مسابقه‌ای خود روشی است که به وسیله آن می‌توان سرعت واکنش آنزیمی را کنترل کرد زیرا به وسیله آن می‌توان به آسانی مقداری از آنزیم را از کار انداخت . گروه‌های زیادی از مواد که برای بدن واجد اهمیتند ، از نظر ساختمان داخلی همانند یکدیگرند . مثلاً اسید آمینه والین ولوسین و ایزولوسین به هم شباهت دارند . قند گلوکز و کالکتوز نیز شبیهند و بر این قیاس . مسلم است که وقوع منع مسابقه‌ای میان آنها اجتناب ناپذیر است . مثل آن است که وجود چنین موادی در سلول به نسبت‌های مختلف ، از طریق مسابقه مانع عمل بعضی از دیاستازها می‌شود و این کار به تناسب تراکم آنها حاصل می‌گردد و با این عمل اوضاع شیمیایی سلول در جهت دلخواه می‌افتد و در آن جهت همچنان حفظ می‌شود . (این نوعی خودکاری در سطح مولکولی است .)

مورد جالبتر از این در منع مسابقه‌ای هنگامی است که ماده‌ای به مقدار سنجیده به بدن افزوده شود . این مواد غالباً منشأ آزمایشگاهی دارند و نسبت به بافت‌های زنده کاملاً بیگانه هستند . از این گونه مواد برای تشخیص میان دو موجود زنده‌ای که باهم تماس نزدیک دارند ، مانند تشخیص یک باکتری انگل از میزبان‌ش استفاده می‌شود .

بعضی از زهرها چون مانع فعالیت آنزیمی می‌شوند ، خطرناکند . مثلاً بی‌کلورورمرکور (سولیمه) زهری است که همه جانداران یعنی هم عامل مولد بیماری و هم بیمار را می‌کشد .

از طریق منع مسابقه‌ای می‌توان فقط یک آنزیم را از کار انداخت . اگر

مقدار مادهٔ رقیب به درستی انتخاب شود ممکن است باعث توقف کار آنزیم باکتری بشود ولی مانع کار آنزیم انسان نگردد. این عمل خواه به خاطر حساسیت بیشتر آنزیم باکتری است یا به خاطر این است که غشای باکتری مادهٔ رقیب را سریعتر از غشای سلول انسان به داخل راه می‌دهد.

یکی از مهمترین موارد منع مسابقه‌ای در سولفانیلامیدها دیده شده است (تصویر ۳۶). این مواد نخستین بار در سال ۱۹۰۸ مصنوعاً ساخته شده‌اند. در سال ۱۹۳۲ دانشمندان آلمانی شیمی حیاتی مشغول بررسی مواد رنگی بود تا ببینند کدامیک باکتریها را می‌کشند بدون آنکه به موجودات عالی‌تر زیان برسانند. یکی از آنها که پروتوزیل^۱ نام داشت در ازبین بردن استرپتوکوکها بسیار مؤثر از آب درآمد و در سال ۱۹۳۴ خبر آن در جهان منتشر شد.

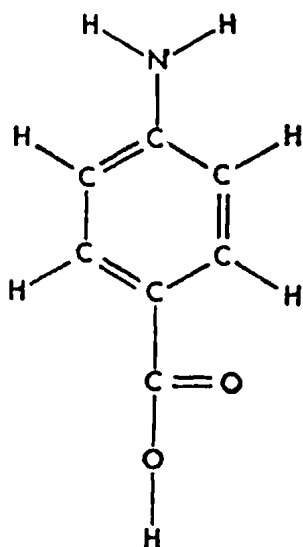
ولی جالب این بود که اگر آن را به بدن موشی که از استرپتوکوک عفونت یافته بود تزریق می‌کردند مؤثر می‌شد ولی در لولهٔ آزمایش استرپتوکوکها را از میان نمی‌برد. بنابراین کار به دست پروتوزیل انجام نمی‌گرفت بلکه بعضی از موادی که در بدن از پروتوزیل به وجود می‌آمدند در این جریان دست اندرکار بودند. هنگامی که شیمی‌دانهای فرانسوی پروتوزیل را تجزیه کردند، جزئی از آن را که به دست آوردند سولفانیلامید بود. این ماده هم در بدن اثر داشت و هم در لولهٔ آزمایش.

این نخستین «داروی معجزه‌آسا» از گروه کاملی از این گونه مواد بود که طی یک نسل، انسان را در جنگی که همواره در تمام طول تاریخ بشریت بر علیه بیماری‌های میکروبی داشت کاملاً مجهز ساخت.

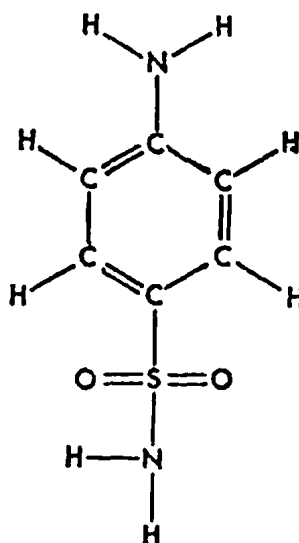
چنانکه معلوم شد ساختمان سولفانیلامید بسیار شبیه ساختمان ماده‌ای به

نام اسید پاراآمینوبنزوئیک است (تصویر ۳۶) مادهٔ اخیر جزء مواد اصلی سازندهٔ سلولهاست .

پس سولفانیلامید، درحالی که آنزیم باکتری را (کد با اسید پاراآمینوبنزوئیک سروکار دارد) به روش منع مسابقه‌ای از کار می‌اندازد، باعث مرگ باکتری می‌شود.



اسید پاراآمینوبنزوئیک



سولفانیلامید

تصویر ۳۶ . مولکولهای رقیب دیگر

از آن پس که آنتی بیوتیکهای گوناگون (پنی سیلین، استرپتومايسين وغيره) پیدا شدند، تقریباً محقق شد که همهٔ آنها به روش منع مسابقه‌ای عمل می‌کنند، اگر چه هنوز شیمی دانها نمی‌دانند که این منع در کجا و به چه شکل صورت می‌گیرد .



ساز و کار قفل و کلید در تشخیص دو مادهٔ دارای ساختمانهای متفاوت هنگامی بیشتر به چشم می‌خورد که با «مواد فعال در برابر نور» سروکار داشته باشیم .

برای آشنا شدن با این اصطلاح ، ناگزیر باید توضیحاتی داده شود . روی این اصل از نور سخن به میان می آورم .

از مدت‌ها پیش می‌دانستند که اگر نور از محیط شفاف عبور کند (مثلاً از آب) ، منکسر می‌شود . در سال ۱۶۷۰ فیزیکدان هلندی ارasmus بارتولین^۱ کشف کرد که یک بلور اسپات دیسلند (نوعی از کربنات کلسیم متبلور $CaCO_3$) نور را در دو جهت منکسر می‌کند و حال آنکه نور در آغاز یکی بوده است . وی این پدیده را انکسارمضاعف نامید .

مسئله انکسارمضاعف بیش از یک قرن همه تئوریهای مربوط به ماهیت نور را در بلا تکلیفی باقی گذاشت ، ولی با آغاز قرن بیستم یعنی هنگامی که نور را مرکب از امواج بسیار کوتاه شناختند مسئله انکسار مضاعف روشن شد .

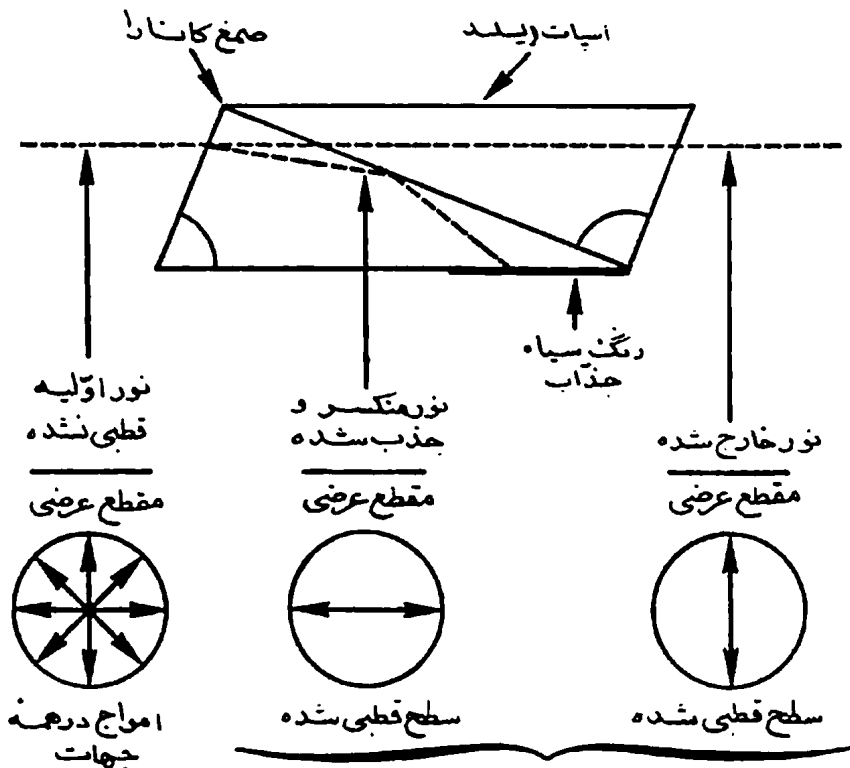
در نور معمولی یعنی نوری که از خورشید یا جسم افروخته شده‌ای حاصل می‌شود ، امواج نور در همه سطوح ممکن سیر می‌کنند . به طوری که بعضی از بالا به پایین و بعضی از راست به چپ و بعضی در همه اوضاع حد واسط منتشر می‌گردند . در بلور اسپات دیسلند ترتیب منظم ذرات بلور (تئوری اتمی هم در آغاز قرن بیستم پرداخته شده بود) به صورتی است که امواج را مجبور می‌کنند که فقط در یکی از دو جهت ، که برهم عمودند ، سیر کنند .

پس نوری که از بلور اسپات دیسلند عبور می‌کند در آن به دو نوع تبدیل می‌شود : یکی از آنها در جهت بالا و پایین (مثلاً) و دیگری در جهت راست و چپ سیر می‌کند . این دو نور صفات متفاوت دارند و به یک اندازه منکسر نمی‌شوند به طوری که وقتی یک نور وارد بلور شد دو نور از آن بیرون می‌رود . دسته نوری که در یک سطح سیر می‌کنند به نور قطبی شده^۲ موسوم است .

این اصطلاح (اگرچه تناسب بسیار ندارد) نخستین بار به وسیله مهندس فرانسوی اتین لوئی مالوس^۱ به کار برده شد. وی در سال ۱۸۱۰ کشف کرد که نوری که با زاویه خاص از شیشه‌ای منعکس شود نیز در یک سطح منتشر می‌گردد.

برای تشخیص درست صفحه‌های که نور قطبی شده در آن سیر می‌کند، از روشهای گوناگون استفاده کردند.

بهترین آن روشها روشی بود که فیزیکدان انگلیسی ویلیام نیکل^۲ در سال



سطح‌های قطبی شدن که نسبت بهم عمودند
تصویر ۳۷. منشور نیکل

۱۸۲۸ ابداع کرد. وی دو منشور اسپات دیسلند را به طریقی باهم جفت کرد و به وسیله «صمغ کانادا» آن دورا به صورتی به هم چسباند که یکی از دو نور قطبی

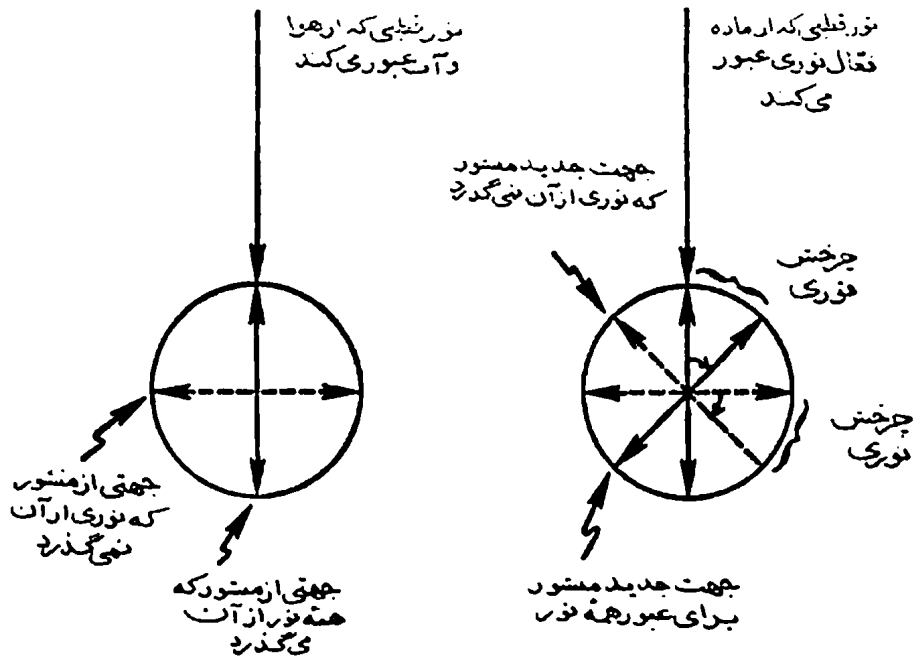
حاصل از منشور عبور می‌کرد ولی نور قطبی دیگری از محل چسبیدن دو منشور به خارج منکسر می‌شد. پس فقط یک نور، آنهم «نور قطبی شده» از منشور نیکل خارج می‌شد (تصویر ۳۷).

این نور را در منشور دیگر نیکل هدایت می‌کردند. اگر منشور دومی به موازات اولی قرار داشت نور قطبی از آن عبور می‌کرد ولی چنانچه منشور دوم را اندکی می‌چرخاندند نور کمتری از آن عبور می‌کرد و اگر چرخاندن را رفته رفته ادامه می‌دادند موقعی می‌رسید که هیچ نوری از آن عبور نمی‌کرد و این موقعی است که منشور دومی عمود بر اولی قرار گیرد. دستگاهی که دو منشور نیکل در آن به صورت فوق قرار داده شده است پولاریومتر^۱ نام دارد. (در حال حاضر به جای تهیه منشورهای نیکل که گران قیمت است ورقه‌هایی از پلاستیک را که درون آنها بلورهای بعضی از مواد کانی در جهات معینی جا داده‌اند به کار می‌برند. نام تجارتي این ماده پولاروئید^۲ است).

اگر نور قطبی شده پس از خروج از یک منشور نیکل از آب یا هوا عبور کند و وارد منشور نیکل دومی شود هیچ تغییری در سطح انتشار نور مشاهده نمی‌شود و نور از منشور دوم، که موازی منشور اولی است خواهد گذشت، بدون آنکه چیزی قابل توجهی از آن کاسته شود.

ولی فیزیکدان فرانسوی ژان باپتیست بیو^۳ در سال ۱۸۱۵ کشف کرد که اگر نور قطبی شده از بلور درکوهی (Quartz) عبور کند سطح نور تغییر خواهد کرد. هنگامی که پلاریومتر تکمیل شد به آسانی نشان داده شد که نور قطبی شده پس از عبور از بلور درکوهی وقتی که وارد منشور دوم می‌شود و از آن می‌گذرد به مقدار قابل توجهی تیرگی حاصل می‌کند و برای برقراری مجدد روشنایی اولیه، باید

مقداری منشور دوم نیکل را چرخانید و این چرخش برابر چرخشی است که بلور در کوهی در نور پلاریزه حاصل کرده بود. پس مقدار چرخشی که در کوهی حاصل

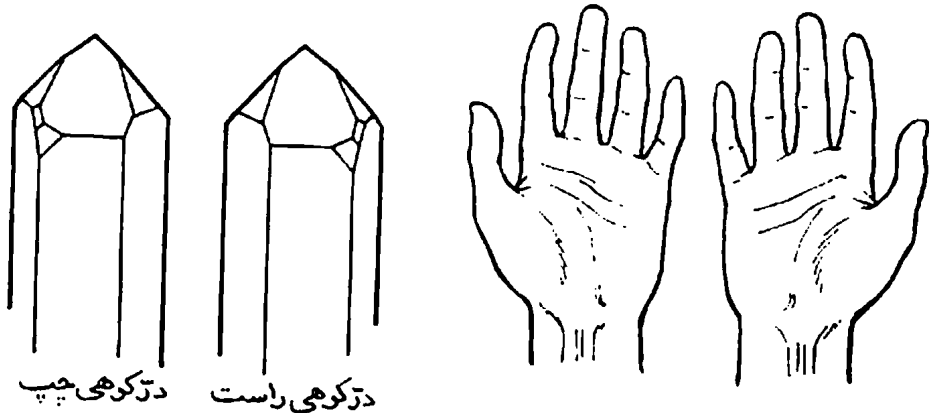


تصویر ۳۸. فعالیت نوری

کرده بود با گرداندن منشور دوم نیکل و روشن شدن کامل میدان رؤیت اندازه گیری می‌شود. (تصویر ۳۸).

نیز بیو نشان داد که محلول بعضی از مواد آلی، مانند تربانتین و کافور، می‌توانند نور قطبی شده را منحرف کنند. این خاصیت را فعالیت نوری می‌گویند. بیو معتقد بود که در این گونه مواد وضعی ناقرینه باید موجود باشد و این ناقرینگی است که موجب چرخش همیشگی نور در جهت معین است. مواد دارای وضع قرینه نیز چنین تمایلی نشان می‌دهند ولی در هر دو جهت به مقدار مساوی است به طوری که به روی هم چرخشی به وجود نمی‌آورند.

در سال ۱۸۴۸، شیمی‌دان جوان فرانسوی لوئی پاستور (که در آن موقع ۲۶ ساله بود و یکی از درخشانترین خط‌مشی تاریخ علم را آغاز کرده بود.) با نشان دادن این‌که این مسئله دست کم در مورد بلورها صدق می‌کند (تصویر ۳۹)



تصویر ۳۹. تقارن دو طرفی

هیجانی در جهان شیمی به وجود آورد. پاستور که به مطالعه ماده‌ای آلی به نام نارترات سدیم و امونیوم مشغول بود توانست دو نوع بلور از آنها جدا کند که هر دو ناقربینه بودند ولی یکی قرینه دیگری در آینه بود. (دست راست با دست چپ به همین روش ناقربینه است)

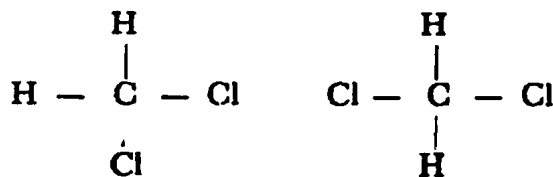
پاستور با ذره‌بین و به کمک مویچین توانست دو نوع بلور را از هم جدا کند. وی از هر دسته محلولی ساخت و مشاهده کرد که «فعالیت نوری» دارند. از این گذشته یکی از آن دو نور را در جهت عقربه ساعت می‌چرخاند و دیگری در جهت عکس و هنگامی که دو محلول را مخلوط می‌کردند هیچگونه چرخشی در نور قطبی به وجود نمی‌آوردند.

وقتی که بلورهای دو گانه را از هم جدا می‌ساختند، مخلوطی بی‌نظم را به دو دسته منظم تبدیل می‌کردند، پس نظم بیشتر می‌شد و انتروپی کاهش می‌یافت.

درست مانند آن است که در يك دسته بزرگ ورق بازی نامنظم ، اوراق را در دو دسته قرمز و سیاه ترتیب دهند . این مثالی عالی از کاهشی است که به طفیل افزایش بیشتر انروپی حاصل می شود . پاستور در مورد بلورها ناگزیر شد که با دقت تمام به کمک ذره بین و با موجین آنها را جدا کند . می توان به خوبی به تصور آورد که افزایش انروپی وی در این فرایند ، خیلی بیشتر از کاهشی بوده که در بلورها به وجود آمده است .

به هر حال پاستور موفق شد که ناقزینگی را در بلورها نشان دهد ، ولی وقتی که ماده ای در آب محلول می شود به صورت مولکولهای جدا از هم است پس در محلول ناقزینگی از کجاست ؟ از خود مولکولهاست ؟

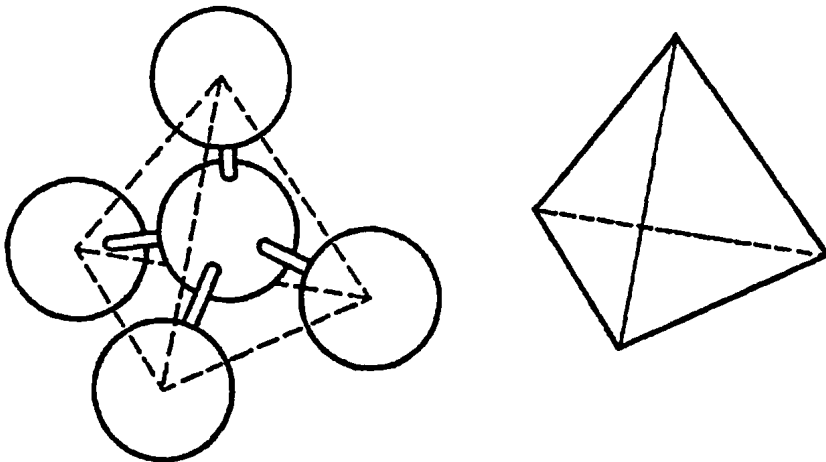
پاسخ این پرسش « آری » بود . در سال ۱۸۷۴ بود که دوشیمی دان جوان یکی هلندی به نام یاکوبوس هندریکوس وان هوف (۲۲ ساله) و دیگری فرانسوی به نام ژوزف آشیل لوبل (۲۷ ساله) بدون آنکه با هم در تماس باشند ، مستقل از یکدیگر تئوری مربوط به اتم کربن عنوان کردند که سیستم فرمول نویسی ککوله را بهتر ساخت و اموری را که با سیستم ککوله توجیه نمی شدند به خوبی بیان کرد . وقتی که به سیستم ککوله فرمول ساختمانی نوشته می شود ، بندهای کربن در چهار نقطه کربن ، مانند چهار نقطه قطب نما ، نشان داده می شود و این طبیعی ترین وضعی است که در دو بعد می توان نشان داد . ولی این گونه ترسیم چهار پیوند کربن درست نیست زیرا اگر چنین بود از ماده ای به نام دی کلرومتان (CH_2Cl_2) بایستی دو گونه موجود باشد . به دو صورت زیر :



که در يك صورت دو اتم کربن پهلوی هم هستند و در صورت دیگر جدا از هم ، و حال آنکه این ماده فقط بد يك صورت موجود است .

بر اساس تئوری وانت هوف - لوبل ، چهار پیوند کربن در دو سطح عمود بر یکدیگر قرار دارند (تصویر ۴۰) . البته نشان دادن آن در سطح مستوی دشوار است . ساده ترین راه این است که سه بند را به صورت يك سه پایه کوتاه و بند چهارمی را متوجه بالا به تصور آوریم ، پس چهار پیوند کربن به سوی چهار رأس يك چهار وجهی منظم متوجه خواهند بود و زوایای میان آنها برابر یکدیگر و در حدود ۱۰۹ است . با این وضع کربن را به هر صورتی می توان قرارداد و همیشه سه پیوند آن متوجه زمین و يك پیوند آن متوجه بالا خواهد بود .

از آنجاکه هر پیوندی از سه پیوند دیگر به يك فاصله است بنابراین در این سیستم دی کربن فقط يك صورت خواهد داشت . اگر دو کره از موم بسازید و چهار چوب کبریت را به صورتی که بیان داشته ام در چهار طرف هر يك از آن دو فرو



تصویر ۴۰ . اتم چهار وجهی کربن

برید ، چنانچه دو چوب کبریت را سفید (ئیدروژن) و دو تای دیگر را جوهری کنید

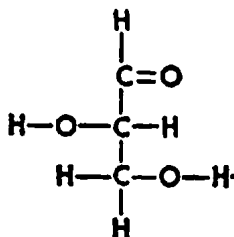
(کالر) ، هر نوع که آنها را قرار دهید ، با چرخاندن یکی از کره ها وضع دیگری عیناً به وجود می آید بدون آنکه نیازی به جا به جا کردن چوب کبریت باشد . بنابراین دی کلو و متان بر اساس تئوری وانت هوف - لوبل فقط يك صورت می تواند داشته باشد و این مسئله با مشاهده جور در می آید .

ولی وقتی که به هر پیوند کربن ، گروه اتمی مخصوصی متصل شود ، نتیجه حاصل با آنچه بیان گردید تفاوت می یابد . برای این کار می توانید از گوی مومی و چهار کبریت چهار رنگ استفاده کنید . در این صورت خواهید دید که همه حالات ممکن فقط به دو حالت منتهی می شود که یکی تصویر دیگری در آینه خواهد بود و به این نتیجه خواهید رسید که هیچیک از این دو تصویر با گرداندن به صورت دیگری در نخواهد آمد . دو تصویر قرینه را می توان بر اساس سیستم ککوله چنانکه در تصویر ۴۱ هست نشان داد . هر يك از دو فرمول این تصویر را به هیچ صورتی نمی توان به صورت فرمول دیگر در آورد مگر آنکه کاغذ از میان دو فرمول تا شود .

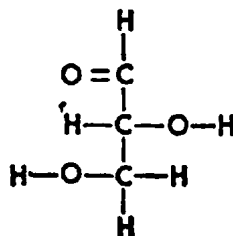
به زودی معلوم شد که هر وقت ماده ای آلی فعالیت نوری نشان می دهد ، در مولکولش ناقربینگی هست و این ناقربینگی دست کم مربوط به وجود يك اتم « کربن ناقربینه » است (یکی از کربنهایی که چهار گروه متفاوت بدان اتصال دارند) . یکی از صورتهایی که در سیستم جدید می توان نوشت نور را در جهت عقربه ساعت و دیگری نور را در جهت عکس آن می چرخاند . اما کدامیک از آن دو در کدام جهت نور را منحرف می سازد ؟

چون وسیله ای برای تشخیص این دو به نظر نمی رسید امیل فیشر شیمی دان آلمانی در سال ۱۸۹۱ ، آن را به دلخواه تعیین کرد . وی دوبار نام ماده ای را که گلیسرالددید بود نوشت (که مولکول ساده ای از قند به حساب می آید) ولی

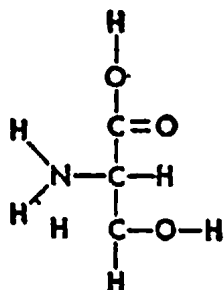
یکی را گلیسرالدئید D و دیگری را گلیسرالدئید L نامید . همه مواد دیگری را که فعالیت نوری دارند می توان به یکی از این دو منسوب کرد و بر روی هم یا به سری D تعلق دارند یا به سری L (تصویر ۴۱) (اخیراً معلوم شده که حدس



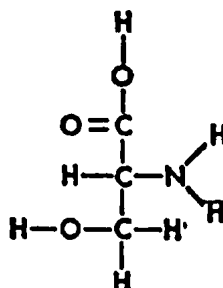
گلیسرالدئید L



گلیسرالدئید D



سریین L



سریین D

تصویر ۴۱ . سریهای D و L

فیشر درست بوده و موادی را که وی در دو سری جا داده برآستی دارای ساختمانی هستند که وی برای آنها در نظر گرفته بوده است .

وقتی در آزمایشگاه ماده ای که کربن ناقربینه دارد به وجود می آید ، از دو نوع ، که تصویر یکدیگر در آینه هستند به مقدار برابر ساخته می شود ، زیرا حد اکثر بی نظمی را در بردارد و افزایش انروپی به حد اکثر است . برای آنکه یکی از آن دو بیشتر ساخته شود باید تدبیری کرد مانند به کار بردن ماده ای در فرایند

تهیه ، که خود فعالیت نوری داشته باشد .

این گونه مواد را می توان از منابع گیاهی یا حیوانی به دست آورد . واقع امر این است که همه مواد موجود در ماده زنده که دارای کربن ناقربینه هستند به یکی از دو صورت در آن وجود دارند . بنابراین بافت زنده می تواند در موقع ساختن پروتئینهای مخصوص ، در این مورد ، انترویی را بدعالی ترین صورت کاهش دهد - بدیهی است به طویل افزایش کلی انترویی .

به طوری که معلوم شده همه قندهای طبیعی به سری D تعلق دارند و همه اسیدهای آمینه (مانند سرین که در تصویر ۴۱ نمایش داده شده است) به سری L متعلقند . بدن نمی تواند از قندهای سری L و از اسیدهای آمینه سری D استفاده کند و اینها را غالباً قندهای غیرطبیعی و اسیدهای آمینه غیرطبیعی می گویند . این مواد در طبیعت پیدا می شوند ولی به مقدار کم . مثلاً قند I در استروپتوماپسین و اسید آمینه D در بعضی از آنتی بیوتیکها هست . ماده ای هست به نام « اسید آسکوربیک » که اهمیت حیاتی دارد ولی باقندی که غیرطبیعی است منسوب است . این که همه اسیدهای آمینه از سری L هستند در ساختمان پپتیدی حائز اهمیت فراوان است . اگر مدلی از زنجیر پپتیدی تهیه شود و در آن پیوندهای کربن به صورت چهار وجهی نمایش داده شوند ، زنجیرهای پهلویی اسیدهای آمینه پشت سر هم ، به تناوب در جهت مخالف قرار می گیرند . به این ترتیب برای گروههای اتمی جای کافی در طول زنجیر وجود خواهد داشت . اگر همه اسیدهای آمینه از سری D باشند نیز چنین خواهد بود .

ولی اگر بعضی از اسیدهای آمینه از سری L و بعضی دیگر از سری D باشند ، احتمالاً این دو نوع مجاور هم قرار می گیرند ، پس زنجیرهای پهلویی آنها به یک پهلو متوجه می شوند و جای کافی برای هر دو موجود نمی گردد . به همین

جهت است که اسیدهای امینه يك پروتئين بايد يا همه ازسرى L باشد يا ازسرى D. اينكه همه ازسرى L هستند مسئله تصادف است و به اوضاع ایامی مربوط است که در ماقبل تاریخ نخستین مولکول پروتئين ساخته می شد.

مولکولهای آنزیم (که فعالیت نوری دارند و ناقصینه هستند زیرا در ساختمان آنها اسید امینه هست) از روی شکل ماده ، میان يك ماده دارای فعالیت نوری و ماده قرینه آن تفاوت می گذارند ، درست مانند تفاوتی که میان کفش پای راست و کفش پای چپ هست . پس آنزیم با یکی از آن دو نوع که مناسب است واکنش می کند ولی در دیگری بی اثر است بنابراین آنزیم بدن را در وضعی يك طرفه نگه می دارد .

برای آنکه آنزیم دو تصویر آینه را از هم تشخیص دهد ، زمینه باید در سه نقطه به آنزیم متصل گردد و این دلیل غیر مستقیم دیگری بر وجود « ترکیب آنزیم - زمینه » است .

قرائنی که به وجود آمدن موقت « ترکیب آنزیم - زمینه » را نشان می دادند هنگامی کاملاً درست از آب در آمدند که در سال ۱۹۴۹ دانشمند انگلیسی شیمی حیاتی بریتون چنس^۱ توانست به وسیله آزمایش دقیق جاذب نور ، وجود چنین ترکیبی را نشان دهد .



تا اینجا چنان از ساختمان پروتئين صحبت کردم که گویی جز اسید امینه چیز دیگری در مولکولش نیست . ولی حقیقت آن است که در بسیاری از پروتئينها مواد دیگری جز اسید امینه هست . بعضی از پروتئينها پس از تجزیه شدن غیر از اسید امینه مواد دیگری نیز تولید می کنند . این دسته از پروتئينها را

پروتئینهای ناجور^۱ می گویند. یکی از معروفترین آنها هموگلوبین است که قرمزی رنگ خون از آن است.

در دهه سال ۱۸۶۰ دانشمند آلمانی شیمی حیاتی فیلیس هوپه سیلر^۲ نشان داده که در هموگلوبین ماده ای به نام هم^۳ هست. هم اسید آمینه نبود بلکه ماده پیچیده تر محتموی آهن بود. از آن پس آنزیمهایی شناخته شدند که بخشی از مولکول آنها هم بود.

هم را گروه پروستتیک^۴ می گویند و برای فعالیت پروتئینهای گوناگونی که در مولکولشان وارد است اهمیت بسیار دارد. (اگر چه هم موجود در هموگلوبین و «آنزیمهای هم دار» یکسان است، ولی کار هر یک از این پروتئینها، بایکدیگر متفاوت است و به اسیدهای آمینه ای وابسته است که بقیه مولکول را می سازند. به عنوان تشبیه می توان گفت که اگر چه لبه برنده ابزارهای مختلف چون تبر و داس و اسکنه ماهیتی مشابه دارند ولی کار آن ابزارها به شکل کلی آنها مربوط است.) هم چنان به بقیه مولکول متصل است که جز با متلاشی ساختن مولکول نمی توان آن را جدا ساخت و حال آنکه در پروتئینهای دیگر بخش غیر اسید آمینه ای را به آسانی وبدون متلاشی ساختن پروتئین می توان از آنها جدا ساخت. مثلاً بعضی از آنزیمها وقتی که به روش دیالیز تصفیه می شوند قدرت کاتالیزوری خود را از دست می دهند. این عدم قدرت مربوط به قلب ماهیت آنزیم نیست، زیرا وقتی که آبی که پروتئین را شسته است به آنزیم اضافه می کنند فعالیت خود را باز می یابد. ظاهراً بخش مهمی از آنزیم بدون آنکه ساختمان ظریف لازم برای فعالیت عادی را متلاشی کند، از آن جدا شده است.

Heme —۲

Felix - Hoppe - Seyler —۲

Conjugate Proteins —۱

—۴ Prosthetic Group مشتق از کلمه یونانی «چیز اضافی».

این موضوع در سال ۱۹۰۳ به وسیله شیمی دان‌های انگلیسی ارتور هاردن^۱ و و. جی. یونگ^۲ در حین دی‌الیز آنزیمی به نام زیماز که از مخمر گرفته بودند، معلوم شد.

چون کوآنزیم به آسانی از آنزیم جدا می‌شود و دوباره بر آن مستقر می‌گردد پس باید پیوند سستی با پروتئین داشته باشد. از این گذشته، کوآنزیم باید مولکول کوچکی داشته باشد زیرا در غیر این صورت از پرده دی‌الیزکننده عبور نمی‌کند. نیز از جنس پروتئین نباید باشد زیرا بر اثر جوشیدن خاصیت خود را از دست نمی‌دهد. وقتی که در سایر آنزیمها هم بخشهای کوچکی شناخته شد که برای فعالیت آنها لازم بود، این بخشها را کوآنزیم^۳ نامیدند.

از دهه سال ۱۹۲۰ تا کنون ماهیت شیمیایی بسیاری از کوآنزیمها شناخته شد. بیشتر آنها در مولکشان اتمهای فسفر دارند و ممکن است گروههایی اتمی مخصوص نیز داشته باشند که در بدن وجود ندارد. مثلاً کوآنزیم در مولکولش ۵ کربن و یک نیتروژن به صورت حلقه، به نام پیریدین دارد. پیریدین در بافتها نیست. حلقه اتمی پیریدین نیز وجود ندارد، فقط در این گونه کوآنزیمها وجود دارد. بعضی از گروههای اتمی دیگر نیز در کوآنزیمها هستند.

از آنجا که آنزیمها فقط به مقدار کم در بدن وجود دارند و همین مقدار کافی برای کاتالیزوری است پس این گروههای اتمی غیر عادی که در کوآنزیمها هست، نیز باید به مقدار بسیار کم موجود باشند.

مسئله اخیر در پرتو تحقیقات دیگری که مستقل از این انجام گرفته مفهوم خاصی پیدا کرده است. در طول تاریخ بشریت، انسان همواره رابطه‌ای میان نوع غذای شبانه‌روزی و بعضی از بیماریها را می‌شناخته. مثلاً در سال ۱۷۵۳ یک پزشک

اسکاتلندی به نام جملیند^۱ اعلام داشت که وجود مرکبات و سبزیهای تازه در غذا مانع بروز بیماری اسکوربوت می شود. اسکوربوت با خونرزش از لثه و ضعف عمومی همراه بود و بیشتر در ملوانانی دیده می شد که ماهها ناچار بودند که از غذاهای کنسرو شده و نوعی بیسکویت بخورند. دهها سال بعد نیروی دریایی انگلستان لیمو ترش به جیره غذایی ملوانان افزود و اسکوربوت را از ناوگان خود بر انداخت. سال ۱۸۹۶ بود که پزشک هلندی کریستیان آیکمان^۲ که در جزایر شرقی آسیا به کار مشغول بود متوجه شد که می تواند بیماری شبیه بری بری^۳ (که میان مردم آن نواحی شایع بود) را در پرندگان که منحصرأ از برنج پوست کنده تغذیه می کردند به وجود آورد و این بیماری را با افزودن برنج پوست نکنده به غذای شبانه روزی معالجه می کرد. برای نخستین بار مسئله «بیماری کمبود مواد غذایی» به میدان آمد.

ظاهراً پوسته دانه برنج مقداری ماده لازم برای حفظ تندرستی دارد. در دهه سال بعد بود که شیمی دانها توجه یافتند از این گونه مواد در غذاهای دیگر نیز هست. ماده ای که در پوست برنج بود محتوی گروه امین از آب در آمد. روی این اصل دانشمند شیمی حیاتی زاده لهستان کازیمیر فونک^۴ به این تصور که همه این مواد گروه امین دارند آنها را ویتامین^۵ (یعنی امین های حیاتی) نامید. وقتی که معلوم شد همه این دسته از مواد گروه امین ندارند «c» را از آخر کلمه برداشتند و آنها را Vitamin نامیدند.

در دهه سال ۱۹۳۰ و از آن پس ویتامینها را به طور خالص به دست آوردند و ساختمان شیمیایی آنها را شناختند. چنانکه معلوم گردید ویتامینهایی که

Casimir Funk-۴

Beri - Beri-۳

Christiaan Eijkman-۲

James Lind-۱

Vitamine -۵

ساختمان آنها به خوبی شناخته می‌شد، همواره دارای گروه‌های اتمی غیر عادی موجود در کوآنزیم بودند و نتیجه‌ای که از آن حاصل می‌شد کاملاً آشکار بود. موجود زنده‌ای چون انسان نمی‌تواند بعضی از گروه‌های اتمی غیر عادی موجود در کوآنزیمها را بسازد زیرا ظاهراً فاقد دستگاه سازنده آنهاست ولی گیاهان از آنها می‌سازند و حیوانات علفخوار از گیاهان آنها را به دست می‌آورند، پس مقدار کمی از این گونه گروه‌های غیر عادی در غذای شبانه‌روزی آدمی هست و همان نیازمندی وی را رفع می‌کند زیرا، چنانکه گفتم، کوآنزیم به مقدار بسیار کم لازم است.

يك غذای شبانه‌روزی معمولی از این مواد به حد کافی دربردارد، ولی اگر غذا را تماماً محدود سازند، مانند غذاهایی که سابقاً بدون قرار دادن درینخچال می‌توانست زندگی ملاحان را ماهها تأمین کند یا نانی که چندبار الك شود، مقدار کافی ویتامین همراه نخواهد داشت. درغیاب این کوآنزیمها بدن نمی‌تواند از آنها بسازد، پس آنزیمی که به آن کوآنزیم نیاز فراوان دارد بی‌اثر خواهد شد و دستگاه شیمیایی سلول مختل می‌گردد، شخص بیمار می‌شود و بیماری روزبه‌روز تشدید می‌گردد و اگر به مدتی طول بکشد بیمار خواهد مرد.

این بخشهای غیر اسید آمینه‌ای پروتئینها همیشه ماهیت آلی ندارند. چنانکه گفتم هم اتم آهن دارد. بنابراین آهن برای زندگی بسیار لازم می‌شود زیرا هموگلوبین و آنزیم هم دار برای زندگی لازمند. از این گذشته چون هموگلوبین به مقدار زیاد در خون هست پس مقدار آهن لازم نسبتاً زیاد خواهد بود. ولی آنزیمهایی وجود دارند که مقدارشان از هموگلوبین کمتر است (هموگلوبین آنزیم نیست) و عنصرهایی به همراه دارند که مقدارشان بی‌نهایت کم است. مثلاً آنزیمی در بدن هست به نام کربنیک انیدراز که روی دارد. آنزیمهای

دیگر منگنز ، مس ، کبالت یا مولیبدوم دارند مقدار بسیار کم این گونه «کانیهای ناچیز» باید در غذا موجود باشد تا نیازمندیهای بدن انسان را رفع کند . و اگر این مواد اساساً وجود نداشته باشند کار آنزیمهای مهم مختل می شود و به بیماری می انجامد و سرانجام مرگ می آورد .

فصل نوزدهم

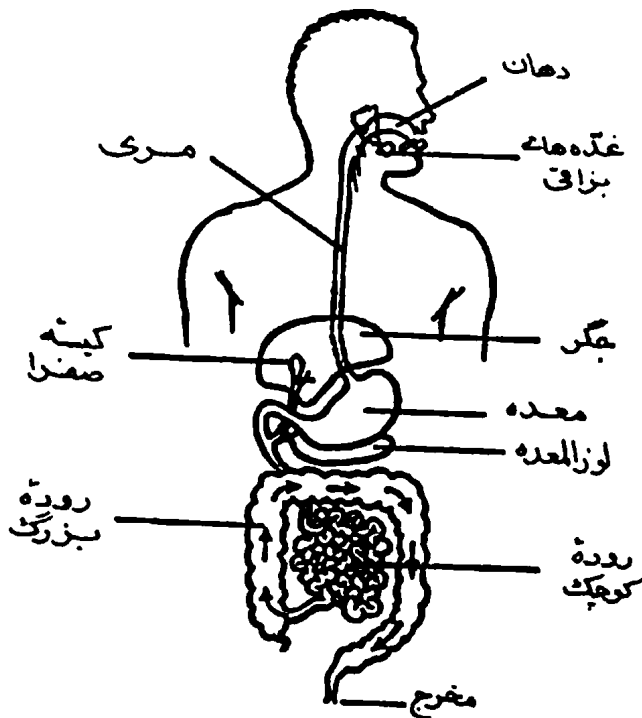
در حواشی

حال که تفاوت اساسی میان سوسمار و سنگ را تا حدی به تفصیل بیان کرده‌ام و دانسته شد که همه این تفاوت مربوط به وجود آنزیم در سوسمار و نبودن آن در سنگ است، بجاست که در باره ماهیت واقعی واکنشهای شیمیایی، که به وسیله آنزیمها تسریع می‌شوند، یعنی در باره خصوصیات حیات به تحقیق پردازیم. پیش از آنکه ماهیت آنزیمها و جزئیات کار آنها به صورتی معقول دانسته شود، شیمی‌دانها در باره واکنشهای شیمیایی حیات اطلاعاتی داشتند. با وجود عدم شناسایی روش وقوع واکنشی، ماهیت آن را به طرزی مبهم می‌توان چنین بیان کرد: « واکنش به وسیله چیزی به نحوی تسریع می‌شود. »

چنانکه در فصل چهاردهم اشاره کرده‌ام همه تغییرات شیمیایی که در نتیجه فعالیت‌های حیاتی بافت زنده صورت می‌گیرند بر روی هم متابولیسیم نامیده می‌شوند. توجه داشته باشید که در تعریف متابولیسیم تغییراتی شیمیایی را نام برده‌ام که « در نتیجه فعالیت‌های حیاتی بافت زنده » حاصل می‌شوند و مخصوصاً از گفتن این که « الزاماً در بافت زنده صورت می‌گیرند » خودداری کرده‌ام. علت این

خودداری این بود که بعضی از واکنشهای شیمیایی بافت زنده، درون خود بافت صورت نمی گیرند.

مقصودم هضم است. وقتی که غذا را می بلعید، از مری پایین می رود و به معده و سرانجام در روده می ریزد. غذا در حین سیر در این اعضا تغییرات اساسی متحمل می شود به طوری که آنچه از منخرج بیرون می ریزد با آنکه از دهان وارد شده بود کاملاً متفاوت است. هنگامی که غذا در لوله گوارش هست (این نام دستگاه



تصویر ۴۲. لوله گوارش

پریبیچ و خمی است که از دهان شروع گشته به منخرج ختم می شود - تصویر ۴۲) در واقع داخل بدن نیست. بلکه در بخشی از خارج بدن هست که به وسیله دهان و منخرج از آن جدا شده اند. غده های گوناگونی که بعضی مانند جگر و لوزالمعده بزرگ و عده زیادی مانند غده های دیواره معده و روده کوچکند، شیره هایی در

لوله گوارش می‌ریزند. این شیرها با غذاها مخلوط می‌شوند و آنزیمهای آنها واکنشهایی را تسریع می‌کنند که بر روی هم بدانها نام هضم^۱ می‌دهیم.

چون تغییرات هضمی، درون بافت زنده صورت نمی‌گیرند، پس نخستین تغییراتی بودند که مطالعه شدند (چنانکه در فصل ۱۵ اشاره کرده‌ام). شیرهای هضمی را می‌توانیم از لوله گوارش به وسیله لوله‌هایی بیرون آوریم و بدون آنکه موجبات ناراحتی شخص مورد آزمایش را فراهم کنیم اثر آنها را بر روی غذا به‌طور مشروح در خارج مطالعه کنیم. دلیلی وجود ندارد که واکنش شیمیایی درون لوله امتحانی غیر از آن چیزی باشد که در لوله گوارش صورت می‌گیرد. زیرا هر دو در بیرون از بافت زنده صورت می‌گیرند.

مطالعه هضم در سال ۱۸۲۲، خوشبختانه قدم بلندی به جلو رفت و آن موقعی بود که یک جراح امریکایی ویلیام بومونت^۲، بر بالین مسافری کانادایی به نام الکسیس-سنت مارتین^۳ که از ناحیه شکم گلوله خورده بود احضار شد و برای نجاتش بناچار سوراخی (فیستول^۴) از معده‌اش به خارج تعبیه کرد. ده سال تمام بومونت توانست در باره طرز ترشح غده‌های معده و شیر معده و اثر آن بر روی غذاهای مختلف مطالعه کند. وی نتیجه مطالعاتش را در سال ۱۸۳۳ به چاپ رسانید و هیجانی در جهان فیزیولوژی به وجود آورد.

بیمارانی چون سنت مارتین، همیشه در دسترس نیستند و ایجاد آن به‌طور مصنوعی نیز عملی نیست، ولی در دهه سال ۱۸۴۰ فیزیولوژیست‌های اروپایی، فیستولهای مصنوعی در سگها ترسیب دادند و بدین روش در باره هضم به مطالعه پرداختند. قرن نوزدهم با تحقیقاتی که از این قبیل به عمل آمده بودند، شاهد حصول اطلاعات کاملی در باره هضم بود و گرچه این اطلاعات فقط در حواشی متابولیسم

به دست آمده بودند، سر آغاز سالمی به شمار می رفتند.

آنچه در بارهٔ هضم دانسته شده بود این بود که: ضمن عبور غذا از لولهٔ گوارش، شیرهای هضمی یکی بعد از دیگری روی آن می ریزند و هر شیرهای با آنزیمهای مخصوص خود، روی غذا، (به روش Assembly - line) به هر مرحله‌ای از هضم که رسیده، اثر می کند و هضم آن را فراتر می برد. برای مثال ئیدرات کربن را در نظر می گیریم.

قسمت اعظم ئیدرات کربن غذاهای مانساشته و سلولز و قند معمولی و لاکتوز است. سلولز که غیر قابل هضم است، عیناً بدون تغییر در مدفوع وارد می گردد، ولی نشاسته تحت تأثیر یک آنزیم بزاقی به نام آمیلاز بزاقی^۱ به قطعات کوچکتر به نام دکترین^۲ تبدیل می شود.

کار هضمی آمیلاز بزاقی بیش از این نیست زیرا غذا به زودی بلع می شود و وارد معده می گردد. در معده شیرۀ اسیدی مانع ادامهٔ عمل آمیلاز می شود. آمیلاز دیگری در شیرۀ لوزالمعده هست. نام آن آمیلاز لوزالمعده است. شیرۀ لوزالمعده، به محض خروج غذا از معده و ورود در اثناعشر ترشح می شود. تجزیه نشاسته در اینجا از روی فرصت انجام می شود و بدون آنکه قطع شود تا پایان همچنان ادامه می یابد. آنچه نشاسته هست به دکترین تبدیل می شود و دکترینها به نوبه خود تجزیه می شوند تا آنکه به قندهایی به نام مالتوز^۳ تبدیل می گردند. مالتوز از دو گلوکز مرکب است.

کمی دورتر از اثناعشر شیرۀ روده روی این مواد اثر می کند. در این شیرۀ آنزیمی به نام مالتاز^۴ هست که مالتوز را به مولکولهای گلوکز تجزیه می کند.

۱ - Salivary Amylase آمیلاز نام عمومی آنزیمهای مخصوص نشاسته است و این کلمه مشتق از لغت Amylum لاتینی است. ۲ - Dextrin ۳ - Maltose ۴ - Maltase

نیز شیرۀ روده ، سوکراز^۱ و لاکتاز^۲ دارد که قند معمولی و قندلاکتوز را به ترتیب به گلوکز و فروکتوز ، و گلوکز و گالاکتوز تجزیه می کنند . بدین طریق وبا همکاری چند آنزیم ئیدراتهای کربن قابل هضم موجود در غذا به واحدهای ساده شش کربنی یعنی گلوکز و فروکتوز و گالاکتوز تبدیل می گردند . در این میان گلوکز فزونی دارد .

لیپیدها از میان آنزیمهای تجزیدکننده چربی به نام لیپاز^۳ لوله گوارش را طی می کنند . دو لیپاز در لوله گوارش هست یکی در شیرۀ معده که به علت اسید بودن آن قوی نیست و دیگری در شیرۀ لوزالمعده است که بسیار قوی است . مایع ترشحاتی جگری یعنی صفرا^۴ آنزیم ندارد ولی نمکهایی دارد (نمکهای صفراپی) که مخلوط شدن لیپیدها را باشیره های گوارش آسان می سازد و با این عمل به هضم آنها کمک می کند . وقتی که لیپیدها به قسمت انتهایی روده کوچک می رسند به گلیسرین (الکل سه کربنی) و اسیدهای چرب (زنجیر ئیدو کربوری درازی که یک گروه کربوکسیل در انتها دارد) تبدیل شده اند .

پروتئینها ، چنانکه انتظار می رود ، بیش از همه مواد تغییر متحمل می شوند . پپسین شیرۀ معده که در محیط اسیدی قوی فعال است بعضی از پیوندهای پپتیدی را پاره می کند و حال آنکه اسید کلریدریک همه پیوندهای پپتیدی را بدون استثنا پاره می کند . تریپسین و کیموتریپسین لوزالمعده نیز از آنزیمهای تجزیه کننده پروتئینها هستند (پروتئاز^۵) و هنگامی بر پروتئینها اثر می کنند که غذا وارد روده کوچک شود . این آنزیمها پیوندهایی را که پپسین و اسید کلریدریک پاره نکرده اند از هم جدا می سازند . نتیجه این می شود که پروتئینها وقتی که به اواخر روده می رسند فقط به پپتیدهای دارای دو یا سه یا چهار اسید امینه ای

تبدیل می‌شوند. شیرۀ روده چند پپتیداز^۱ دارد و کار تجزیه پپتیدها را به اسیدهای آمینه به پایان می‌رساند.



همۀ این تغییرات هضمی يك چیز مشترك دارند و آن این است که در وهله اول همه شامل تبدیل مولکولهای بزرگ و مولکولهای کوچکند. این گونه تغییر را که متضمن کوچک و ساده شدن مواد بزرگ و پیچیده است کاتابولیس^۲ می‌نامند. پس هضم عبارت است از يك سلسله تغییرات کاتابولیس می.

از این گذشته، ماهیت تغییرات کاتابولیس می گوناگون در عمل هضم، شامل پاره شدن پیوندهای شیمیایی است که عنصرهای سازنده آب (O و H) در آن هستند. روش پاره کردن پیوندها با افزودن آب، تدبیری بسیار طبیعی است زیرا آب یکی از مواد اصلی بافت زنده است و در حدود ۶۰ درصد وزن انسان و ۹۸ درصد مولکولهای سازنده بدن را تشکیل می‌دهد. این فرایند را لیدرولیز^۳ می‌گویند. مشروح تغییرات لیدرولیزی هضم هر يك از سه دسته ماده غذایی، در تصویر ۴۳ نشان داده شده است.

محصول نهایی هضم (یعنی واحدهای ساختمانی حاصل از لیدرولیز مواد غذایی پیچیده تحت اثر آنزیمها) می‌تواند از دیواره روده عبور کند (جذب گردد) و به درون بدن راه یابد. مولکولهایی که از محصولات نهایی بزرگترند عموماً جذب نمی‌شوند.

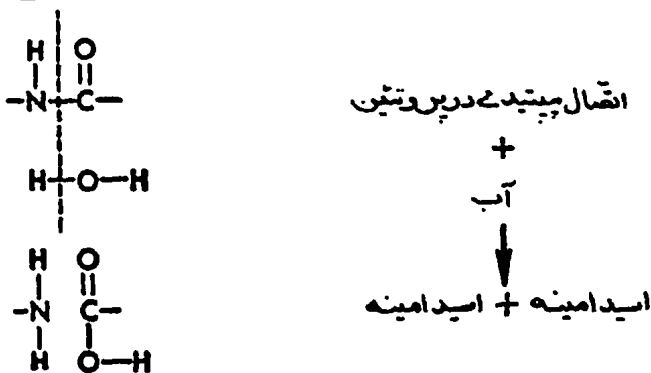
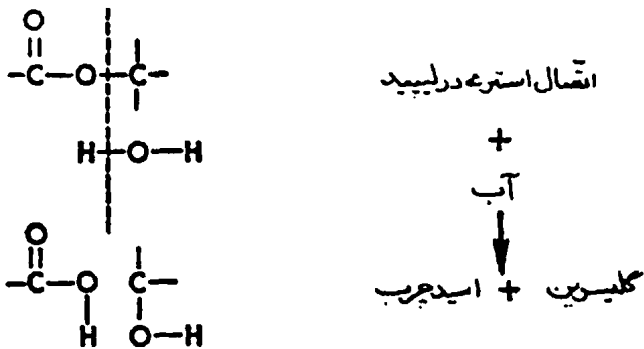
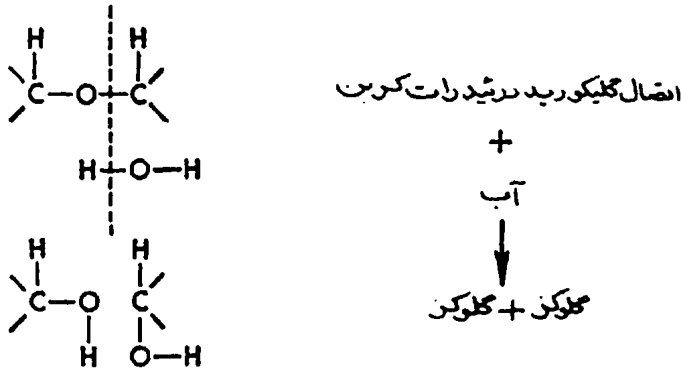
مفهوم هضم این است که غذاهای غیر قابل جذب را به واحدهای ساختمانی قابل جذب تبدیل می‌کند. از این گذشته مسئله واجد اهمیت این است که غذاها

۱- Peptidases ۲- Catabolism مشتق از کلمه «پایین انداختن». ۳- Hydrolysis
مشتق از ترکیب لاتینی «با آب شل کردن».

به صورتی که وارد دستگاه گوارش می‌شوند یعنی به همان صورت پیچیده اولیه جذب نگردند. زیرا هر موجود زنده نوع مخصوصی ئیدرات کربن و چربی دارد که اندکی با ئیدرات کربن و چربی موجودات دیگر تفاوت دارد. بالاخص هر موجود زنده پروتئینی مخصوص به خود دارد. اگر بدن بخواهد مولکول پروتئینی خارجی را به صورتی که خورده شده است، بدون تغییر جزء پیکر خود سازد امری غیر ممکن است. واقع امر این است که وقتی مقادیر کم پروتئین خارجی (یا بعضی از ئیدراتهای کربن پیچیده) به عللی وارد بدن می‌گردند، بدن شروع می‌کند به ساختن پروتئین مخصوصی که نام عمومی آن پادتن^۱ است و آن را با پروتئین خارجی می‌آمیزد و با این عمل پروتئین خارجی را از میدان بدر می‌کند. این پادتنها پس از آنکه ساخته شدند همچنان در بدن باقی می‌مانند تا بعدها نیز به کار روند و به اصطلاح به شخص در برابر ابتلای بعدی به بیماری مصونیت می‌دهند. البته این در صورتی است که پروتئین خارجی جزئی از پیکر یک جاندار میکروسکوپی بیماری‌زا یا زهر حاصل از آن باشد. نیز پادتنها ممکن است در شخص حساسیت به وجود آورند. بدین معنی که ورود یک پروتئین خارجی بی‌زیان ممکن است موجب ساخته شدن پادتنی گردد که بدن را نسبت به ورود بعدی آن حساستر سازد مانند حساسیت‌هایی از قبیل حساسیت‌های غذایی یا تنگ نفس^۲ یا نزله و مانند آنها.

وقتی که واحد ساختمانی مواد وارد بدن گردد این اشکالات پیش نخواهند آمد. این که منشاء پروتئین‌های غذایی از گاو باشد یا از پرنده یا از گندم، تفاوتی نمی‌کند زیرا این مواد اگرچه ظاهراً با پروتئین بدن آدمی تفاوت دارند ولی اسیدهای امینه سازنده آنها با اسیدهای سازنده پروتئین آدمی یکسان است.

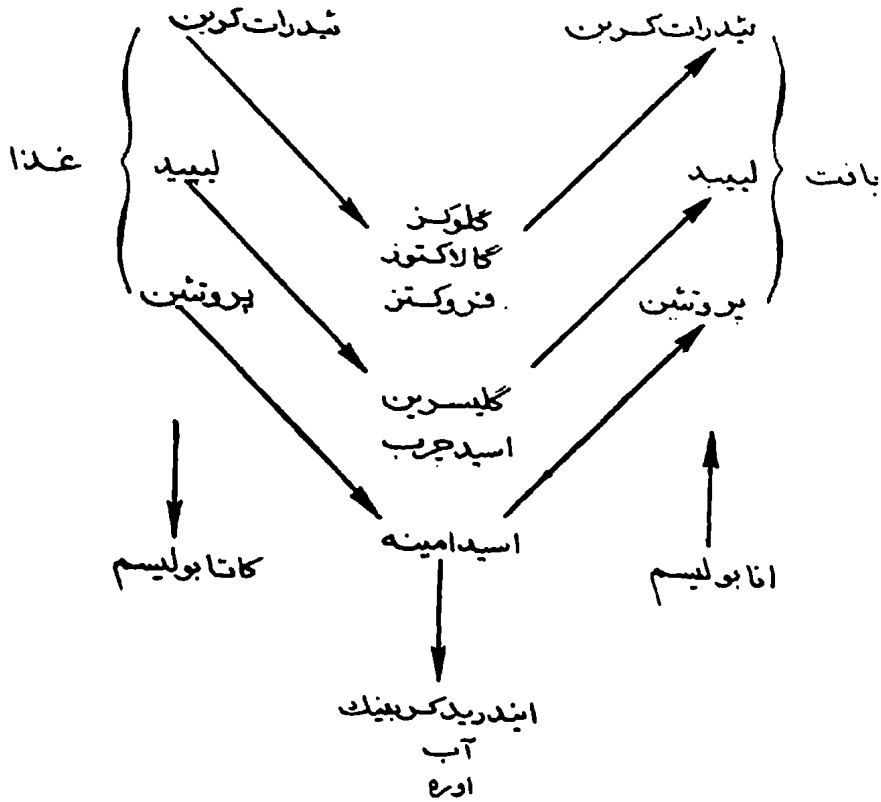
بنابر این نتیجه هضم این می شود که بدن پروتئین خارجی را جذب نکند بلکه واحدهای اسید آمینه‌ای آن را به درون خود راه دهد. وقتی که اسیدهای آمینه



تصویر ۴۳. تیدرولیزهایی که ضمن گوارش صورت می گیرد

متنوع داخل بدن آدمی شدند به صورت پروتئین خاص انسانی در می آیند. به همین روش تیدراتهای کربن خارجی به گلوکز تبدیل می شوند و سپس گلوکزها

به صورت ئیدرانه‌های کربن آدمی درمی آیند . نیز لیپیدها به گلیسرین و اسیدهای چوب تجزیه می شوند و سپس در بدن به چربی انسانی تبدیل می گردند . وقتی که واحدهای ساختمانی غذاها از دیواره روده عبور کردند و جذب گشتند برآستی داخل بدن می شوند . آنچه از این مرحله به بعد واقع می شود نظر دانشمندان شیمی حیاتی و فیزیولوژیست های قرن نوزدهم را به خود جلب نکرد بلکه اینان تغییرات متابولیسمی داخل بدن را فقط به طور غیر مستقیم استنتاج می کردند .



تصویر ۴۴ . طرح کلی متابولیسم

مسلماً ماهیت عمومی تغییرات مواد در داخل بدن روشن بود . مثلاً دست کم بخشی از گلوکز و اسیدچرب بایستی تغییرات کاتا بولیسمی بکنند تا به مولکورهایی

ساده‌تری چون آب و انیدرید کربنیک تبدیل کردند. بخشی از اسیدهای امینه نیز بایستی تجزیه شوند تا انیدرید کربنیک و آب و اوره، که نیتروژن دارد، تولید کنند. از آنجا به وقوع این تجزیه‌هایی می‌بردند که می‌دیدند انیدرید کربنیک از تنفس دفع می‌شود و اوره از ادرار و آب از تنفس و ادرار و عرق. (تصویر ۴۴) از این گذشته مقداری از واحدهای ساختمانی بایستی تغییر یافته و بار دیگر بدمولکولهای پیچیده تبدیل کردند. این مسئله در مورد اسیدهای امینه و اسیدهای چرب کاملاً صادق بود زیرا بدن انسان پروتئینها و لیپیدهای مخصوصی داشت که فقط با آن واحدهای ساختمانی درست شدنی بودند.

وجود ئیدرات کربن مخصوص انسان چندان آشکار نیست. در سال ۱۸۴۴ دانشمند آلمانی شیمی حیاتی^۱، اشمیدت^۱ کشف کرد که خون دارای مقداری گلوکز است ولی گلوکز خود واحد ساختمانی بود. در سال ۱۸۵۶ فیزیولوژیست فرانسوی کلود برنارد^۲ پس از سالها تحقیق به این نتیجه رسید که در جگر اندوخته‌ای از ئیدرات کربن هست که به نشاسته شباهت دارد ولی تفاوت‌هایی نیز با آن دارد. کلود برنارد این ئیدرات کربن را گلیکوژن^۳ نامید.

واکنشهای شیمیایی که طی آنها بدن از مولکولهای نسبتاً ساده و کوچک مولکولهای بزرگ و پیچیده می‌سازد - مانند ساختن پروتئین از اسید امینه و لیپید از اسیدهای چرب و گلیکوژن از گلوکز - واکنش‌هایی هستند که تحت نام آنابولیسم^۴ خوانده می‌شوند.



این که در متابولیسم حد واسط نیز، واکنشهای آنابولیسمی و کاتابولیسمی

۱- C. Schmidt ۲- Claud Bernard ۳- Glycogen مشتق از کلمه یونانی
 «قدساز» است. زیرا بر اثر ئیدرولیز قند به وجود می‌آورد. ۴- Anabolisme مشتق از
 کلمه «به بالا انداختن».

صورت می‌گیرد امری کاملاً آشکار است. با شناختن متابولیسم حد واسط مواد، اگر چه جزئیات شیمیایی آنها معلوم نباشد، باز چیزهایی از متابولیسم شناخته می‌شود.

مثلاً تراکم گلوکز خون همواره ثابت است. هر سانتی متر مکعب خون در حدود یک میلی گرم گلوکز دارد. این گلوکز اندوخته غذایی سلولهایی است که خون آنها را در میان گرفته است. وقتی که مقدار زیادی غذای آردی خورده شود با وجود آنکه مقدار زیادی گلوکز به بدن می‌رسد، سطح گلوکز خون بالاتر نمی‌رود. نیز در مواقعی که شخص روزه است و گلوکزی به بدنش نمی‌رسد سطح گلوکز خون پایین تر نمی‌آید.

این ثبوت مقدار گلوکز خون، نتیجه توازنی است که میان آنابولیسم و کاتابولیسم موجود است. گلوکزی که از هضم ئیدرانه‌های کربن حاصل می‌شود (کاتابولیسم) از دیواره روده وارد رگهای خونی می‌شود. رگهای خونی روده سیاهرک باب را به وجود می‌آورند. سیاهرک باب مقدار زیاد گلوکز حاصل را به جگر می‌برد. سیاهرک باب درون جگر به شبکه بسیار ظریف و متراکمی از مویرگها تبدیل می‌شود و خون را در دسترس سلولهای جگر قرار می‌دهد. گلوکز از خون وارد سلولهای جگر می‌شود و در آنجا به گلیکوژن تبدیل گشته (آنابولیسم) و انبار می‌شود.

خونی که از سیاهرک فوق جگر بیرون می‌رود مقدار ثابتی گلوکز دارد. سیاهرک فوق جگر این خون را به سوی قلب هدایت می‌کند و خون از قلب به همه نقاط بدن فرستاده می‌شود. گلوکز خون به وسیله سلولهای گوناگون بدن جذب می‌شود و در آنجا به انیدرید کربنیک و آب تجزیه می‌گردد (کاتابولیسم).

مقدار گلوکوزی که در نتیجه کاتابولیسم درون سلولهای بدن از خون گرفته می شود در نتیجه مقدار نوری که از جگر وارد جریان خون می گردد همواره تأمین می شود. آیا هنگامی که هضم به پایان می رسد و گلوکوزی از دیواره روده جذب خون نمی شود نیز اگر گرسنه ماندن مدتی ادامه یابد و ساعتها یاروزها گلوکوزی وارد بدن نگردد چه پیش خواهد آمد؟ وقتی که خون سیاهرگ باب در مویرگهای درون جگر توزیع می شود و گلوکوزی دربر ندارد، فرایند عکس صورت می پذیرد. دیگر گلوکوزی نیست که به گلیکوژن تبدیل شود، پس گلیکوژن-هایی که قبلاً در جگر اندوخته شده بودند، رفته رفته به گلوکز تبدیل می شوند (کاتابولیسم) و این تبدیل به صورتی است که خون سیاهرگ فوق جگر دارای مقدار ثابتی گلوکز می شود.

بنابراین جگر با توازنی که میان کاتابولیسم و آنابولیسم به وجود می آورد، یعنی اگر چه گاهی مقدار زیادی گلوکز بدان می رسد و گاهی هیچ گلوکوزی وارد آن نمی گردد، مقدار گلوکز خون را همواره ثابت نگه می دارد. (این درست شبیه وضع خانواده مرفهی است که در مواقع کار پول اندوخته می کنند و در مواقع لزوم از اندوخته مصرف می کنند تا همواره زندگی مرتبی داشته باشند).

حفظ موازنه گلوکز بدن از موارد بسیار دقیق است و به وسیله اورمونهایی تنظیم می شود به نام انسولین^۱ و گلوکاگون^۲ که هر دو از سلولهای لوزالمعده مستقیماً در خون ترشح می شوند. (پس لوزالمعده يك غده مختلط است زیرا از طرفی شیره لوزالمعده در روده كوچك ترشح می کند و از طرف دیگر اورمونهایی مستقیماً در خون می ریزد.)

وجود انسولین در خون موجب تحريك واکنش آنابولیسمی می شود یعنی

گلوکز را به گلیکوژن تبدیل می‌کند، و با این عمل مقدار گلوکز خون را کاهش می‌دهد. گلوکاگون موجب تحریک واکنش کاتابولیسمی می‌شود یعنی گلیکوژن را به گلوکز مبدل می‌سازد و با این عمل مقدار گلوکز خون را افزایش می‌دهد. اگر به‌عللی بدن اندکی بیش از حد معمول در جهت کاتابولیسیم سیر می‌کند، جگر مقداری بیشتر گلوکز در خون وارد خواهد ساخت. خونی که دارای گلوکز اضافه بر حد معمول است وقتی که از لوزالمعده عبور می‌کند موجب ترشح انسولین بیشتر می‌گردد. نتیجه این می‌شود که مقدار گلوکز خون فوراً پایین می‌آید. اگر کاهش گلوکز از حد معمول بیشتر شود، کم بودن گلوکز خونی که لوزالمعده را مشروب می‌سازد موجب ترشح گلوکاگون می‌شود در نتیجه مقدار گلوکز خون فوراً بالا می‌رود. پس مقدار گلوکز خون به‌روشی همیشه ثابت باقی می‌ماند که در عصر حاضر به پس‌خور موسوم است.

گاهی در بعضی از اشخاص قدرت تولید انسولین لوزالمعده کاهش می‌یابد. نتیجه‌اش بروز بیماری دیابت است. زیرا بر اثر مختل شدن حفظ موازنه گلوکز خون، گلوکاگون گلوکز خون را زیاد می‌کند و آن را به‌حد خطرناکی می‌رساند. وقتی که حالت بیمار رو به شدت می‌گذارد، مقداری از گلوکز خون از کلیه دفع می‌شود و سطح آن پایین می‌آید. پس وجود گلوکز در ادرار یکی از مطمئن‌ترین نشانه‌های شدت بیماری دیابت است.

پیش از آغاز قرن بیستم راهی برای تشخیص بیماری دیابت وجود نداشت. پزشکان و زیست‌شناسان قرن نوزدهم راه مبارزه با بسیاری از بیماریهای میکروبی را در نتیجه به‌کار بردن واکسن‌ها و ضد سم‌ها آموخته بودند ولی چاره‌ای برای بیماری دیابت نمی‌شناختند. دیابت نه میکروب داشت نه زهر. بلکه بیماری ناشی از

عدم کفایت فعالیت شیمیایی بدن و نوعی بی‌نظمی در متابولیسم بود، به عبارت دیگری « یک بیماری متابولسمی بود ».

هنگامی علت دیابت به خوبی شناخته شد که دو فیزیولوژیست آلمانی فن‌میرینگ^۱ و او. مینکووسکی^۲ کشف کردند که اگر غده لوزالمعده سگی را بردارند به دیابت مبتلا می‌شود. مدتی متجاوز از بیست سال کوشش کردند که از لوزالمعده چیزی به دست آورند تا مگر تزریق آن در خون جلوی بیماری را بگیرد ولی موفق نشدند. در سال ۱۹۲۱ پزشک کانادایی فردریک سمرانت بانتینگ^۳ به این فکر افتاد که نکنند ماده مؤثر در این فرایند پروتئین باشد و در حین استخراج از لوزالمعده تحت تأثیر پروتئاز این غده هضم شود. بانتینگ به کمک یکی از دانشجویان جوانش به نام چارلز هربرت بست^۴ مدتی پیش از برداشتن لوزالمعده و استخراج ماده منظور از آن مجرای ترشحاتی آن را بست. این عمل موجب شد که مقدار ماده ترشحاتی و بخشی از لوزالمعده که آن را ترشح می‌کرد تحلیل رود. از بقیه غده توانست ماده‌ای به دست آورد که امروزه انسولین نام دارد.

در حال حاضر انسولین را از لوزالمعده حیواناتی که کشتار می‌شوند، مانند گاو و خوک، تهیه می‌نمایند و به دیابتی‌ها تزریق می‌کنند تا جلوی ناراحتی‌های حاصل را بگیرند (ولی نمی‌توانند بیماری را معالجه‌کنند زیرا وقتی که سلولی خاصیتی را از دست می‌دهد وسیله‌ای برای اعاده آن خاصیت نمی‌شناسند - خاصیت انسولین‌سازی سلول یکی از این موارد است) و زندگی عادی برای آنها فراهم سازند.



مسئله موازنه گلوکز را بیشتر دنبال کنیم. مقدار گلیکوژنی که جگر می‌تواند اندوخته‌کند در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد وزن آن است. گلیکوژن در ماهیچه‌ها نیز می‌تواند به میزان یک درصد اندوخته شود. چون مقدار ماهیچه‌های بدن از جگر بیشتر است با وجود کم بودن گلیکوژن ماهیچه‌ها گلیکوژن موجود در آنها از آنچه در جگر هست بیشتر است. بر روی هم گلیکوژن جگر در حدود ۲۵۰ گرم و از ماهیچه‌ها ۳۵۰ گرم است. پس مقدار کل گلیکوژن بدن ۶۰۰ گرم می‌شود.

چنانکه در فصل چهاردهم بیان کرده‌ام، ارزش کالریی تیدرات کربن وقتی که به آب و انیدرید کربنیک تبدیل می‌شود ۴ کیلوکالری به ازای هر گرم است پس همه ۶۰۰ گرم گلیکوژن بدن پس از مصرف شدن قریب ۲۴۰۰ کالری تولید می‌کنند. این مقدار کالری برای اداره یک شخص در ۲۴ ساعت کافی است به شرطی که در آرامش باشد و حال آنکه شخص می‌تواند هفته‌ها بدون غذا زنده بماند و گلوکز خونس همواره ثابت باشد. پس اگر گلیکوژن در روز اول به مصرف می‌رسد گلوکز از کجا به دست می‌آید؟

سؤال دیگری که وابسته به این سؤال است و ممکن است پیش آید این است که وقتی شخص بیش از حد معمول نشاسته می‌خورد و مدت‌ها بدان ادامه می‌دهد، مازاد گلوکز که به صورت گلیکوژن جگر و ماهیچه در نمی‌آید چه می‌شود؟ پاسخ این مسئله در لیپیدهاست. چنانکه می‌دانید سیب‌زمینی و غذاهای نشاسته‌ای موجب چاقی می‌شوند. آیا معنی آن این نیست که تیدرات‌های کربن به لیپیدها تبدیل می‌شوند؟ ظاهراً گلوکز به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود و آن مواد به اسیدهای چرب مبدل می‌گردند و سپس از اسیدهای چرب لیپید ساخته می‌شود. این کار از نظر اقتصاد بسیار به نفع بدن است زیرا هر گرم لیپید ۹ کیلو

کالری تولید می‌کند و این مقدار خیلی بیشتر از ۴ کیلو کالری است. پس در حالی که وزن هر دو برابر است یکی از آنها دو برابر و یک‌ربع بیشتر از دیگری انرژی تولید می‌کند. کسانی که پر خوری می‌کنند و به صورت بی‌تناسبی چاق می‌شوند، اگر ئیدراتهای کربن زیادی را مانند سیب زمینی و برنج به چربی که از نظر انرژی متراکمتر از نشاسته است، تبدیل نمی‌کردند چه حجمی پیدا می‌کردند؟

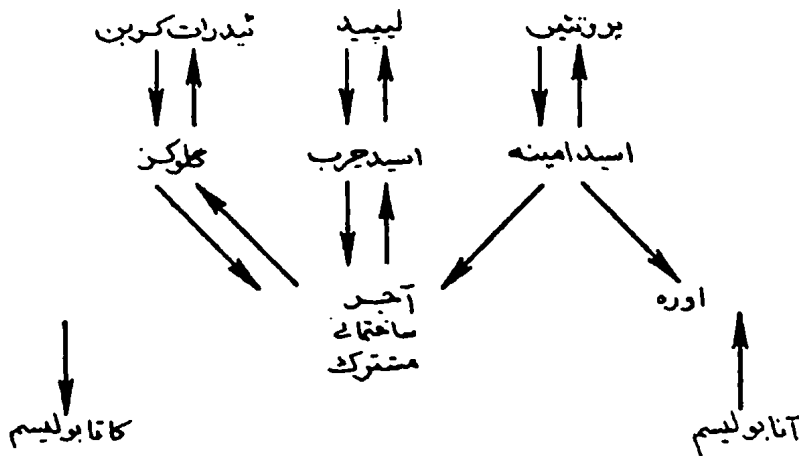
از این گذشته تغییر ئیدرات کربن به چربی در دو جهت انجام می‌گیرد. چنانکه همه می‌دانند هنگامی که شخص در حالت روزه است، چربی بدنش کم می‌شود. چون اندوخته چربی مانند اندوخته ئیدراتهای کربن محدود نیست، پس شخص می‌تواند هفته‌ها گرسنه بماند.

در شرایط سخت بی‌غذایی و هنگامی که اندوخته چربی ته می‌کشد، از پروتئین بدن استفاده می‌شود. به عبارت دیگر اسیدهای آمینه ابتدا نیتروژن خود را از دست می‌دهند و آنچه باقی می‌ماند به گلوکز تبدیل می‌گردد. نتیجه این می‌شود که در صورت ادامه بی‌غذایی خود بافتها تحلیل می‌روند.

از آنچه بیان گردید این نتیجه حاصل می‌شود که واحدهای ساختمانی مواد غذایی گوناگون می‌توانند کاتابولیس خود را تا حد معینی فراتر ببرند. مثلاً گلوکز و اسیدهای چرب باید بتوانند تغییرات کاتابولیس خود را به آجرهای ساختمانی مشترک، ساده‌تر از خود پیش ببرند. نیز اسیدهای آمینه (نیتروژن آنها به کنار) باید بتوانند در تغییرات کاتابولیس به همان آجرهای ساختمانی مشترک، ساده‌تر برسند (تصویر ۴۵)

از اینجا معلوم می‌شود که بدن استعداد ساختن مواد متنوع مذکور را به درجه کمال دارد به طوری که می‌تواند آجرهای ساختمانی مشترک را برای تهیه هر یک از آنها به کار برد.

ولی در عین حال محدودیتی در این کار هست که نباید فراموش شود. از طرفی بدن نمی‌تواند عنصری را به عنصر دیگر تبدیل کند و از طرف دیگر در آجرهای ساختمانی جز اکسیژن و نیتروژن و کربن چیزی وجود ندارد بنابراین اگر بخواهد از پروتئین دو نوع ماده دیگر را بسازد نیتروژن را برمی‌دارد ولی چون



تصویر ۴۵. آجر ساختمانی مشترك

«آجر ساختمانی مشترك» نیتروژن ندارد، اسید آمینه نمی‌تواند ساخته شود مگر آنکه نیتروژن از خارج بدانش افزوده شود و تنها منبع عملی نیتروژن غذاهای نیتروژن دار یعنی پروتئین‌ها هستند.

بنابراین اگر غذای لیپید و تیدرات کربن بسیار کم داشته باشد، ادامه زندگی ممکن است به شرطی که مقدار پروتئین غذا زیاد باشد. در این حالت مقداری از اسیدهای آمینه به پروتئین‌های بدن تبدیل می‌شود و بقیه پس از از دست دادن نیتروژن به «آجر ساختمانی مشترك» تبدیل گشته به تیدرات کربن و لیپید تبدیل می‌شود.

عکس این قضیه درست نیست. بدین معنی که اگر جیره غذایی پروتئین کم داشته یا اساساً فاقد آن باشد، موجب از بین رفتن تدریجی بافت‌ها و مرگ

می‌شود و فراوان بودن ئیدرات کربن و چربی جیره غذایی تأثیری در آن ندارد .
وقتی که نیتروژن به بدن نرسد تبدیل « آجرهای ساختمانی مشترك » به پروتئین
میسر نیست .



حتی اگر نیتروژن را به صورتی وارد خون سازیم اگر چه سایر عناصرها در
خون وجود دارند استفاده بدن از آن بسیار محدود است . چنانکه در فصل پیش
اشاره کردم بدن بعضی از ویتامینها را نمی‌تواند بسازد ولی این مواد به مقدار بسیار
کم مورد لزومند و اگر بدن استعداد شیمیایی ساختن آن را ندارد قابل بخشش
است . اما بدن چنین قابلیت را به مقیاس بزرگتر در مورد پروتئینها فاقد است .
در اوایل قرن نوزدهم در کشور فرانسه کوشش کرده بودند که غذای ارزانی
از جوشاندن استخوان و بافتهای پیوندی (که هضم شدنی نبودند) تهیه کنند . این غذا
ژلاتین بود که بسیار سهل الهضم است ، ولی اشکال مسئله در این بود که ژلاتین اگر چه
پروتئین بود به تنهایی زندگی شخص را تأمین نمی‌کرد و پروتئین دیگری نیز لازم بود .
با پیشرفت قرن نوزدهم شیمی دانها متوجه شدند که پروتئینها از اسیدهای
امینه گوناگون ساخته شده‌اند و در سال ۱۸۷۲ دانشمند آلمانی شیمی حیاتی
او . ناسه^۱ توانست نشان دهد که اسید امینه‌ای به نام تیروزین در ژلاتین نیست . در
سالهای بعد معلوم شد که اسیدهای امینه دیگری چون سیستین و تریپتوفان و
متیونین نیز در ژلاتین نیست ، ولی چنانکه می‌دانیم پروتئینها به اسیدهای امینه
تجزیه می‌شوند و به این صورت جذب بدن می‌گردند . بنابراین ارزش غذایی
پروتئین نباید در نظر گرفته شود بلکه ارزش اسیدهای امینه سازنده آن قابل
توجه است . پس ارزش يك پروتئین بستگی به اسیدهای امینه سازنده‌اش دارد .

آزمایشهایی ترتیب دادند که در آنها به جای منبع نیتروژن مخلوطی از اسیدهای آمینه را به کار بردند نه پروتئین و دیدند که هنگامی جاندار زنده می ماند و رشد می کند که همه اسیدهای آمینه در غذایش باشند. وقتی که دانشمندانمریکایی شیمی حیاتی ویلیام سی. روز^۱ برای نخستین بار به چنین آزمایشهایی دست زد و دید که اختلالاتی پیش می آید متوجه فقدان اسید آمینه ای شد که قبلاً شناخته نشده بود. وی در سال ۱۹۳۵ موفق به کشف ترئونین شد و این آخرین اسید آمینه مهمی بود که کشف گردیده بود. وقتی که ترئونین به مخلوط اسیدهای آمینه افزود همه اوضاع به خوبی گذشت. (و این خود به تنهایی نشان می دهد که اسید آمینه کشف نشده ای وجود ندارد.)

روز آزمایشهای خود را با افراد بالغ آدمی مثلاً با فارغ التحصیلان دانشگاه انجام داد. چون این افراد به فکر خدمت به علم و لزوم ادامه تحصیل خود بودند خوردن غذاهای مخلوط که مانند غذاهای عادی مطبوع نبودند برایشان قابل تحمل بود. روز در این آزمایشها معیاری برای کافی بودن غذا به دست آورد که آن را « موازنه نیتروژن » نامید.

مقدار نیتروژن غذا با نیتروژن مدفوع (که جذب نشده است) و نیتروژن ادرار (که جذب بدن شده و بعداً از پروتئین به منظورهای خاصی جدا گشته است) می تواند موازنه داشته باشد. در اشخاص بالغ تندرست و در شرایط عادی نیتروژن غذا درست برابر نیتروژن مدفوع به اضافه نیتروژن ادرار است. پس مقدار نیتروژن بدن ثابت است زیرا واردات آن برابر صادراتش هست و بدن در حال « موازنه نیتروژن » است.

بدن مرتباً مقداری نیتروژن از دست می دهد و این دفع حتی در مواقعی که

غذاهای مولد انرژی به فراوانی در جیره باشند و نیازی به سوختن پروتئین نباشد همچنان صورت می‌گیرد. بنابراین همیشه مقدار کمی از پروتئین در بدن متلاشی می‌شود. (این را گاهی به حساب « فرسودگی و ساییدگی بدن » می‌گذارند). اگر این مقدار ترمیم نشود دفع نیتروژن بیش از جذب آن خواهد شد و مقدار نیتروژن بدن تقلیل می‌یابد و بدن در واقع در « موازنه منفی نیتروژن » قرار خواهد گرفت.

نیز ممکن است که جذب نیتروژن بر دفع آن فزونی یابد و در نتیجه مقدار نیتروژن بدن بالا رود. این حالت را « موازنه مثبت نیتروژن » می‌گویند. کودکان که در حال رشدند، و کسانی که مدت‌ها گرسنه مانده‌اند و به غذا می‌رسند یا بر اثر بیماری به مدت درازی در حالت « موازنه منفی نیتروژن » بوده‌اند و بهبودی یابند به حالت « موازنه مثبت نیتروژن » می‌افتند.

به منظور حفظ موازنه نیتروژن باید میان آنابولیسم پروتئین و کاتابولیسم آن موازنه‌ای موجود باشد. هرچه پروتئین بر اثر فرسودگی و ساییدگی بدن از دست می‌رود باید از طریق ترکیب شدن اسیدهای آمینه تأمین شود، ولی برای آنکه بدن بتواند از اسیدهای آمینه پروتئین بسازد باید از همه اسیدهای آمینه (یعنی همه ۱۹ اسید آمینه) و به مقدار مورد لزوم در دسترس داشته باشد. آزمایش نشان داده است که نبودن یک اسید آمینه کار ساخته شدن مولکول پروتئین را غیر ممکن می‌سازد. ظاهراً بدن نمی‌تواند جای اسید آمینه را در زنجیر پپتیدی خالی بگذارد تا بعداً پر شود.

وقتی که یک اسید آمینه لازم موجود نباشد پروتئینی که بر اثر فرسودگی و ساییدگی از بین می‌رود ترمیم نمی‌گردد و اسیدهای آمینه دیگری که در بدن هستند جز برای سوختن به کار دیگری نخواهند آمد. پس نیتروژن آنها جدا

گشته و خود تجزیه می‌شوند و بدن به حالت « موازنه منفی نیتروژن » می‌افتد. درست است که همه انواع اسیدهای امینه باید در دسترس بدن باشند ولی آیا وجود همه آنها در جیره غذایی ضروری است؟ نه. زیرا بعضی از اسیدهای امینه را روز از غذای دانشجویان حذف کرده بود بدون آنکه به حالت « موازنه منفی نیتروژن » در آیند. مثلاً آلانین را می‌توان حذف کرد، ولی چنانکه می‌دانیم آلانین در ساختمان پروتئین باید موجود باشد، خواه در غذا باشد و خواه نباشد. نتیجه‌ای که از آن گرفته می‌شود این است که بدن آلانین را از انواع دیگر اسیدهای امینه می‌سازد.

جدول شماره ۸

اسیدهای امینه اصلی

مقدار لازم در شبانه روز بر حسب گرم	نام اسید امینه
۱٫۱	فنیل آلانین
۱٫۱	متیونین
۱٫۱	لوسین
۰٫۸	لیزین
۰٫۸	والین
۰٫۷	ایزولوسین
۰٫۵	ترئونین
۰٫۲۵	تریپتوفان

بنابراین می‌توان تعداد زیادی از اسیدهای امینه را حذف کرد زیرا بدن می‌تواند به مقدار زیاد از هر يك بسازد.

اینها را « اسیدهای امینه غیر لازم » می‌گویند (غیر لازم در جیره غذایی نه غیر لازم برای بدن) .

از سوی دیگر اگر لیزین را از جیره غذایی حذف کنند ، دانشجو به حالت « موازنه منفی نیتروژن » می‌افتد ، پس وجود لیزین ضرورت کامل دارد . پس هر قدر از اسیدهای امینه دیگر به بدن برسد ، بدن نمی‌تواند لیزین بسازد بنابراین لیزین یکی از اسیدهای امینه اصلی است (یعنی جزء اصلی جیره غذایی) .

چنانکه روز استنباط کرده هشت اسید امینه بر روی هم برای يك انسان بالغ لازم است و حداقل مقدار لازم از هر يك را برای تأمین نیازمندیهای بدن و جلوگیری از « موازنه منفی نیتروژن » اندازه گرفته‌است . اسیدهای امینه اصلی و مقدار هر يك در جدول شماره هشت نشان داده شده است .

به طوری که دیده می‌شود اوضاع شیمیایی بدن استعداد ماده سازی بیش از آنچه را که در مورد ویتامین‌ها دیده‌ایم فاقد است . چند میلی‌گرم ویتامین نیازمندیهای بدن را رفع می‌کند ولی اسیدهای امینه لازم صدها و حتی هزارها برابر آن مورد نیازند .

فصل بیستم

زندگی بی هوای

چنانکه دیدید ، فقط از مطالعه آنچه که وارد بدن می شود و از آن خارج می گردد بسیاری از چیزهایی را که در بافت زنده صورت می گیرد می توان کشف کرد. مثلاً بد این کشف نایل آمدیم که « آجرهای ساختمانی مشترکی » در بدن موجودند که ئیدراتهای کربن و لیپیدها و پروتئین ها همه از آن مرحله می گذرند و واحدهای ساختمانی مواد غذایی ، یعنی گلوکز و اسید چرب و اسید آمینه و غیره ، یا برائز کاتا بولیسیم به آب و انیدرید کربنیک تبدیل می شوند یا در نتیجه آنابولیسیم به نشاسته و لیپید یا پروتئین تبدیل می گردند ، نیز می دانیم که بعضی از مواد اختصاصی مانند آلانین در بدن ساخته شدند و حال آنکه بعضی دیگر چون لیزین ساخته شدند نیستند .

آیا به همه منابع لازم دسترسی پیدا کرده ایم یا هنوز چیزهایی هست که باید استنتاج کنیم ؟

بسیار خوب اکنون باید بدین گونه استدلال کنیم : یک آنزیم می تواند فقط یک واکنش را تا سرحد تعادل پیش ببرد و از هر سوئی که این کار را آغاز کرد

باشد همواره به نقطه تعادل می‌رسد (به فصل دوازدهم مراجعه شود) بنابراین هنگامی که آنزیمهای هضمی غذاها را بر اثر ئیدرولیز تجزیه می‌کنند، این عمل را تا سرحد تعادل جلو می‌برند. چنانکه می‌دانیم ئیدرولیز به کمال انجام می‌شود یعنی همه مواد غذایی ئیدرولیز شده و جذب می‌گردند.

ولی نکته همین جاست که «مواد جذب می‌شوند». به تدریج که اسیدهای امینه و اسیدهای چرب و قندهای ساده حاصل از ئیدرولیز جذب می‌گردند، از میدان عمل خارج می‌شوند. تنها مواد پیچیده ئیدرولیز نشده بر جای می‌مانند. این مواد بعداً تجزیه و جذب می‌شوند. به عبارت دیگر جذب محصولات نهایی و تغییر یافتن تعادل در جهت ئیدرولیز ناشی از اجرای قانون عمل جرمهاست. (به فصل نهم مراجعه شود).

آیا از روی این جریان آنچه را که درون سلول می‌گذرد نمی‌توان استنتاج کرد؟ آیا در داخل سلول، که فقط محصولات نهایی ئیدرولیز وجود دارد، آنزیمها واکنش عکس را تا رسیدن به نقطه تعادلی قبلی پیش نمی‌برند؟ به جای آنکه پیوندها گسیخته شوند و عنصرهای سازنده آب به واحدهای جدا شده اضافه گردند آیا يك ئیدروژن از يك اسید امینه (مثلاً) و يك OH از يك اسید امینه دیگر گرفته نمی‌شود تا دو پیوندی که بدین طریق مجاور هم قرار می‌گیرند با هم متحد شوند و يك پیوند پپتیدی به وجود آورند؟ (به معادله صفحه ۲۳۶ توجه کنید). این گونه واکنش را که عکس ئیدرولیز است «تراکم» می‌گویند. اگر سلول محصولات واکنش را به محض ساخته شدن بگیرد (در این مورد پروتئین و آب) عمل «تراکم» تا حد لزوم و حتی به کمال انجام خواهد گرفت.

تصویر جالبی است، زیرا يك عده آنزیم معین بسته به اینکه کدام دسته از

محصولات فعالیت آنزیمی جذب کردند، هم‌کاتابولیسم را اداره می‌کنند هم‌آنابولیسم را. ولی آیا تصویر درستی است؟

یکی از نکاتی که برله آن گواهی می‌دهد آن است که آنزیمهای هضمی آنابولیسم را در لوله‌آزمایش نیز صورت می‌دهند. مثلاً اگر اسیدهای آمینه را تحت شرایط خاصی در دسترس پپسین یا کیموتریپسین قرار دهند، عمل تراکم واقع می‌شود و ماده پروتئین مانند غیر محلولی به نام پلاستئین^۱ به وجود می‌آید. پلاستئین مخلوطی از پپتیدهای دارای وزن مولکولی کم است و زنجیرهای آنها بیش از ده تا ۱۲ اسید آمینه ندارد. ولی نباید فراموش شود که درون بافت زنده تولید پروتئید به صورتی مؤثرتر از درون لوله‌آزمایش تنظیم شده است به طوری که پروتئین‌های بزرگتر و پیچیده‌تر تولید می‌شوند.

ولی بدبختانه اشکالات مهمی به این تئوری وارد است. نخست آنکه آنزیم‌هایی هضمی یعنی آنزیمهایی که در لوله‌گوارش وجود دارند در بافت‌ها نیستند. این که پپسین یا کیموتریپسین می‌تواند از اسیدهای آمینه پروتئین بسازد، وقتی است که چنین آنزیمهایی (یا مشابه آنها) در بافت‌ها موجود باشند.

بار دیگر مسئله انرژی آزاد خودنمایی می‌کند. واکنشهای کاتابولیسمی بر رویهم با کاهش انرژی آزاد همراهند. ئیدرولیز با کاهش مهمی از انرژی همراه نیست (در مقایسه با بعضی از واکنشهای کاتابولیسمی که بعداً یاد خواهم کرد). ئیدرولیز پیوند پپتیدی با ۵٫۰ تا ۷٫۰ کیلوکالری کاهش انرژی آزاد در هر مولکول گرم همراه است و تغییر مختصری که می‌کند به نوع اسید آمینه‌ای مربوط است که پیوند بدان تعلق دارد.

از اینجا نتیجه می‌شود که ئیدرولیز پروتئینها واکنشی به سوی سرازیری

است و نقطه تعادلش نزدیک ئیدرولیز کامل است و کاهش انرژی آزاد به آن اندازه هست که واکنش را کاملاً دو طرفه نسازد. در واقع، در نقطه تعادل تقریباً ۹۹ درصد پروتئین ئیدرولیز شده است.

معنی آن این نیست که در شرایط خاصی واکنش نتواند در جهت عکس سیر کند. شرایط لوله آزمایش را طوری ترتیب می دهند که آب به محض تولید شدن گرفته شود (آب یکی از محصولات «تراکم» است)، پس واکنش در جهت تولید پروتئین سوق داده می شود و پلاستین به وجود می آید. ولی در سلول آب زیاد است و نمی تواند گرفته شود و نیز خارج شدن سریع پروتئین تشکیل شده از میدان عمل با اشکالاتی مواجه است. اگر این تنها راه ممکن باشد شک نیست که بدن به نحوی این کار را انجام می دهد زیرا از بافت زنده کارهای عجیب سر می زند. آیا می توان تصور کرد که چاره ای منطقی برای واکنش عکس وجود داشته باشد؟ بسیار خوب. اگر واکنشهای کاتابولیسمی با کاهش انرژی آزاد همراهند، پس واکنشهای آنابولیسمی که عکس آنهاست با افزایش انرژی آزاد همراه خواهند بود. آنابولیسیم يك فرایند رو به بالای تپه است. چرا به جای آن که محصول واکنش را از میدان عمل خارج کنیم تا واکنش همچنان ادامه یابد، با تأثیر دادن مستقیم انرژی، واکنش را در جهت بالای تپه سیر ندهیم؟ در این صورت اگر انرژی تأثیر ندهیم واکنش در جهت کاتابولیسیم سیر خواهد کرد و اگر تأثیر بدهیم واکنش در جهت آنابولیسیم سوق داده خواهد شد.

ولی باید دید که: انرژی از کجا باید به دست آید؟ آشکار است که انرژی از کاتابولیسیم واحدهای ساختمانی حاصل می شود. انرژی حاصل از تبدیل گلوکز به آب و انیدرید کربنیک، اگر از نظر وزن مقایسه شود، صدها برابر بیشتر از انرژی حاصل از ئیدرولیز گلیکوژن به گلوکز است (یا صدها برابر بیشتر از

انرژی لازم برای تبدیل گلوکز به گلیکوزن است). بنابراین با قربانی کردن يك مولکول گلوکز به خاطر کاتابولیسم، صدها مولکول گلوکز را می توان به بالای تپه سوق داد و گلیکوزن به وجود آورد.

اما باید دید که چگونه انرژی کاتابولیسم گرفته می شود و برای واکنشهای انرژی خواه آنابولیسم به کار برده می شود؟ برای پاسخ دادن به این سؤال باید کاتابولیسم را مشروحاً مورد مطالعه قرار داد. باید ببینیم که وقتی واحدهای ساختمانی مواد غذایی درون سلول ناپدید می شوند چه پیش می آید، و به اسرار «متابولیسم حد واسط» پی ببریم.



یکی از صورت‌های کاتابولیسم که مدتها مورد توجه دانشمندان بود و آغازی برای تحقیقات متابولیسم حدواسط به شمار می رفت تخمیر گلوکز به وسیله مخمر بود. اولاً تخمیر قند از ایام ماقبل تاریخ برای آدمی اهمیت داشت به طوری که ناکزیر بودند اطلاعات بیشتری در باره آن به دست آورند ثانیاً تخمیر فرایندی نسبتاً ساده است و بدون آنکه با پیچیدگی های بافتهای حیوانات سر و کار داشته باشد می تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

تخمیر قند، آن را به الکل اتیلیک تبدیل می کند و انیدرید کربنیک آزاد می سازد به طوری که می توان معادله واکنش را چنین نوشت:



توجه داشته باشید که این معادله توازن دارد. يك مولکول گلوکز به دو مولکول الکل اتیلیک و دو مولکول انیدرید کربنیک تجزیه می شود و چیز دیگری در این واکنش واقع نمی گردد.

مسئله از جهتی عجیب است. زیرا وقتی که لاوازیه نشان داد زندگی حیوانی

بدون اکسیژن ممکن نیست، پس واکنشهای کاتابولیسمی نباید اکسیژن خواه باشند و حال آنکه تخمیر چنین نیست.

آیا واکنشهای نوع دیگری به وسیله مخمر صورت می‌گیرد؟ پاسخ این پرسش از مطالعات لویی پاستور در سال ۱۸۶۱ به دست آمده است. وی نشان داد که فرایندهای حیاتی مخمر در غیاب کامل اکسیژن صورت می‌گیرند. به عبارت دیگر زندگی بدون هوا است.

تبدیل گلوکز به الکل اتیلیک و انیدرید کربنیک مثالی از گلیکولیز^۱ و به منظور نشان دادن وقوع آن در غیاب هوا غالباً گلیکولیز بی‌هوایی^۲ نامیده می‌شود. (Anaerobic در زبان یونانی به معنی «بدون هوا» است).

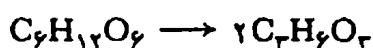
بر اساس تجربه‌ای که آدمی در باره سوختن مواد قابل احتراق دارد ترکیب شدن مواد کربن‌دار با اکسیژن عموماً با تولید انرژی همراه است، ولی نباید در این باره سخت‌گیر باشیم زیرا انرژی از راههای دیگر نیز به وجود می‌آید. تجزیه یک مولکول گرم گلوکز به الکل اتیلیک و انیدرید کربنیک ۳۶ کیلوکالری انرژی آزاد تولید می‌کند. بدیهی است که این مقدار از مقدار انرژی که از تبدیل کامل گلوکز به آب انیدرید کربنیک حاصل می‌شود کمتر است. تجزیه کامل گلوکز ۶۸۶ کیلوکالری تولید می‌کند به طوری که انرژی حاصل از گلیکولیز فقط اندکی از یک بیستم آن بیشتر است. با همه این احوال گلیکولیز برای مخمر انرژی کافی تولید می‌کند.

از این گذشته اتمسفر زمین در آغاز پیدایش حیات احتمالاً اکسیژن آزاد نداشت به طوری که تنها طریق تولید انرژی شبیه گلیکولیز بود. امروزه نیز بعضی از جانداران دارای ساختمان بدنی پیچیده که معمولاً انرژی لازم را از کاتابولیسم

۱- Glycolysis مشتق از کلمه یونانی «تجزیه‌تند» است. ۲- Anaerobic Gly

گلوکز تا تولید آب و انیدرید کربنیک به دست می آورند و اکسیژن به مصرف می رسانند در بعضی از شرایط می توانند به طور موقت از طریق گلیکولیز زندگی کنند. بافت ماهیچه ای از این دسته است. در آغاز قرن بیستم کشف شد که ماهیچه مقدار کمی اسید لاکتیک دارد. این ماده شامل سه کربن است و فرمول کلی آن $C_3H_6O_3$ است. (قبلاً آن را در شیر ترش شده شناخته و نام لاتینی شیر را بر آن نهاده بودند). نیز کشف شد که وقتی ماهیچه منقبض می شود مقدار اسید لاکتیک آن افزایش می یابد.

در سال ۱۹۱۸ دانشمند آلمانی شیمی حیاتی اتومیر هوف^۱ نشان داد که افزایش اسید لاکتیک با کاهش اندوخته گلیکوژن ماهیچه همراه است. پس ظاهر فعالیت ماهیچه ای متضمن تبدیل گلیکوژن به گلوکز و تبدیل گلوکز به اسید لاکتیک است. معادله زیر را می توان برای تبدیل گلوکز به اسید لاکتیک نوشت:



این معادله نیز توازن دارد. یک مولکول گلوکز به دو مولکول اسید لاکتیک تبدیل می شود، بدون آنکه اکسیژن در این واکنش دخالت داشته باشد. پس این واکنش یا چیزی نظیر آن باید در موقع ترش شدن شیر، وقتی که باکتریها بر آن می نشینند، موجب تبدیل قند به اسید لاکتیک شود. نتیجه ای که در ماهیچه و در شیر حاصل می شود با نتیجه ای که از مخمر حاصل می شود تفاوت دارد، زیرا در مخمر اسید لاکتیک تجزیه بیشتری متحمل می شود و به الکل و انیدرید کربنیک می رسد:



ولی از نظر انرژی چیز قابلی از این دکاربوکسیلاسیون^۲ (یعنی جدا شدن یک

انیدرید کربنیک از ماده‌ای حاصل نمی‌شود .

اینکه ماهیچه نمی‌تواند قدم اخیر را بردارد به نفع آن است زیرا الکل از اسید لاکتیک سمی‌تر و وجودش در سلول بالنسبه خطرناکتر است ، ولی برای مخمر بسیار خوب است زیرا همه آن را در محیط اطراف خود می‌ریزد . با وجود این وقتی که تراکم الکل زیاد می‌شود و به ۱۸ در صد می‌رسد مخمرها را می‌کشد. سلولهای ماهیچه‌ای باید الکل را در خون بریزند پس موجود زنده مست می‌شود و می‌میرد . اگر چه اوضاع شیمیایی بدن ما می‌توانست با تراکم زیاد الکل سازش یابد ولی چنین نشد . ظاهراً روشی که پر سلولها در مورد مسئله الکل انتخاب کردند این بود که خود را با دفع آخرین مرحله گلیکولیز ، از دست آن نجات بخشند .

نیز میرهوف نشان داد که جانداران دارای ساختمان بدنی پیچیده ، اگر چه می‌توانند اکسیژن را به مؤثرترین صورتی به کار برند قدرت گلیکولیز بی‌هوازی را نیز دارند . نیز نشان داد که مخمر و ماهیچه کوآنزیمهای یکسان دارند . پس معلوم شد که این دو نوع سلول طی يك سلسله واکنشهای مشابه گلوکز را تجزیه می‌کنند . فصلی آغاز شده بود که نشان می‌داد راه و رسم متابولیسم همه موجودات زنده در اساس مشابه است و اگر اختلافی دیده می‌شود تغییراتی است که در طرح اصلی داده شده است . تحقیقاتی که از زمان میرهوف به بعد صورت گرفته اند همواره این نظر را تأیید کرده اند .

اینکه ماهیچه گلوکز را گلیکولیز نمی‌کند دلایلی دارد . ماهیچه بر اثر تبدیل کامل گلوکز به آب و انیدرید کربنیک به آرامی انرژی لازم را به دست می‌آورد و برای این کار انرژی لازم دارد . اکسیژن به وسیله جریان خون به ماهیچه می‌رسد و اگر تبدیل کامل گلوکز به آب و انیدرید کربنیک باید در ماهیچه صورت گیرد،

پس کار ماهیچه وابسته به مقدار اکسیژنی خواهد بود که در مدت معینی بدان می‌رسد. هنگامی که بافت ماهیچه‌ای انرژی بسیار زیاد تولید می‌کند، مانند وقتی که ورزش می‌کنید، انتقال اکسیژن به وسیله خون سریعتر می‌شود. سریعتر تنفس می‌کنید و قلبتان نیز سریعتر و محکمتر می‌زند. طبیعی است که با این عمل مقدار بیشتری اکسیژن به ماهیچه می‌رسد و ماهیچه انرژی بیشتری می‌تواند تولید کند، ولی سرعت تنفس و ضربان قلب حدی دارد که نمی‌تواند از آن تجاوز کند. اگر بنا بر احتیاجات حیاتی مقدار کاری که ماهیچه‌ای باید انجام دهد بیش از اندازه‌ای باشد که اکسیژن بدان می‌رسد و سرعت تنفس و ضربان قلب افزایش می‌یابد، چه پیش خواهد آمد؟

ممکن است گفته شود که چنین چیزی ممکن نیست ولی تکاملی که در موجودات حاصل شده این امکان را به وجود آورده که اندکی از حد غیر ممکن بیشتر انرژی تولید شود و آن به وسیله استفاده از گلیکولیز بی‌هوازی است زیرا مقداری انرژی اضافی تولید می‌شود بدون آنکه اکسیژن اضافی لازم باشد.

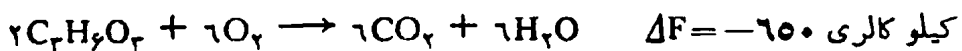
بدیهی است که این کافی نیست. در حدود ۱۹ مولکول گلوکز باید به اسید لاکتیک تبدیل شود تا یک مولکول گلوکز بتواند به آب و انیدرید کربنیک تجزیه گردد، ولی در موارد ضروری شاید از بین رفتن مقدار زیاد گلوکز به خاطر تولید انرژی بیشتری به منظور نجات موجود، ارجح باشد.

این فرایند محدود نیز هست. اسید لاکتیک که حاصل می‌شود در حین کار ماهیچه در آن جمع می‌گردد و اگر چه مانند الکل سمی نیست ولی بدن فقط مقدار معینی از آن را می‌تواند تحمل کند. ماهیچه‌ای که در حال استراحت است ۰.۰۲٪ اسید لاکتیک دارد ولی در حین کار تا ۲۵.۰٪ افزایش می‌یابد و از آن تجاوز نمی‌کند. زیاد شدن تراکم اسید لاکتیک را ما به صورت خستگی

احساس می‌کنیم و ماهیچه خسته ناگزیر به توقف فعالیت است و اسید لاکتیک بیشتری نمی‌تواند در خود نگه دارد.

به‌سر اسید لاکتیک چه می‌آید؟ آشکار است که ماهیچه خسته پس از استراحت کردن نیروی خود را باز می‌یابد. فیزیولوژیست انگلیسی ارشبالد ویویان هیل^۱ نشان داده که ماهیچه پس از آنکه دارای اسید لاکتیک می‌شود، اگر چه در استراحت باشد، اکسیژن مصرف می‌کند و مقدار اکسیژن مصرفی در این موقع بیش از مواقع عادی است. اکسیژنی که معمولاً با گلوکز ترکیب می‌شد و انرژی تولید می‌کرد و طی گلیکولیز بی‌هوازی در مصرف آن صرفه‌جویی می‌شد، در این موقع کمبود خود را جبران می‌کند. مامقداری اکسیژن مقروضیم و این دین از آنجا دانسته می‌شود که پس از مدتی کار کردن و از پادآمدن همچنان نفس می‌زنیم و قلبمان به‌تندی می‌زند. نتیجه این کار تأمین اکسیژن با سرعت ممکن و پرداخت دین است.

پرداخت دین با تجزیه اسید لاکتیک به آب و انیدرید کربنیک صورت می‌گیرد. از این تجزیه $\frac{18}{19}$ انرژی که از تجزیه کامل گلوکز می‌توانست تولید شود حاصل می‌گردد:



انرژی که بدین طریق آزاد می‌شود بیشتر از انرژی است که برای بالا بردن دو مولکول اسید لاکتیک به بالای تپه و تولید گلوکز لازم است.



اگر امکان داشت که انرژی حاصل از کاتابولیسیم اسید لاکتیک برای تبدیل اسیدهای لاکتیک دیگر به گلوکز مورد استفاده قرار گیرد با کاتابولیسیم یک

اسید لاکتیک آنابولیسیم بسیاری از مولکولهای اسید لاکتیک میسر می گردید . حتی اگر از ۵۰ درصد انرژی حاصل از تجزیه اسید لاکتیک به آب و انیدرید کربنیک استفاده می شد کافی بود که ۱۰ مولکول اسید لاکتیک را به گلوکز بر گردانند . در خاتمه و پس از تأدیه دین اکسیژن ، بیشتر اسید لاکتیکها به گلیکوزن تبدیل می گردند و آماده کار بعدی می شوند و حال آنکه مقدار گلیکوزنی که در فرآیند از میان رود به وسیله اندوخته نامحدود گلوکز خون (دست کم در حین حیات) ترمیم می شود .

کاتابولیسیم اسید لاکتیک به سوی ته دره ، که آنابولیسیم اسید لاکتیک را به سوی بالای تپه تأمین می کند مثالی از واکنش توأم^۱ است (به تصویر ۴۶ مراجعه شود) . واکنش بر روی هم با کاهش انرژی آزاد همراه است . بدین معنی که اگر چه تغییر اسید لاکتیک به گلوکز متضمن انرژی آزاد است ، ولی چون فقط در پاسخ تغییر اسید لاکتیک به آب و انیدرید کربنیک صورت می گیرد ، متضمن کاهش انرژی آزاد است . کاهش یک بخش واکنش همیشه بیش از افزایش بخش دیگر است به طوری که تغییر نهایی همواره در جهت کاهش است . این جریان حتی در موجودات زنده نیز صادق است .

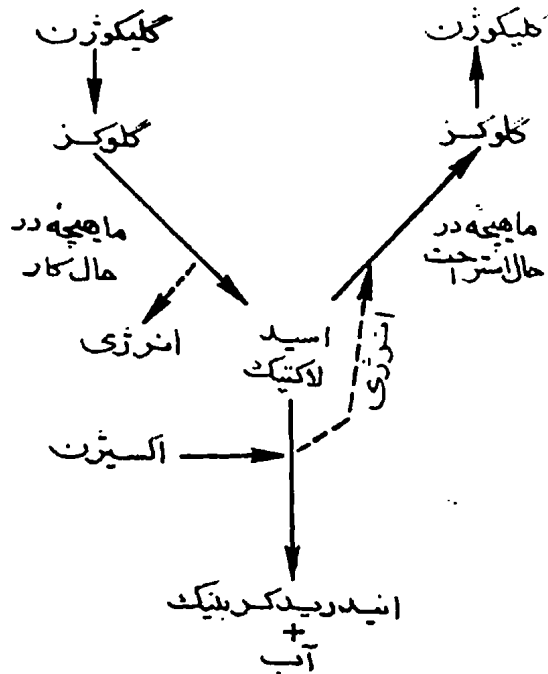


توأم بودن کاتابولیسیم اسید لاکتیک با آنابولیسیم آن به جای خود درست است ولی چگونه چنین امری صورت عمل به خود می گیرد ؟ و انرژی چگونه از کاتابولیسیم به آنابولیسیم انتقال می یابد ؟

نخستین گام در این راه در سال ۱۹۰۵ برداشته شد . دوشیمی دان انگلیسی هاردن و یوتک (کاشفان زیماز) در این سال کشف کردند که وقتی سرعت تولید

انیدرید کربنیک در مخمر کاهش می‌یابد، اگر فسفات غیر آلی بدان افزوده شود، مخمر سرعت اولیه خود را باز می‌یابد. (فسفات غیر آلی مانند KH_2PO_4). از این گذشته به تدریج که تولید انیدرید کربنیک پیش می‌رود، مقدار فسفات موجود در محلول کاهش می‌یابد.

به نظر هاردن و یونگ تنها راه از بین رفتن فسفات ترکیب شدن آن با مواد آلی است. از آن پس دیگر فسفات صورت یونی ندارد و با معرفها واکنش نمی‌کند. این دو دانشمند سپس مخلوط را تجزیه کردند تا مقادیر کمی از مواد آلی فسفات دار را پیدا کنند و موفق به یافتن یکی از آنها شدند. گروه فسفات به یک مولکول



تصویر ۴۶. اسید لاکتیک و ماهیچه

فقد متصل بود و این اتصال مخصوص را شیمی دانها استر (Ester) می‌گویند. سرانجام این ماده آلی فسفات دار به استر هاردن یونگ معروف شد. با گذشت زمان ماهیت ماده آلی فسفات دار شناخته شد و معلوم گردید که مولکول فروکتوزی است

که یک گروه فسفات بدن متصل است. اکنون این ماده را فروکتوز دی فسفات می گویند. فروکتوز دی فسفات یکی از « مواد حد واسط متابولیسم » است که طی متابولیسم، میان مواد قابل تشخیص آغاز کار (در اینجا گلوکز) و مواد قابل تشخیص انجام آن (در اینجا الکل اتیلیک و انیدرید کربنیک) به وجود می آید. تشخیص و تعیین هویت « مواد حد واسط متابولیسم » در شناختن جزئیات متابولیسم درون سلولها قاطعیت دارد و از این رو است که می توان سال ۱۹۰۵ را سال آغاز مطالعه منظم « مواد حد واسط متابولیسم » دانست.

کمی بعد فسفاتهای آلی دیگری نیز پیدا شدند و معلوم گردید که گروه فسفات در تمام جزئیات متابولیسم وارد است. تا آن وقت گروه فسفات را فقط در استخوانها و به صورت بخش غیر آلی چهار چوب بدن می شناختند و وجود گروه فسفات در بافتهای نرم، یعنی در جایی که کارش شناخته نبود، به کلی مجهول بود. ولی در حال حاضر فسفات نقش اساسی را به عهده دارد و جا دارد که فصلی را بدان اختصاص دهیم.

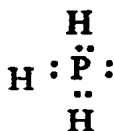
فصل بیست و یکم

اهمیت فسفات

بحث مربوط به ارتباط میان گروه فسفات و متابولیسم را با عنصر فسفر آغاز می‌کنیم.

فسفر در جدول تناوبی عنصرها درست در زیر نیتروژن قرار می‌گیرد بنابراین این ساختمان اتمی این دو عنصر مشابه است. اتم نیتروژن ۲ لایه الکترونی دارد که ۵ الکترون در لایه خارجی آن است و حال آنکه اتم فسفر سه لایه الکترونی دارد و ۵ الکترون در لایه خارجی آن است. پس از نظر الکترونی اتم فسفر را می‌توان به صورت \dot{P} یعنی شبیه اتم نیتروژن نشان داد.

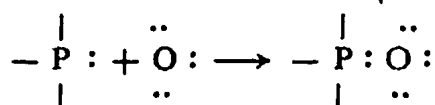
اتم فسفر می‌تواند در هر يك از سه الکترون خود با سایر اتمها سهم‌گردد و سه تا از آنها را بپذیرد تا به وضع ثابت هشت الکترونی درآید. مثلاً با اتم فیدروژن ماده‌ای به نام فسفین (PH_3) به وجود می‌آورد که شبیه ساختمان امونیاک است.



(به فصل هفدهم مراجعه شود) .

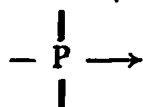
فسفر علاوه بر سه الکترونی که با سایر اتمها سهیم می شود دو الکترون دارد که نباید آن را برای به دست آوردن وضع ثابت هشت الکترونی با دیگر اتمها سهیم گردد . مثلاً در مورد فسفین این دو الکترون را سهیم نمی شود . فسفر دو الکترون سهیم نشده را نمی تواند به اتمی بدهد که برای به دست آوردن وضع ثابت هشت الکترونی خود دو الکترون کم دارد . اتمی که در وهله اول چنین وضعی دارد اتم اکسیژن است که فقط ۶ الکترون در لایه خارجی اش هست .

اگر توجه خود را فعلاً به فسفر و اکسیژن متمرکز کنیم ، خواهیم توانست مجموع کل الکترونها را فسفر را بایوندهای طرفین نشان دهیم و فقط الکترونها را سهیم نشده را در نظر بگیریم . بدین طریق :



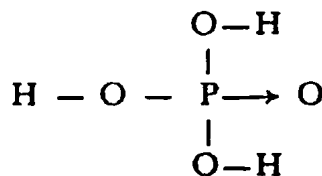
چنانکه می بینید اتم اکسیژن صاحب ۸ الکترون شده و فسفر نیز دو الکترون را در لایه خارجی خود دارد .

پیوندی که بدین وسیله با دو الکترون تشکیل می گردد در صورتی که هر دو الکترون به وسیله یک اتم داده شوند ، به همان اندازه قوی است که هر الکترونی را یک اتم داده باشد . این گونه پیوندها را که در آن « فقط یک اتم سهیم است » به نام مخصوص هم پایه می نامند و آن را عموماً با سهم کوتاهی نشان می دهند که سرش به خارج از اتم دهنده و به سوی اتم گیرنده متوجه است . پس وضع ظرفیت فسفر شامل ۳ کووالان و یک پیوند هم پایه است و چنین نشان داده می شود :



غالباً چنانکه در مورد فسفین دیده شده است ، فقط سه پیوند کووالان به کار می آید . ولی وقتی که پای اتم اکسیژن در میان است پیوندهم پایه نیز به میان کشیده می شود (همه آنها برای اتم نیتروژن نیز صادق است) .

مهمترین ترکیب فسفردار ، اسید اورتو فسفریک است که به طور ساده اسید فسفریک (H_3PO_4) خوانده می شود و همه پیوندهای چهارگانه اش به اتمهای اکسیژن متصلند و می تواند چنین نشان داده شود :



هر جا که فسفر در بافتهای بدن پیدا شود همیشه جزء گروههای وابسته به اسید فسفریک است . اسید فسفریک یونیزه می شود و ابتدا یک یون ئیدروژن از دست می دهد (H^+) آنچه باقی می ماند یون مونوفسفات است ($H_2PO_4^-$) که یک بار منفی دارد ، سپس دو یون ئیدروژن و سه یون ئیدروژن از دست می دهد و یون دی فسفات (PO_4^{2-}) و یون تری فسفات (PO_4^{3-}) به وجود می آورد . یونهای مونوفسفات و دی فسفات در خون و بافتهای بدن وجود دارند .

از این گذشته ، اسید فسفریک و یونهای حاصل از آن با مواد دیگر ترکیب می گردند . در این گونه ترکیبات عموماً یک گروه ئیدروکسیل (گاهی بیش از یک) در مولکول هست . می توانیم توجه خود را به این بخش اسید فسفریک متمرکز سازیم و بقیه مولکول را به منظور مراعات اختصار و سهولت کار با P نمایش دهیم .

۱- چون اکسیژن دو ظرفیتی است ، پیوند هم پایه را به صورت پیوند مضاعف نشان می دهند $\text{P}=\text{O}$

ویش از پرداختن ساختن ساختمان الکترونی به خوبی دانسته شده بود . به همین جهت بود که گمان می کردند فسفر (ونیتروژن) ظرفیت نشان می دهند .

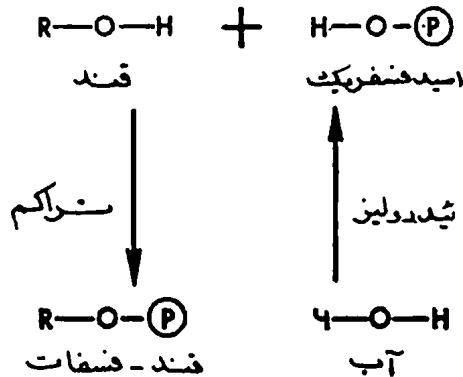
پس فرمول مختصر شدهٔ اسید فسفریک می‌شود: $\text{H} - \text{O} - \text{P}$ و وقتی که تعداد گروه ئیدروکسیل از یک بیشتر است، گروه ئیدروکسیل دومی و سومی را به P مرکزی متصل می‌سازند.

اسید فسفریک در ترکیب با سایر مواد با گروه ئیدروکسیل آنها ترکیب می‌شود. این گونه مواد را می‌توان به صورت $\text{R} - \text{O} - \text{H}$ نوشت. R به جای هر نوع گروه کربن‌دار است (R عموماً به جهت مراعات جنبهٔ تاریخی که وارد بحث آن نمی‌شویم از ریشه «Radical» گرفته شده است.) بنابراین $\text{R} - \text{O} - \text{H}$ می‌تواند الکلی یا قند یا مادهٔ دیگری باشد که از آنها بحثی به میان نیآورده‌ایم. در واقع برای هر ماده‌ای که گروه ئیدروکسیل دارد این فرمول به کار می‌رود.

واکنش یک اسید فسفریک و مثلاً یک قند می‌تواند به صورت تصویر ۴۷ نشان داده شود. در حین ترکیب یک مولکول آب آزاد می‌شود و واکنش به صورت «تراکم» درمی‌آید. بدیهی است که عکس آن ئیدرولیز است.

عموماً ئیدرولیز نشانهٔ از دست رفتن انرژی آزاد است به طوری که نقطهٔ تعادل در جهت قند و اسید فسفریک جدا از هم است. انرژی آزادی که از ئیدرولیز «قند - فسفات» حاصل می‌شود (که یکی از مواردش استر هاردن - یونگ است و در پایان فصل پیش بدان اشاره شد) از ۲ تا ۴ کیلو کالری به ازای هر مولکول گرم است و این تفاوت به ساختمان نوع «قند - فسفات» بستگی دارد. از اینجا نتیجه می‌شود که انرژی آزاد حاصل از ئیدرولیز یک پیوند استری «قند - فسفات» تقریباً به همان اندازه است که از ئیدرولیز یک پیوند پپتیدی مولکول پروتئین حاصل می‌شود.

طبیعی است که برای تولید استر از تراکم قند و اسید فسفریک ۲ تا ۴ کیلو کالری انرژی به ازای هر مولکول گرم لازم است بنابراین برای تشکیل یک چنین



تصویر ۴۷ . اسید فسفریک و قند

پیوند استری ، تقریباً به اندازه تشکیل یک پیوند پپتیدی انرژی لازم می شود .



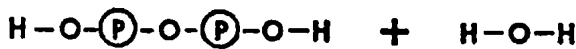
از آنجا که اسید فسفریک گروه تیدروکسیل دارد ، پس می تواند با نظیر خود متراکم شود . ماده ای که حاصل می شود ترکیب اتمی $\text{O} - \text{P}$ - خواهد داشت که نامش پیوند پیروفسفات است .

دانشمند آلمانی شیمی حیاتی کا . لوهمان^۱ در سال ۱۹۲۹ ماده ای از ماهیچه استخراج کرد که از ترکیب اسید تری فسفریک با ماده دیگری آلی به نام ادنوزین^۲ مرکب بود . ادنوزین در بعضی از ترکیبها به نام اسید نوکلئیک^۳ شناخته شده بود . اگر لوهمان به کشف این ماده توفیق نیافته بود اسیدهای متراکمی که در تصویر ۴۸

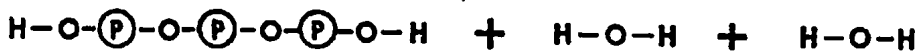
۱- K. Lohmann Adenosine-۲ ۳- اسید نوکلئیک در جریان امر تولید انرژی در ماده زنده وارد نیست، پس در این کتاب از آن بحثی به میان نخواهد آمد. ولی مهمترین ماده موجود در بافت زنده است و حتی می توان آن را برابر با حیات دانست . مثلاً کلرسان کنترل فرایند ترکیب پروتئینهاست که فرایندی کاهنده انرژی است . اگر اطلاعات بیشتری در باره آنها بخواهید به کتاب «سرچشمه های حیات» چاپ ۱۹۶۰ مراجعه کنید . (این کتاب نیز در سال ۱۹۴۵ به وسیله مترجم این کتاب ترجمه شده است) .

نشان داده شده‌اند در قلمرو شیمی غیر آلی باقی می‌مانندند. ماده‌ای که از تراکم اسیدتری فسفریک و ادنوزین حاصل می‌شود نامش ادنوزین تری فسفات است و به منظور اختصار آن را با ATP نمایش می‌دهند.

رفته رفته با گذشت زمان ATP را دست‌اندرکار بسیاری از واکنشهای شیمیایی بدن شناختند: مثلاً در انقباض ماهیچه و در جریان عصبی و در همه شاخه‌های متابولیسم مواد، ATP وارد است.



اسید پیروفسفریک



اسیدتری فسفریک

تصویر ۴۸. پیوند پیروفسفات

اکنون باید دید که «چرا ATP چنین نقشهایی ایفا می‌کند؟» دو گروه فسفاتی که از بخش ادنوزین مولکول دورند، از پیوندهای فسفات به آسانی هیدرولیز می‌شوند. بنابراین کاهش انرژی آزاد در هیدرولیز پیوند پیروفسفات بیش از کاهش انرژی آزاد در هیدرولیز پیوندهای معمولی فسفات است. تحقیقاتی که در این زمینه به عمل آمدند آن را تأیید کردند. دانشمند امریکایی شیمی حیاتی، زاده

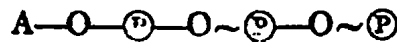
آلمان، به نام فریتز لپمان^۱ که در این زمینه مطالعه فراوان به عمل آورده در دهه سال ۱۹۴۰ اعلام داشته که دو نوع پیوند فسفات وجود دارد: یکی از آنها پیوند معمولی است که در «فند - فسفات» هست و پیوند «فسفات کم انرژی» نام دارد، و حال آنکه پیوند پیروفسفات «پیوند فسفات پرانرژی» است.

ابتدا تصور می‌رفت که پیوند فسفات پرانرژی در موقع ئیدرولیز از ۱۱ تا ۱۶ کیلوکالری به ازای هر مولکول گرم آزاد می‌سازد، به طوری که وقتی با ۲ تا ۴ کیلوکالری به ازای هر مولکول گرم که از پیوندهای معمولی فسفات آزاد می‌شود مقایسه می‌گردد، تفاوت بزرگی میان آن دو نوع دیده می‌شود. ولی مطالعات بعدی نشان دادند که در این باره غلو کرده‌اند. اندازه گیری‌هایی که در اواسط دهه سال ۱۹۵۰ انجام گرفتند آن را بیش از ۵ تا ۱۰ کیلوکالری، که حد متوسطش ۸ کیلوکالری می‌شود، نشان ندادند. از این گذشته بعضی از پیوندهای کم انرژی فسفات در موقع ئیدرولیز با تغییر انرژی معادل ۶ کیلوکالری به ازای هر مولکول گرم همراه است. بنابراین تفاوت مهمی میان این دو نیست.

با وجود این می‌توان اصطلاح پیوند فسفات پرانرژی و پیوند فسفات کم انرژی را به کار برد. نوعی پیوند فسفات هست که پس از ئیدرولیز ۸ کیلوکالری به ازای هر مولکول گرم تولید می‌کند. نوع دیگری نیز هست که تقریباً چهار کیلوکالری به ازای هر مولکول گرم تولید می‌کند. اگرچه تفاوت چنانکه تصور می‌رفت چنان زیاد نیست و بعضی از شیمی‌دانها معتقد به قبول تفاوتی میان آن دو نیستند ولی من ترجیح می‌دهم که میان پیوند پرانرژی و کم انرژی فسفات تفاوت قائل شویم.

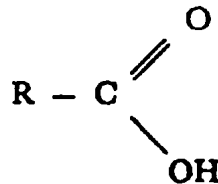
بسیاری از شیمی‌دانها تفاوت میان پیوند پرانرژی فسفات و پیوند کم انرژی

آن را در ترتیب نوشتن پیوند ظرفیت نشان می‌دهند. يك پیوند فسفات کم انرژی را به صورت عادی $R - O - \textcircled{P}$ می‌نویسند ولی پیوند فسفات پر انرژی به صورت خط دو سر خمیده نمایش داده می‌شود. بنابراین اگر بخش ادنوزین ATP را با حرف A نشان دهیم، فرمولش به قرار زیر خواهد بود:



چنانکه می‌بینید دو پیوند آخر از پیوندهای پیرو فسفاتند و پر انرژی هستند. اگر یکی از آنها ئیدرولیز شود آنچه می‌ماند ادنوزین دی فسفات یا ADP است که فرمولش $A - O - \textcircled{P} - O \sim \textcircled{P}$ است اگر پیوند دیگر ئیدرولیز شود آنچه می‌ماند ادنوزین مونوفسفات است که با AMP نشان داده می‌شود (نیز اسید ادنیلک خوانده می‌شود) و بدین فرمول است $A - O - \textcircled{P}$ پس فقط يك پیوند کم انرژی باقی می‌ماند. این پیوند نیز ممکن است ئیدرولیز شود و ادنوزین را آزاد سازد ولی انرژی که از ئیدرولیز اخیر حاصل می‌شود تقریباً نصف هر يك از دو ئیدرولیز اولی است.

پیوندهای فسفات پر انرژی دیگری غیر از پیرو فسفات نیز هست. يك اسید آلی در نظر بگیرید. (که می‌تواند بدین گونه نوشته شود:

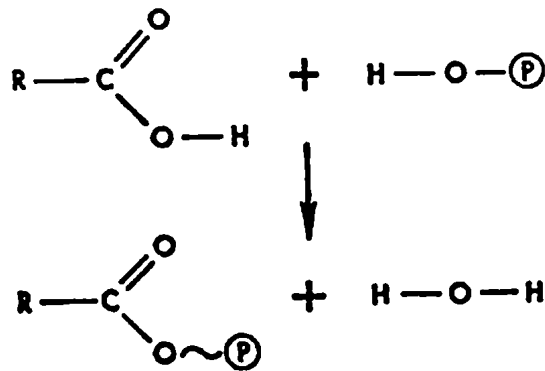


که در آن R گروهی کربن دار است و COOH « گروه کربوکسیل » است (و چند بار تا کنون از آنها یاد کرده ایم).

اگر اسید فسفریک با بخش ئیدروکسیل گروه کربوکسیل متراکه شود

(چنانکه در این تصویر هست) آنچه حاصل می شود نامش فسفات اسیل است که برای نشان دادن پیرانرژی بودنش با خط دو سر کج نشان داده می شود .

اکنون به طرز عمل این پیوند پیرانرژی بنگریم و برای این کار به گلیکوژن باز گردیم . گلیکوژن جگر و ماهیچه از نظر جزئیات ساختمان مولکولی کاملاً نظیر نشاسته موجود در اندامهای ذخیره ای گیاهی نیست، ولی هر دو از مولکولهای کلوکز ساخته شده اند که با از دست دادن مولکولهای آب متر اکم گشته اند. هنگامی



فسفات اسیل

تصویر ۴۹ . فسفات اسیل

که نشاسته در دستگاه گوارش هضم می شود آمیلاز پیوندهای کلوکزها را تیدرولیز می کند و برای این کار آب به کار می برد و رفته رفته مولکولها را کوچکتر می کند تا سرانجام به کلوکز می رسد .

ولی در جگر ، تبدیل گلیکوژن به کلوکز گاه گاه صورت می گیرد تا سطح کلوکز خون در حد معینی نگهداری شود. پس طبیعی است که آنزیمی شبیه آمیلاز در بافتها هست و تیدرولیز را سبب می گردد.

برای تحقیق درستی یا نادرستی نظر فوق باید از راههای آزمایشی

واکنشهای درون بافت را مورد مطالعه قرار دهند. مستقیم ترین راه رسیدن به مقصود به کار بردن حیوان مناسبی چون موش است. موش را می توان در حکم يك لوله آزمایش زنده به حساب آورد. متأسفانه موش نیز جانوری بسیار پیچیده است و هزارها واکنش شیمیایی در بدن آن به طور ثابت واقع می شود.

قدم بعدی ساده کردن موش است و آن عبارت از کشتن حیوان و انتخاب تکه ای از جگر یا ماهیچه آن است. اگر تکه ها به درستی برداشته شوند و به زودی به کار برده شوند همه آنزیمها را در بر خواهند داشت و می توان آنها را در محلولهایی که انواع مواد شیمیایی دارند نگاه داشت. کار آنزیمها به درجه ای اختصاصی است که اگر آنزیم بافت مخصوصی در لوله آزمایش عملی را تسریع کند می توان اطمینان حاصل کرد که عیناً همان واکنش یا واکنش نظیر آن را در موجود زنده انجام می دهد.

به منظور تسریع کار می توان بافت راله کرد و به صورت ماده ای نیمه مایع «یکنواخت» با مایع زمینه مخلوط کرد. از این حالت احتیاجی به این نیست که مدتی صبر کنند تا مایع زمینه وارد سلولها شود زیرا همه آنزیمها طی فرایند یکنواخت ساختن از غشای محافظ بیرون می ریزند و خاصیت کاتابولیسمی آنها به سرعت آغاز می شود.

ماده نیمه مایع یکنواختی که از بافت زنده به دست می آورند تعداد زیادی از آنزیمهای متنوع دارد و عموماً باید تعداد آنها را کاهش داد تا تعداد واکنشهایی که باید مورد مطالعه قرار گیرند کمتر شوند نیز به جهت آنکه از آنزیمهای دلخواه به مقدار بیشتری به دست آید و مطالعه واکنشی که آن دیاستازها تسریع می کنند آسانتر صورت گیرد، باید بدین کار اقدام کرد.

جدا کردن آنزیمها از یکدیگر، از ماده نیمه مایع یکنواخت، به روشهای

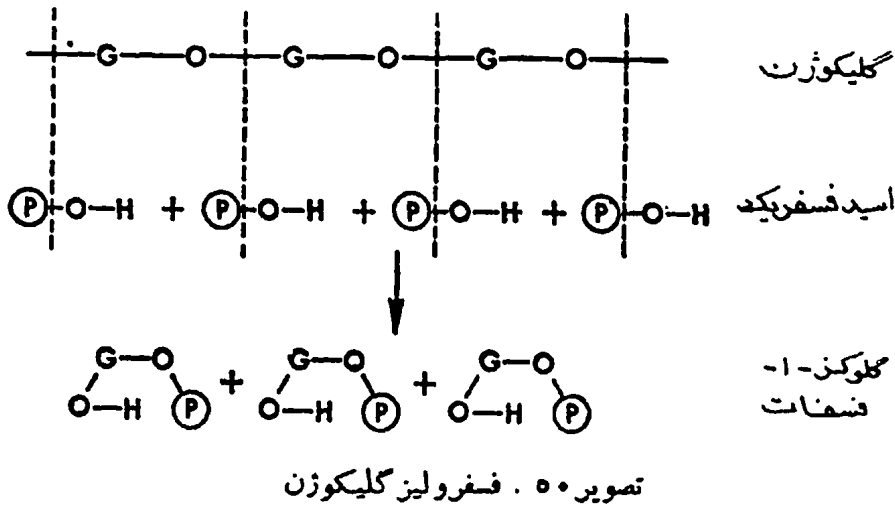
مخصوصی صورت می گیرد. اگر مایع را در بعضی از محلولهای مخصوص وارد سازند، بعضی از پروتئینها حل می شوند و بعضی دیگر حل نشده باقی می مانند. پس از صاف کردن محلول، آنزیمی که محلول شده است از صافی عبور می کند. بدین طریق عصاره بافت به دست می آید. عصاره را تحت تأثیر اسید یا بعضی از یونها یا بعضی از حلالهای آلی در دماهای پست قرار می دهند. هر يك از این عوامل، آنزیمی را ته نشین می سازد و در سایر آنزیمها اثر نمی کند. با اجرای این روشها تهیه محلولی که فقط يك آنزیم بالنسبه خالص داشته باشد ممکن می شود. مثلاً، زن و شوهری آمریکایی شیمی دان، زاده چک اسلواکی به نام کارل اف. کوری و سرتی کوری^۱ در نتیجه آزمایش روی عصاره بافتها، توانستند نشان دهند که تجزیه گلیکوژن در بافتها بر اثر ئیدرولیز نیست و آمیلازی کاتالیزور آن نیست.

این زن و شوهر شیمی دان در سال ۱۹۳۵ کشف کردند که اگر عصاره ماهیچه را با گلیکوژن همراه سازند، تجزیه گلیکوژن فقط با افزودن یون فسفات آغاز می شود. طبیعی بود که محصول تجزیه بایستی یون فسفات داشته باشد. همین طور هم بود و توانستند يك قند - فسفات از محلول جدا کنند (قندش گلوکز نبود). در سال ۱۹۳۷ نشان دادند که این «قند - فسفات»، که قبلاً «ستر کوری» نامیده شده بود گلوکز - ۱ - فسفات است. (بر طبق قرارداد بین المللی ۶ اتم کربن گلوکز از ۱ تا ۶ شماره گذاری شده اند. بنابراین گلوکز - ۱ - فسفات یعنی گروه فسفات به کربن ۱ مولکول گلوکز متصل شده است.)

بنابر این گلیکوژن در بدن تجزیه نمی شود بلکه در نتیجه به کار بردن اسید فسفریک به قطعات کوچکتر تبدیل می شود. آنچه که بیان گردیده در طرح زیر نشان

داده شده است. در این طرح G به جای يك گلوکز است پس گلیکوزن به صورت نخى خواهد شد که مولکولهای گلوکز در آن به وسیله پیوندهای اکسیژن به هم مربوط می شوند.

زنجیر دراز گلیکوزن به گلوکزهای جدا از هم تجزیه می شود و در این کار اسیدهای فسفریک وارد جریان می شوند. اگر مولکولهای آب در این جریان وارد می شدند عمل ئیدرولیز انجام می شد، ولی چون اسید فسفریک دست اندرکار است این تجزیه را فسفرولیز^۱ می گویند. (به تصویر ۵۰ مراجعه شود). بنابراین گلیکوزن بافت بر اثر فسفرولیز به «گلوکز-۱- فسفات» تبدیل می گردد.



تفاوت میان این دو فرایند در انرژی است. ئیدرولیز گلیکوزن به گلوکز متضمن کاهش نسبتاً زیاد انرژی آزاد است. در واقع گلیکوزن در سرازیری می غلتد و برای تبدیل گلوکز به گلیکوزن از طریق تراکم ساده، برای هر اتصال به همان اندازه انرژی آزاد لازم می شود.

ولی فسفرولیز گلیکوزن و تبدیل آن به «گلوکز-۱- فسفات» متضمن تغییر

بسیار کم انرژی آزاد است. در واقع گلیکوژن و «گلوکز-۱- فسفات» سطح انرژی آزاد یکسان دارند، پس واکنشی به سهولت برگشتنی است به طوری که بدن با تراکم مناسب می‌تواند به تناسب احتیاجی که دارد واکنشی را به طرف تجزیه گلیکوژن یا به سوی ساختن آن ببرد و بدین طریق موازنه لازم را که در فصل نوزدهم بیان داشته‌ام و برای تندرستی اهمیت اساسی دارد، حفظ کند.

ولی تولید «گلوکز-۱- فسفات» همه مشکل را حل نمی‌کند. اولاً «قند- فسفات» به عللی نمی‌تواند از غشای سلولی عبور کند. هر ماده‌ای که مانند «گلوکز-۱- فسفات» درون سلول جگر ساخته شود باید درون سلول باقی ماند مگر آنکه فسفات از آن جدا گردد و به همین دلیل است که در موقع هضم گلوکز به وجود می‌آید زیرا فقط گلوکز می‌تواند از غشای سلول‌های روده‌ای گذر کند و وارد خون گردد و «گلوکز-۱- فسفات» قادر به این عمل نیست. ثانیاً فقط گلوکز می‌تواند در جریان خون باشد زیرا فقط گلوکز می‌تواند از خون وارد سلول‌های بدن شود و غذای آنها را تشکیل دهد نه «گلوکز-۱- فسفات». بنابراین جگر باید گلوکز را وارد خون سازد.

این کاری است که انجام می‌شود. آنزیمی در سلول‌های جگر هست که «گلوکز-۱- فسفات» را به «گلوکز-۶- فسفات» تبدیل می‌کند. (گروه فسفات از کربن ۱ به کربن ۶ می‌رود و این فرآیندی است که نیاز به انرژی ندارد)، سپس آنزیم دومی هست که گروه فسفات را جدا می‌سازد و گلوکز را آزاد می‌کند تا بتواند از غشای سلولی عبور کرده وارد خون بشود.

ولی نیازمندیهای انرژی آزاد را نمی‌توانید تأمین کنید. در تبدیل «گلوکز-۶- فسفات» به گلوکز از تپه انرژی آزاد سرازیر می‌شوید. و اگر از گلیکوژن به گلوکز برسید همین مقدار انرژی آزاد از دست می‌دهید، پس چه مستقیماً در

چه از طریق دو گونه « قند - فسفات » در کاهش انرژی تفاوتی پیدا نمی‌شود. بنابراین اگر چنین راه غیر مستقیمی بدتر نیست، بدن باید، پیش از آنکه گلیکوژن بسازد، از گلوکز انرژی بدست آورد تا بتواند « گلوکز فسفاتها » را بسازد. آیا نمی‌تواند انرژی ساختن مستقیم گلیکوژن را به دست آورد؟

ظاهراً قادر به این کار نیست. بدن در ساختن گلیکوژن با دو مسئله مهم روبه‌رو است. اول آنکه باید از واحدهای ساختمانی ساده مولکول بزرگ پیچیده بسازد. دوم آنکه باید برای هر پیوند واحد ساختمانی انرژی به دست آورد و چنانکه می‌دانیم هزارها واحد ساختمانی يك گلیکوژن به وجود می‌آورند. پس اگر بدن بخواهد گلوکز را مستقیماً به گلیکوژن تبدیل کند باید هر دو مسئله را در آن واحد حل کند و قادر به این عمل نیست. زیرا در هیچ نمونه‌ای از بافت زنده دیده نشده است که گلوکز مستقیماً به گلیکوژن تبدیل شود.

اگر از سوی دیگر، گلوکز ابتدا به « گلوکز - ۶ - فسفات » تبدیل شود درست است که انرژی لازم می‌شود ولی يك ترکیب ساده به ترکیب دیگری که به همان سادگی است تبدیل می‌شود. پس مسئله بدون آنکه با اشکال ساختن مولکول بزرگ مواجه شود، حل می‌گردد. سپس وقتی « گلوکز فسفات » ساخته شد بدون آنکه نیازی به منبع خاص انرژی باشد به مولکول بزرگ تبدیل می‌گردد. مسئله مضاعف به دو مسئله جدا از هم تبدیل می‌شود و بدن می‌تواند آنها را حل کند. موازنه « گلیکوژن - گلوکز » که در فوق شرح داده شد در تصویر ۵۱ به صورت طرحی فرضی نشان داده شده است.

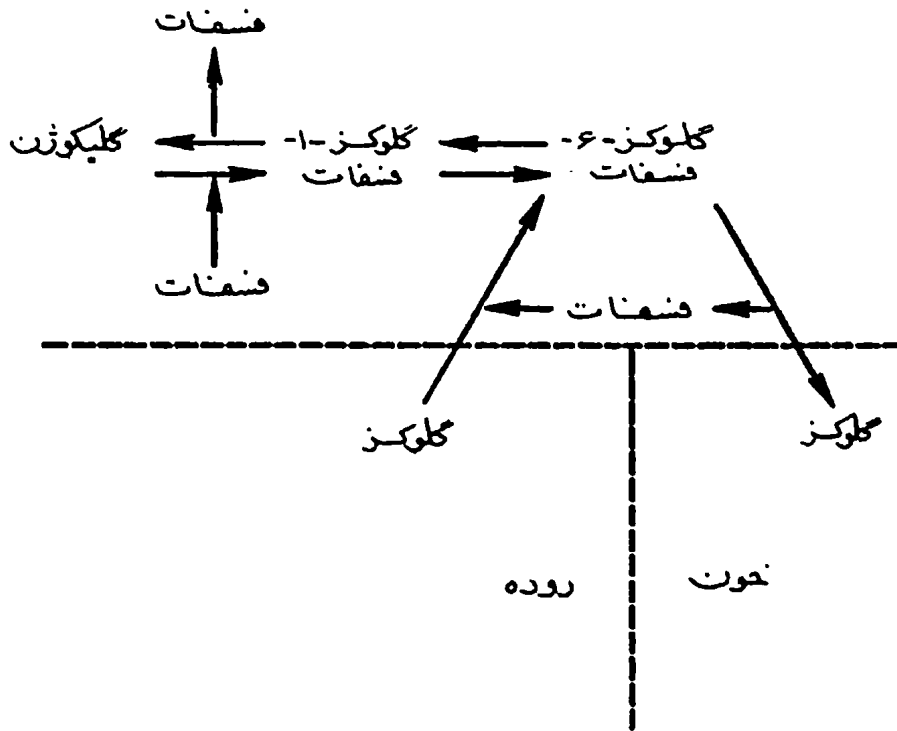


مسئله بعد این است: « موقعی می‌رسد که بدن باید برای ساختن گلیکوژن از گلوکز، از تپه بالا رود. آیا انرژی این کار از کجا می‌آید؟ به عبارت دیگر به

مراجعه به تصویر ۵۱، بدن چگونه گلوکز را به «گلوکز - ۶ - فسفات» تبدیل می‌کند؟

اینجاست که پیوند فسفات پرا انرژی وارد عمل می‌شود. برای تبدیل گلوکز به «گلوکز - ۶ - فسفات» دو چیز لازم است: یکی گروه فسفات، دیگری انرژی،

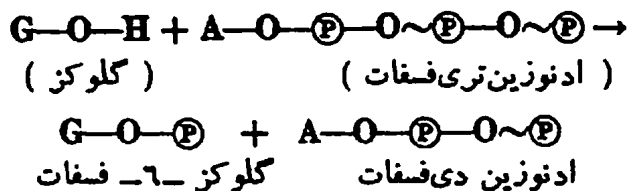
سفرهای بافت



تصویر ۵۱. پیوند گلیکوژن - گلوکز

و ATP هر دوی اینها را دارد.

وقتی که گلوکز با ATP واکنش می‌کند، نتیجه کار به صورت معادله زیر است:



این معادله مخلوطی از دو واکنش است. اول آنکه گلوکز به «گلوکز - ۶ -

فسفات « تبدیل شده و يك پیوند فسفات کم انرژی به وجود آمده که ۴ کیلوکالری به ازای هر مولکول گرم لازم دارد. دوم آنکه ATP بر اثر ئیدرولیز به ADP تبدیل شده است و چون يك پیوند فسفات پر انرژی گسیخته شده است به ازای هر مولکول گرم ۸ کیلوکالری آزاد می‌کند. پس مقدار جنبش در سرازیری که از ئیدرولیز ATP حاصل شده بیش از آن است که گلوکز را به بالای تپه ببرد و به «گلوکز -۶- فسفات» تبدیل سازد.

این موردی از يك واکنش توأم مخصوص است که کاهش انرژی آزاد يك بخش آن بیشتر از به دست آورد انرژی آزاد در بخش دیگر است به طوری که تغییر بر روی هم، چنانکه باید باشد، در جهت کاهش انرژی است.

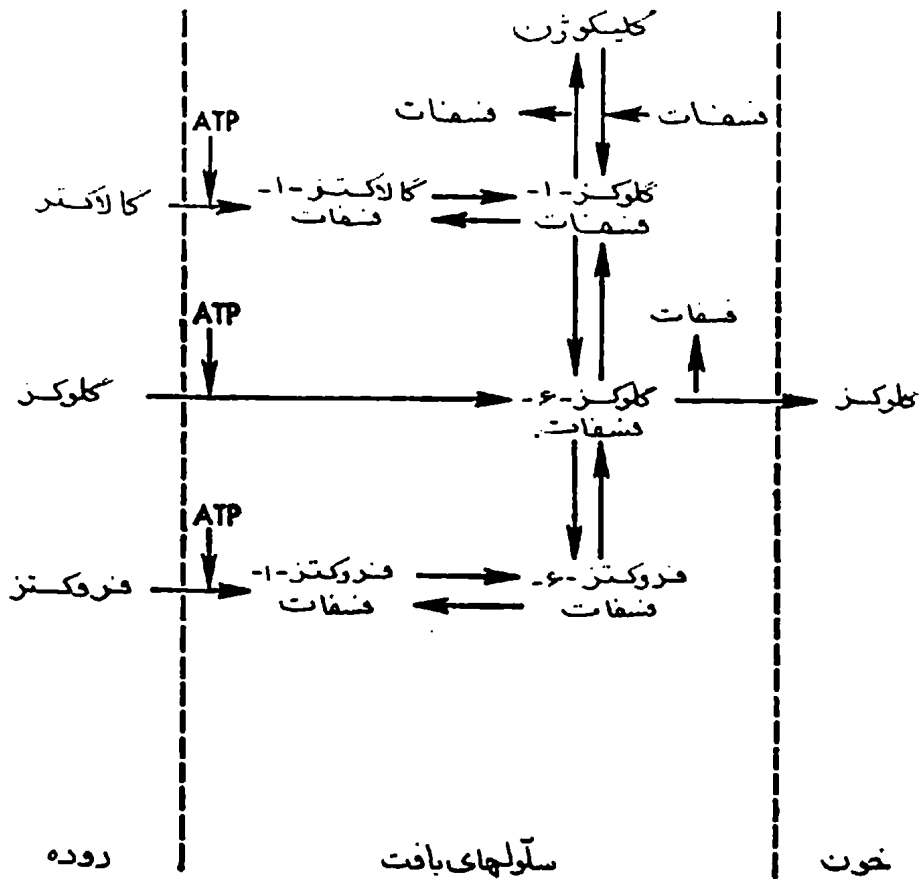
تا این اواخر ATP تنها مرکز انرژی بدن گمان می‌شد و هر وقت که واکنشی رو به بالای تپه لازم بود ATP فوراً در جهت آن سوق داده می‌شد. ولی باروشهای جدید مطالعه بافتها تری فسفاتهای دیگری شناخته شدند و می‌توان چنین پنداشت که واکنشهای مختلف به منابع انرژی خاص نیازمندند. ولی اصل همان است که بیان گردید و آنچه در باره ATP بیان داشته‌ام در مورد سایر تری فسفاتها نیز صادق است.

فروکتوز و گالاکتوز دو قند ساده دیگری هستند که جذب بدن می‌شوند. این دو نیز به وسیله عمل ATP به سوی بالای تپه سوق داده می‌شوند (به وسیله آنزیمهایی که با آنزیم گلوکز تفاوت دارند). «فروکتوز -۱- فسفات» و «گالاکتوز -۱- فسفات» به وسیله واکنشی که انرژی لازم ندارد به «گلوکز -۱- فسفات» تبدیل می‌شوند و بدین روش فروکتوز و گالاکتوز نیز به گلیکوزن تبدیل می‌گردند (نیز به روش عکس از تجزیه گلیکوزن به وجود می‌آیند).

تشکیل گلیکوژن را از قندهای ساده به روش فوق گلیکوژنز^۱ می گویند و تجزیه گلیکوژن به قندهای ساده به همان روش گلیکولیز^۲ نامیده می شود. در تصویر ۵۲ طرح کار ATP در مورد هر سه قند ساده نمایش داده شده است.



تا اینجا به خوبی پیش رفتیم، ولی مطمئناً انرژی اندوخته در ATP و مواد



تصویر ۵۲. ATP و گلیکوژن

همانند آن پاسخ همه مسائل نیست. زیرا مقدار ATP بدن بسیار کم است. پس وقتی که این ماده به مصرف می رسد چه اتفاقی می افتد؟

آشکار است که ATP نمی‌تواند به‌کلی از میان برود زیرا آنابولیزم فوراً متوقف می‌شود و ادامه زندگی برای سوسمار مانند سنگ امکان‌پذیر نمی‌گردد، ولی چون زندگی همچنان ادامه می‌یابد پس ATP به‌محض مصرف شدن، دوباره به‌وجود می‌آید.

بنابراین به‌محض آنکه ATP در «واکنشهای متنوع توأم» مصرف می‌شود، بدن باید بتواند ADP حاصل را فوراً به ATP تبدیل کند. ظاهراً به‌وضع بدتری دچار شده‌ایم. زیرا مسئله به‌بالای تپه بردن گلوکز (و سایر مواد) را در نتیجه ئیدرولیز ATP و تولید ADP و به‌دست آوردن ۴ کیلوکالری بازای هر مولکول گرم را حل کردیم ولی باید ببینیم که بافت مسئله به‌بالای تپه بردن ADP را برای تشکیل ATP که به‌ازای هر مولکول گرم ۸ کالری لازم دارد چگونه حل می‌کند.

آری این همان فرایند بی‌هوازی گلیکولیز است که در فصل پیش بیان داشته‌ام.

طی دهه سال ۱۹۳۰ دانشمندان شیمی حیاتی مواد حدواسط گلیکولیز را در بافت و در مخمر به‌دست آوردند و آنزیمهای تسریع‌کننده این مراحل حد واسط را نیز شناختند. در نتیجه شناختن مواد حد واسط و واکنشهایی که واقع می‌شدند توانستند تمام مراحل کاتابولیزم را از گلوکز تا اسیدلاکتیک، که صورت معماهای پیچیده داشتند، پیدا کنند.

گلوکز ابتدا يك گروه فسفات متصل به‌خود دارد و پس از تبدیل شدن به فروکتوز يك گروه فسفات دیگر بدان متصل می‌شود. (فروکتوز دی‌فسفاتی که حاصل می‌شود همان «استر هاردن - یونگ» است که در فصل پیش بیان کرده‌ام). چون هر پیوند فسفات به ATP نیازمند است پس گلیکولیز اشکال مسئله را بیشتر می‌کند زیرا به‌جای آنکه ATP بسازد از آن مصرف می‌کند، ولی کار تمام نیست.

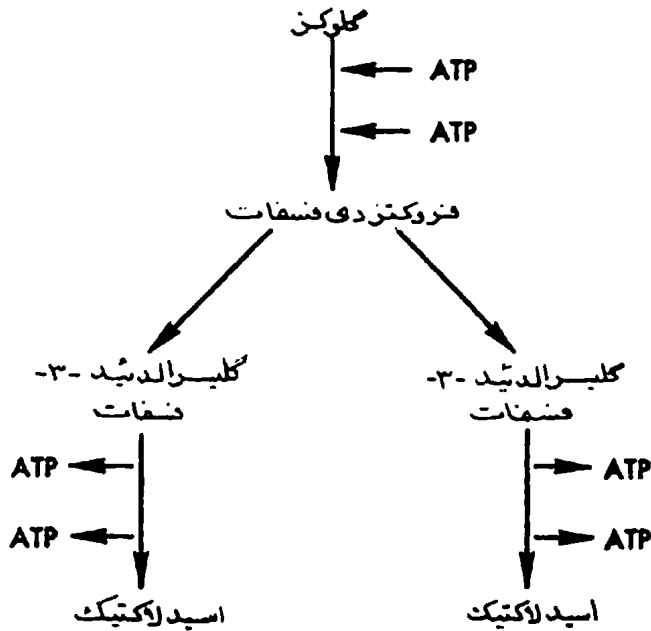
فروکتوزدی فسفات شش کربنی به دو نیمه سه کربنی تجزیه می شود (گلیسرالدئید تری فسفات) و هر نیمه يك فسفات خواهد داشت. آنچه که به سر این ترکیب می آید در تصویر ۵۳ نموده شده است.

چنانکه می بینید يك گروه فسفات دیگر بدان اضافه شد ولی عمل تراکم معمولی صورت نگرفت. یعنی مولکول آب ($H-O-H$) جدا نشد، بلکه فقط دو اتم ئیدروژن از هم جدا شدند. این فرایند را دزئیدروژناسیون^۱ می گویند (اتم ئیدروژن به صورت گاز خارج نمی شود، اگر چه در معادله آن را به صورت H_p نوشته ام. سر نوشت H از این پیچیده تر است و بعداً در کتاب از آن یاد خواهیم کرد). محصول دزئیدروژناسیون به وجود آمدن يك «فسفات اسیل» است که در آغاز همین فصل اشاره کرده ام و پیرانرژی است. ولی باید دید که برای تشکیل چنین پیوند فسفات پیرانرژی، انرژی از کجا می آید؟ و چرا با کاهش دو اتم ئیدروژن همراه است؟ دزئیدروژناسیون شامل کاهش انرژی آزاد از ۳۵ تا ۴۰ کیلو کالری به ازای هر مولکول گرم است و این مقدار بسیار زیادتر از ۸ کیلو کالری است که برای تشکیل پیوند پیرانرژی لازم است. (ولی در شرایط بی هوازی، چنانکه به نظر می رسد، انرژی به هدر نمی رود زیرا دو اتم ئیدروژن بعداً با انرژی اضافی که دارند وارد فعالیت می شوند).

کمی بعد در فرایند، يك پیوند پیرانرژی دیگر به وسیله واکنشی که کمتر از دزئیدروژناسیون انرژی تولید می کند به وجود می آید، ولی کافی برای آن است که پیوند فسفات کم انرژی موجود را به پیوند فسفات پیرانرژی تبدیل کند.

هر ماده ای که پیوند فسفات پیرانرژی دارد (مثلاً ۱، ۳ - اسیددی فسفو- گلیسرک) می تواند با ADP واکنش کند و آن پیوند فسفات را به این ماده اخیر

ATP به وجود می آورند (به تصویر ۵۴ مراجعه شود) این ATP ها می توانند در واکنشهای توأم به کار روند و آنابولیسم را ممکن سازند . ولی ، چنانکه در فصل پیش اشاره کرده ام گلیکولیز روشی ناکافی برای به دست



تصویر ۵۴ . طرح فرضی گلیکولیز

آوردن انرژی است . اگر قرار باشد زندگی فقط با گلیکولیز باشد موجود زنده باید مثل مخمر زندگی کم فعالیت داشته باشد . برای حصول وضع بهتر باید متوجه فرایندهایی گردیم که شامل اکسیژن باشند .

فصل بیست و دوم

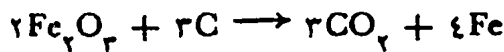
انتقال الکترونها

بزرگترین بخش انرژی که از متابولیسم حاصل می‌شود، از واکنشهایی است که به اکسیژن هوا نیاز دارند. برای درک بهتر این واکنشها نکاتی مقدماتی هست که باید قبلاً از آنها صحبت شود.

سوختن هر چیزی را که قابل اشتعال است احتراق می‌گویند. این کلمه از کلمه لاتین به معنی « سوختن » مشتق است. هنگامی که لاوازیه کشف کرد که احتراق چوب یعنی ترکیب اجزای آن با اکسیژن، بهترین کلمه‌ای که می‌توانست این فرایند را برساند اکسید شدن بود.

اکسید شدن نه تنها فرایند را بهتر توصیف می‌کرد بلکه مفهوم کلی‌تری داشت. مثلاً ترکیب شدن فلز به کندی با اکسیژن که « زنگ » تولید می‌کند (و امروزه اکسید می‌نامیم) چنانکه لاوازیه نشان داده و در واقع احتراق به حساب نمی‌آید، همان اکسید شدن است. به عبارت دیگر کلمه اکسید شدن شامل ترکیب هر چیزی با اکسیژن گازی است خواه با شعله و اشتعال خارجی همراه

باشد خواه نباشد، و اکسیژن را که باعث اکسید شدن است «عامل اکسید کننده» می‌گویند. (ممکن است بردن نام اکسیژن به عنوان عامل اکسید کننده تکراری بی‌معنی باشد ولی همین نام نشان می‌دهد که اکسیژن تنها عامل اکسید شدن نیست). از سوی دیگر مدتها تبدیل سنگ معدن (ORE) به فلز را احیا شدن می‌نامیدند. کلمه مخصوص آن Reduce است که از لاتین به معنی «بازگشت» می‌آید. مثلاً اگر آهن به صورت زنگ باشد (بیشتر سنگهای معدن آهن نوعی زنگ است که به صورت سنگ متراکم شده‌اند) پس احیا شدن آهن یعنی تبدیل زنگ به آهن. اکسیدهای فلزات بیشتر در دسترس انسان هستند و برای استخراج فلز از آنها باید اتم یا اتمهای اکسیژن را از فلز جدا سازند. مثلاً موقعی که آهن با زغال سنگ حرارت داده می‌شود اتمهای کربن زغال سنگ با اتمهای اکسیژن سنگ معدن آهن ترکیب می‌شوند و آهن فلزی را آزاد می‌کنند:



از آنجا که کربن موجب احیا شدن سنگ معدن آهن شده است آن را «عامل احیا کننده» می‌گویند.

پس اکسید شدن یعنی افزوده شدن اکسیژن به یک ماده و احیا شدن یعنی برداشته شدن اکسیژن از ماده‌ای. این دو در طبیعت کاملاً مخالف یکدیگرند. به عبارت دیگر اکسید شدن عکس احیا شدن است و احیا شدن عکس اکسید شدن. یکی دیگر از راههای معمولی جدا ساختن اکسیژن از اکسید فلز اثر دادن ئیدروژن بدان است. ئیدروژن مانند کربن عامل احیا کننده است و با اکسیژن ترکیب می‌شود و مثلاً اکسید مس را که رنگ قرمز تیره دارد، به مس قرمز براق تبدیل می‌کند.

دانشمندان شیمی آلی بخصوص به واکنشهایی توجه دارند که ئیدروژن در

آنها هست . به طوری که معلوم شده بعضی از مواد که اکسیژن فراوان دارند و فلزات را در نتیجه اکسید کردن تیره رنگ می کنند تمایلی به جدا ساختن اتمهای ئیدروژن مواد آلی دارند . یکی از این مواد پراکسیژن ، پرمنگنات پتاسیم ($KMnO_4$) و دیگری کرومات پتاسیم (K_2CrO_4) است بنابراین از « عوامل اکسید کننده » هستند . ظاهراً این مواد مقداری از اندوخته فراوان اکسیژن خود را به فلزات می دهند و آنها را تیره رنگ می کنند . نیز از اکسیژن زیاد خود برای ترکیب با ئیدروژن استفاده می کنند و پس از برداشتن ئیدروژن از ماده آلی آب به وجود می آورند . بنابراین کم شدن ئیدروژن (یا دزئیدروژناسیون) را می توان نوعی اکسید شدن به حساب آورد ، اگر چه اکسیژنی به ماده آلی افزوده نشده باشد .

از سوی دیگر اگر مولکولی آلی بدین روش اکسید شود یعنی با گاز ئیدروژن ترکیب گردد (عموماً در حضور بعضی از کاتالیزورها) واکنش اکسید شدن می تواند در جهت عکس سیر کند ، پس افزوده شدن ئیدروژن (ئیدروژناسیون) را نیز می توان نوعی احیا به حساب آورد ، اگر چه مولکول اکسیژن در این میان نباشد .

خلاصه آنکه در شیمی آلی اکسید شدن یعنی افزوده شده اکسیژن به ماده ای یا برداشته شدن ئیدروژن از آن ، و احیا شدن یعنی کاهش اکسیژن از ماده ای یا افزوده شدن ئیدروژن بدان .

البته این جنبه کلی ندارد زیرا فلزات تحت تأثیر فلوتور و کلروبرم و گوگرد ، درست همانند اکسیداسیون تیره رنگ می شوند ، بدون آنکه اکسیژن یا ئیدروژنی در میان باشد . به همین روش سدیم و پتاسیم و منیزیم و کلسیم فلزی ، مانند عوامل احیاء کننده عمل می کنند بدون آنکه اکسیژن یا ئیدروژنی در میان باشد . تعمیم دادن تعریفهای اکسید شدن و احیاء شدن به اضافه یا کسر شدن تعداد زیادی از عنصرها

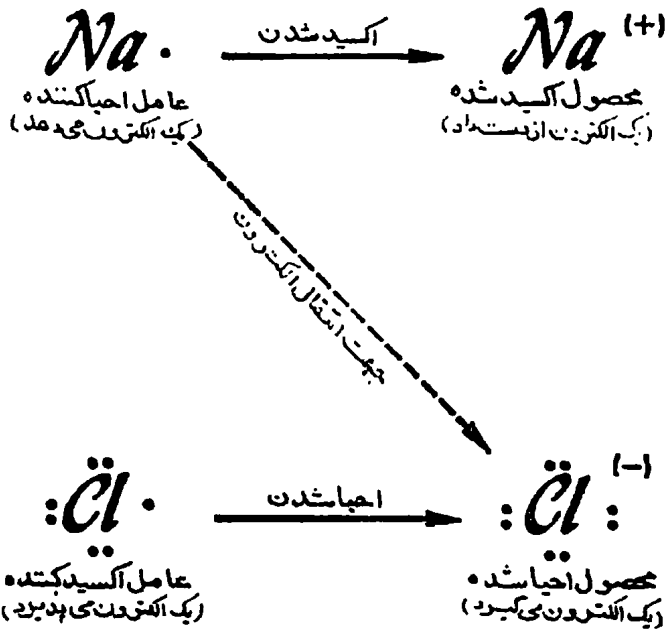
به نظر درست نمی‌آید بلکه در جستجوی چیز دیگری بودند که دارای جنبه عمومی باشد. تعمیم بزرگتر هنگامی صورت گرفته که الکترون کشف شده است. در قرن بیستم آشکار شد که هر وقت ماده‌ای اکسید می‌شود الکترون از دست می‌دهد، و هنگامی که ماده‌ای احیا می‌شود الکترون می‌گیرد. بنابراین طبیعی می‌آید که مسئله اکسید شدن و احیا شدن را وابسته به عنصرهای مخصوص ندانیم و هر کاهش الکترون را اکسید شدن و هر افزایش آن را احیا شدن بنامیم. مثلاً وقتی که فلز سدیم با گاز کلر واکنش می‌کند و کلور سدیم به وجود می‌آورد، اتم سدیم یک الکترون از دست می‌دهد و یون سدیم می‌شود. پس سدیم به وسیله کلر اکسید شده است و کلر یک عامل اکسیدکننده است. از سوی دیگر اتم کلر یک الکترون گرفته و یون کلر شده است، پس کلر به وسیله سدیم احیا شده است و سدیم یک عامل احیاکننده است. به تصویر ۵۵ توجه کنید.

نیز وقتی که کربن در اکسیژن بسوزد انیدرید کربنیک به وجود می‌آید. هر اتم کربن بپیوندد کووالان به دو اتم اکسیژن متصل می‌شود، و در واقع الکترونی انتقال نیافته است هیچ اتمی الکترونی به طور کامل از دست نداده و هیچ اتمی به طور کامل الکترونی نگرفته است، ولی اتم اکسیژن الکترونها را مشترک را محکمتر از اتم کربن گرفته است. اما چون اتم کربن الکترونها را به طور نسبی از دست داده پس اکسید شده و اکسیژن یک عامل اکسیدکننده است. از سوی دیگر اتم اکسیژن الکترونها را مشترک را به طور نسبی گرفته است، پس احیا شده، بنابراین کربن عامل احیاکننده است.

چنانکه می‌بینید، از این نظر اکسید شدن یا احیا شدن به خودی خود وجود ندارد. چون در واکنشهای شیمیایی معمولی الکترون نمی‌تواند به طور آزاد موجود باشد بلکه فقط می‌تواند به طور کامل یا به طور نسبی از اتمی به اتم دیگر

منتقل گردد پس ، آنکه الکترون از دست می دهد اکسید شده و آنکه الکترون گرفته احیا شده است . به این حساب ، ماده ای که اکسید شده همیشه عامل احیا کننده ماده دیگری است که احیا شده است ، پس برای ماده اولی عامل اکسید کننده است . (بدیهی است که اگر الکترون در دو اتم به طور مساوی سهم باشد ، مانند وقتی که از اتم کلر ، کلر مولکولی به وجود آید ، واکنش نه اکسید شدن است نه احیا شدن) .

به سبب پیچیدگی ارتباط میان اکسید شدن و احیا شدن ، واکنشهایی که



تصویر ۵۵ . واکنش اکسید و احیا شدن

متضمن آنها هستند واکنشهای اکسید و احیا شدن^۱ می گویند و غالباً مختصر شده آن را که واکنش های ردوکس^۲ است به کار می برند .

اکنون ببینیم که در فرایندهای « ئیدروژناسیون » و « دزئیدروژناسیون »

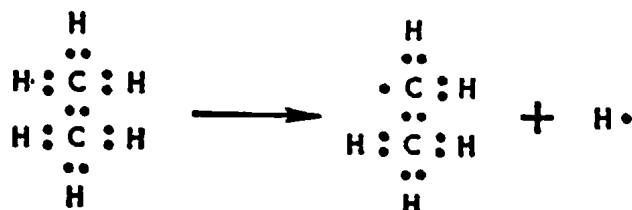
وضع الکترونها چیست ؟

اثر کاهش ئیدروژن باید به صورت کاهش الکترون باشد زیرا این تعریف به سر نوشت الکترون وابسته است . گاهی ماده ای می تواند يك اتم ئیدروژن آزاد کند بدون آنکه الکترون خود را ازدست بدهد . ئیدروژنی که الکترونش را از دست بدهد یون ئیدروژنی است که بار مثبت دارد (H^+) . پس چیزی که در ماده باقی می ماند يك یون دارای بار منفی است و فرایندها یونیزاسیون می گویند . آیا ماده مورد بحث يك الکترون گرفته و احیا شده است ؟

پاسخ این سؤال منفی است . یون ئیدروژن فقط هنگامی آزاد می شود که قدرت نگهداری الکترون مشترك (عموماً با اکسیژن) به عللی ضعیف باشد و الکترون از ماده جدا شود و حال آنکه در فرایندها یونیزاسیون ئیدروژن الکترون از دست نمی دهد و ماده دیگر الکترون نمی گیرد ، بلکه یونیزاسیون فقط نشانه آن است که الکترونها ، طی تشکیل ماده در مرحله ای پیشین ، انتقال یافته اند . پس خود یونیزاسیون نه اکسید شدن است نه احیا شدن !

اکنون فرض کنید که يك اتم ئیدروژن همراه الکترونش از ماده ای جدا شده باشد . این وضع در تصویر ۵۶ نشان داده شده است . (اینکه چه به سر ئیدروژن می آید بعداً بررسی خواهد شد . در حال حاضر آن را مسکوت می گذاریم) . در اینجا ماده آلی را می توان مستقلاً صاحب يك الکترون به حساب آورد و حال آنکه قبلاً دو الکترون مشترك داشته است . از آنجا که اتم کربن با قدرت بیشتری الکترون را نگه می دارد تا ئیدروژن را ، پس وقتی که دو الکترون مشترك دارد سهم کمی بیش از وقتی است که يك الکترون مستقل دارد . پس اگر کربن اندک سهم بیشتر خود را با گرفتن الکترون مستقل ازدست بدهد ، می توان گفت

که ماده اکسید شده است. چنانکه می بینید، حتی در تعریف جدید الکترونی، دزئیدروژناسیون خود اکسید شدن است.



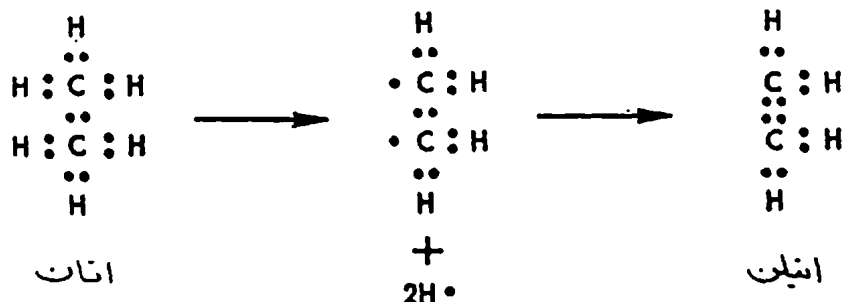
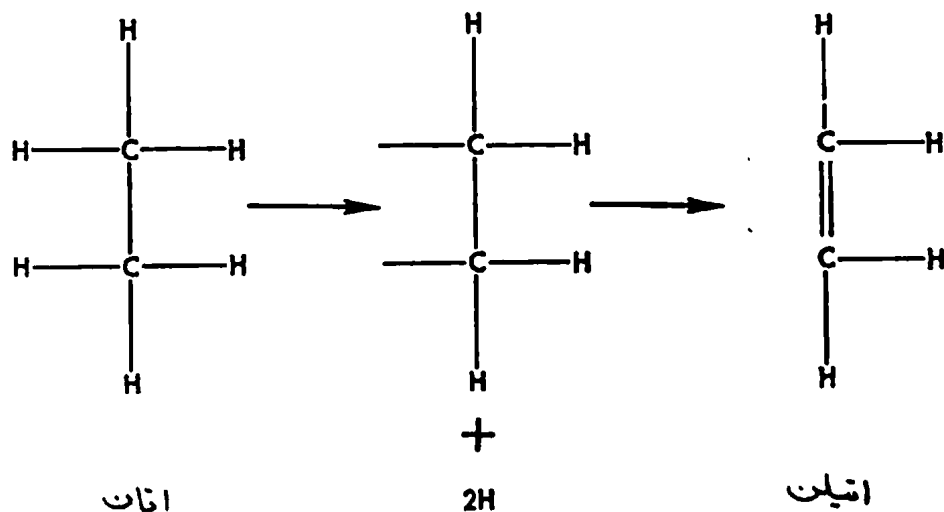
اتان

تصویر ۵۶. دزئیدروژناسیون الکترونی

به دلیل مشابهی می توان نشان داد که کاهش يك اتم اکسیژن (یا به تنهایی یا به صورت بخشی از گروه ئیدروکسیل) با الکترونهاش، به بقیه ماده يك الکترون مستقل می دهد و حال آنکه آن ماده قبلاً از دو الکترون مشترك کمتر از نصف سهم داشته، پس ماده مورد بحث صاحب بخشی از يك الکترون شده است به طوری که برداشتن يك اکسیژن خود احیا شدن است.

در نتیجه اگر هر ماده ای هم اتم ئیدروژن و هم گروه ئیدروکسیل از دست بدهد (آب از دست دادن Dehydration) یا هم يك اتم ئیدروژن و هم يك گروه ئیدروکسیل بگیرد (آب گرفتن Hydration) اثر اکسید شدن یکی، اثر احیاء شدن دیگری را زایل می کند. پس «آب از دست دادن» و «آب گرفتن» نه اکسید شدن است نه احیا شدن. نیز اگر به جای يك ماده دو ماده باشند مسئله همواره صدق می کند به طوری که «ئیدرولیز» و «تراکم» نه اکسید شدن است و نه احیاء شدن. اکنون به تصویر ۵۶ در باره دزئیدروژناسیون باز می گردیم. توجه کنید که برداشتن يك اتم ئیدروژن، ئیدروکربور باقی مانده را صاحب يك الکترون فرد

کرده است. هر گروه اتمی که الکترون فرد داشته باشد به رادیکال آزاد موسوم است. «رادیکال آزاد» عموماً بسیار ناپایدار است زیرا الکترون فرد بی نهایت

الکترونیککوله

تصویر ۵۷. تشکیل اتصال مضاعف

بی ثبات است و به اصطلاح برای آنکه جفت شود، موجب وقوع یک واکنش شیمیایی سریع می گردد.

بدیهی است که اگر دو اتم هیدروژن (هریک با الکترونش) برداشته شوند،

به طوری که دو الکترون فرد به وجود آید ، دو الکترون ممکن است با هم جفت شوند و يك اتصال مضاعف ، چنانکه در تصویر ۵۷ نشان داده شده است ، تولید کنند. بیشتر اکسید شدنهای مواد آلی شامل این گونه دزئیدروژناسیون مضاعف است ، یعنی با کاهش دو اتم ئیدروژن همراه است . این گونه دزئیدروژناسیون با کاهش مقدار زیادی انرژی آزاد همراه است . مقدار انرژی آزاد به قدری زیاد است که این گونه واکنشها ضمن اینکه در کاتابولیسیم واقع می شوند، انرژی لازم برای تشکیل پیوندهای فسفات پر انرژی به بافت زنده را می دهند .

با همه این احوال این گونه دزئیدروژناسیونها در شرایط معمولی صورت نمی گیرند ، زیرا يك ماده آلی ممکن است علی رغم تغییر انرژی آزاد منفی سالها بدون تمایل به دزئیدروژناسیون قابل توجه باقی بماند .

آشکار است که مقدار زیادی « انرژی کارانداز » ، باید در جریان باشد . در سال ۱۹۳۵ میکائیلیس (که معادله میکائیلیس - منتون به اسم آن است) خاطر نشان ساخته که بسیار بعید می نماید که يك ماده آلی دو اتم ئیدروژن در يك موقع از دست بدهد . بلکه ابتدا يك ئیدروژن و سپس ئیدروژن دیگر از دست می دهد . پس مرحله حد واسطی وجود خواهد داشت که طی آن فقط يك الکترون از دست رفته و ماده مورد بحث به صورت يك رادیکال آزاد باقی خواهد ماند .

اما رادیکال آزاد بسیار بی ثبات است و به محض تشکیل شدن به مقدار زیادی انرژی آزاد نیازمند است . کاهش اتم ئیدروژن دوم که بعداً صورت می گیرد بیش از آن انرژی تولید می کند ، خیلی بیش از آن ، ولی الکترون اول باید ابتدا خارج شود و انرژی آن واکنش از جایی به دست آید . این انرژی همان « انرژی کارانداز » است و همین اشکال تشکیل رادیکال آزاد حد واسط است که موجب می شود مواد آلی به مدت نامحدود در اکسیژن قرار داشته باشند بدون آنکه به سرعت

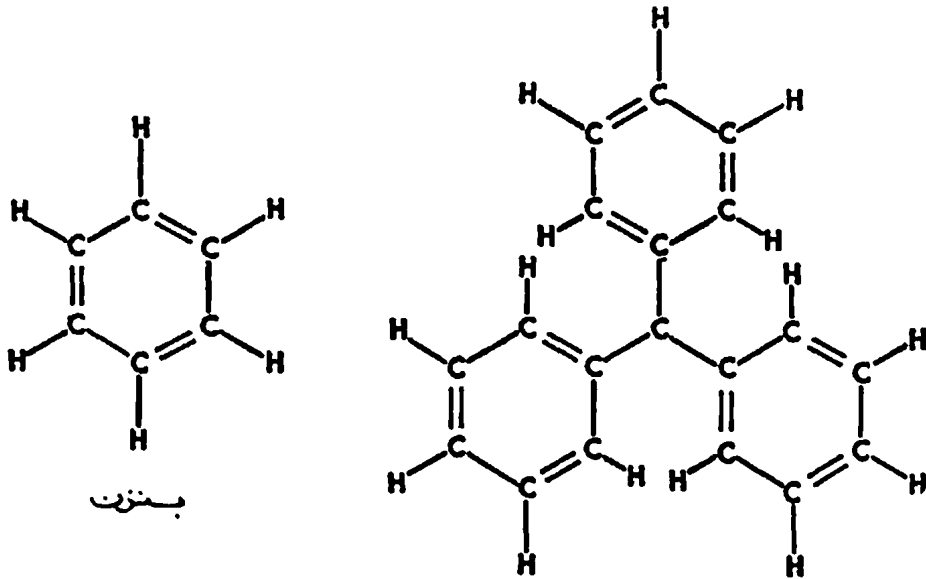
به آب و انیدریدکربنیک تبدیل شوند .

آنزیمهایی در بافتها وجود دارند که دردمای بدن دزئیدروژناسیون را تسریع می کنند . برای این کار ، مقدار انرژی « رادیکال آزاد » کاهش داده می شود . به عبارت دیگر رادیکال آزاد تثبیت می شود . بنابراین « انرژی کارانداز » به قدری پایین می آید که انرژی سینتیک مولکولها دردمای بدن کافی برای تشکیل رادیکال آزاد خواهد بود . وقتی که چنین شد دومین ئیدروژن جدا می شود و پیوند مضاعف به سرعت تشکیل می گردد .

اما باید دید که رادیکال آزاد چگونه تثبیت می شود .

طی قرن نوزدهم ، شیمی دانها همواره می کوشیدند که در شرایط مخصوصی موادی که ما آنها را رادیکال های آزاد می نامیم به وجود آورند که بی ثبات نباشند ولی در این راه توفیق نمی یافتند . ولی در سال ۱۹۰۰ دانشمند امریکایی شیمی حیاتی موسز گومبرگ^۱ سرانجام به تهیه آن توفیق یافته است . وی نشان داده که بعضی از رادیکال های آزاد دارای ساختمان پیچیده را ، می توان به مدت نامحدودی نگه داشت و وجودشان را با تغییر رنگی که در محلولها به وجود می آورند معلوم داشت . رادیکال آزادی که بدین روش ساخته شد (تری فنیل متیل) کربنی متصل به سه حلقه بنزنی داشت . (بنزن ۶ اتم کربن و ۶ اتم ئیدروژن در حلقه منظمی دارد) . هر سه حلقه بنزنی ، چنانکه می دانیم ، در یک سطح قرار دارند و چنانکه در تصویر ۵۸ نشان داده شده ، نسبت به اتم کربن مرکزی قرینه اند . اتم کربن مرکزی که فقط با سه پیوند تکگوله نشان داده شده و به جای پیوند چهارم دارای یک الکترون فرد است که با نقطه نشان داده شده ، مولکول کامل را به رادیکال آزاد تبدیل کرده است . (به تصویر ۵۸ مراجعه شود) .

ولی باید دید که چرا این « رادیکال آزاد » بخصوص ، پایدار هست . این موضوع نخستین بار توسط شیمی دان امریکایی لینوس پاولینگ در دهه سال ۱۹۳۰ و بر اساس تئوریهای دهه سال ۱۹۲۰ به صورت مستدلی بیان گردیده است . بر اساس این تئوریها ، الکترون کره کوچک ساده ای نیست بلکه مجموعه ای از صورتهای



تصویر ۵۸ . يك رادیکال آزاد (تری فنیل متیل) و رابطه اش با حلقه بنزن

موجی است که می تواند به تناسب موقعیت حجم کم یا زیاد فضا را اشغال کند . آنچه پاولینگ بیان داشته بود تئوری تشدید نام دارد . وی با استفاده از ریاضیات درباره ماهیت موجی الکترونها ، نشان داده که هرچه الکترون فرد حجم بیشتری اشغال کند پایدارتر خواهد بود .

اگر مولکولی که الکترون جزء آن است در يك سطح و کاملاً قرینه باشد ، الکترون حجم بیشتری اشغال خواهد کرد . متیل تری فنیل سومبرك به صورتی عالی

موضوع مورد بحث را مجسم می‌سازد. اگرچه الکترون فرد را به صورت نقطه در شکل نشان داده‌ام، ولی نظر شیمی‌دانها را در این باره نمی‌نمایاند. بلکه باید آن را شبیه نوعی مه که مولکول را در میان گرفته و تراکمش در جاهای مختلف قرینه است به نظر آورد.

میکائیلیس با تئوری جدید تشدید، خاطر نشان ساخته که آنزیمی که بایک زمینه ترکیب می‌شود ممکن است سیستمی متقارن‌تر از آنچه زمینه دارد به وجود آورد. پس رادیکال آزاد آنزیم - زمینه، از رادیکال آزاد زمینه فقط، پایدارتر خواهد شد زیرا الکترون فرد حجم بیشتری اشغال خواهد کرد. برای تشکیل رادیکال آزاد «آنزیم - زمینه»، انرژی کمتری مورد احتیاج است تا تشکیل خود رادیکال آزاد زمینه و نتیجه‌اش این است که آنزیم با موفقیت واکنش را تسریع می‌کند.



اکنون آنچه را که بعد از دزئیدروژناسیون به سردو اتم ئیدروژن جدا شده می‌آید مورد مطالعه قرار می‌دهیم. یکی از امکانات این است که دو اتم ئیدروژن ترکیب شوند و یک مولکول ئیدروژن به وجود آورند و به صورت گاز متصاعد گردند. این وضع جز در بعضی انواع معدود باکتریها، پس از دزئیدروژناسیون، در هیچ جاننداری دیده نشده است.

امکان دیگر این است که اتمهای ئیدروژن به یک مولکول «پذیرنده»، که بر اثر افزوده شدن ئیدروژن به مولکولش احیا می‌شود، انتقال یابد. پذیرنده‌ای که بیشتر احتمال وجود آن می‌رود اکسیژن است، پس باید نظری دقیق به ساختمان الکترونی اکسیژن بیندازیم.

اتم اکسیژن هشت الکترون دارد که دو الکترون در لایه داخلی و ۶ الکترون در لایه خارجی است به طوری که اتم اکسیژن را می‌توان چنین نشان داد.

:Ö.

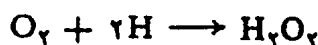
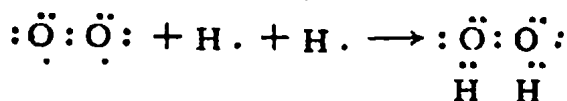
اتم اکسیژن در شرایط معمولی وجود ندارد بلکه دو تایی با هم به صورت مولکول هستند. طبیعی ترین وضع این است که دو اتم دو توده دو الکترونی به وجود آورند به طوری که هر يك صاحب هشت الکترون در لایه خارجی خود شود.

:Ö::Ö:

اشکال مسئله در این است که اکسیژن مایع خاصیت مغناطیسی قوی دارد و شیمی دانها معتقدند که این خاصیت مربوط به وجود الکترون فرداست. بنابراین فرمول مولکولی اکسیژن را چنین به تصور آوردند:

:Ö:Ö:

این نوعی از رادیکال آزاد مضاعف است و بنابراین پایدار است و موردی کاملاً استثنایی است که مورد توجه شیمی ثوری است ولی موجب وقفه کار، نمی شود. این گونه مولکول اکسیژن به آسانی دو اتم نیدروژن را به روش زیر می پذیرد (واکنشی هم به صورت الکترونی و هم به صورت معمولی نشان داده شده است).

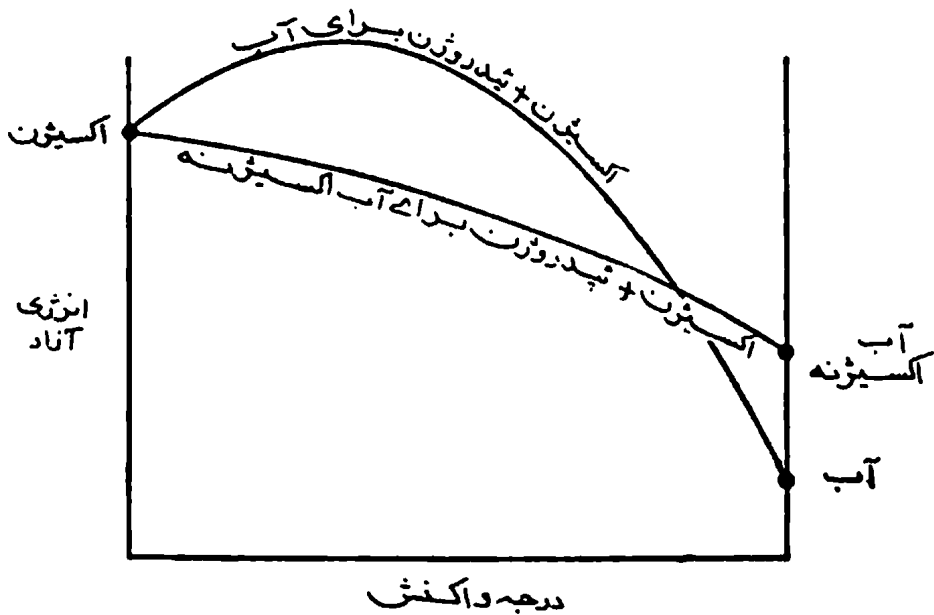


H_2O_2 آب اکسیژنه است که ماده ای نسبتاً پایدار است و همواره تمایل به تجزیه دارد.



تجزیه آب اکسیژنه يك واکنش خود به خود است و نشانه کاهش انرژی آزاد است. (به تصویر ۵۹ مراجعه شود) اینکه تجزیه آب اکسیژنه با کندی صورت می گیرد (اگر آب اکسیژنه را در محلول رقیق و در دمای کم نگهدارند

مدتهای مدید بدون کاهش باقی می ماند (به این سبب است که پیوند $O-O$ باید ابتدا پاره شود و این خود « انرژی کارانداز » زیادی را نشان می دهد . حتی گرم کردن مختصر کافی برای تأمین « انرژی کارانداز » و تشدید تجزیه آب اکسیژنه است . تعدادی از مواد ، مانند براده آهن ، تجزیه آب اکسیژنه را کاتالیز می کنند . کاتالاز که آنزیمی بسیار فراوان است نیز چنین می کند .



تصویر ۵۹ . آب اکسیژنه و آب

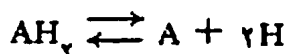
از آنجا که تبدیل آب اکسیژنه به آب متضمن کاهش انرژی آزاد است ، می توان گفت که تبدیل اکسیژن به آب متضمن کاهش بیشتری در انرژی آزاد است تا تبدیل اکسیژن به آب اکسیژنه . آیا نباید انتظار داشته باشیم که اکسیژن در نتیجه قبول هیدروژن ، به سرازیری پر شیب بیفتد و آب به وجود آورد ؟ آنچه که مانع کار می شود « انرژی کارانداز » حاصل از پاره شدن پیوند $O-O$ است . هنگامی که اکسیژن هیدروژن را در دمای زیاد می پذیرد (مانند وقتی که يك شعله هیدروژن اکسیژن روشن شود یا ماده ای آلی بسوزد) پیوند $O-O$

بدون اشکال پاره می شود و آب به وجود می آید ولی وقتی که اکسیژن ئیدروژن را در دمای معمولی اطاق بپذیرد، چنانکه در بعضی از واکنشهای آنزیمی اتفاق می افتد، انرژی پاره کردن پیوند $O-O$ ممکن است در میان نباشد و آب اکسیژنه به وجود آید.

با همه این احوال آب اکسیژنه به مقدار قابل توجه در بافتهای زنده وجود ندارد. یکی از راههای توجیه این مسئله وجود کاتالاز است. کاتالاز آب اکسیژنه حاصل را به سرعت به آب تبدیل می کند. اما چنانکه خواهیم دید، تشکیل آب اکسیژنه به مقدار کم دلایلی دارد و کاتالاز فقط مراقب آن است که از آن به وفور موجود نگردد زیرا غالباً مورد احتیاج نیست.



اگرچه اکسیژن پذیرنده منطقی اتم ئیدروژن است ولی تنها پذیرنده آن نیست. اتم ئیدروژنی که از ماده ای آلی برمی خیزد ممکن است به وسیله تعداد زیادی از مواد آلی دیگر پذیرفته شود. برای ملاحظه چگونگی این امر توجه داشته باشید که بسیاری از مواد آلی، بسته به اینکه دو اتم ئیدروژن واجد یا فاقد باشند به صورت اکسید شده یا احیا شده هستند. بدین طریق:

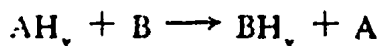


(صورت اکسید شده) (صورت احیا شده)

طبیعی است که تعادل اکسید شدن و احیا شدن مواد مختلف متفاوت است. مثلاً معادله اول بالا ممکن است نقطه تعادلش متوجه سمت راست باشد به طوری که AH_2 تمایل زیادی به از دست دادن ۲ اتم ئیدروژن داشته باشد. از سوی دیگر

معادلهٔ دوم بالا ممکن است نقطهٔ تعادلش متوجهٔ سمت چپ باشد به طوری که B تمایل زیادی به تحصیل ۲ اتم ئیدروژن داشته باشد .

اگر AH_4 و B مخلوط شوند واکنش زیر صورت خواهد گرفت :



A که ئیدروژن از دست داده است ، در این فرایند به وسیلهٔ B که عامل اکسید کننده است اکسید خواهد شد . خود B که ئیدروژن گرفته است در این فرایند به وسیلهٔ AH_4 که عامل احیا کننده است ، احیا خواهد شد .

اکنون تنها چیزی که مورد نیاز ماست این است که روشی ترتیب بدهیم تا این تمایل حرکت ئیدروژن از ماده‌ای به مادهٔ دیگر را اندازه بگیرد به طوری که بتوانیم پیشگویی کنیم کدام ماده مادهٔ دیگر را اکسید (یا احیا) می‌کند .

برای این کار باید بدخاطر آوریم که ئیدروژن دادن و ئیدروژن گرفتن قبول تخصصی در الکترون دادن و الکترون گرفتن است . هر ماده‌ای که تمایل دارد الکترون بدهد ، فشاری ایجاد می‌کند که آن الکترونها در یک مدار الکتریکی به جریان افتند. این فشار یک پتانسیل الکتریکی است . تابعیهٔ پیلهای الکتریکی به صورتی که در فصل دهم یاد آور شده‌ام ، می‌توان پتانسیل الکتریکی همراه یک واکنش اکسید شدن را از روی تعداد ولتها سنجید . وقتی که این کار در شرایط «استانده شده» تنظیم شود « پتانسیل اکسید شدن » را نشان خواهد داد .

پتانسیل اکسید شدن واکنشی که در آن یک اتم ئیدروژن الکترونی می‌دهد و به یون ئیدروژن تبدیل می‌گردد به طور اختیاری صفر فرض شده است . اگر اتم یا مولکولی تمایل کمتری به از دست دادن یک الکترون داشته باشد پتانسیل اکسید شدن آن مثبت است . و اگر اتم یا مولکولی تمایل زیادی به از دست دادن

يك الكترون داشته باشد پتانسیل اکسید شدن آن منفی است .
 هر ماده‌ای که پتانسیل اکسید شدن مثبت یا منفی کمتر از ماده دیگر داشته
 باشد الكترون می‌پذیرد (و گاهی اتم ئیدروژن همراه آن را نیز می‌پذیرد) .
 هر ماده‌ای که پتانسیل اکسید شدن مثبت بیشتر یا منفی کمتر از ماده دیگر داشته
 باشد الكترون می‌دهد (و گاهی اتم ئیدروژن همراه آن را نیز می‌دهد) .
 ممکن است يك سلسله واکنشهای « اکسید - احیا شدن » به‌تصور آوریم
 که در آنها الكترونها یا اتمهای ئیدروژن معین ، طی پتانسیل اکسید شدن منفی
 کم شونده یا پتانسیل اکسید شدن مثبت زیاد شونده ، از ماده‌ای به ماده دیگر بروند.
 واقع امر این است که عین این جریان در بافت زنده واقع می‌شود و اکنون
 باید به بافت زنده بازگردیم .

فصل بیست و سوم

زندگی هوازی

به منظور مطالعه واکنشهای هوازی بهتر آن است که روش جذب اکسیژن بافت زنده را مورد مطالعه قرار دهیم. (نه آنکه تنها به جذب در ششها اکتفا کنیم).

تکه‌هایی از بافت زنده جانداران مختلف را، از سیب زمینی گرفته تا موش، می‌توان به دست آورد. در این بافت‌ها آنزیمها به صورت طبیعی وجود دارند و واکنشهای هوازی مربوط به خود را درست به صورت طبیعی پیش می‌برند. در بعضی موارد وجود سلولهای زنده به حالت طبیعی لازم نمی‌آید زیرا اکسیژن به وسیله محلولهایی که آنزیمها را به حالت خلوص دارند، نیز جذب می‌گردند.

این‌گونه واکنشها را عموماً در ظروف کوچک انجام می‌دهند به طوری که تغییر فشار هوای محدود نسبتاً زیاد می‌شود. ظرف شامل دو بخش است در یکی از آنها محلول ماده زمینه هست و در دیگری محلول آنزیم یا تکه‌ای از بافت قرار دارد. اندک تکان حاصل در ظرف آن دو را مخلوط می‌سازد و واکنشی در زمان معین آغاز می‌شود.

اکسیژن هوا گرفته می‌شود و انیدرید کربنیک به هوا پس داده می‌شود. جذب اکسیژن در ظرف، خلاء نسبی به وجود می‌آورد ولی تولید انیدرید کربنیک (در صورتی که تکه‌ای از بافت مورد آزمایش باشد) فشار را بالا می‌برد و آن را در حدود فشار معمولی نگه می‌دارد. ولی چنانچه در گوشه‌ای از ظرف ماده‌ای قرار دهند که انیدرید کربنیک را به سرعت جذب کند، خلایی که از جذب اکسیژن حاصل شده بود همچنان باقی می‌ماند. پس کاهش فشار نشانه مصرف شدن اکسیژن است. ظرف آزمایش به لوله‌ای U شکل مربوط است. لوله اخیر محتوی مایعی رنگی است و یک سرش به هوای آزاد ارتباط دارد. مایع درون U از یک طرف تحت فشار اتمسفر و از طرف دیگر تحت فشار درونی ظرف است. با پیشرفت واکنش‌های آنزیمی درون ظرف، بر اثر جذب اکسیژن، فشار داخلی کم می‌شود. پس فشار اتمسفر که بیشتر است مایع رنگی لوله U را در طرف مربوط به ظرف بالا می‌راند.

طبیعی است که همه احتیاطات ممکن به عمل می‌آید تا حرکت مایع رنگی منحصرأ تحت تأثیر خلاء موجود در ظرف باشد. مثلاً ظرف آزمایش درون آب دارای دمای ثابتی غوطه‌ور است تا تغییر دما حجم هوای داخل آن را تغییر ندهد. نظیر همان ظرف را، ولی بدون آنزیم (به عنوان شاهد) در آب قرار می‌دهند تا تغییرات کوچک متناوبی که در فشار اتمسفر حاصل می‌شود ثبت کنند.

سرانجام تغییر سطح مایع رنگی لوله U را می‌توان با دقت تمام ثبت کرد و مقدار اکسیژنی را که در نتیجه واکنش‌های آنزیمی جذب می‌گردد محاسبه کرد. ابزاری که فشار گاز را می‌سنجد به «فشار سنج»^۱ موسوم است. چون فشار سنجی که شرح داده شد در سال ۱۹۲۳ به وسیله دانشمند شیمی حیاتی آلمانی اوتو واربرگ^۲

ساخته شد ، عموماً به نام فشار سنج و اربرومک معروف است .

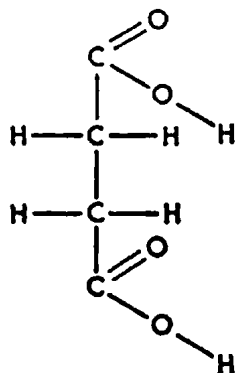
اگر گوشت قیمه شده را در فشار سنج و اربرومک مورد آزمایش قرار دهیم ، ضمن وقوع واکنشهای آنزیمی ماهیچه ، اکسیژن جذب می شود ولی مقدار اکسیژنی که جذب می گردد رفته رفته کاهش می یابد . ظاهراً این کاهش به سبب آن است که آنزیمها قدرت کاتالیزوری خود را از دست می دهند . ازین رفتن قدرت کاتالیزوری حتی وقتی که شرایط وقوع واکنشی موجب تخریب آنزیم نشود نیز دیده می شود . بنابراین ممکن است به علت تمام شدن مادهٔ زمینه باشد .

در حالت اخیر اگر مقداری مادهٔ زمینه به مخلوط اضافه گردد جذب اکسیژن از سر گرفته می شود . مسئله ای که پیش می آید این است که تعیین کنند کدام مادهٔ زمینه بوده است . یکی از راه حلها این است که از روی اختصاصی بودن آنزیمها مادهٔ زمینه را بشناسند ، زیرا تعدادی آنزیم از بافت ماهیچه ای استخراج کرده اند . پس اگر مادهٔ زمینه را از روی آنزیم بشناسند چون آنزیم در بافت و در لولهٔ آزمایش به يك نوع عمل می کند می توان از آن به بافت قیمه شده افزود .

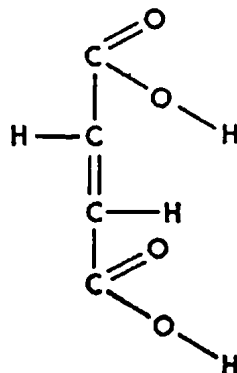
در سال ۱۹۳۵ ، آلبرت سنت گیورگی^۱ دانشمند شیمی حیاتی اهل مجارستان به این کشف نایل آمد که اگر یکی از این چهار ماده را به بافت قیمه شده اضافه کنند مقدار اکسیژنی که جذب می شود به وضع اول باز می گردد : اسید سوکسی نیک ، اسید فوماریک ، اسید مالیک یا اسید ایزوالوستیک .

چنانکه در تصویر ۶۰ می بینید این چهار ماده از نظر ساختمان مولکولی بسیار به هم شبیهند . مثلاً همهٔ آنها «اسید دیکاربو کسلیک» هستند زیرا در هر يك دو گروه (COOH) در يك مولکول هست .

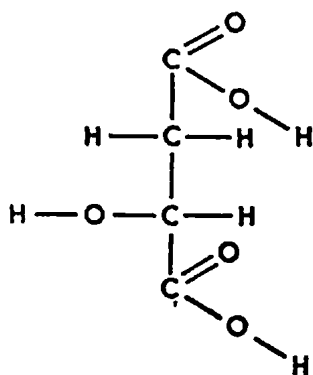
ظاهر آهریک از این چهار ماده به صورتی در واکنش یا واکنشهای اکسیژن-خواه واردند، ولی هیچ یک به تنهایی نمی‌تواند مستقلاً در واکنش وارد باشد زیرا مقدار اکسیژنی که از افزودن یکی از آنها مصرف می‌شود خیلی بیش از



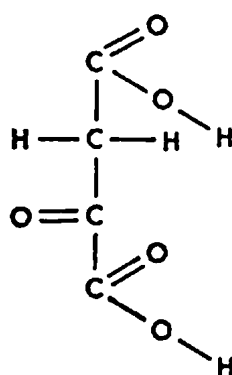
اسیدسکوی نیک



اسیدفوماریک



اسیدمالیک



اسیداکزالواتیک

تصویر ۶۰. اسیدهای دیکاربوکسیلیک

مقدار اکسیژنی است که با افزودن همه آنها به مصرف می‌رسد. آشکار است که یک سلسله واکنش شیمیایی صورت می‌گیرد و ماده مورد نظر (مثلاً اسیدسوکسی نیک) به محض مصرف شدن دوباره به وجود می‌آید. بنابراین اثر کاتالیزوری دارد

با پیشرفت سلسله واکنش شیمیایی، اسید سوکسی نیک دوباره به کمال تشکیل نمی‌گردد به طوری که مقداری از آن از میان می‌رود و سرانجام برای ادامه واکنشها مقدار بیشتری باید افزوده شود.

از این گذشته ممکن است چهار ماده فوق در چهار واکنش مختلف شرکت نکنند بلکه در یک واکنش معین سهیم باشند. اسید مالونیک این مسئله را به ثبوت می‌رساند.

اگر برای آغاز مصرف اکسیژن اسید سوکسی نیک به بافت بیفزاییم، افزایش بعدی اسید مالونیک فوراً موجب توقف مصرف اکسیژن خواهد شد. وقوع این امر غیر منتظره نیست زیرا چنانکه در فصل هجدهم دیده شد، اسید مالونیک رقیب اسید سوکسی نیک در منع مسابعدای است. حتی اگر اسید مالونیک را بعد از افزودن هر یک از سه ماده فوق بیفزایند جذب اکسیژن را متوقف می‌سازد. ولی اسید مالونیک مستقیماً مانع واکنشهای مربوط به اسید مالیک یا اسید اوکزالواستیک نمی‌شود. اگر دیده می‌شود که پس از افزودن اسید مالونیک به مخلوط بافت قیمه شده، موجب توقف جذب اکسیژن می‌گردد، فقط به علت آن است که این واکنشها بخشی از یک سلسله واکنش هستند که اسید سوکسی نیک دست اندر کار آن است و اسید مالونیک در نتیجه چوب گذاشتن لای چرخ اسید سوکسی نیک، مانع وقوع سلسله واکنشی می‌شود.

پس از این جریانات نیز مطالعات زیادی در این زمینه به عمل آمده چنانکه هانس آدولف کربس^۱ دانشمند آلمانی شیمی حیاتی به این کشف توفیق یافت که سایر مواد، بخصوص اسید سیتریک (که به جای ۴ اتم کربن و دو گروه کربوکسیل شش اتم کربن و سه گروه کربوکسیل دارد) نیز می‌توانند آغاز شدن مصرف اکسیژن

را موجب شوند. در سال ۱۹۴۰ بود که طرح مناسبی مربوط به مصرف اکسیژن بافتها ترتیب داده و همه مواد را در ترتیب منطقی خاصی در آن طرح گنجانید. این طرح همچنان مورد قبول است، فقط مختصر تغییری بدان داده شده است. این سلسله واکنشها را معمولاً «دور کربس»^۱ می گویند. نیز به دور اسید-سیتريك و دور اسید تری کاربوکسیلیك موسوم است، زیرا اسید سیتريك نقش عمده‌ای ایفا می کند و از این گذشته سه گروه کربوکسیل دارد.



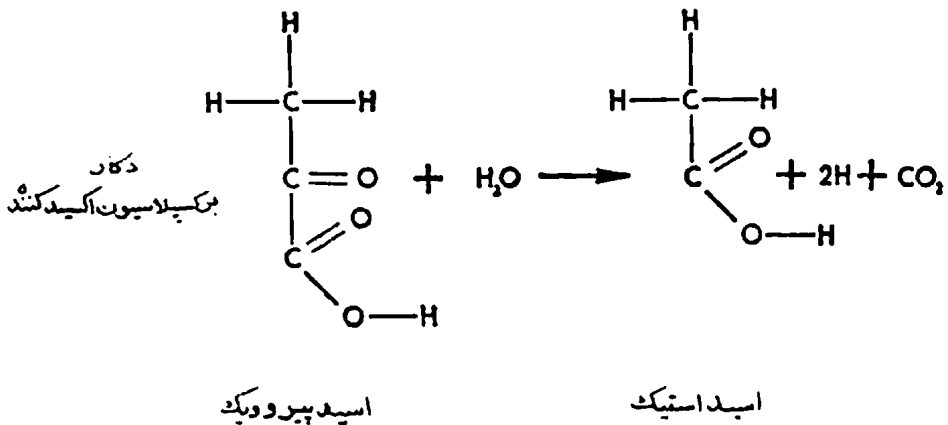
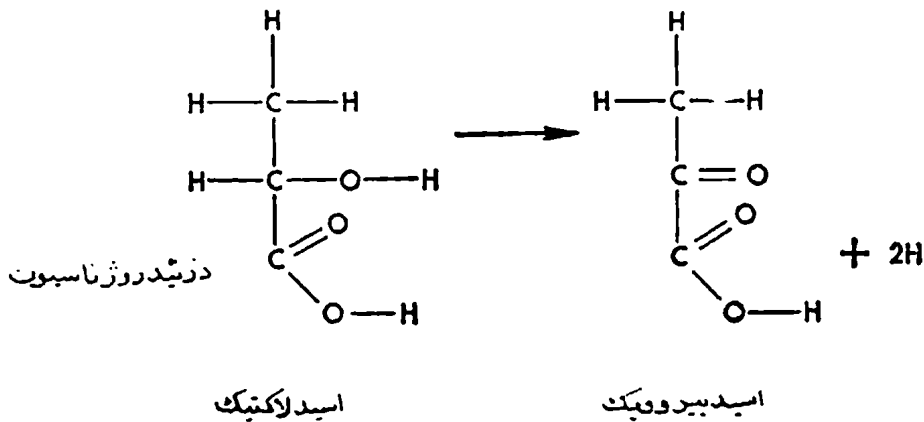
برای آنکه دانسته شود دور کربس چه مراحل دارد تا آنجا که ممکن است به مطالعه حداقل فرمولهای مربوط و حداقل جزئیات آن می پردازیم. گلیکولیز بی هوازی، چنانکه در فصل بیستم شرح داده‌ام، یک مولکول گلوکز را به دو مولکول اسید لاکتیک تبدیل می کند و در این جریان دو پیوند فسفات پرانرژی به وجود می آورد که به صورت ATP در می آید. حالا نوبت اسید لاکتیک است که باید متحمل کاتابولیسم شود و اتصال فسفات پرانرژی دیگر به وجود آورد.

فرایند بدین صورت آغاز می شود که دو اتم ئیدروژن از اسید لاکتیک خارج می شود (دزئیدروژناسیون) و چنانکه در تصویر ۶۱ هست اسید پیروویک به وجود می آید.

ترکیب $C=O$ را گروه ستون^۲ و ترکیب $COOH$ را گروه اسید کربوکسیلیک^۳ می گویند و هر ماده‌ای که چون اسید پیروویک هر دو گروه را شامل باشد اسید ستون^۴ نامیده می شود.

اسید ستون‌ها در بدن واکنشی متحمل می شوند که آنها را با از دست دادن

يك كربين ، به مولكول كوچكترى تبديل مى كند . مختصر آنكه اسيد پيروويك (سه كربنى) ، چنانكه در تصوير ۶۱ نشان داده شده است به اسيد استيك (دو كربنى) تبديل مى گردد .



تصوير ۶۱ . دژئدرروزناسيون و دكاربوکسیلاسيون اكسيد كننده

اين تبديل را اصطلاحاً دكاربوکسیلاسيون اكسيد كننده^۱ مى گویند ، زیرا از طرفى اكسيد كننده است چون دو اتم ئيدروژن از دست مى دهد و از طرف ديگر دكاربوکسیلاسيون است چون ايندريد كربينيك^۲ نیز از دست مى رود. اين دكاربوکسیلاسيون

سیون اکسید کننده مخصوص ، به وسیله آنزیمی تسریع می شود که کوآنزیم آن گروه اتمی پیچیده ای به نام تیامین^۱ است . این همان ویتامین B_۱ است که فقدانش در بدن آدمی موجب بروز بیماری بری بری می شود . اثر فقدان همین ویتامین بود که در دهه سال ۱۸۹۰ مورد توجه آجکمان قرار گرفته و موجب آغاز اطلاعات جدید درباره ویتامینها گردیده است . ویتامین هم اثر خود را در این نقطه نشان می دهد زیرا بدون ویتامین B_۱ واکنش تبدیل اسیدپیروویک به اسید استیک متوقف می شود و همه واکنشهای وابسته به هم متابولیسم ، به درجه ای کند می گردند که از اثر می افتند و مانند آن است که دندانهای از چرخ دندانهداری شکسته باشد . در تبدیل مواد آلی به آب و انیدرید کربنیک ، آب از واکنشهای دزئیدروژناسیون حاصل می شود ، زیرا اتمهای ئیدروژن جدا شده به وسیله ماده ای چون اسیدلاکتیک سرانجام با اکسیژن ترکیب می شوند و قسمت اعظم انیدرید کربنیک به وسیله دکاربوکسیلاسیون اکسیدکننده از « ستون اسیدها » به وجود می آید .

انرژی حاصل از دزئیدروژناسیون به مصرف بدن می رسد . فقط دفع انیدرید کربنیک از یک ماده ، انرژی لازم برای تشکیل پیوندهای فسفات پر انرژی را تولید نمی کند . پس می توانیم بگوییم که بدن در نتیجه سوزاندن ئیدروژن انرژی خود را به دست می آورد و تشکیل شدن انیدرید کربنیک امری اتفاقی است . این مسئله (چنانکه در فصل هشتم اشاره کرده ام) تعجبی ندارد زیرا از سوختن ئیدروژن در وزن برابر ، بیش از سوختن کربن انرژی به دست می آید .

در قدم بعدی اسید استیک به اسید اوکزالواستیک افزوده می شود و بدین روش در دور کربس وارد می گردد . (به خاطر دارید که یکی از نخستین اجزای

دور کربس اسید او کزالواستیک بود).

طی دهه سال ۱۹۴۰ جزئیات این افزایش شناخته نشده بود. ولی در سال ۱۹۴۷ لیپمان (که وجود پیوند فسفات پیرانرژی را کشف کرده است) ماده‌ای به دست آورده که به عنوان کوآنزیم در این واکنش به کار می‌رود و نام آن را کوآنزیم A گذاشته است (منظور از A، Acide Acetic است).

مولکول کوآنزیم A مولکول کاملاً پیچیده‌ای است ولی با شرح جزئیات آن شما را خسته نمی‌کنم فقط به ذکر این نکته اکتفا می‌کنم که بخشی از مولکول کوآنزیم A گروهی اتمی به نام اسید پانتوتنیک دارد، که بدن قادر به ساختن آن نیست و باید در غذای شبانه روزی موجود باشد. اسید پانتوتنیک، مانند تیامین یکی از ویتامینهای B است.

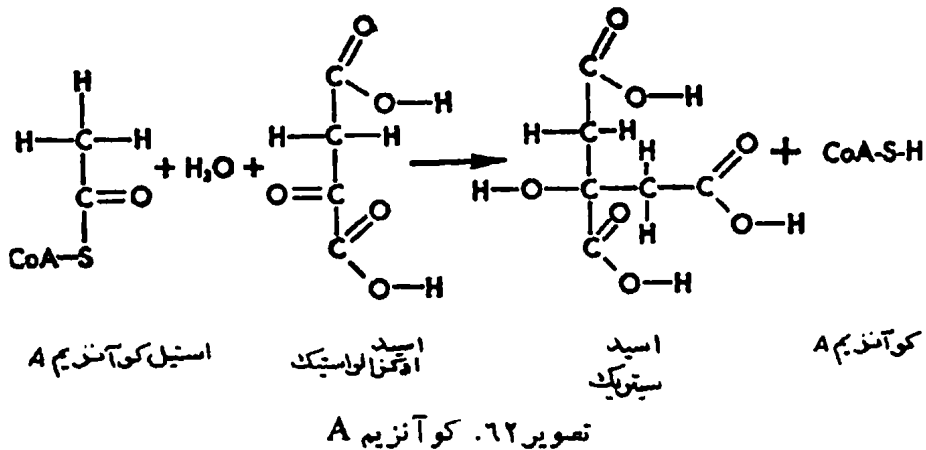
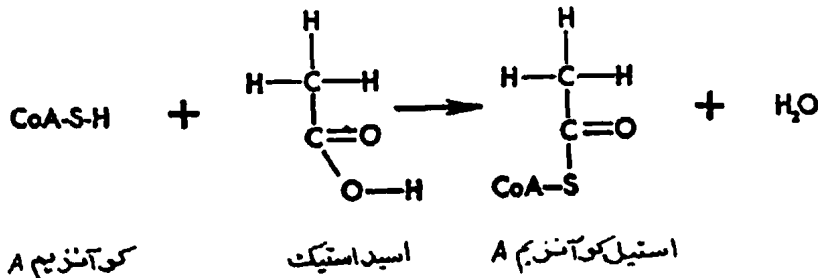
بخشی از مولکول کوآنزیم A که وارد واکنش می‌شود یک گروه تیول است (S-H) روی این اصل است که کوآنزیم A را غالباً بدین گونه نشان می‌دهند:

$$\text{Coa} - \text{S} - \text{H}$$

کوآنزیم A با اسید استیک ترکیب می‌شود و چنانکه در تصویر ۶۲ هست استیل کوآنزیم A به وجود می‌آورد و در واقع جزء واکنشی می‌شود که اسید پیروویک در آن دکاربوکسیلاسیون اکسید کنند متحمل شده است. به طوری که خود اسید استیک هرگز به وجود نمی‌آید بلکه از همان آغاز به صورت استیل کوآنزیم A است.

بخشی از اسید استیک که به کوآنزیم A متصل شده، غالباً قطعه دو کربنی نامیده می‌شود. این نام زمانی بدان داده شده که فقط می‌دانستند اسید استیک دو کربن دارد و از ماهیت آن چیز دیگری نمی‌دانستند.

بسیاری از واکنشهای بدن متضمن انتقال قطعه‌ای دوکربنی از ماده‌ای به ماده دیگر است و در همه آن موارد کوآنزیم A عامل این انتقال است. (بعدها معلوم شد که کوآنزیم A بخشی از واکنشی است که در آن، ماده‌ای به نام اسید آلفا ستونیک،



که جزء دیگر دور کربس است، دست اندر کار است و کارش انتقال دادن قطعات چهارکربنی است. کار کوآنزیم A فقط انتقال قطعات دوکربنی نیست و چنانکه بعداً خواهیم دید، کارهای انتقالی دیگر نیز دارد).

در تصویر ۶۲ اضافه شدن استیل کوآنزیم A به اسید اوقتاواستیک نیز نشان داده شده است. این واکنش پیچیده (اگر به این واکنش با دقت کافی بنگرید خواهید دید که هر اتم سمت چپ معادلی در سمت راست دارد) محصولش تشکیل اسید سیتریک ۶ کربنی و کوآنزیم A است. کوآنزیم A می‌تواند مولکول دیگری

از اسید استیک را بگیرد و کار انتقال را از سر گیرد .

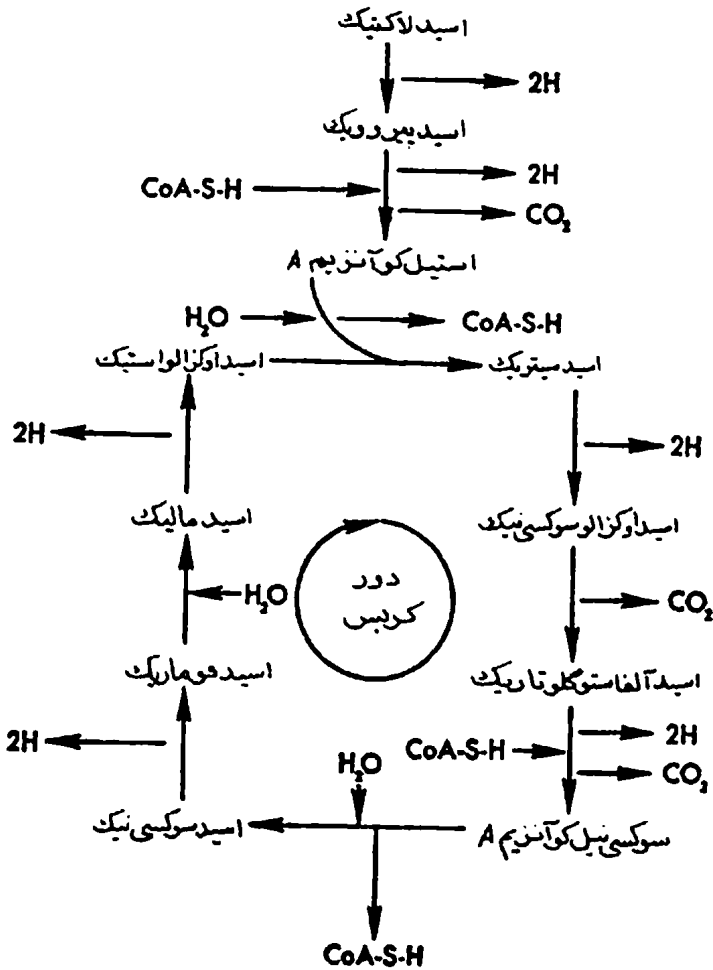
وقتی که اسید سیتريك به وجود می آید ، يك سلسله واکنش انجام می دهد که قطعه دو کربنی متصل شده به خود در آغاز تشکیل را ، جدا می سازد . در نتیجه اسید سیتريك به اسید او کزالواستیک برگشت داده می شود . اسید او کزالواستیک می تواند يك قطعه دو کربنی نو بگیرد . قطعه اخير بار دیگر در دور کربس از آن جدا می شود ، سپس یکی دیگر را می گیرد و بر این قیاس به طور نامحدود عمل می کند . فرمولهایی را که در این فصل نوشته ام فرمولهای اصلی فرایندند که دکربوکیلاسیون اکسیدکننده و دزئیدروژناسیون و انتقال به وسیله کوآنزیم و مانند آنها را نشان می دهند . اکنون می توانیم بدون آنکه فرمولهای بیشتری بنویسیم ، روش کاتابولیسیم اسید لاکتیک را در طرحی نشان دهیم . این طرح در تصویر ۶۳ نشان داده شده و فقط متضمن نکات اساسی است .

چنانکه می بینید کاتابولیسیم اسید لاکتیک برای تبدیل شدن به اسید پیروویک با يك دزئیدروژناسیون آغاز می شود . دزئیدروژناسیون دیگری در تولید استیل کوآنزیم A واقع می شود و چهار دزئیدروژناسیون دیگر در طول دور کربس صورت می گیرد . بر روی هم ۶ دزئیدروژناسیون صورت می گیرد که با کاهش ۱۲ اتم ئیدروژن همراه است .

بدیهی است که مولکول اسید لاکتیک فقط ۶ ئیدروژن دارد پس چگونه خواهد توانست ۱۲ ئیدروژن از دست بدهد ؟

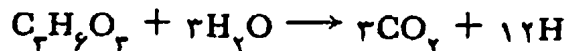
بسیار خوب ، چنانکه خلاصه دور کربس نشان می دهد سه مولکول در نقاط مختلف فرایند وارد عمل می شوند و ۶ ئیدروژن باقیمانده را تأمین می کنند . از این گذشته سلسله تغییراتی که به وسیله اسید لاکتیک صورت می گیرد و موادی که از آن به وجود می آیند متضمن يك دکربوکیلاسیون است که طی

تشکیل استیل کوآنزیم A صورت می گیرد و دودکربوکسیلاسیون دیگر نیز طی دور کربس هست که بر روی هم سه مولکول ایندرید کربنیک تولید می کنند .



تصویر ۶۳ . کاتا بولیم اسید لاکتیک

معادله ای که همه فرایند در آن خلاصه می شود به قرار زیر است :



اما چند سؤال در این مورد مطرح است . سؤال اول مربوط به سر نوشت اتمهای ئیدروژن است . آشکار است که اکسیژن باید در این جریان دست داشته

باشد زیرا کشف دور کربس در اساس به وسیله آزمایشهای متضمن جذب اکسیژن صورت گرفته است، ولی اکسیژن انمهای ئیدروژن را مستقیماً نمی پذیرد زیرا با وجود ترتیب دادن آزمایشهایی با بافتهای دارای کانالاز بسیار کم، تشکیل یافتن آب اکسیژنه در هیچ آزمایشی دیده نشده است.

پس اکسیژن، به طور غیر مستقیم ئیدروژن را می پذیرد و آب تولید می کند نه آب اکسیژنه. آنچه بیشتر مورد گمان است این است که ئیدروژن به وسیله پذیرنده هایی غیر از اکسیژن گرفته می شود و سپس به اکسیژن داده می شود. به عبارت دیگر به همان گونه که کوآنزیم A قطعات دو کربنی را انتقال می دهد، کوآنزیمهای دیگری نیز برای انتقال ئیدروژن، یا ناقلهای ئیدروژن باید در میان باشند.

واقع امر این است که ناقلهای ئیدروژن يك نسل پیش از شناخته شدن کوآنزیم A کشف شده بودند. نخستین کوآنزیمی که به عنوان ناقل ئیدروژن شناخته شده نخستین کوآنزیم شناخته شده بود و هاردن و یونگ آن را کشف کرده بودند (فصل ۱۸).

در اوایل دهه ۱۹۳۰ ساختمان مولکولی کوآنزیم شناخته شد. راجع به این کوآنزیم نیز مانند کوآنزیم A وارد جزئیات نمی شوم فقط به نکات اساسی آن اشاره می کنم.

این کوآنزیم يك مولکول قنده کربنی و دو گروه فسفات و يك حلقه اتمی محتوی نیتروژن دارد و این اجزا به صورتی قرار دارند که مولکول را در گروه موادی به نام نوکلئوتید جای می دهند. حلقه محتوی نیتروژن، چنانکه در فصل ۱۸ بیان داشته ام، يك پیریدین دارد و روی این اصل مولکول کامل را دی فسفوپیریدین-

نوکلئوتید^۱ می‌گویند و عموماً به‌طور اختصار DPN^۲ نموده می‌شود. در سال ۱۹۳۴ واربروسک (که فشار سنجش معروف است) کوآ نزیم مشابهی به‌دست آورد که که به‌جای دو گروه سه گروه فسفات داشت. پس نام آن را تری فسفوپیرین نوکلئوتید گذاشتند و مختصراً TPN^۳ گفته می‌شود.

هم در DPN و هم در TPN بخشی در حلقه پیریدین هست که نیکوتینامید نام دارد، و بدن قادر نیست که آن را از ماده شبیه بدان به نام اسید نیکوتینیک بسازد. پس نیکوتینامید با اسید نیکوتینیک باید در جیره غذایی موجود باشد و این یکی دیگر از انواع ویتامینهای B است.

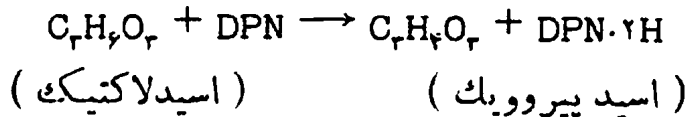
طی دهه سال ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ تعداد زیادی آنزیم به‌دست آوردند که دزئید-روژ ناسیون مواد گوناگون را سبب می‌شوند و به این جهت نام دزئیدروژناز به‌همه آنها داده شده است. تعداد زیادی از دزئیدروژنازها DPN یا TPN را به‌عنوان کوآ نزیم داشتند. به‌جهت وجود حلقه پیریدین در کوآ نزیم، همه دزئیدروژنازها را به نام عمومی پیریدینوآنزیم^۴ خواندند.

در همه پیریدینوآنزیمها، گروه فعال همان DPN یا TPN است، ولی اختصاصی بودن آنزیم مربوط به بخش اسیدامینه آن است (اپوآنزیم)^۵ به‌عبارت دیگر معلوم می‌کند که چه ماده‌ای باید به‌عنوان زمینه، به کوآ نزیم نزدیک شود. بنابراین دوازده پیریدینوآنزیم مختلف با دوازده ساختمان اسیدامینه‌ای مختلف می‌توانند دزئیدروژناسیون ۱۲ ماده مختلف را موجب شوند، بدون آنکه یکی از آنها بتواند جز به زمینه خود روی ۱۱ ماده دیگر اثر کند، و حال آنکه همه آنزیمها به‌عنوان زمینه DPN را به کار می‌برند.

در واقع ارزش دزئیدروژناسیونی که در طی کاتابولیسم اسیدلاکتیک صورت

می گیرده نای آنها پیریدینوآنزیم متفاوت دارند. (ششمی متعلق به اسیدسوکسی- نیک است که بعداً بدان اشاره خواهم کرد) .

کار DPN و TPN پذیرفتن ئیدروژن پس از خروج از زمینه است . درحالی که زمینه با از دست دادن ئیدروژن اکسید می شود ، DPN و TPN با پذیرفتن آن احیا می شوند . شکل احیا شده DPN و TPN (بدون آنکه وارد جزئیات آنها بشویم) $DPN \cdot 2H$ و $TPN \cdot 2H$ است . بنابراین دزئیدروژناسیون اسید لاکتیک و تبدیل آن به اسید پیروویک که به وسیله پیریدینوآنزیمی به نام دزئیدروژناز اسید لاکتیک صورت می گیرد (بدون آنکه وارد جزئیات فرمول ساختمانی آنها که در تصویر ۶۱ هست ، بشویم) به قرار زیر خواهد بود :



سپس $DPN \cdot 2H$ دزئیدروژن خود را به ماده دیگری می دهد و بار دیگر اکسید می شود و به صورت اول درمی آید ، بنابراین آماده پذیرفتن ئیدروژن می گردد و این عمل همچنان تکرار می شود .

ولی باید دید که آن ماده دیگر که $DPN \cdot 2H$ ئیدروژنهایش را به آن می دهد چیست . آیا اکسیژن است ؟ ببینیم که چیست .

اگر یک پیریدینوآنزیم را طوری ترتیب دهند که بخواهد دزئیدروژناسیون ماده ای مانند اسید لاکتیک را در غیاب سایر آنزیمها و زمینه ها پیش ببرد ، در اتمسفری که فقط نیتروژن داشته باشد ، نخواهد توانست واکنش را تسریع کند . مسلم است که DPN اتمهای ئیدروژن را می پذیرد ولی چیزی وجود ندارد که آن ئیدروژنهارا بدانش انتقال دهد . تعداد کل مولکولها DPN نسبت به تعداد مولکولهای اسید لاکتیک به قدری کم است که همه DPN احیا می شود بدون آنکه اکسید شدن

قابلی در اسیدلاکتیکها دیده شود. واکنش فقط هنگامی پیش خواهد رفت که DPN.۲H بتواند بار ئیدروژنهای خود را زمین بگذارد.

افزودن اکسیژن به محیط دردی دوانمی کند بنابراین وقتی که پیریدینوآنزیم در واکنشی دخالت دارد اکسیژن نمی تواند ئیدروژن را بپذیرد.

اما اگر بعضی مواد مانند ماده‌ای به نام بلودومتیلن^۱ به محیط افزوده شود، حتی اگر اکسیژن در محیط نباشد واکنش ادامه خواهد یافت. پس بلودومتیلن پذیرنده ئیدروژن از DPN.۲H است. بلودومتیلن چنانکه از نامش پیداست رنگ آبی دارد ولی اگر احیا شود بی رنگ می گردد. بنابراین پیشرفت واکنش از روی بیرنگ شدن بلودومتیلن دیده می شود.

اگرچه مسئله جالبی است ولی پاسخ سؤال ما نیست. زیرا بلودومتیلن در بافت زنده وجود ندارد. آنچه از این گونه آزمایشها برمی آید این است که DPN و TPN ئیدروژن خود را در بعضی از شرایط انتقال می دهند ولی چه ماده‌ای در بافت زنده هست که این ئیدروژنها را می گیرد؟

اندکی به حاشیه می پردازیم سپس به اصل مطلب باز می گردیم.



طی دهه سال ۱۹۳۰ (و گاهی پیش از آن) ماده‌ای از غذاها و بافتها به دست می آمد که رنگ زرد داشت و نامش فلاوین^۲ بود. ساختمان شیمیایی آن در پایان دهه سال ۱۹۳۰ شناخته شد و معلوم گشت که سیستمی سه حلقه‌ای دارد و بدن نمی تواند از آن بسازد بلکه باید در غذای شبانه روزی به صورت ریوفلاوین وارد شود. این یک ویتامین B دیگر است.

و ابروی نشان داد که فلاوینها با آنزیمها وابستگی دارند و بدانها رنگ

زرد می‌دهند. نخستین آنزیمی از این قبیل که کشف شد هنوز « آنزیم زرد قدیمی واربرووک » نام دارد. سرانجام دو کوآنزیم مهم میان فلاوینها کشف شد یکی فلاوین مونو نوکلئوتید (FMN یا Flavin Mononucleotide) و دیگری فلاوین آدنین نوکلئوتید (FAD یا Flavin Adeninenucleotide) بود.

آنزیمهایی که از FMN و FAD به کار می‌برند معروف به فلاووآنزیم هستند. به طوری که معلوم شده این آنزیمها هم مانند آنها که DPN و TPN به کار می‌برند، دزئیدروژناسیونها را تسریع می‌کنند. مثلاً دزئیدروژناسیون اسیدسوکسی نیک (همان دزئیدروژناسیونی که قبلاً اشاره کردم، در طی کاتابولیسیم اسیدلاکتیک، متضمن پیریدینوآنزیم نیست) تحت تأثیر اسیدسوکسی نیک دزئیدروژناز صورت می‌گیرد که کوآنزیمش FAD هست.

نیز این کوآنزیمها ئیدروژن از زمینه می‌گیرند و به صورت FMN-2H و FAD-2H در می‌آیند و سپس آن ئیدروژنها را به مواد دیگر می‌دهند.

ولی در اینجا چیز نوی افزوده شد و آن این است که کوآنزیم فلاوین می‌تواند ئیدروژن را به اکسیژن انتقال دهد و آب اکسیژنه به وجود آورد. (دزئیدروژنازهای فلاووآنزیم را، دزئیدروژنازهای هوازی می‌گویند، زیرا فعالیت‌های کاتالیزوری خود را با وجود اکسیژن، که تنها پذیرنده ئیدروژن است، ادامه می‌دهند، و حال آنکه دزئیدروژنازهای پیریدینوآنزیمها را دزئیدروژنازهای بی‌هوازی می‌گویند زیرا قادر به آن کار نیستند.)

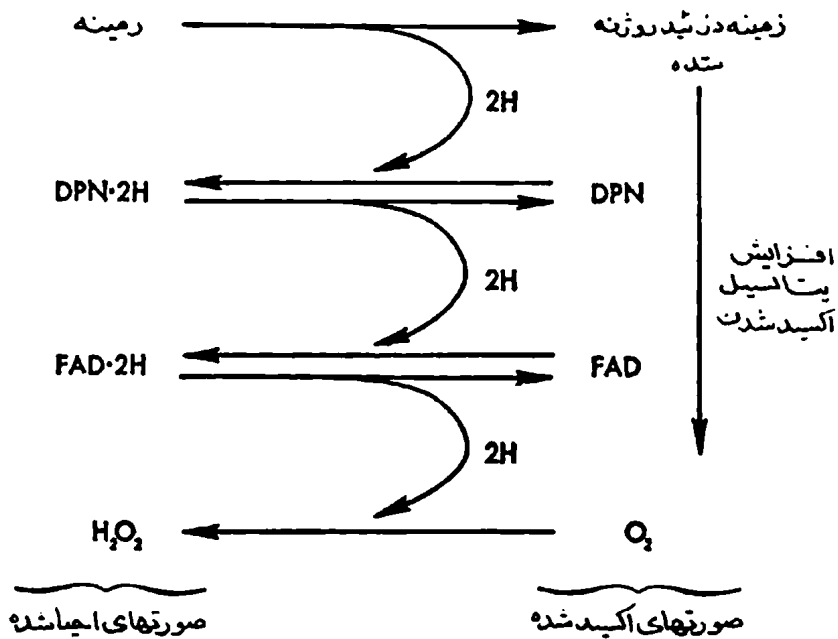
بنابراین اگر به سیستمی که پیریدینوآنزیم و یک زمینه دارد (و به خودی خود قادر به انجام واکنشی نیست) یک فلاووآنزیم بیفزایند، فلاووآنزیم ئیدروژن را از پیریدینوآنزیم می‌پذیرد و به اکسیژن انتقال می‌دهد. و حال آنکه خود

فلاو و آنزیم مستقیماً روی زمینه بی اثر است. نیز پیریدینو آنزیم اثری روی اکسیژن ندارد، ولی دوتایی با هم دزئیدروژناسیون زمینه و احیای اکسیژن و تبدیل آن را به آب اکسیژنه، چنانکه در تصویر ۶۴ نشان داده شده، تسریع می کنند. این انتقال، چنانکه نشان داده شده، در سه مرحله صورت می گیرد و هر مرحله ای یک واکنش «اکسید - احیا شدن» نو است. چنانکه در پایان فصل پیش اشاره کرده ام، اتمهای ئیدروژن مرحله به مرحله در جهت افزایش دایمی پتانسیل اکسید شدن پیش می روند.

باید دید که چرا اتمهای ئیدروژن نمی توانند مستقیماً از صورت DPN.۲H به اکسیژن انتقال یابند. زیرا اگر چنین کنند نیز در جهت افزایش پتانسیل اکسیژن خواهد بود. چرا باید یک سیستم حد واسط دارای یک پتانسیل اکسید شدن حد واسط مورد احتیاج باشد؟ برای روشن شدن مطلب تشبیهی می کنیم. اگر نیروی جاذبه زمین در حین پایین آمدن از پله، موقع دوپله یکی کردن به شما کمک می کند، مسلماً وقتی که بخواهید چهار پله یکی پیرید نیز به شما کمک خواهد کرد. (ممکن است به نظر شما نامفهوم آید که کاهش پتانسیل اکسید شدن را با پایین آمدن از پله برابر گرفته ایم. ولی تعیین اینکه پتانسیل اکسید شدن مثبت یا منفی است کاملاً قراردادی است و من شخصاً مایل بودم که راه دیگری انتخاب می شد. در هر حال سیر اتمهای ئیدروژن ممکن است در جهت افزایش پتانسیل اکسید شدن باشد ولی در جهت کاهش انرژی آزاد نیز خواهد بود و این یکی هست که به حساب می آید.)

طبق معمول، لزوم یک مرحله حد واسط به خاطر آن است که این مرحله انرژی کار انداز را کاهش دهد. ظاهراً بدن نمی تواند برای انتقال مستقیم ئیدروژن از ماده آلی به اکسیژن، انرژی لازم را که برای عبور از مشکل سر راه است،

فراهم سازد و همیشه از عوامل غیر آلی حدواسط استفاده می کند .
 در دهه سال ۱۹۵۰ کشف شد که در فلاوو آنزیمها اتمهای فلزی هست و
 حال آنکه در پیریدینو آنزیمها نیست . مثلاً اسید سوکسی نیک دزئیدروژناز ،
 جزء آنزیم اتمهای آهن دار است . سایر فلاوو آنزیمها مس و مولیبدوم دارند .



تصویر ۶۴ . مراحل دزئیدروژناسیون

این فلزات ظرفیت های متغیر دارند و می توانند الکترون انتقال دهند . مثلاً آهن می تواند یون فرو (Fe⁺⁺) و یون فریک (Fe⁺⁺⁺) تشکیل دهد . یون فریک با قبول یک الکترون یون فرو می شود . یون فرو با از دست دادن یک الکترون دوباره به یون فریک تبدیل می شود . اتم آهن در تبدیل سریع میان این دو حالت می تواند یک الکترون انتقال دهد ، مس نیز در تبدیل از کوئیورو (Cu⁺) به کوئیوریک (Cu⁺⁺) نیز مولیبدوم می تواند بدین روش عمل کنند .
 ظاهراً چنین انتقال الکترونی ، که در فلاوو آنزیمهای فلزدار ممکن است ،

در پیریدینوآنزیمها، که از مادهٔ آلی خالص مرکبند، برای کم کردن انرژی کارانداز لازم به منظور انتقال ئیدروژن به اکسیژن غیر ممکن است. جزئیات این امر هنوز شناخته نشده است.

گرچه می توان فرض کرد که مسئله اتم ئیدروژن حاصل در طی کاتابولیسیم به صورتی حل شده است ولی چنین نیست. زیرا وقتی که اکسیژن ئیدروژن را از فلاووآنزیمها می پذیرد، آب اکسیژنه به وجود می آید. شاید مقداری آب اکسیژنه در بدن بدین صورت وجود داشته باشد ولی برای متلاشی ساختن آن کاتالاز لازم است. بنابراین بر روی هم آب اکسیژنه ساخته نمی شود و طرحی که ساخته ام کامل نیست. چیز دیگری مورد نیاز است.



در سال ۱۹۲۵ دانشمند انگلیسی شیمی حیاتی د. کیلین^۱ در بارهٔ جذب نور به وسیلهٔ محلولهای حاصل از بافتهای قیمه شده مختلف، ازمغز گرفته تا باکتری، مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده است که ۱۲ نوار جذبی حاصل می شود که وی آنها را با ماده ای به نام سیتوکروم^۲ منسوب دانسته است. مطالعات بعدی نشان داده اند که نوارهای جذبی جفت جفت هستند و هر جفتی مربوط به ماده ای مخصوص است. و آنها را سیتوکروم a و سیتوکروم b و سیتوکروم c نامیدند. با گذشت زمان معلوم شده که این سه نوع ماده از يك ریشه نیستند و ماده ای شبیه سیتوکروم a پیدا کردند که آن را « سیتوکروم a_p » نامیدند.

تنها سیتوکرومی که به آسانی توانستند از محلول بافت به دست آورند سیتوکروم c بود. سپس معلوم شد که این ماده پروتئینی دارای مولکول نسبتاً کوچک است که وزن مولکولی اش در حدود ۱۳۰۰۰ است و در هر مولکولش يك اتم آهن

۱- D. Keilin — ۲- Cytochrome — مشتق از کلمهٔ یونانی «رنگ سلول».

دارد. اتم آهن بخشی از يك هم است، عین همان همی که در هموگلوبین هست. (فصل ۱۸). مطالعات بعدی نشان دادند که سیتوکرومهای دیگر نیز آهن دارند و آهن جزئی از هم یا ماده‌ای شبیه به آن است.

در نتیجه همه سیتوکرومها را می‌توان تحت نام هم - آنزیم دسته‌بندی کرد. کاتالاز که در فصل پیش از آن یاد کردیم مثال دیگری از «هم - آنزیم» است ولی کار سیتوکروم را به عهده ندارد. هموگلوبین يك «هم - پروتئین» است ولی «هم - آنزیم» نیست. همه آنزیمهایی که در مولکولشان آهن دارند «هم - آنزیم» نیستند. مثلاً اسید سوکسی نیک دزئیدروژناز آهن دارد ولی آهنش جزء گروه هم نیست).

وقتی که سلسله ناقلهای ئیدروژن را کشف کردند (زنجیر تنفسی)، معلوم شد که سیتوکرومها باید بخشی از آنها باشند. سیتوکرومها تقریباً همیشه در سلولها وجود دارند فقط در بعضی باکتریها که بی‌هوازی اجباری‌اند موجود نیستند. بی‌هوازی‌های اجباری سلولهایی هستند که فقط در غیاب اکسیژن می‌توانند زندگی کنند. بی‌هوازی بودن این سلولها و سیتوکروم نداشتن آنها دلیل محکمی بر نقش سیتوکروم در زنجیر تنفسی است.

نیز هر ماده‌ای که معارض با کار سیتوکروم باشد - بخصوص که معارض تبدیل یون آهن فرو به فریک باشد و انتقال الکترونها را مانع شود - به جذب اکسیژن خاتمه می‌بخشد. مثلاً گروه سیانید ($C \equiv N^-$) که در مواردی مانند اسید سیانیدریک (HCN) و سیانور پتاسیم (KCN) هست آهن را به صورت فرومنجمد می‌کند و تنفس را به سرعت متوقف می‌سازد. (و همین باعث سمی بودن سیانور است). وضع سیتوکروم را در زنجیر می‌توان از روی پتانسیلهای اکسید شدن، که

در جدول ۹ نشان داده شده است، تشخیص داد. ظاهراً سیتوکروم در پذیرفتن الکترونهاى ئیدروژن و انتقال آنها از طریق آهن فروبده فریک از b به c به a به a_p بعد از فلاوینهاست. حاصل آنکه خودانمهای ئیدروژن نیز، اگرچه جزئیات این انتقال معلوم نیست، منتقل می شوند.

ولی زنجیر باید در جایی به پایان برسد، ئیدروژن باید در نقطه‌ای به-اکسیژن برسد و آن نقطه سیتوکروم a_p است. سیستم « اکسیژن - آب » پتانسیل اکسیدشدنی معادل ۰.۸۰ + دارد و سرانجام صورت می گیرد. از آنجا که سیتوکروم a_p می تواند مانند يك پذیرنده ئیدروژن اکسیژن را به کار ببرد و آب به وجود آورد نه آب اکسیژنه (پس آنزیم سرانجام گسیختن بند $O - O$ را موجب می شود)، پس يك اكسیداز است. در واقع معروفترین نام سیتوکروم a_p سیتوکروم اكسیداز است. با تشکیل آب زنجیر تنفسی کمال می یابد ولی چرا با این طول و تفصیل؟ و چرا اینهمه کوآنزیم و گروههای پروستتیک در انتقال انمهای ئیدروژن از زمینه به اکسیژن باید دست اندر کار باشند؟

چنانکه قبلاً در این کتاب یاد آور شده ام، دزئیدروژناسیون يك ماده، متضمن کاهشی از انرژی است که از ۳۵ تا ۷۰ کیلوکالری به ازای هر مولکول گرم است و این مقدار برای بدن مورد استفاده نیست مگر آنکه بخشی از آن برای تشکیل پیوندهای فسفات پرانرژی مصرف گردد. تا آنجا که دانسته شده يك واکنش منفرد نمی تواند بیش از يك پیوند فسفات پرانرژی به وجود آورد. از آنجا که در این میان انرژی آزاد فقط ۸ کیلو کالری به ازای هر مولکول گرم افزایش می یابد پس تبدیل يك دزئیدروژناسیون به يك پیوند فسفات پرانرژی قریب $\frac{7}{8}$ انرژی آزاد را به هدر خواهد داد.

جدول نهم

پتانسیلهای اکسید شدن

پتانسیل اکسید شدن	سیستم اکسید شدن - احیا شدن
- ۰٫۳۲	DPN/DPN . ۲H
- ۰٫۲۲	FAD/FAD . ۲H
- ۰٫۰۵	$b (Fe^{+++}) / b (Fe^{++})^{\circ}$
+ ۰٫۲۵	$c (Fe^{+++}) / c (Fe^{++})^{\circ}$
+ ۰٫۲۹	$a (Fe^{+++}) / a (Fe^{++})^{\circ}$
+ ۰٫۳۰	$a_r (Fe^{+++}) / a_r (Fe^{++})^{\circ}$

سیتوکروم^o

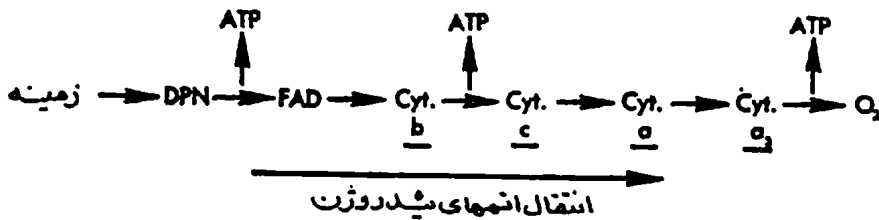
بافت زنده کاهش انرژی آزاد را به قطعاتی چندتقسیم می کند و هر قطعه ای از آن برای تبدیل شدن به پیوند فسفات پیرانرژی به کار می رود و بدین طریق است که زنجیر تنفسی درازی به وجود می آید . در اواسط دهه سال ۱۹۵۰ نشان داده شد که هر دزئیدروژناسیونی می تواند به طور متوسط برای به وجود آوردن ۳ پیوند فسفات پیرانرژی مورد استفاده قرار گیرد . بنابراین بازده دست کم ۳۵ درصد است . طبیعی است که شخص میل دارد بداند که در کجای زنجیر تنفسی پیوندهای فسفات پیرانرژی به وجود می آید . قرائنی که محل تشکیل پیوندهای فسفات پیرانرژی را نشان دهند از مطالعه بخشهای زنجیر به دست می آیند .

بنابراین سیستمی که دزئیدروژناز اسیدلاکتیک دارد سه پیوند فسفات پیرانرژی به ازای هر مولکول اسید لاکتیک مصرف شده ، تولید می کند . از سوی دیگر سیستمی که دزئیدروژناز اسید سوکسی نیک دارد فقط دو پیوند فسفات پیرانرژی

به ازای هر مولکول اسید سوکسی نیک تولید می کند. دزئیدروژناز اسید سوکسی- نیک ، يك فلاووآنزیم است پس در این دزئیدروژناز مرحله پیریدینوآنزیم رها شده است . پس چون يك پیوند فسفات پیرانرژی کم می شود ، منطقی است اگر بپذیریم که يك چنین پیوندی از تبدیل DPN به FAD حاصل می شود .

با افزودن بعضی مواد می توان زنجیر تنفسی را در نقاط مختلف قطع نمود و با این عمل تعداد پیوندهای پیرانرژی حاصل را کمتر کرد . نتیجه مذکور در باره تولید پیوندهای فسفات در تصویر ۶۵ نشان داده شده است .

اکنون باید دید که چه واکنشهایی سبب ففوریلاسیون اکسیدکننده می شوند (یعنی تولید پیوند فسفات از طریق اکسیدشدنی که با انتقال دو اتم ئیدروژن صورت می گیرد) . متأسفانه تا کنون اطلاعی درباره این امر به دست نیامده است. اگر در جایی از این کتاب این طور به نظر رسیده که همه مسائل مربوط به بافت زنده حل شده است ، باید متذکر شوم چنین قصدی در میان نبوده و مسئله مورد بحث ، خود مثالی بر تأیید آن است .



تصویر ۶۵ . ففوریلاسیون اکسیدکننده

بدون آنکه جزئیات دقیق تولید پیوندهای فسفات پیرانرژی دانسته شود می توان تعداد آنها را در هر مرحله ای از کاتابولیسم اسیدلاکتیک شمرد . نتیجه حاصل در تصویر ۶۶ نشان داده شده است .

چنانکه می بینید کاتابولیسیم اسیدلاکتیک به انیدرید کربنیک و آب، که در کالوریمتر ۳۲۵ کیلو کالری در هر مولکول گرم نشان می دهد^۱ موجب تولید ۱۸ مولکول ATP می شود. اگر برای هر پیوند فسفات پرا انرژی تشکیل شده افزایش انرژی آزاد را ۸ کیلو کالری به ازای هر مولکول گرم حساب کنیم، بر روی هم ۱۴۴ کیلو کالری انرژی شیمیایی برای هر مولکول اسیدلاکتیک تجزیه شده اندوخته خواهد شد. ۱۴۴ از ۳۲۵ بازدهی معادل ۴۵ درصد خواهد شد که مقداری قابل توجه است.



اکنون باید دید که این فسفوریلاسیون اکسید کننده در کجای سلول صورت می گیرد. من در هیچ جای این کتاب به شرح سلول نپرداختم و از ساختمان پیچیده آن سخنی به میان نیاورده ام. پیچیده بودن سلول به سبب داشتن بخشهای متنوع است (Organelle) که هر یک خواص معینی دارد و با تکامل وسایل کار سلول شناسان، کار هر بخش استادانه تر به نظر می رسد.

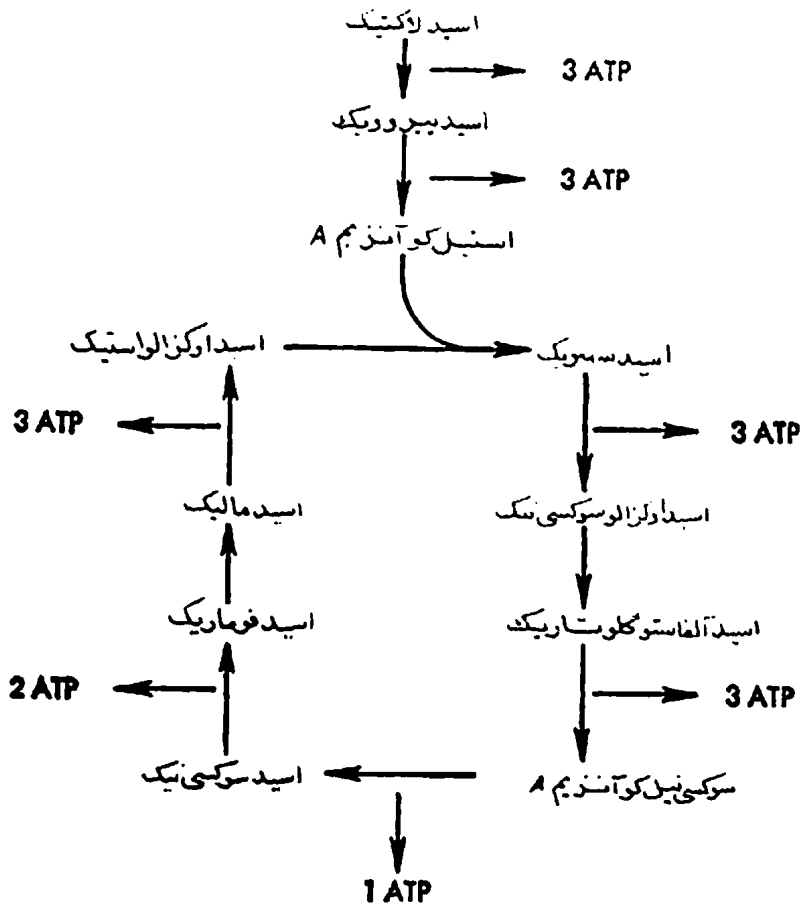
هر سلول کامل دانه ای در داخل دارد که آن را هسته سلول می نامند و به وسیله پرده نازکی از بقیه سلول (Cytoplasm) جداست. مهمترین کار هسته کنترل تکثیر سلول و انتقال دقیق ژنهاست که عوامل شیمیایی انتقال خصوصیات هر سلول به سلولهای بعدی است^۲. ولی هسته در تولید انرژی دخالت ندارد و درون هسته نه فلاوآنزیم هست، نه سیتوکروم، دزئیدروژناسیونی که صورت می گیرد فقط به وسیله پیریدینوآنزیمهاست که از اکسیژن به عنوان پذیرنده

۱- در فصل بیستم من عدد ۶۵۰ به کار برده ام، ولی توجه داشته باشید که این عدد مربوط به دو مولکول اسیدلاکتیک بوده است.

۲- برای توضیح بیشتر به کتاب «سرچشمه های حیات»، نگارش این جانب مراجعه شود. این کتاب توسط مترجم کتاب حاضر ترجمه شده و در سال ۱۳۴۵ منتشر شده است.

تیدروژن استفاده نمی کنند . به عبارت دیگر هسته سلول سیستمی بی هوازی است بنابراین برای جستجوی جایی در سلول که در آن واکنشهای مصرف کننده اکسیژن صورت بگیرد باید به سیتوپلاسم مراجعه کنیم .

بخشهای گوناگون سیتوپلاسم (نیز بخشهای هسته) نسبت به مواد رنگی واکنشهای مختلف می کنند . بدطوری که بخشی فقط یک رنگ را جذب می کند و



تصویر ۶۶ . ATP و دور کربس

نسبت به سایر رنگها واکنشی نشان نمی دهد . از این رو توانسته اند مواد رنگی مخصوصی فراهم آورند که هر یک فقط یک بخش را رنگ می کند و از سایر بخشها

متمایز می‌سازد. بدین روش بخشهایی که از هم تشخیص داده نمی‌شدند، کاملاً متمایز گشتند.

در سال ۱۸۹۸ سلول‌شناس آلمانی س. بند^۱ در نتیجه به کار بردن یک رنگ مرکب، متوجه شد که ذرات کوچکی در سیتوپلاسم هستند که در انواع گوناگون سلولها رنگ گرفته و به‌طور وضوح ظاهر می‌شوند. وی هر یک از این ذرات را میتوکوندری^۲ نامید. با وجود این مانند سایر نامهای نامناسب همچنان باقی مانده و به‌کار می‌رود.

مدتی پیش از یک نسل میتوکوندریها فقط به نام ذراتی در سلول شناخته شده بودند و کار آنها معلوم نبود. در دهه سال ۱۹۳۰ با اختراع روشهای اولتراسانتریفوژ^۳ (به فصل ۱۶ مراجعه شود) توانستند سلول را به‌طور مختلف متلاشی کنند و بخشهای گوناگون آن را با سرعتهای مختلف ته‌نشین سازند. بدین روش بود که توانستند میتوکوندریها را به‌صورت خالص به‌دست آورند.

از این گذشته در دهه سال ۱۹۴۰ میکروسکوپی با درشت‌نمایی بسیار زیاد اختراع شد. در این میکروسکوپ به‌جای آنکه نور معمولی به‌وسیله عدسیهای متقارب شوند، دسته‌هایی از الکترون را که به‌وسیله میدان مغناطیسی متقارب می‌شدند به‌کار بردند. این گونه میکروسکوپیهای الکترونی برای مطالعه میتوکوندریها به‌کار رفت. میتوکوندریها یک تا سه میکرون قطر دارند و جثه آنها در حدود $\frac{1}{1000}$ جثه سلول است.

میکروسکوپ الکترونی نشان داده که هر میتوکوندری از دو غشاپوشیده است. این دو غشا به‌درون میتوکوندری نفوذ کرده و آن را به بخشهایی تقسیم

۱- C. Benda - ۲ Mitochondrion - مشتق از کلمه یونانی «نخهای غضروفی»، است و رابطه‌ای

با غضروف ندارد. ۳ - Ultracentrifugal

می‌کنند ، به طوری که میتوکوندری تقریباً هم‌ا‌ش پرده‌های سطحی است .
به طوری که معلوم شده میتوکوندریهای خالص همه واکنشهای دورگرس را تسریع می‌کنند . بنابراین میتوکوندری در حکم « کارخانه مولد برق » سلول است و پرده‌های آن مجموعه‌ای از آنزیمهای لازم برای کاتابولیس‌م مواد غذایی و تولید پیوندهای فسفات پر انرژی است . به طوری که تخمین زده اند هر میتوکوندری قریب ۱۰۰۰۰ جزء جدا دارد و هر جزء می‌تواند یک کاتابولیس‌م را به کمال به آخر برساند و اتمهای ئیدروژن را جدا ساخته پیوندهای فسفات پر انرژی به وجود آورد .

برای حصول اطلاع دقیق‌تر از ساختمان مولکولی داخل این میتوکوندریها ، باید منتظر نفوذ بیشتری به اعماق این ذرات سلولی بود . افزارهای علمی در حال حاضر به سطح مولکولی رسیده‌اند پس آینه درخشانی را نوید می‌دهند .

فصل بیست و چهارم

راهها به هم می پیوندند

چهار فصل اخیر به کاتابولیسم گلوکز اختصاص داده شد. ابتدا از گلیکولیز بی هوازی آن به اسید لاکتیک و سپس از طریق دور کربس به آب و انیدرید کربنیک صحبت به میان آمد. البته منظور این نبود که گفته شود اینها تنها راههایی هستند که بدان وسیله بدن پیوندهای پر انرژی تولید می کند و انرژی شیمیایی می اندوزد.

چنانکه، در دهه سال ۱۹۵۰ اف. دیکنز دانشمند انگلیسی شیمی حیاتی و عده ای دیگر توانستند نشان دهند، در انواعی از گیاهان و موجودات میکروسکوپی و بعضی از بافتهای حیوانی، گلوکز در حین کاتابولیسم به روشی غیر از گلیکولیز بی هوازی به مرحله سه کربنی می رسد. این راه نو که از نیمه راه به راه معمولی می پیوندد به دوراهی دیکنز معروف است. این راه از طریق فندهای پنج کربنی و چهار کربنی است و بی هوازی نیست بلکه از زنجیر تنفسی و اکسیژن اتمسفر استفاده می کند.

ارزش وجود راه متناوب زیاد است زیرا اولاً اگر امری پیش آید که موقتاً کار يك راه را متوقف سازد بدن به کلی از منابع خود محروم نخواهد شد و از راه دیگر به کار خود ادامه خواهد داد .

ثانیاً از هر راه کاتابولیسمی نه تنها انرژی به دست می آید بلکه مواد حد واسط نیز به وجود می آیند و این مواد می توانند به عنوان آجرهای ساختمانی و اکنشهای آنابولیسمی متنوع به کار آیند . مثلاً اجزای متنوع دورکربس برای تهیه بعضی از اسیدهای آمینه مورد استفاده قرار می گیرند . با افزوده شدن يك گروه آمین به اسید اوکزالواستیک يك اسید اسپارتیک حاصل می شود . اسید آلفا - ستو - گلووتاریک نیز به همین ترتیب به اسید گلوتامیک مبدل می گردد (از همین نظر است که وجود این دو اسید آمینه در غذای شبانه روزی لازم نیست) .

تکثیر راههای متابولیسمی فوایدی دارد زیرا بدن آجرهای ساختمانی متنوعتری در دسترس خواهد داشت . دوراهی دیگر فندهای پنج کربنی بسیار و مواد منسوب بدانها در دسترس بدن قرار می دهد و این فندها به کار ساخته شدن مولکولهای غول پیکر اسیدهای نوکلئیک ، که اهمیت اساسی دارند ، می آیند . یکی از اجزای ثابت مولکول اسیدهای نوکلئیک قند پنج کربنی است .

با همه این احوال گلیکولیز بی هوازی و دورکربس راه اصلی کاتابولیسم گلوکز است و ورود در جزئیات راه دیگر مفید فایده نیست .

اما برای تکمیل فصل کاتابولیسم چیزهای دیگری نیز هست که باید دانسته شود . تا اینجا فقط از کاتابولیسم گلوکز صحبت کرده ام ولی چنانکه در فصل ۱۹ اشاره شده لیپیدها و پروتئینها ، بخصوص لیپیدها ، از منابع مهم تولید انرژی هستند . اکنون باید دید این مواد چگونه تغییر می کنند . مسلماً تغییر آنها به روش تغییر ئیدراتهای کربن نیست .

پس باید دید که چگونه است .



در دههٔ اول قرن بیستم که هاردن و یوتک مطالعه کاتابولیسیم حدواسط گلوکز را آغاز کرده بودند، شیمی دان آلمانی فرانتس نوپ^۱ به مطالعه کاتابولیسیم حدواسط لیپیدها پرداخته بود .

روش نوپ این بود که مواد غذایی مخصوص بهسگها می خورانید و موادی را که از راه ادرار دفع می شدند مورد بررسی قرار می داد وی با این عمل متوجه مسئلهٔ بسیار مهمی شد . نوپ بهسگان لیپید می خورانید و این حیوانات آب و انیدرید کربنیک تولید می کردند ، ولی وسیله ای نبود تا تعیین شود که این آب و انیدرید کربنیک ، محصول تجزیه لیپیدها بودند یا مواد دیگر . پس برای تعیین آن بایستی به مولکول لیپید برچسبی زده می شد تا از روی آن مواد حاصل از تجزیهٔ لیپید شناخته می شدند . وی بدین منظور مشتقات فنیل دار اسیدهای چرب گوناگون را بهسگها خورانید .

توضیح می دهم . اسیدهای چرب از محصولات مهم هضم چربیها هستند . مولکول اسیدچرب شامل زنجیر درازی از ئیدرو کربور است که از ۱۶ تا ۱۸ اتم کربن مرکب است . یکی از کربنهای انتهایی جزء یک کربوکسیل است . اسیدچرب معروف ۱۸ کربنی اسید استاریک است . اگر چنان کنیم که این اسید در انتهای مقابل کربوکسیل ، یک حلقهٔ بنزنی بگیرد ، مادهٔ حاصل را چنانکه در تصویر ۶۷ هست مشتق فنیل دار می گویند .

مشتق فنیل دار اسیدچرب بدن را صاحب چیزی می کند که به آسانی نمی تواند آن را دستکاری کند . در بدن سگ (یا انسان) آنزیمی نیست که بتواند حلقهٔ

وارد بدن می ساخت که بدن قادر به دستکاری آنها نبود و به اصطلاح موادی « غیر فیزیولوژیکی » بودند . اگرچه ممکن بود که این مواد سمی نباشند و به تندرستی فرد آسیبی وارد نسازند ولی از کجا که وجود ماده نشان شده ، معارض با بعضی از مراحل کاتابولیسم نباشد ؟ شاید حلقه بنزنی مانع کار بعضی از آنزیم ها شود . خلاصه آنکه نمی توان اطمینان داشت ، متابولیسمی که با وجود ماده نشان دار صورت می گیرد عین متابولیسمی باشد که در غیاب آن اجرا می گردد .

ماده نشان شده ایده آل ماده ای است که بدن نتواند آن را از مواد دیگر تمیز دهد ولی شخص آزمایش کننده بتواند تشخیص دهد . خوشبختانه دهسالی طول کشید که ایزوتوپها را شناختند .

در سال ۱۹۱۳ فیزیکدان انگلیسی فردریک سادی^۲ نشان داد که همه اتمهای یک عنصر معین نظیر یکدیگر نیستند . درست است که همه در هسته تعداد پروتون یکسان و نیز تعداد الکترون برابر و خواص یکسان دارند مع هذا ممکن است تعداد نوترون متفاوت در هسته داشته باشند به طوری که وزن اتمی آنها تفاوت یابد . این گونه اتمها را ایزوتوپ می گویند .

مثلاً بعضی از کربنها هسته ای مرکب از ۶ پروتون و ۶ نوترون دارند و وزن اتمی آنها ۱۲ است و حال آنکه عده دیگر از اتمهای کربن ۶ پروتون و ۷ نوترون دارند و وزن اتمی آنها ۱۳ است و برای تمیز آنها از یکدیگر به صورت C^{12} و C^{13} نمایش داده می شوند . هر دوی این اتمهای کربن ۶ الکترون دارند که دو الکترون در لایه داخلی و ۴ الکترون در لایه خارجی است بنابراین به یک نحو در بدن واکنش شیمیایی می کنند و بدن نمی تواند موادی را که این یا آن کربن را در بر دارد از هم تشخیص دهد .

سپس در سال ۱۹۱۹ فیزیک‌دان انگلیسی ویلیام استون^۱ توانست اسپکتروگراف جرمی^۲ اختراع کند. در این دستگاه یونهای سریع‌الحرکه را در یک میدان مغناطیسی در جهت معینی منحرف می‌کنند. هر چه یونها سنگین‌تر باشند انحرافشان خفیف‌تر است. اگر بعضی یونها C^{12} و بعضی دیگر C^{13} داشته باشند به این روش از هم تشخیص داده می‌شوند. زیرا هر یک به مقدار معینی منحرف می‌شود و در روی صفحه عکاسی به نقطه معینی می‌افتد و مقدار هر یک را می‌توان از روی سیاه شدن فیلم اندازه گرفت. مثلاً با این روش توانستند تعیین کنند که کربن معمولی در هر ۱۰۰۰ اتم ۹۸۹ اتم C^{12} و ۱۱ اتم C^{13} دارد.

اکنون فرض کنید که ماده‌ای ساخته شده باشد که کربنهای آن همه از C^{13} باشند. برای بدن چنین ماده‌ای با ماده دارای C^{12} تفاوتی ندارد و با این ماده به همان نحو عمل می‌کند که با ماده مرکب از C^{12} عمل می‌کرد. ماده دارای C^{13} ممکن است به ماده دیگری تبدیل گردد که مقدار C^{13} آن بیش از حد معمول باشد. بنابراین از روی ایزوتوپ نشان‌دار، می‌توان فهمید که ماده اخیر از ماده اولیه دارای C^{13} اشتقاق یافته است. آزمایش‌کننده به وسیله سوزاندن مواد گوناگون و تولید انیدرید کربنیک و آب و عبور دادن گاز حاصل از اسپکتروگراف می‌تواند مقدار C^{13} غیرعادی را اندازه بگیرد و از روی آن می‌تواند راه متابولیسمی را که ماده طی کرده است بیابد.

اگرچه گفتن آن آسان است ولی در عمل بسیار دشوار است. زیرا اولاً باید ایزوتوپهای نادری چون C^{13} به مقدار زیاد فراهم کرد و موادی از آن ساخت و مواد دیگری به حالت خلوص از بدن به دست آورد و دشوارتر از همه اجرای روشن اسپکتروگرافی جرمی است. واقع امر این است که همین اشکالات سبب

شده بود که روش ایزوتوپ‌های ردیاب تا سال ۱۹۳۲ چندان مورد توجه قرار نگیرد. در این سال بود که شیمی‌دان آمریکایی هارولد . سی . یری ، دوتریوم^۲ را که نئیدروژن سنگین است کشف کرد .

نئیدروژن معمولی هسته‌ای مرکب از یک پروتون دارد و وزن اتمی آن ۱ است ولی دوتریوم هسته‌ای شامل یک پروتون و یک نوترون دارد و وزن اتمی آن ۲ است . علامات اختصاری آنها به ترتیب H^1 و H^2 است . در حالی که تفاوت بین وزن C^{12} و C^{13} در حدود ۸ درصد است ، تفاوت H^1 و H^2 صد درصد است .

این تفاوت زیاد موجود میان وزن نئیدروژن و دوتریوم مورد استفاده فراوان قرار گرفته است . ایزوتوپهای سنگین مانند اتمهای سبک واکنش می کنند ولی کندتر . این تفاوت در ایزوتوپهای سایر عناصرها کمتر از تفاوت میان ایزوتوپهای نئیدروژن است . تفاوت جرم میان ایزوتوپهای نئیدروژن به قدری زیاد است که دوتریوم به صورت قابل توجهی کندتر است . آبی که دوتریوم در مولکولش دارد (آب سنگین) کندتر تقطیر یا الکترولیز می شود . اگر مقدار زیادی آب را تقطیر یا الکترولیز کنند ، آنچه در آخر حاصل می شود مقدار بیشتری آب سنگین خواهد داشت . با این محلول می توان مواد آلی پر دوتریوم ساخت . از این گذشته محصولات نهایی دارای دوتریوم زیاد ، را می توان با سهولت بیشتری به وسیله اسپکتروسکوپ جرمی تشخیص داده و تجزیه کرد .

در سال ۱۹۳۵ شیمی‌دان آمریکایی ، زاده آلمان ، رودلف شوئنهایمر^۲ مانند نوپ اسید چرب را نشان دار کرد ولی به جای آنکه مانند وی حلقه بنزنی به کار برد ، دوتریوم استعمال کرد . شوئنهایمر کمی بعد روشهایی ابداع کرد که در آن نئیدروژن سنگین برای نشان دار کردن اسیدهای آمینه به کار برد (N^{15} - نئیدروژن

معمولی N^{14} است). اگر چه تغییری کلی که به چشم دقیق شیمی دان بیاید حاصل نمی شود ولی انتقالها و تغییرات و اتحادها و انصالحا و مخلوطهای زیادی به وسیله اتمها صورت می گیرد.

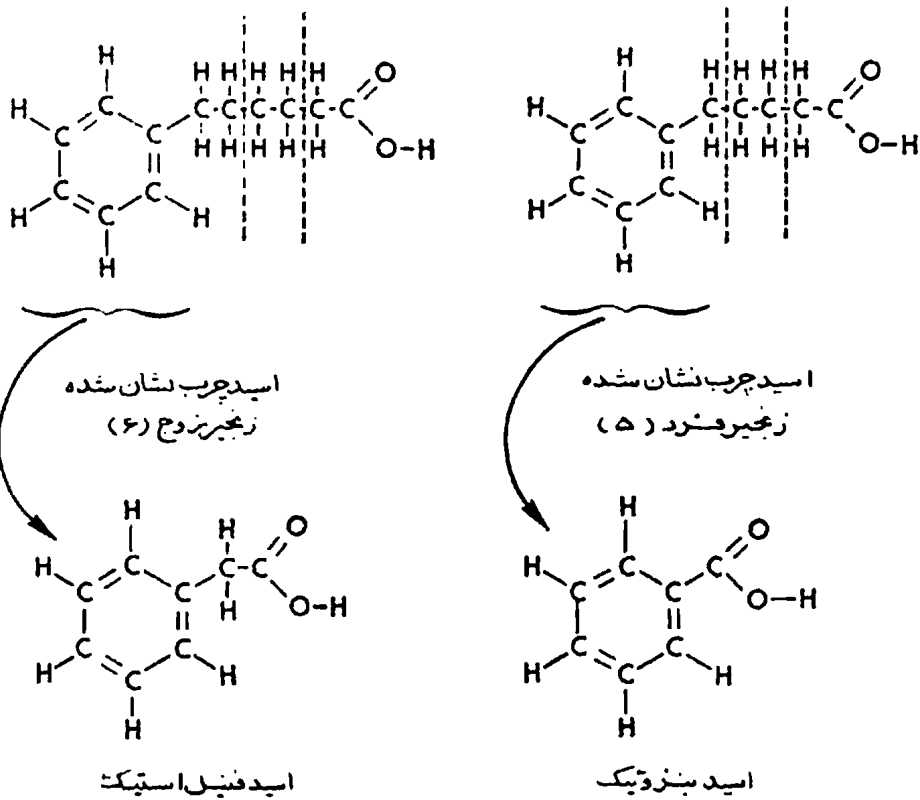
با همه این احوال روش ایزوتوپهای ردیاب کامل نبود. زیرا وقتی که ماده نشان داری به بدن افزوده می شد در آن توزیع می گشت و رقیق می شد به طوری که جدا کردن و تشخیص ایزوتوپهای کمی که باقی می ماند بسیار دقیق می شد و وقت بسیار می خواست.

برای رفع این اشکال راهی پیدا شد. بعضی از ایزوتوپها اتمهایی دارند که ترکیب پروتون - نوترون آنها وضعی ناپایدار دارد. در نتیجه ذرات سازنده اتم، با سرعت ثابت و قابل محاسبه، از آن جدا می شوند. مثلاً C^{14} که هسته اش ۶ پروتون و هشت نوترون دارد، با چنان سرعتی الکترونها را پراکنده می فرستد که نیمی از آن اندکی بیش از پنج هزار سال به N^{14} (ایزوتوپ معمولی نیتروژن) تبدیل می شود.

این گونه هسته های منفجر شونده، رادیو اکتیوند. اگر C^{14} رادیواکتیو در ماده ای باشد و بدن وسیله وارد بدن گردد در متابولیسم مانند C^{12} و C^{13} واکنش خواهد کرد ولی ذرات انرژی داری بیرون خواهد فرستاد که آزمایش کننده می تواند با سهولت آنها را دنبال کند. بدین ترتیب با نهایت دقت می توان C^{14} را دنبال کرد اگر چه به مقدار بی نهایت کم موجود باشد.

چیزی که لازم بود، تهیه ایزوتوپهای رادیواکتیو به مقدار قابل توجه بود. پیش از جنگ جهانی دوم تنها اتمهای رادیواکتیو موجود اتمهای رادیواکتیو طبیعی بودند و متأسفانه ایزوتوپ عنصرهایی بودند که در متابولیسم وارد نبودند. طی جنگ جهانی دوم، رآکتورهای اتمی کمال یافتند و ایزوتوپهای رادیو-

آکتیو که در طبیعت وجود نداشتند به مقدار نسبتاً زیاد ساخته شدند . در واقع از جنگ جهانی دوم به بعد همه مطالعات متابولیسمی به وسیلهٔ مواد حاوی کربن ^{14}C و H^3 و Na^{24} و سایر ایزوتوپهای رادیواکتیو صورت می گرفته اند و برای دانشمندان شیمی حیاتی ، مطالعهٔ بدون این مواد غیر ممکن است .



تصویر ۶۸ . کاتابولیسم اسید چرب

اکنون به مطالعات نوپ و مواد نشان داری که به کار برده است می پردازیم . وقتی که نوپ به سگها چربی های دارای کربن زوج می خورانید از ادرار ، حلقه ای بنزنی به دست می آورد که گروههای دو کربنی بدان متصل بود . این مواد به اسید فنیل استیک معروفند . این ماده به نوبهٔ خود به يك مولکول گلیسین متصل بود . هنگامی که به سگها چربی های دارای کربن فرد می خورانید ، حلقه ای بنزنی ،

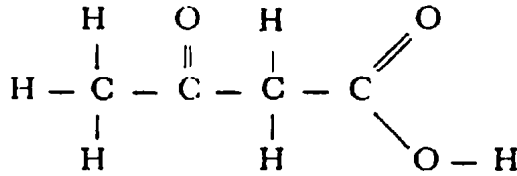
به دست می آورد که به آن فقط يك گروه کربوکسیل متصل بود (اسید بنزوئیک) . این نیز به نوبه خود به يك مولکول گلیسین متصل بود . (تصویر ۶۸) . افزودن يك مولکول گلیسین به يك مولکول از کارهای عادی بدن برای بیرون راندن آن مولکول غیر لازم از راه کلیه است و نوپ از این بخش مولکول بی اطلاع بود و فقط توجه به اسید فنیل استیک و اسید بنزوئیک داشت .

نوپ نتیجه مطالعاتش را چنین بیان کرده بود که زنجیر دراز اسید چرب به بخشهای دو کربنی قسمت شده و در انتها فقط گروه کربوکسیل دارد . وقتی که تعداد کل اتمهای کربن زوج باشد آخرین بخش شامل دو کربن می شود که به حلقه بنزنی متصل باقی می ماند (و بدن این پیوند را نمی تواند پاره کند) وقتی که تعداد کل کربنها فرد باشد يك اتم کربن متصل به حلقه بنزنی باقی می ماند .

نیز منطقی به نظر می رسد که اسیدهای چرب از گروههای دو کربنی ساخته شده اند . وقتی که به يك گروه دو کربنی گروههای دو کربنی دیگر افزوده شود سرانجام تعداد کل کربنها زوج خواهد شد و چنانکه دیده می شود همه اسیدهای چربی که در لیپیدهای بدن جانداران هست تعداد کربن زوج دارند . به عبارت دیگر اسیدهای چرب ۱۸ کربنی و ۱۶ کربنی در طبیعت بسیار فراوانند و حال حال آنکه اسید چرب ۱۷ کربنی به راستی وجود ندارد . (اسیدهای چرب دارای تعداد فرد کربن که نوپ به سگها خورانده بود مصنوعی بودند و در آزمایشگاه تهیه شده بودند .)

دو سال بعد دانشمند آلمانی شیمی حیاتی *گوستاو امبدن*^۱ به نکته دیگری در باره موضوع برخورد . وی متوجه شد که اگر بافت جگر با اسید چرب در محلول مورد آزمایش باشد ، يك ماده چهار کربنی در محلول باقی می ماند که نام آن

اسید استواستیک^۱ بود .



این ماده و تعدادی از مواد منسوب بدان را اجسام ستونی^۲ می گویند زیرا C=O (که گروه ستون است) دارد . اسید استواستیک نوعی اسید چرب است که بخشهای دو کربنی آن قابل جدا شدند و چنانکه بهزودی بیان خواهم کرد ، فرض بخشهای دو کربنی نوپ را تأیید کرد .

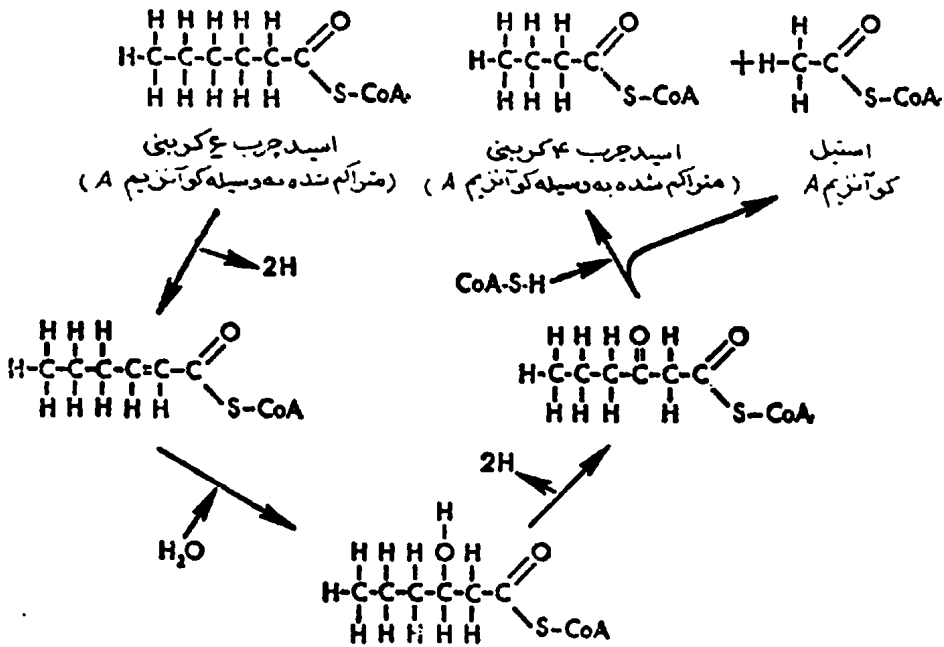
اگرچه اجسام ستونی در بافت جگر تولید می شوند ولی مقدارشان در خون و ادرار قابل ملاحظه نیست . ولی این ماده در ادرار و خون اشخاص مبتلا به بیماری دیابت هست . از آنجا که بیمار دیابتی دچار اختلال متابولیسم ئیدراتهای کربن است پس اثر این اختلال بر روی اجسام ستونی (که محصول متابولیسم لیپیدها هستند) نشان می دهد که رابطه ای میان این دو راه متابولیسمی وجود دارد .

این تنها چیزی است که از جزئیات متابولیسم لیپیدها دانسته شده بود و مسائل دیگر مربوط به آن تا آغاز روش نشان دار کردن با ایزوتوپها همچنان مجهول مانده بود تا آنکه در سال ۱۹۵۱ توانستند معادلات تغییرات لیپیدها را طی متابولیسم در بدن با اطمینان خاطر بنویسند .

اطلاعات حاصل حدس اولیه نوپ را تأیید می کنند . بدین معنی که زنجیر کربنی اسیدهای چرب ، اگر از انتهای کربوکسیل ، حساب شود ، از قطعات دو کربنی مرکب است . به این گفته نوپ دو چیز اضافه شد اول آنکه اسید چرب پیش از آنکه کاتابولیسمش آغاز شود با کوآنزیم A ترکیب می شود ، دوم آنکه جدا شدن

قطعات دو کربنی در چهار مرحله صورت می گیرد . (تصویر ۶۹)

نخستین مرحله يك دزئیدروژناسیون است . در این جریان يك اتم ئیدروژن از هر يك از دو کربن مجاور گروه کربوکسیل جدا می شود . مرحله دوم ئیدرا-تاسیون است . عنصرهای سازنده آب به نحوی اضافه می شوند که يك گروه ئیدروکسیل به دومین کربن بعد از گروه کربوکسیل افزوده می شود (این کربن دوم را « کربن

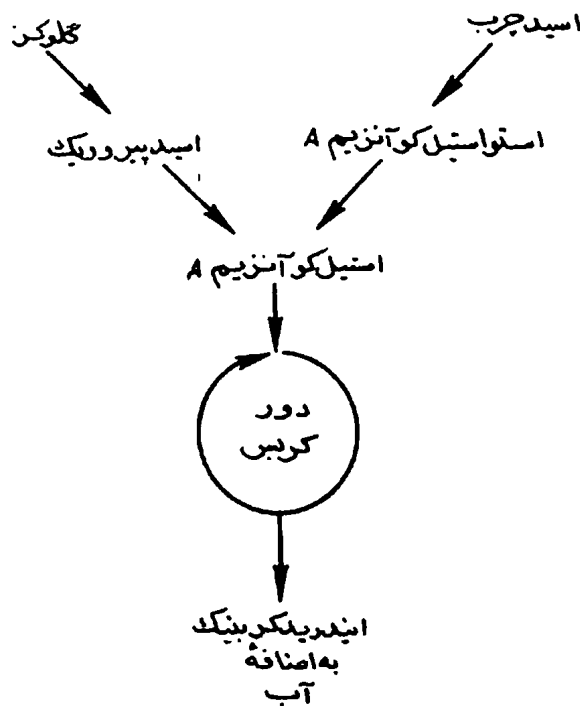


تصویر ۶۹ . دور اکسید شدن اسید چرب

بتا « می گویند و از اینروست که این فرایند « بتا اکسیداسیون » نام دارد) . در مرحله سوم ، دو اتم ئیدروژن دیگر جدا می شوند به طوری که کربن بتا ، جزء گروه ستون می شود . اگر به فرمول اسید استواستیک باز گردید ، خواهید دید که این اسید محصول مرحله سوم است . در مرحله چهارم دو کربن انتهایی به صورت استیل کوآنزیم A جدا می شوند و آنچه از زنجیر باقی می ماند يك اسید چرب نو است (که دو کربن کوتاهتر است) که با کوآنزیم A ترکیب می شود و تغییرات خود

را دنبال می کند .

این جریان را دور اکسید شدن اسید چرب می گویند . واقع امر این است که اکسید شدن اسید چرب به جای آنکه صورت دایره داشته باشد (دور) مارپیچی است زیرا به نقطه آغاز باز نمی گردد بلکه به اسید چربی باز می گردد که دو کربن کوتاهتر است و از آن به اسید چرب دیگری باز می گردد که دو کربن کوتاهتر از قبلی است و بر این قیاس . بدین روش اسید چربی که مانند اسید استئاریک ۱۸ کربن دارد به نه مولکول استیل کو آنزیم A تبدیل می شود .



تصویر ۷۰ . نئیدرات کربن و جربی به یکدیگر ملحق می شوند

وقتی که استیل کو آنزیم A به وجود می آید با اسید او کزالواستیک ترکیب می شود و اسید سیتریک به وجود می آورد و ، (چنانکه در فصل پیش اشاره شد) داخل دور کربس می شود . اینکه استیل کو آنزیم A از کاتابولیسم چربی یا از گلوکز

به وجود آمده باشد اهمیتی ندارد و بدن نمی تواند منشاء آنهارا بشناسد (تصویر ۷۰).
 استیل کوآنزیم A به روش عکس دورا اکسید شدن اسید چرب ، می تواند
 به صورت اسید چرب ترکیب شود . برای این کار دو مولکول استیل کوآنزیم با هم
 ترکیب می شوند و یک مولکول استواستیل کوآنزیم به وجود می آورند . سپس دو
 ئیدروژن بدان متصل می شود و مولکول آب از آن خارج می گردد ، دو مولکول
 ئیدروژن دیگر افزوده گشته ، حاصل عمل یک اسید چرب چهار کربنی است که
 همراه کوآنزیم A است . با ادامه افزودن یک استیل کوآنزیم دیگر زنجیر به درازای
 دلخواه خواهد رسید .

از اینجا نتیجه گرفته می شود که استیل کوآنزیم A همان آجر ساختمان
 مشترک است که در فصل ۱۹ وجود آنرا راه منطقی توجیه تبدیل نشاسته را به چربی
 و حفظ میزان گلوکز خون بر اثر استفاده از اندوخته های بدن بیان داشته ام .



بدیهی است که زنجیر تنفسی هم به کاتابولیسیم اسید چرب وابسته است و
 هم به کاتابولیسیم گلوکز . در هر دور اکسید شدن اسید چرب دو ئیدروژن ناسیون
 صورت می گیرد . نخستین ئیدروژن ناسیون را فلاوآنزیم و دومی را پیریدینوآنزیم
 تسریع می کند. بنابراین می توانیم چنین پنداریم که دو مولکول ATP در اولی وسه
 مولکول از آن در دومی به وجود می آید که در هر دور بر روی هم پنج ATP از
 فسفوریلاسیون اکسید کننده حاصل می شود .

برای اسید چربی ۱۸ کربنی چون اسید استاریک ۸ بار دورا اکسید شدن
 تکرار می شود و نه مولکول استیل کوآنزیم A به وجود می آید . (اشتباه نشود
 نه دورا اکسید شدن اتفاق نمی افتد : نواری کاغذی را که ۱۸ سانتیمتر درازی دارد
 اختیار کنید و آن را به قطعات ۲ سانتیمتری تقسیم کنید ، خواهید دید که برای

قسمت کردن آن به ۹ بخش ، از هشت جا باید بپیرید) .

بنابراین از تبدیل يك مولکول اسید استآریک به نه مولکول استیل کوآنزیم A ، ۸ بار ۵ یعنی ۴۰ مولکول ATP به وجود می آید. اگر به طرح دور کربس در تصویر ۶۶ بازگردید خواهید دید که در آن دور ، از استیل کوآنزیم A ، ۱۲ مولکول ATP حاصل شده است ، پس از ۹ مولکول استیل کوآنزیم 9×12 یعنی ۱۰۸ مولکول ATP حاصل خواهد گشت .

بنابراین اگر از طریق اسید استآریک به آب و انیدرید کربنیک برسیم $108 + 40$ یعنی ۱۴۸ مولکول ATP تشکیل می گردد ، ولی جریان به این سادگی نیست زیرا يك مولکول لیپید چون استآرین يك ماده سه الکلی به نام گلیسرین نیز دارد که با سه مولکول اسید استآریک ترکیب شده است . هر يك از این اسیدهای چرب ۱۴۸ مولکول ATP به وجود می آورد . گلیسرین هم به اسید پیروویک تبدیل می شود که خود ۱۵۰ مولکول ATP می سازد پس جمع کل ATP حاصل از کاتابولیسم استآرین بالغ بر ۴۵۹ خواهد شد .

چنانکه در فصل چهاردهم دیدیم از تبدیل يك گرم لیپید به آب و انیدرید کربنیک ۹ کیلوکالری انرژی حاصل می شود ، و می دانیم که وزن يك مولکول گرم استآرین ۸۹۱ گرم است . پس اگر يك مولکول گرم استآرین به آب و انیدرید کربنیک تبدیل شود 891×9 یعنی ۸۰۱۹ کیلوکالری به وجود خواهد آمد . با تشکیل ۴۵۹ مولکول ATP ، 459×8 یعنی ۳۶۷۲ کیلوکالری انرژی شیمیایی اندوخته شد . پس بازده $\frac{3672}{8019}$ یعنی ۴۵٪ خواهد بود و این بازدهی بسیار عالی است. اگر به تصویر ۶۶ بازگردید خواهید دید که استیل کوآنزیم A پس از ترکیب شدن با اسید اوکزالو استیک وارد دور کربس شده است ولی این اسید از متابولیسم ئیدراتهای کربن به وجود آمده است (و تا حدی از متابولیسم پروتئینها) نه از

متابولیسم لیپیدها .

پس اگر ئیدرات کربن در غذا نباشد ولی چربی فراوان باشد ، استیل کوآ نزیم A به مقدار زیاد ساخته می شود و حال آنکه اکسید اوکزالواستیک به مقدار کم . با تجمع تدریجی استیل کوآ نزیم A ، این ماده به اسید استواستیک و اجسام ستونی تبدیل می گردد و جمع می شود و شخص را دچار حالتی می کند که ستوزیس نام دارد . اگر غذای شبانه روزی لیپید زیاد ولی ئیدرات کربن کم داشته باشد آن را ستوزنیک^۱ می گویند زیرا تولید اجسام ستونی را موجب می شود . روزه گرفتن نیز ستوزنیک است زیرا در پایان روز اول اندوخته ئیدرات کربن در بدن تمام می گردد و انرژی لازم باید از لیپیدها گرفته شود . چنانکه امیدن کشف کرده اگر جگر را با اسیدهای چرب در محلول نگهدارند ولی ئیدرات کربن نیفزایند ستوزیس حاصل می شود .

ستوزیس حاصل از طریق روزه گرفتن یا خوردن غذای ستوزنیک آسیبی به بدن وارد نمی سازد زیرا نه روزه گرفتن چیزی است که شخص مدتها بدان ادامه دهد و نه خوردن غذاهای ستوزنیک دلپسند است . حتی اگر شخص ناگزیر باشد که به مدت مدید روزه بگیرد یا غذای ستوزنیک بخورد همان مقدار کم ئیدرات کربن غذا اثر ضد ستوزنیک خود را خواهد کرد و هیچ عارضه ای پیش نخواهد آمد . ستوزیس در بیمار دیابتی خطرناک است . اگر بیمار تحت معالجه نباشد پس اوضاع متابولیسمی ئیدراتهای کربن همواره مختل خواهند بود و کمبود اسید اوکزالواستیک روز به روز شدیدتر خواهد شد و ستوزیس تشدید خواهد گشت و اغما و مرگ دیابتی فقط به جهت سمیت اجسام ستونی است .

(همه لیپیدها در درجه اول به کار تولید انرژی نمی آیند . مولکولی از لیپید

که در این فصل مورد مثال قرار داده ام چربی ساده است و از اسیدهای چرب و گلیسرین مرکب است. چربیهای دیگر نیز هستند که به لیپیدهای مرکب موسومند و علاوه بر مواد مذکور دارای گروههای فسفات و چند گروه نیتروژن دار هستند. نیز موادی چون کلسترول وجود دارند که خواص لیپیدها را دارند و حال آنکه ساختمان مولکولی آنها با لیپیدها کاملاً تفاوت دارد.

کلسترول کار مخصوصی در بدن به عهده دارد. لیپیدهای فسفات دار جزء ساختمان غشای میتو کوندری است که، چنانکه در فصل پیش اشاره کرده ام، جایگاه آنزیمهای دور کربس و زنجیر تنفسی است. نیز کلسترول بخش اعظم غلاف لیپیدی اعصاب را تشکیل می دهد.

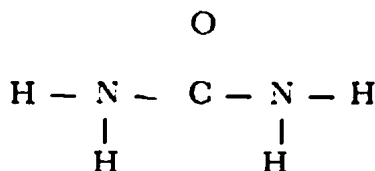
(لیپیدهای مرکب و کلسترول مانند لیپیدهای ساده مقادیر زیادی انرژی اندوخته دارند ولی کار آنها در بدن به قدری حیاتی است که اگر بدن در بی غذایی و در نتیجه به انرژی احتیاج فراوان داشته باشد، از این مواد استفاده نمی کند. علت اینکه در کتاب از شرح آنها خودداری کرده ام آن است که در تولید انرژی به کار نمی آیند).



اکنون به پروتئینها که پس از هضم به صورت اسیدهای آمینه وارد بدن می شوند بپردازیم. پروتئینها پیش از آنکه در بدن برای تولید انرژی مورد استفاده قرار گیرند باید نیتروژن از آنها جدا گردد.

در سال ۱۷۷۳ شیمی دان فرانسوی ژ. اف. روئل^۱ ماده نیتروژن داری در ادرار کشف کرد و نام آن را اوره گذاشت (چون از ادرار «Urine» به دست آمده بود). در اوایل قرن نوزدهم هنگامی که شناختن ساختمان شیمیایی پروتئینها

آغاز شده بود، اوره را راه طبیعی از دست رفتن اینترورژن پروتئینها شناختند. فرمول اوره به قرار زیر است :



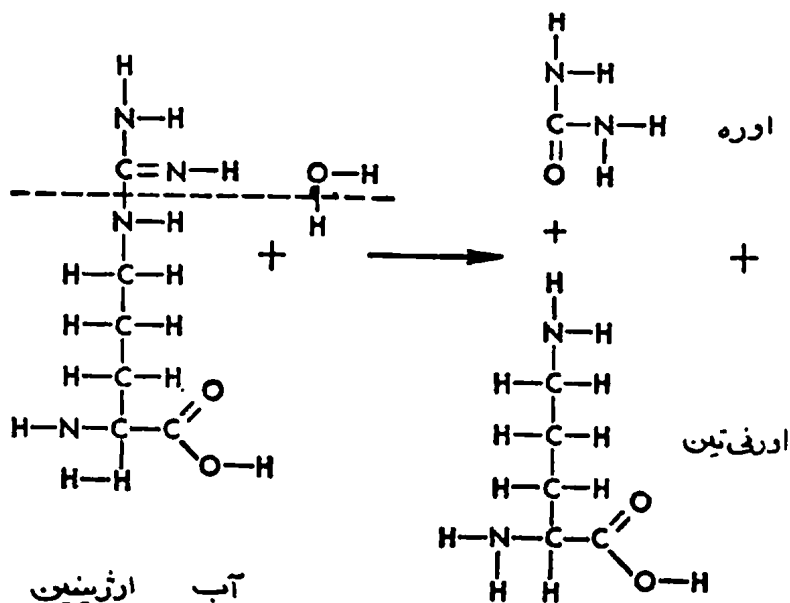
یا NH_4CONH_2 . اوره در دو پیشرفت مهم شیمی حیاتی وارد بود. اول آنکه نخستین ماده آلی بود که از مواد غیر آلی ساخته شده بود (فصل سیزدهم). دوم آنکه آنزیم تجزیه کننده آن نخستین آنزیمی بود که به صورت بلور به دست آمد. (فصل ۱۵)

روش تولید اوره در بدن در تمام مدت قرن نوزدهم مجهول مانده بود ولی در نخستین دهه قرن بیستم که هاردن و یونگ از يك طرف و نوپ از طرف دیگر در جستجوی متابولیسم حد واسطه نیدراتهای کربن و لیپیدها بودند، دانشمند آلمانی شیمی حیاتی آلبرشت کمل^۱ و همکار انگلیسی اش هنری درایسدل^۲ اکین^۳ به پیدا کردن متابولیسم حد واسطه پروتئینها اشتغال داشتند.

این دانشمندان آنزیمی به نام ارژیناز^۴ کشف کردند که اسید آمینه ای به نام ارژینین را نیدرولیز می کرد. در نتیجه تأثیر ارژیناز روی ارژینین، چنانکه در تصویر ۷۱ نشان داده شده، اوره به وجود می آمد. بخشی از مولکول ارژینین که پس از تولید اوره باقی می ماند اسید آمینه ای به نام اورنی تین بود، که فقط به عنوان ماده حد فاصل تولید اوره به دست می آید و جزء مولکولهای پروتئیدهای مختلف نیست.

اهمیت ارژیناز از چند طریق تأیید شد. اوره در جگر تولید می شود (زیرا

اگر جگر جانوری را بردارند تولید اوره متوقف می شود . و نیز ارژیناز در جگر فراوان تر است . حیواناتی چون پستانداران و دوزیستان که اوره تولید می کنند ارژیناز دارند ولی حیواناتی چون پرندگان و خزندگان که مواد دیگر نیتروژن دار تولید می کنند ارژیناز ندارند . آشکار است که هر ساز و کاری که در



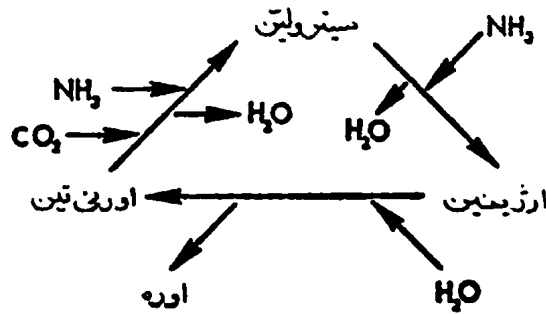
تصویر ۷۱ . هیدرولیز ارژینین

بدن اوره می سازد ارژینین و ارژیناز در آن دست اندرکارند .

اما مسئله اینجاست که انسان در شبانه روز به راحتی ۳۵ گرم اوره تولید می کند بدون آنکه از اندوخته ارژینین بدن کم شود . ارژینین باید از اورنی تین تولید گردد .

این مسئله در سال ۱۹۳۲ به وسیله کربس (که بعداً دور کربس را کشف کرد) و همکارش کا . هنزلیت^۱ در نتیجه مطالعه روی قطعات جگر روشن شد . از این گذشته متوجه شدند که ارژینین تولید اوره را تحریک می کند ، البته این امری غیر منتظره

نبود، نیز اورنی تین چنین می‌گردد. بنابراین امکان اینکه جگر اورنی تین را به ارژینین تبدیل کند تقویت شد. سرانجام متوجه شدند که ماده‌ای به نام سیتروولین که از نظر ساختمان مولکولی شبیه ارژینین است نیز تولید اوره را تحریک می‌کند. کربس و هنزلایت برای توجیه همه این امور، طرحی به نام دور اوره^۱ ریختند. این طرح در تصویر ۷۲ نشان داده شده است. چنانکه می‌بینید در این طرح اورنیتین و سیتروولین وارژینین مرتباً در حال ترمیم هستند ولی برای تبدیل اورنی تین به سیتروولین یک مولکول امونیاک و یک انیدرید کربنیک به دستگاه اضافه می‌شود،



تصویر ۷۲. دور اوره

امونیاک دیگری نیز برای تبدیل سیتروولین به ارژینین افزوده می‌گردد. و اما راجع به آب، یک مولکول آن برای هیدرولیز ارژینین به دستگاه اضافه می‌شود ولی یک مولکول هم در هر یک از دو مرحله بعد از آن خارج می‌گردد، پس بر روی هم یک مولکول از دستگاه بیرون می‌رود و پس از هیدرولیز ارژینین یک مولکول اوره خارج می‌شود. بنابراین واکنش کلی به‌قرار زیر است:



بدیهی است که بیان دور اوره بدین صورت یک ساده سازی است و هنگامی که این طرح پیشنهاد شده بود کسی نمی‌توانست قبول کند که مولکولهای امونیاک

به همین صورت شوند زیرا امونیاك بسیار سمی است و هیچ گاه در هیچ جای بدن امونیاك دیده نمی شود. در دهه ۱۹۵۰ پس از به کار بردن ایزوتوپهای نشان دار توانستند طریق این تبدیل را به درستی بشناسند.

به طوری که معلوم شده گروه نیتروژن داری که افزوده می شود به صورت گروه امین از اسیدهای امینه حاصل می گردد. در تبدیل اورنی تین به سیترو لین، اسید گلو تامیک (که یکی از اسیدهای امینه معمولی است) یک گروه امین و چیزی معادل انیدرید کربنیک بدان می دهد. برای این کار باید از پیوند فسفات پرا انرژی ATP استفاده کند. برای تبدیل سیترو لین به آرژینین اسید امینه دیگری به نام اسید اسپارتیک به پتیل ATP، گروه امین به سیترو لین می دهد.

بدین طریق تولید اوره یک واکنش انرژی خواه است و هر دور اوره دو مولکول ATP لازم دارد.

اسید گلو تامیک و اسید اسپارتیک تنها اسیدهای امینه ای نیستند که گروه امین خود را برای تولید اوره می دهند. در دهه ۱۹۳۰ شونهایمر که قبلاً در این فصل از آن یاد کرده ام، هنگامی که با N^{15} کار می کرد، نشان داد که اگر یک اسید امینه با N^{15} نشان دار شود، همه اسیدهای امینه (به استثنای لیزین که مورد خاصی دارد) با آن نشان دار می شوند. معنی اش این است که گروه امین مرتباً از ماده ای به ماده دیگر انتقال می یابد. آنزیمی که این انتقال را سبب می شود ترانس آمیناز نام دارد. پس از انتقال گروه امین یک پیوند مضاعف اکسیژن ($=O$) جای گروه امین را می گیرد ($-NH_2$) به تصویر ۷۳ مراجعه شود.

(ترانس آمینازها از آنزیمهایی هستند که کوآنزیم آنها «پیریدوکسال فسفات» است. این شامل گروهی اتمی است که بدن نمی تواند از آن بسازد.

این يك ویتامین B دیگر است که نامش پیریدوکسین است .)

بنابراین سیر گروههای امین از اسیدهای امینه به اسید گلوتامیک و اسید آسپارتیک و از آنها به دور اوره است . اسیدهای امینه‌ای که اتمهای نیتروژن اضافی یا حتی گوگرد دارند ، این مواد را در میان راه می‌گذرانند و من وارد جزئیات آنها نمی‌شوم . فقط به گفتن این نکته اکتفا می‌کنم که به هر طریق ، همه اتمهای نیتروژن و گوگرد جدا می‌شوند و فقط اسکلت کربنی باقی می‌ماند .

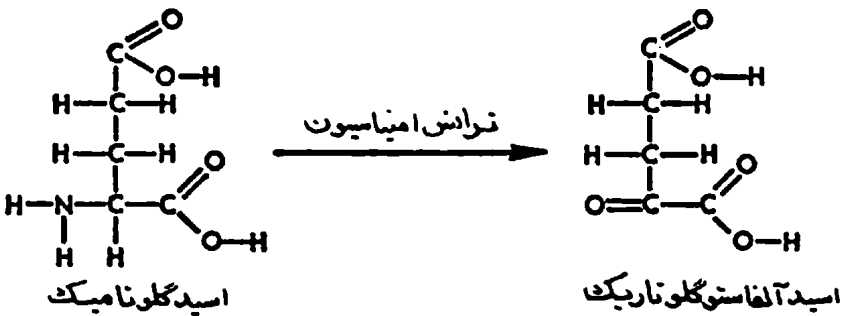
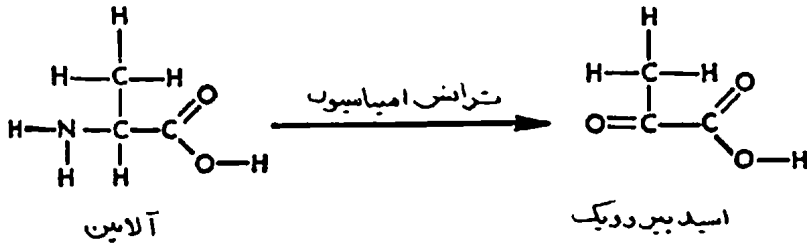
این اسکلت کربنی ممکن است یکی از موادی باشد که در حین شرح کاتابولیسیم نیدرانتهای کربن و چربی‌ها از آنها یاد کرده‌ایم . مثلاً وقتی که آلانین گروه امین از دست بدهد به جای آن يك پیوند مضاعف اکسیژن می‌گیرد و به اسید پیروویک تبدیل می‌شود .

اسید پیروویک به کمک کوآنزیم A ، انیدرید کربنیک از دست می‌دهد (دکربوکسیلاسیون) و استیل کوآنزیم A تولید می‌کند که وارد دور کربس می‌شود . برای بدن تفاوتی نمی‌کند که اسید پیروویک از گلوکز به دست آید یا از آلانین . اسید پیروویک در همه حال و از هر منشائی که باشد حاوی انرژی است . اسیدهای امینه دیگر مانند والین ، سرین ، ترئونین و سیستئین نیز به روش غیر مستقیم به اسید پیروویک تبدیل می‌گردند .

تعداد کمی از اسیدهای امینه مانند لوسین ، به اسید استواستیک تبدیل می‌شوند و به استیل کوآنزیم A مبدل می‌گردند و از طریق کاتابولیسیم لیپیدها وارد دور کربس می‌شوند .

اسیدهای امینه دیگری نیز مستقیماً وارد دور کربس می‌شوند . مثلاً اسید اسپارتیک پس از دست دادن گروه امین به اسید اوکزالواستیک ، و اسید گلوتامیک پس از دادن گروه امین به آلفاستو گلو تاریک تبدیل می‌گردند و هر دو این مواد

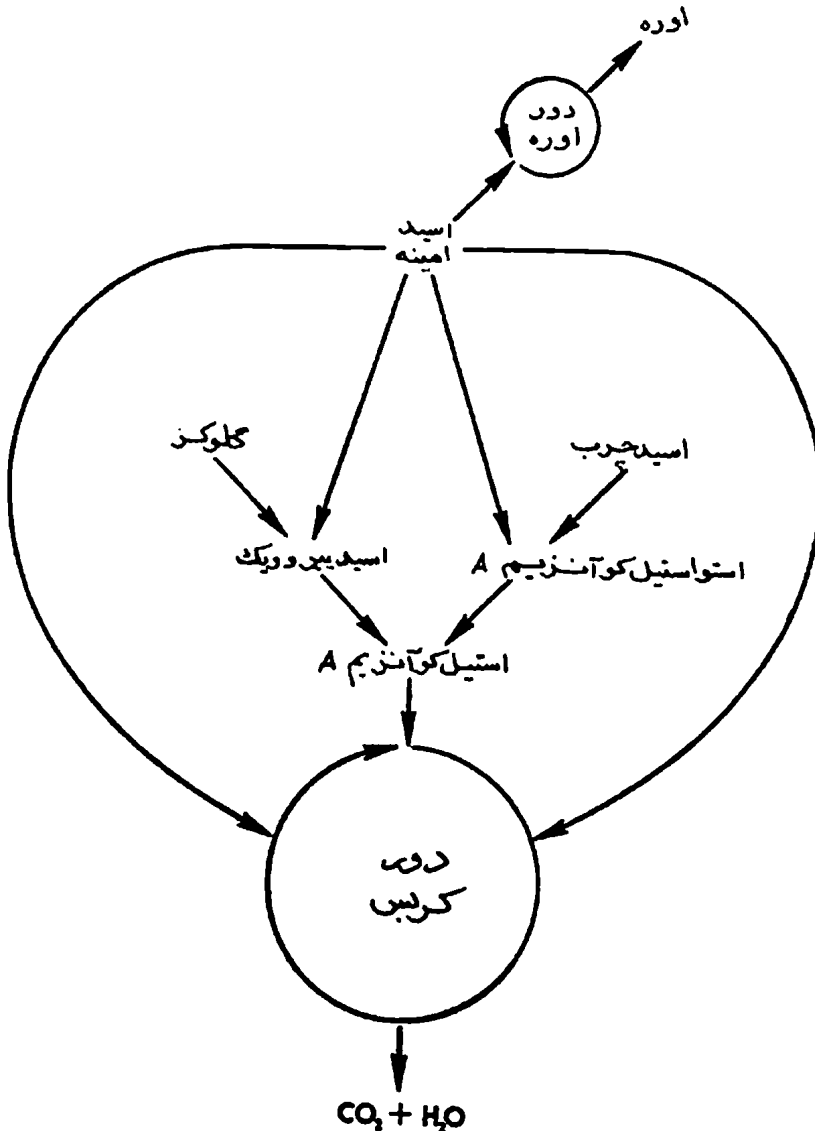
از مواد حد واسط دور کربس هستند و می توانند در هر لحظه در آن وارد گردند .
در تصویر ۷۴ روابط متقابل میان کاتابولیسم پروتئینها و لیپیدها و تیدراتهای
کربن نشان داده شده است .



تصویر ۷۳ . ترانس آمیناسیون

بدیهی است که اگر واکنشهای کاتابولیسمی گوناگون در جهت عکس سیر
کنند از اسکلت های کربن دار مناسب اسیدهای آمینه ساخته خواهد شد . مثلاً اگر
بدن اسید گلوتامیک و آلانین زیادتری دارد ، می تواند یک گروه آمین از اسید
گلوتامیک به اسید پیروویک بدهد و از آن آلانین بسازد . اگر عکس آن نیز

صادق باشد می‌تواند از آلانین یک گروه آمین بگیرد و به اسید آلفاستوگلو تاریک بدهد و از آن اسید گلو تامیک بسازد. وجود اسیدهای آمینه‌ای که با واکنشهای معکوس در بدن ساخته می‌شوند در جیره غذایی الزامی نیست.



نصیر ۷۴. الحاق پروتئین

از سوی دیگر طی واکنشهای فوق بعضی از اسیدهای آمینه اسکلت کربنی

به وجود می آورند ولی با آنکه این قدم را به سوی تبدیل بر می دارند معهذابرگشت ناپذیرند. بنابراین ، این گونه اسیدهای امینه از مواد حد واسط متابولیسیم ساخته نمی شوند و باید در جیره غذایی موجود باشند . اینها همان اسیدهای امینه اصلی هستند که در فصل نوزدهم نام بردم و در باره آنها بحث کردم .

فصل بیست و پنجم

منبع غایی

چنانکه در دو فصل پیش بیان کرده‌ام، انرژی حاصل از کاتابولیسم ئیدراتهای کربن و لیپیدها به صورت پیوندهای فسفات پرا انرژی اندوخته می‌شود و بازده آن ۴۵ درصد است. اگرچه بازدهی عالی است و در مقایسه با بازده ماشینهای ساخت انسان زیاد است ولی نباید فراموش کرد که بیش از نصف انرژی مواد غذایی از میان می‌رود. (منظور این نیست که به کلی از میان می‌رود. حتی اگر به صورت ساده گرما از دست برود باز هم برای گرم کردن بدن حیوانات خون گرم چون انسان مفید واقع می‌شود.)

از این گذشته موقع استفاده از ATP نیز مقدار دیگری انرژی از دست می‌رود. بدین طریق که وقتی ATP برای تشکیل «قند - فسفات» یا پیوند پپتیدی به کار می‌رود، برای واکنشی که بیش از چهار کیلو کالری نیاز ندارد (شاید هم به ۵۰ کیلو کالری احتیاج باشد) ۸ کیلو کالری تولید می‌گردد.

بنابراین اگر کل انرژی در نظر گرفته شود، فقط ده درصد انرژی مواد غذایی در راه کاهش انرژی به کار می‌آید، و ۹۰ درصد بقیه، طبق قانون دوم

ترمودینامیک در ماده زنده نیز ، به صورتی اجتناب ناپذیر صرف بالا بردن انرژی می شود .

از همه آنچه بیان گردید این نتیجه حاصل می شود که ۱۰ کیلو گرم غذای قابل هضم معادل یک کیلو گرم بافت زنده است . اکنون فرض کنید که نوعی موجود زنده (مصرف کننده) از خوردن یک نوع جاندار دیگر روزگار بگذرانند (تولید کننده) . اگر « مصرف کننده » بخواهد توده کل بافتهای خود را طی نسلهای متمادی حفظ کند ، « تولید کننده » باید توده کل بافتهای خود را دست کم ده برابر مصرف کننده نگهدارد . به عبارت دیگر تولید کنند نه تنها باید خود را حفظ کند بلکه باید باعث حفظ مصرف کننده نیز بشود و حال آنکه ۹۰ درصد آنچه را به مصرف کننده می دهد هدر خواهد رفت .

اگر مصرف کننده به نوبه خود غذای جاندار دیگری باشد (مصرف کننده دست دوم) ، باید توده کل بافتهای خود را دست کم ده برابر « مصرف کننده دست اول » نگهدارد - وضع مصرف کننده دست سوم و دست چهارم نیز بر همین قیاس است . با ذکر مثالی مسئله را توضیح می دهیم . اگر شیر از گورخر تغذیه کند و اگر تعداد افراد هر دو نوع حیوان در وضعی متعادل باشند ، پس به ازای هر کیلو گرم شیر باید ده کیلو گرم گورخر موجود باشد و چون گورخر از علف تغذیه می کند به ازای هر کیلو گرم گورخر باید ده کیلو گرم علف ، یعنی صد کیلو گرم علف به ازای یک کیلو گرم شیر موجود باشد .

این مثالی از زنجیر غذایی است و به صورت هر می است که رفته رفته کوچک می شود . این زنجیر غذایی نمی تواند مراحل بسیار زیاد داشته باشد زیرا ده درصد ده درصد ده درصد ، اگر چه مقدار اولیه بسیار بزرگ باشد ، خیلی کوچک خواهد شد . تعداد انواع معدودی که در رأس هرم زنجیر غذایی قرار دارند - اگر چه

بسیار بزرگ و قوی باشند و بتوانند جانوران گوشتخوار نسبتاً بزرگ را بدرند و خود آنقدر بزرگ و قوی باشند که خورده نشوند، خواه ناخواه محدود خواهد بود. خرس قطبی که از فکها تغذیه می کند یا کاشالوت^۱ که از اسکویدهای غول پیکر می خورد یا وال مخوفی که از خوردن والهای دیگر زنده می ماند، از انواعی هستند که برای طبیعت گران تمام می شوند و مقادیر زیاد غذا را هدر می دهند و زمین نمی تواند تعداد کثیری از آنها را نگهدارد.

هر نوع جاننداری، برای آنکه زمین توده کل بافتهای زنده اش را بهتر حفظ کند، به عبارت دیگر برای بهتر کردن موقعیتش در روی زمین، باید یک یا چند حلقه از زنجیر غذایی را کاهش دهد. مثلاً اگر شیری بتواند به جای گورخر علف بخورد غذای موجودش ده برابر خواهد شد، بنابراین تعداد شیرهای روی زمین ممکن است ده برابر شود و همه مانند شیرهای فعلی به خوبی زندگی کنند بدون آنکه نیازی به اندوخته غذایی بیشتر داشته باشند.

بدیهی است که شیر قادر بدچنین کاری نیست ولی علفخوار بودن فیل واسب آبی و کرگدن که بزرگترین جانوران خشکی هستند امری اتفاقی نیست.

مسلماً است که در زمانهای بسیار قدیم حیوانات گوشتخوار بزرگتر از فیل نیز وجود داشته اند. مثلاً تیرانوزوروس^۲ بزرگترین گوشتخواری که زمین به خود دیده، جثه ای دو برابر فیل داشته است. ولی علفخوارانی هم که تیرانوزوروس از آنها تغذیه می کرده از علفخواران کنونی بزرگتر بوده اند. از این گذشته بزرگترین خزندگان غول پیکر دوران دوم، چون برانکیوزوروس و پروتوزوروس علفخوار بوده اند.

اقیانوس که جاندارانی بیشتر از خشکی دارد، واجد بزرگترین گوشتخواران

نیز هست. کاشالوت به بزرگی بزرگترین دینوزورهاست و گوشتخوار است و از سایر گوشتخوارها (اسکوبدها) که کوچکتر از خود او نیستند می خورد. ولی بزرگترین والها، بخصوص وال معروف به «Sulfur - Bottom» به ۱۵۰ تن می رسد و بزرگترین حیوانی است که زمین تا کنون به خود دیده، بسیاری از حلقه های زنجیر غذایی را کاسته و از سخت پوستان کوچک میگو مانند و سایر جانداران کوچک تغذیه می کند. این وال مقادیر زیاد آب را با حیوانات درون آن به دهان می برد و آب را از میان تیغه های بلند نرده مانند که در آرواره بالایی آن هست، بیرون می ریزد و حیوانات آن را در دهان نگه می دارد.

همه این مسائل در مورد انسان نیز صادق است. خردمندی انسان نمی تواند قوانین ترمودینامیک را لغو کند. درست است که انسان می تواند مقدار غذای خود را با امحای انواعی که نمی تواند بخورد (یا نمی خواهد بخورد) زیاد کند. بدین معنی که می تواند جنگلها را قطع کند و جای آنها غله بکارد، و هر چه گیاه غیر لازم است از میان ببرد و همه حشرات را بکشد (یا دست کم آنچه را که می تواند بکشد)، با همه این احوال باید به اندازه ده برابر وزن انسانها غذا در دسترس داشته باشد.

انسان نیز در نتیجه فشار حوادث می تواند چند حلقه از زنجیر غذایی را کم کند. اگر انسان بخواهد از حیوانات علفخوار تغذیه کند باید صد کیلو گرم گیاه به ازای هر کیلو گرم بدن خود در اختیار داشته باشد ولی اگر انسان بخواهد مستقیماً گیاهخوار باشد به ازای هر کیلو گرم وزن خود به ده کیلو گرم گیاه نیازمند خواهد بود. با افزایش جمعیت جهان، چنانکه در غذای شبانه روزی آسیایها در حال حاضر دیده می شود، انسان خواه ناخواه به گیاهخواری سوق داده می شود.

اگر زنجیر غذایی فقط به موجودات زنده محدود بود ، حیات به زودی از میان می‌رفت ، زیرا مقدار بافتی که در هر غذا به هدر می‌رود بسیار زیاد است و به مدت مدید قابل جبران نیست . اگر دیده می‌شود که حیات علی‌رغم این اشکالات میلیونها سال باقی مانده بدین سبب است که از خارج مادهٔ زندهٔ انرژی وارد زنجیر غذایی گشته و مقدارش کافی برای جبران اتلاف انرژی بوده است .

منابع بزرگ انرژی جهان بی‌جان اطراف ما عبارتند از : ۱- تشعشعات خورشید ، ۲- باد ، ۳- آب جاری ، ۴- جزرومد ، ۵- گرمای داخلی خورشید و ۶- واکنشهای هسته‌ای .

از میان این منابع ، انرژی جزرومد به بخش کوچکی از سطح زمین محدود است و قدرت آب نیز تقریباً ناچیز است . قدرت باد اگرچه چندان محدود نیست ولی سیار است به طوری که غیرممکن است بتواند منبع ثابتی باشد . گرمای داخلی زمین یا ناچیز است یا اگر ظاهر می‌شود صورت فاجعه دارد مانند زلزله و آتش فشان . انرژی هسته‌ای (که به صورت رادیواکتیویته طبیعی یا تشعشعات کیهانی و مانند آنهاست) ، بسیار ضعیف است . هیچ‌یک از این منابع به اندازهٔ کافی شدت و توسعه و ثبوت ندارد و رام‌شدنی نیست تا بتواند انرژی قابل اعتمادی برای پی‌ریزی حیات باشد .

پس از حذف این ۵ منبع تنها منبعی که باقی می‌ماند ، تشعشعات خورشید است . نیازی به اثبات این نیست زیرا سطحی‌ترین مشاهدهٔ جهان اطراف ما ، معلوم می‌دارد که منبع غایی انرژی حیاتی تشعشعات خورشید است . زنجیر غذایی به هر حال به گیاهان سبز منتهی می‌شود . گیاه سبز تولیدکننده است . اگر زنجیر غذایی به خوبی در خشکی و دریا دنبال شود معلوم خواهد شد که همهٔ حیوانات روی کرهٔ زمین از گیاهان سبز می‌خورند . زندگی گیاهی در دریا بیشتر صورت موجودات

سبز تک سلولی به نام جلبك دارد. جلبكها اگرچه منفرداً میکروسکوپی هستند ولی وزن کل آنها از وزن کل همه موجودات زنده پر سلولی بیشتر است. (گیاهانی نیز وجود دارند که سبز نیستند مانند قارچها. این گیاهان فقط روی مواد آلی به سر می برند و از نظر انرژی معادل حیواناتند. بدین معنی که انرژی لازم را از موجود زنده یا بقایای آنها می گیرند نه از جهان بی جان.) در واقع گیاهان سبز، به آن معنی که در حیوانات و حتی قارچها صادق است، چیزی نمی خورند. گیاهان سبز می توانند در غیاب مواد آلی رشد کنند. میان گیاهان برای به دست آوردن نور، به همان صورت که برای به دست آوردن غذا در حیوانات هست، مسابقه ای وجود دارد. بعضی از گیاهان می توانند در نور غیر مستقیم، یعنی در سایه رشد کنند ولی هیچ گیاه سبزی نمی تواند در تاریکی کامل زندگی کند به همان گونه که هیچ حیوانی نمی تواند بدون غذا زنده بماند. هر کسی که زندگی گیاهی جنگلهای پر باران مناطق حاره را دیده توجه یافته است که این گیاهان به سوی خورشید می رویند و برگهای پهن خود را برای به دست آوردن نور بیشتر می گسترده اند و برای این کار چنان تنازعی در میان آنها هست که به خشونت و بی رحمی تنازع میان حیوانات است و ذره ای از آن کمتر نیست ولی چون در سکوت و کندی می گذرد و طعمه آنها موجود زنده نیست بلکه نور غیر مادی خورشید است به درجه تنازع میان حیوانات آشکار نیست. اساساً برای دیدن تنازع میان گیاهان احتیاجی به بازدید مناطق حاره نیست. چمنهای حومه شهر عیناً محل چنین تنازع میان گیاهان است. برگهای پهن گل قاصد که خود را برای جذب اشعه خورشیدی گسترده اند، برگهای باریک چمن زیر خود را با بی رحمی از نور محروم می کند و به مرگ می کشاند.

ولی نور خورشید غیر عادی است و اگر هم انرژی فراهم می‌سازد برای گیاهی است که از ماده ساخته شده است و گیاه باید آن انرژی را به صورت مواد شیمیایی انبار کند. پس این مواد شیمیایی از کجا می‌آید؟



چون گیاه در خاک به سر می‌برد این امکان هست که مواد لازم را از خاک بگیرد. در دهه‌سال ۱۶۶۰ این امر به وسیله شیمیدانی به نام جان بابتیستاوان هلمونت^۱ با کاشتن بیدی به مدت ۵ سال در يك گلدان مورد آزمایش قرار گرفت. درخت بید رشد کافی کرده و وزنش متجاوز از ۷۵ کیلو گرم شده بود، ولی از وزن خاک گلدان چیزی جز قریب ۳۰ گرم کسر نشده بود. نتیجه‌ای که جان هلمونت گرفته بود این است که گیاه این همه ماده پیکر خود را از خاک نگرفته بلکه از آبی گرفته که هر روز برای آبیاری آن به گلدان می‌افزودند، و بدون آب هیچ گیاهی در بهترین شرایط نمی‌تواند زنده بماند.

نظر جان هلمونت از دیده علم امروزی درست بود. زیرا خاک از سیلیکات-آلومینیوم و سایر موادی مرکب است که نقشی در متابولیسم ایفا نمی‌کنند. در واقع عمل خاک بیشتر جنبه مکانیکی دارد زیرا جایی محکم و قابل نفوذ برای ریشه دواندن گیاه به وجود می‌آورد و آب مورد نیاز گیاه را در خود نگه می‌دارد. از سوی دیگر لزوم آب نه تنها از نظر این است که قسمت اعظم بافت گیاه (مانند بافت همه موجودات زنده) را به وجود می‌آورد، بلکه به مقدار کم از مواد غیر آلی مورد لزوم زندگی گیاه را محلول می‌سازد و در دسترس آن قرار می‌دهد و حال آنکه گیاه قادر نیست به صورت غیر محلول از آنها استفاده کند. کودی که به پای گیاهان می‌ریزند برای تأمین کسری این گونه مواد غیر آلی مورد نیاز گیاه

است که به وسیله نسلهای قبلی گیاهان از خاک گرفته شده است .

در واقع می توان گیاهی را در محلولی حاوی مواد غیر آلی لازم و خارج از خاک به خوبی رویانید . این نوع عمل آوردن گیاه را *نیدروپونیک* می گویند . پس معلوم می شود که *وان هلمونت* حق داشته که آب را برای گیاه مهمتر از خاک به حساب آورد . ولی این که آب را مهمترین چیز برای رشد گیاه پنداشته بود در اشتباه بود زیرا آب و مواد غیر آلی کافی برای تأمین زندگی گیاه نیستند . این موضوع در قرن هجدهم به وسیله شیمی دانها در نتیجه مطالعه دقیق ساختمان مواد آلی کشف شده است .

مواد آلی اختصاصی بافت زنده کربن دارند و کربنی که به صورت محلول در خاک هست کافی برای تأمین کربن رشد گیاه نیست . در روشهای « *نیدروپونیک* » به این نتیجه رسیدند که گیاه اگر در محلولی که کاملاً فاقد کربن است رویانده شود ، از این عنصر به مقدار کافی فراهم می سازد . پس وقتی که خاک و آب بدون کربن باشند تنها منبعی که باقی می ماند اتمسفر است .

وان هلمونت نخستین کسی بود که به وجود گازهای مختلف پی برد و به شرح خصوصیات یکی از آنها که ، اکنون *نیدرید کربنیک* می نامیم پرداخت . طی قرن بعد تحقیقات در باره گازهای مختلف همچنان با شدت ادامه یافت تا آنکه در سال ۱۷۲۷ فیزبولوژیست انگلیسی *استفن هیلز*^۱ که در مورد گازها مطالعه می کرد توجه یافت که حل مشکل *وان هلمونت* در مورد رشد گیاه در خود *نیدرید کربنیک* یعنی در همان گازی است که خود کاشفتن بوده است .

ولی *نیدرید کربنیک* اتمسفر فقط در حدود ۰.۰۳٪ حجم آن است و مایه کمال تعجب است که گازی به این قلت بتواند منبع کربن همه گیاهان روی زمین باشد.

اما نباید از نظر دور داشت که حجم اتمسفر بسیار زیاد است و جرم کلش، برای آنها که همواره اصطلاحات «بدسبکی هوا»، «هوا شد و از بین رفت» را به کار می‌برند، باور نکردنی است. مقدار کل کربن موجود در انیدرید کربنیک اتمسفر، چه باور کنید و چه نکنید، $10^4 \times 4$ کیلوگرم است. و پنجاه برابر این مقدار در آب اقیانوسها یا به صورت انیدرید کربنیک یا به صورت یون بیکربنات محلول است. به طوری که جرم کل کربنی که در هوا و آب در دسترس جانداران است بر روی هم $10^7 \times 2$ کیلوگرم است.

به طوری که تخمین می‌زنند مجموع کل کربن موجود در بدن موجودات زنده روی زمین $10^5 \times 25$ کیلوگرم است. پس کربن موجود در آب و هوا هیچ‌ده برابر کربن موجود در بافت‌های زنده خواهد بود، ولی چنانکه در آغاز فصل اشاره کرده‌ام غذا باید دست‌کم ده برابر جاندار خورنده باشد و اگر کربن انیدرید کربنیک غذای عمومی همه موجودات زنده به حساب آورده شود، پس مقدار آن کافی برای تأمین زندگی همه موجودات روی سیاره ما هست.

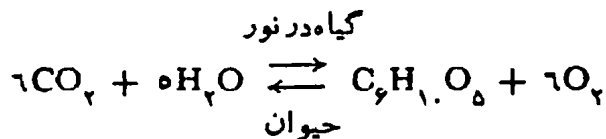
در دهه سال ۱۷۷۰ کشیشی انگلیسی به نام جوزف پریتلی^۱ قدمی فراتر رفت. وی گیاهی را در فضای مسدودی رویانید. گیاه در حین رشد از انیدرید کربنیک محدود فضای اطراف خود استفاده کرد و آن را جزء بافت‌های خود ساخت ولی اگر چه آب و نور خورشید در دسترسش بودند، نتوانست به رشد خود ادامه دهد. از سوی دیگر وقتی که موشی در آن فضای مسدود قرار داده می‌شد پس از مصرف کردن اکسیژن می‌مرد. ولی وقتی که گیاه و موش را با هم در فضای محدود قرار دادند مدتی درازتر از آنکه به تنهایی زندگی می‌کردند، توانستند در کمال راحتی با هم زندگی کنند. پریتلی چنین نتیجه گرفته بود که گیاهان نه تنها انیدرید

کربنیک به مصرف می‌رسانند، اکسیژن هم پس می‌دهند و حال آنکه حیوانات اکسیژن می‌گیرند و انیدرید کربنیک پس می‌دهند، پس هر يك از این دو موجود احتیاجات دیگری را تأمین می‌کند.

یان اینگن‌هاوس^۱ پزشک هلندی نظر پرستلی را به مقیاس سیاره زمین توسعه داده، و در کتابی که در سال ۱۷۷۹ منتشر ساخته خاطر نشان کرده است که میان زندگی گیاهی و حیوانی روی کره زمین موازنه‌ای هست. گیاهان آب و انیدرید کربنیک جذب می‌کنند و به کمک نور (برای اولین بار به وضوح از نقش نور صحبت داشته بود) بافتهای خود را می‌سازند و اکسیژن آزاد می‌کنند. از آنجا که برای ساخته شدن بافتها از انیدرید کربنیک و آب نور لازم است، این فرایند را فتوسنتز^۲ نامید که در زبان یونانی به معنی ترکیب کردن به کمک نور است.

اینگن‌هاوس از سوی دیگر اعلام داشت که حیوانات با خوردن گیاهان و تنفس کردن اکسیژن بافت گیاهی را در بدن خون با اکسیژن ترکیب می‌کنند و بار دیگر آب و انیدرید کربنیک به وجود می‌آورند.

با پیشرفت شیمی غذایی، معلوم شد که نشاسته صورت معمولی انرژی اندوخته در گیاه است. اگر فرمول نشاسته را $C_6H_{10}O_5$ نشان دهیم، نظر اینگن‌هاوس را به صورت معادله زیر می‌توان نوشت:



چنانکه دیده می‌شود در این میان ماده‌ای از میان نرفته است. کربن و نیتروژن و اکسیژن میان گیاهان و حیوانات و از خشکی به دریا طی فرآیندی که

دورکربن^۱ نام دارد همچنان در گردش است. سایر عنصرها نیز در فرایندهایی دوری در گردش هستند. مانند نیتروژن و گوگرد و فسفر که گیاه از خاک می‌گیرد و جزء بافت خود می‌سازد. حیوانات در نتیجه خوردن گیاهان از این عنصرهای گوناگون استفاده می‌کنند و از طریق مواد دفعی بدزمین پس می‌دهند نیز پس از مرگ که جسدشان بدوسیله باکتریها متلاشی می‌شود، آن عنصرها بدزمین داده می‌شود.

تنها چیزی که در تغییرات دوری شیمیایی مصرف می‌شود انرژی تشعشعات خورشید است. عموماً بیش از آنچه که برای وقوع واکنشهای شیمیایی انرژی لازم است و باید آن واکنشها را به «بالای تپه» ببرد و انرژی را افزایش دهد انرژی مصرف می‌شود. به طوری که نتیجه کل تغییرات مواد طبق قانون دوم ترمودینامیک افزایش آنتروپی است.



در اوایل قرن نوزدهم هنگامی که با کار آنزیمها آشنا شدند، به خوبی دانسته شد که بعضی از آنزیمها باید در فرایند فتوسنتز دست اندرکار باشند. چیزی که نخستین بار توجه دانشمندان را در باره فتوسنتز جلب کرد صفت مشترك همه گیاهان فتوسنتز کننده یعنی سبزی رنگ آنها بود این همان چیزی بود که گیاهان فاقد چنین قدرتی واجد آن صفت نبودند. (بعضی از پرندگان مناطق حاره پرهای سبز دارند البته این با موضوع مورد بحث ما تفاوت بسیار دارد).

در سال ۱۸۱۹ دو شیمی‌دان فرانسوی پیر ژوزف پله تیه^۲ و ژوزف بینامه کاونتو^۳ ماده سبز گیاه را به حالت خلوص به دست آوردند و نام آن را کلروفیل^۴ گذاشتند.

Joseph Bienaimé Caventou – ۳

Pierre Joseph Pelletier – ۲ Carbon Cycle – ۱

Chlorophyll – ۴ مشتق از کلمه «برگ سبز» یونانی .

یک قرن گذشت و ساختمان کلروفیل شناخته نشد. سال ۱۹۱۰ تازه آغاز شده بود که یک سلسله تحقیقات در باره کلروفیل آغاز گردید ولی نسلی طول کشید تا آنکه دوشیمی دان آلمانی ریچارد ویل اشتتر^۱ و هانس فیشر^۲ مولکول کلروفیل را جدا ساختند و از روی مطالعه اجزایش، ترکیب مولکولی آن را شناختند.

به طوری که معلوم شده کلروفیل در اساس ساختمانی بسیار شبیه هم است. ماده اخیر در هموگلوبین و کانالاز و سیتوکروم هست. نخستین تفاوت اساسی کلروفیل با هم این است که کلروفیل در مرکز مولکول به جای آهن، منیزیم دارد. دومین تفاوت آن است که به مولکول کلروفیل تیتر و کروم بوری به نام کاروتنوئید^۳ متصل است. کلروفیل از آن جهت رنگی است که بعضی از طول موجهای نور مرئی را می گیرد و بعضی دیگر را نمی گیرد. دقیق تر گفته شود بیشتر، طول موجهای بلند ناحیه قرمز و نارنجی طیف را می گیرد و بقیه را منعکس می سازد. نور خورشید منهای قرمز و نارنجی، سبز به نظر خواهد آمد و همان رنگی است که در کلروفیل می بینیم.

کلروفیل در نتیجه جذب نور به حالتی که انرژی دارتر است تبدیل می شود. (در فصل ۱۱ اشاره کرده ام که چگونه مولکول کلر در نتیجه جذب نور به اتم کلر پراثرژی تبدیل می گردد. این فرایند در کلروفیل نیز به همین سادگی انجام می گیرد و اگر چه به خوبی روشن نشده معینا چیزی جز آن نیست - کلروفیل بر اثر جذب نور به حالتی درمی آید که انرژی دارتر است.)

کلروفیل پراثرژی، انرژی خود را صرف بعضی از واکنشهای شیمیایی اساسی لازم برای وقوع فتوسنتز می کند و خود به حالت اولیه باز می گردد.

اکنون باید دید که «این واکنشهای شیمیایی اساسی کدامند؟» پاسخ این

پرسش هنگامی دانسته شد که روش نشان دار کردن به وسیله ایزوتوپها ابداع گردید. چنانکه در معادله سه صفحه قبل می بینید، فتوسنتز متضمن ترکیب انیدرید کربنیک و آب است. هر دوی این مواد اکسیژن دارند و چنین به نظر می رسد که اکسیژن مولکولی حاصل از گیاه از هر دو نتیجه می شود. و فتوسنتز بر روی هم عکس تنفس به نظر می رسد. در تنفس، اکسیژن با مواد آلی ترکیب می شود و انیدرید کربنیک و آب تولید می کند. آیا این دو ماده برای تولید اکسیژن در فرایند فتوسنتز تا حدودی تجزیه نمی شوند؟

اگر بدون آنکه مسئله مورد آزمایش قرار گیرد حکمی درباره آن شود اشتباه آمیز خواهد بود. برای به دست آوردن دلایل مبتنی بر آزمایش، O^{18} که ایزوتوپ غیر رادیواکتیو است به وسیله دانشمندان آمریکایی شیمی حیاتی سامیوئل روبن و مارتین د. کامن به کار برده شد. (ایزوتوپی از اکسیژن که از همه بیشتر است O^{16} است که در حدود ۹۹٫۷۶ درصد اکسیژن را تشکیل می دهد، پس اگر ماده ای بیشتر از O^{18} ساخته شود در اسپکتروگراف جرمی به خوبی شناخته می شود.)

در سال ۱۹۳۸ روبن و کامن آبی تهیه کردند که از O^{18} ساخته شده بود و با آن گیاهی را رویانیدند. اکسیژنی که تولید می شد به همان نسبتی بود که در آب وجود داشت. از سوی دیگر وقتی که انیدرید کربنیک را با O^{18} نشان دار کردند، اکسیژنی که حاصل می شد اکسیژن معمولی بود و به مقداری بسیار کم از ایزوتوپ سنگین داشت. نتیجه آزمایش بسیار روشن بود. مولکول آب در حین فرایند فتوسنتز تجزیه می شود و همه اکسیژن، از تجزیه آب حاصل می شود. مولکول انیدرید کربنیک بدون تجزیه شدن در ساختمان موادی آلی که در فتوسنتز ساخته

می شوند ، وارد می گردد .

پس رؤس مطالب فرایند فتوسنتز آشکار گردید . کلروفیل نور را جذب می کند و انرژی را که بدین طریق به دام می اندازد به مصرف تجزیه کردن آب به هیدروژن و اکسیژن ، که واکنشی انرژی خواه است (به تصویر ۷۵ مراجعه شود) می رساند . این واکنش را فتولیز آب می گویند .

هیدروژن حاصل دوسر نوشت می تواند داشته باشد . نیمی از آن مانند هیدروژن حاصل از دز هیدروژناسیون وارد زنجیر تنفسی می شود . (فتولیز را می توان دز هیدروژناسیون آب ، تحت اثر عمل کاتالیزوری کلروفیل به حساب آورد) . وقتی که چنین شد هیدروژن در آخرین مرحله اکسیداز سیتوکروم ، با اکسیژن ترکیب می شود و آب به وجود می آورد ، ولی در این فرایند سه مولکول ATP نیز حاصل می شود . بدین طریق انرژی تشعشعات خورشید به انرژی شیمیایی ATP تبدیل می گردد . (چون اکسیژنی که همراه هیدروژن حاصل می شود داخل زنجیر تنفسی می شود و به مصرف می رسد تا آب به وجود آید . پس می توان گفت که اکسیژنی باقی نمی ماند .)

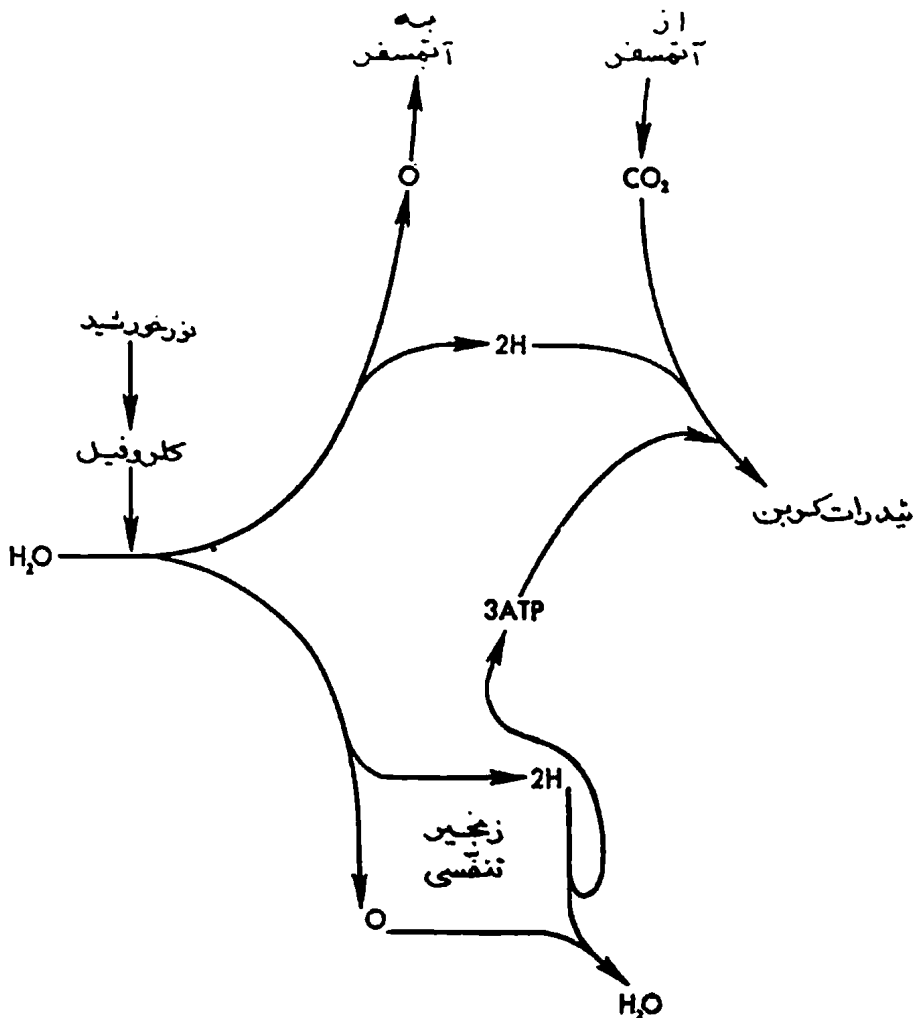
نیم دیگر هیدروژن با انیدرید کربنیک ترکیب می شود و ایدرات کربن به وجود می آورد (اکسیژنی که در این جریان به وجود می آید چون مورد نیاز نیست به اتمسفر پس داده می شود .) اگر چه این واکنشی انرژی خواه است به طفیل انرژی حاصل از ATP در فتولیز صورت می گیرد و آب به وجود می آورد .

بدین طریق انرژی تشعشعات خورشید پس از آنکه به انرژی شیمیایی ATP تبدیل شد به کار تولید ایدرات کربن می آید (و سرانجام تولید لیپیدها و سایر اجزای سازنده بافتها) و انرژی شیمیایی این مواد ادامه حیات حیوانات و گیاهان

را ممکن سازد.



فهمیدن این که ئیدروژن چگونه با انیدرید کربنیک ترکیب می شود، کار دشواری بود. هنگامی که انیدرید کربنیک دارای ایزوتوپ غیرعادی به کار بردند



تصویر ۷۵. فتوسنتز

در مدت کوتاهی، این ایزوتوپ در همه اجزای بافتها پراکنده شد. می توان کلروپلاست سالم و دست نخورده را مورد آزمایش قرار داد (کلروپلاست ذراتی

سلولی است که حاوی کلروفیل است). کلروفیل به تنهایی خاصیت فتوسنتز کنندگی ندارد. بنابراین نمی‌توان مانند واکنشهای متنوع آنزیمی دیگر، دستگاه ساده‌ای فراهم ساخت و مسئله را مورد مطالعه قرار داد.

امید حل مسئله به ایزوتوپ رادیوآکتیو بود ولی بدبختانه در دهه سال ۱۹۳۰ تنها کربن رادیوآکتیو ایزوتوپ شناخته شده C^{14} بود ولی این ماده به قدری بی‌ثبات بود که در مدتی قریب نیم‌ساعت از بین می‌رفت و کار کردن با آن بسیار مشکل و گران بود و همواره به مقادیر بیشتری از آن احتیاج داشتند.

ولی در سال ۱۹۴۰ روبین و کامن C^{14} را کشف کردند. C^{14} ایزوتوپ رادیو-آکتیو بالنسبه با ثبات است و کار کردن با آن آسان است. (در واقع C^{14} مفیدترین ایزوتوپهاست).

پس از جنگ جهانی دوم دانشمندان شیمی حیاتی آمریکایی ۱.۱.۱ بنسن^۱ و ملوین کالوین^۲ C^{14} را در فتوسنتز به کار بردند. برای این کار نوعی جلبک تک سلولی اختیار کردند و انیدرید کربنیک دارای C^{14} در دسترس آن قرار دادند. پس از مدت کوتاهی جلبکها را کشتند به این امید که C^{14} را در واکنشهای ابتدایی فتوسنتز بیابند. اجزای سلولهای کشته شده را به وسیله کروماتوگرافی کاغذی جدا ساختند. (به فصل ۱۶ مراجعه شود). کار بعدی این بود که نقاطی از کاغذ را که رادیوآکتیو بودند تعیین کنند و ماهیت شیمیایی مواد آن نقطه را بشناسند.

پس از یک دقیقه و نیم قریب ۱۵ ماده رادیوآکتیو مختلف جدا ساختند. بنابراین بایستی مدت را کوتاهتر کنند. حتی ۵ ثانیه قرار دادن جلبک در دسترس این انیدرید کربنیک پنج ماده مختلف تشخیص داده شد که بیشتر ایزوتوپ رادیو-آکتیو در دو نای آنها بود. هر دوی این مواد از انواع اسید فسفولیسریک بودند که

از مواد سه کربنی هستند .

بنس و کالوین پس از انجام آزمایشهای بسیار توانستند سلسله منطقی سوانح را بیابند . انیدرید کربنیک پس از ورود در سلول گیاهی با ریبولوز - ۱ ، ۵ - دی - فسفات ، که قندی ۵ کربنی است و دو گروه فسفات متصل به خود دارد ، ترکیب می شود (این ماده به دام انیدرید کربنیک موسوم است) .

« ریبولوز - ۱ ، ۵ - دی فسفات » وقتی که با انیدرید کربنیک ترکیب می گردد به ماده ای شش کربنی تبدیل می شود که به سرعت به دو ماده سه کربنی تجزیه می گردد: اسید فسفو گلیریک که به روش کروماتوگرافی روی کاغذ تشخیص داده می شود . اسید فسفو گلیریک حاصل با ئیدروژن حاصل از فتولیز آب ، جمع می شود و قندی سه کربنی به وجود می آورد . این مرحله محتاج به انرژی است و از ATP حاصل از فتولیز و تشکیل مجدد آب استفاده می کند . این قند سه کربنی طی چند مرحله به نشاسته تبدیل می شود (که اکنون جزئیاتش معلوم است) و به انرژی احتیاج ندارد .

جالبترین مسئله ای که در فتوسنتز دیده می شود استفاده ای است که این فرایند از نور قرمز و نارنجی به عنوان منبع انرژی می کند ، زیرا واکنشهای فتوشیمیایی که عموماً در آزمایشگاه صورت می گیرد به تشعشعات پراثری انتهایی آبی و مافوق بنفش طیف احتیاج دارند ولی استفاده کلروفیل از تشعشعات دارای طول موج بلند حائز اهمیت بسیار است زیرا نور خورشید از تشعشعات کم انرژی بیشتر دارد تا تشعشعات پراثری . از این گذشته تشعشعات دارای طول موج بلند از گرد و خاک و مه بهتر از تشعشعات دارای طول موج کوتاه عبور می کنند پس منبع معتبرتری از انرژی است .

فتوسنتز برای واکنشهای فتوشیمیایی نیز می تواند به صورتی غیر عادی مؤثر واقع شود . در سال ۱۹۵۰ او تو و ابرو وک و دین بورك خاطر نشان ساختند که انرژی

لازم برای تثبیت يك مولكول انیدرید كربنیک در فتو سنتز را فقط چهار کوانتا از نور قرمز تأمین می کند. تبدیل يك مولكول گرم انیدرید كربنیک به ئیدرات کربن ۱۱۵ کیلوکاری مصرف می کند و مقدار نور قرمز لازم برای چنین تبدیلی به حساب واربورگ و بورك، فقط ۱۷۵ کیلو کالری در بردارد. بنابراین بازده $\frac{۱۱۵}{۱۷۵}$ یا قریب ۶۵ درصد خواهد بود که مقداری بسیار قابل توجه است.



پس داستان حیات، چنانکه میر يك قرن پیش گمان می کرد، (به فصل چهارم مراجعه شود) ملازم با استفاده از انرژی است که از خورشید به سوی زمین سرازیر می شود. منبع انرژی خورشید تبدیل ئیدروژن به هلیوم داخل خورشید است که گرما و فشاری غیر قابل ادراك دارد. این فرایند همراه کاهش جرم و ظهور انرژی است.

اتم ئیدروژن طی تبدیل شدن به هلیوم قریب ۱ درصد جرمش را از دست می دهد ولی در خورشید به این عظمت تبدیل آنها به قدری زیاد است که کاهش جرم برابر ۴×۱۰^{۲۰} تن در ثانیه است و انرژی که از این تبدیل حاصل می شود برابر ۸×۱۰^{۲۷} (هشت سکتلیون) کیلو کالری در ثانیه است. آزاد شدن انرژی که با کاهش جرم همراه است در شرایط داخلی خورشید از واکنشهای خود به خود است و متضمن افزایش فراوان انرژی است. سایر ثوابت نیز از این نظر « به سوی پایین دره سیر می کنند »، منتها بعضی از ثوابت کندتر از خورشید و بعضی دیگر سریعتر از آن.

پس فرایندی که در جهان غالب است، افزایش انرژی تشعشعات ستارگان است. این که چگونه جهان توانسته است چنین افزایش انرژی را طی میلیاردها سال وجود خود تحمل کند و کار سرانجام به کجا خواهد انجامید (چنانکه در پایان

فصل ۵ در بارهٔ تئوری «مرگ گرما» اشاره کرده‌ام (مسئله‌ای است که نباید منجمان بدان پاسخ گویند. چیزی که دانشمندان شیمی حیاتی و زیست شناسان می‌توانند بپذیرند این است که سیل انرژی از خورشید به زمین ما روان است و این جریان دست کم از وقتی که حیات آغاز شده، (شاید دو میلیارد سال) ادامه داشته و شاید چند میلیارد سال دیگر همچنان ادامه داشته باشد.

تنها چیزی که مسئول کاهش انرژی و وابسته به حیات در روی زمین هست، افزایش انرژی خورشید است.

مطمئناً بیشتر انرژی خورشید در فضا کم می‌شود و از میان ستارگان فضای لایتناهی عبور می‌کند و سرنوشتی نامعلوم پیدا می‌کند. فقط بخش کمی از آن به زمین می‌رسد. اگرچه مقداری که به زمین می‌رسد به مقیاس انرژی خورشیدی کم است ولی خود بسیار قابل توجه است زیرا $10^{13} \times 2$ (۱۲ تریلیون) کیلو-کالری در هر ثانیه است.

ولی این مقداری است که بالقوه در دسترس زمین هست زیرا نیمی از آن به وسیلهٔ ابرها و عرقچین‌های یخی قطبی و اقیانوسها منعکس می‌شود و از آنچه به زمین می‌رسد مقداری به وسیلهٔ هوا پخش می‌شود یا بدون فایدهٔ بعدی صرف‌گرم کردن آب اقیانوسها و ماسه‌های صحاری می‌شود.

تنها ۳ درصد کل انرژی که از خورشید به مجاورت زمین می‌رسد در دسترس گیاهان سبز قرار می‌گیرد. شاید دوسوم این مقدار جذب شود و به کلروفیل برسد و شاید دوسوم آنچه به کلروفیل می‌رسد به گروههای فسفات پر انرژی تبدیل شود. تازه در همین مقدار کم معادل $10^{13} \times 3$ کیلوکالری پیوند فسفات پر انرژی در هر ثانیه به وسیلهٔ فتوسنتز ساخته می‌شود.

با قبول اینکه مصرف کننده همواره ۹۰ درصد انرژی غذایی را که می‌خورد

به هدر می‌دهد^{۱۱} ۳×۱۰ کیلو کالری در هر ثانیه، خواهد توانست زندگی حیوانی محتاج به ۳×۱۰ کیلو کالری را تأمین کند. قریب يك هشتم حیوانات روی کره زمین در خشکی به سر می‌برند و $۱۰^۹ \times ۴$ کیلو کالری در ثانیه به مصرف می‌رسانند. جمعیت روی زمین اکنون در حدود $۱۰^۹ \times ۲.۳$ است. اگر حد متوسط کالری مورد نیاز هر انسانی را در شبانه روز ۲۰۰۰ کیلو کالری بگیریم نوع انسان به ۵۳۰۰۰۰۰۰ کیلو کالری در ثانیه قائم خواهد بود. وزن همه انسانها متجاوز از يك درصد وزن جانوران خشکی است.

مفهومش این است که گیاهان روی زمین می‌توانند، تا هشتاد برابر جمعیت فعلی را غذا بدهند مشروط بر اینکه دیگر جانوری در برابر آدمی نباشد و هر چه گیاه هست قابل خوردن باشد. اگر فتوسنتزی را که به وسیله گیاهان دریایی صورت می‌گیرد به حساب آوریم زمین خواهد توانست ۶۵۰ برابر جمعیت کنونی را غذا دهد مشروط بر اینکه هیچ جانور دریایی موجود نباشد و انسان مستقیماً از گیاهان دریایی تغذیه کند.

در این صورت حداکثر افراد آدمی که زمین می‌تواند با سیلان انرژی خورشیدی غذا دهد بالغ بر $۱۰^{۱۲} \times ۱۵$ (یعنی يك و نیم تریلیون) خواهد شد.

وقتی که جمعیت زمین به این تعداد رسید، به هر فردی قریب ۸۱ متر مربع می‌رسد. البته اگر گروئنلند و قطبین و صحرای افریقا را به حساب آوریم به هر ۵۰ نفر قریب ۴۹۰۰ متر مربع خواهد رسید. تراکم جمعیت در ایالت رود آیلند^۱، که پر جمعیت‌ترین ایالت آمریکا است، چنان است که به هر يك نفر و نیم قریب ۴۹۰۰ متر مربع می‌رسد.

اگر چه مسئله غیر قابل تحمل به نظر می‌رسد ولی وقتی که افزایش کنونی

انتروپی ناشی از موجودات زنده مقایسه کند ، بسیار ناچیز به نظر خواهد رسید (درست مانند آن است که در مقابل ریزش خروارها آب از آبشار نیاگارا يك قطره آب به بالا پرتاب شود .)

اما کمیت به تنهایی شامل همه چیز نیست . پیچیدگی و تغییر پذیری حیات خود نقشی ایفا می کند که از قدرت خورشید ساخته نیست و عقل آدمی که از پیچیده ترین تجلیات حیات در روی زمین است ، استعدادی دارد که هر گز چنانکه باید در معرض آزمایش قرار نگرفته است .

اگر انسان بندهٔ قوانین ترمودینامیک است و همچنان بردهٔ آنها باقی بماند ، لازم نمی آید که کاملاً در بیچارگی به سر برد . و اگر نتواند آن قوانین را براندازد دست کم خواهد توانست روشی پیش گیرد که با منتهای کوشش از آنها استفاده ببرد .

انسان با پیشرفت قدرت هسته‌ای چنان قدمی به پیش گذاشته که با پیشرفتی که از کشف آتش نصیبش شده قابل مقایسه است . (کتاب را با بحث دربارهٔ کشف آتش آغاز کرده‌ام) . آتش انسان را از وابستگی مستقیم به انرژی خورشیدی‌های بی‌بخشید و انرژی اتمی نمی‌تواند انسان را حتی از وابستگی غیر مستقیم بدان نیز بی‌نیاز سازد .

مسلم است که انسان حتی پس از تکمیل رآکتورهای ترکیب ئیدروژن و قابل استفاده ساختن آن برای انرژی زیستی ، یعنی برای تولید غذا از طریق فتوسنتز ، به انرژی خورشید وابسته خواهد بود ولی اگر فرایند فتوسنتز را چنانکه باید بشناسد هنگامی خواهد رسید که با انرژی حاصل از رآکتورهای ترکیب ئیدروژن و مواد خامی که در جهان اطرافش هست ، و به کمک کاتالیزورهای نظیر کلروفیل ، که به دست خود می‌سازد ، بتواند مستقلاً غذای خود را بسازد .

بدون آنکه دیگر به‌خورشید یا گیاهان سبز نیازمند باشد .
از آن پس از قید وابسته بودن به‌خورشید و سیارهٔ معینی رهایی خواهد
یافت و همهٔ فضا خاندانش خواهد بود یا دست کم بخشهایی از فضا را اشغال خواهد
کرد که قبلاً تحت تصرف دیگران درنیامده است .

پایان

This is an authorized translation of
LIFE AND ENERGY by Isaac Asimov
Copyright (C) 1962 by
Isaac Asimov. Published by
Doubleday and Company, Inc., New York

Copyright 1969 by B. T. N. K.
Printed in Ziba Press
Tehran, Iran

GENERAL KNOWLEDGE LIBRARY

No. 44

LIFE AND ENERGY

by

Isaac Asimov

Translated into Persian

by

Dr. Mahmood Behzad



B.T.N.K.

Tehran, 1969

کتاب حاضر به این پرسش اساسی با بیانی ساده و روشن پاسخ می‌دهد که غذا در زندگی چه نقشی دارد و برای حفظ تندرستی چه نکاتی را باید رعایت کرد تا کمتر نیاز به مراجعه به پزشک پیدا کنیم و در موارد عادی خود پزشک خود باشیم.

ایزاک آسیموف، نویسنده این کتاب که خود از دانشمندان زیست‌شناس امریکایی است، در ساده‌کردن مطالب علمی و بیان آنها به صورتی که درخور فهم و قابل استفاده همگان باشد استادی فراوان نموده است و در ترجمه فارسی کتاب نیز این مزیت حفظ شده است.

