

شیمی عمومی

دکتر علی افضل صمدی

نشر نی

بخش سیزدهم

شیمی آلی

چاپ دوم به صورت اینترنتی و رایگان

۱۳۸۸ ماه بهمن

شیمی آلی

۶۶۷	۱۳-۱ تعیین فرمول و طبقه بندی ترکیبات آلی
۶۶۷	الف) تعیین فرمول خام یک ترکیب آلی
۶۶۸	تجزیه ترکیب آلی
۶۷۰	ب) طبقه بندی هیدروکربورها
۶۷۱	۱۳-۲ آلkanها، آلکن‌ها و ترکیبات آروماتیک
۶۷۱	الف) آلkanها
۶۷۸	ب) ترکیبات اشباع نشده
۶۸۰	پ) آلکن‌ها
۶۸۳	ت) افزایش هیدروژن بر آلکن‌ها و آلکن‌ها
۶۸۴	ث) پلیمر شدن آلکن‌ها
۶۸۵	ج) هیدروکربورهای آروماتیک
۶۹۲	۱۳-۳ گروه‌های عاملی
۶۹۳	الف) گروه هیدروکسیل (-HO)
۶۹۹	ب) عامل کربونیل
۷۰۳	پ) قند‌ها
۷۰۵	ت) عامل کربوکسیل
۷۰۸	ث) استر‌ها
۷۱۲	۱۳-۴ آمینو اسیدها، پپتید‌ها و پروتئین‌ها
۷۱۲	الف) گروه‌های عاملی ازت دار
۷۱۴	ب) آمید‌ها و پلی آمید‌ها
۷۱۶	پ) آمینو اسید‌ها
۷۱۸	ت) پلی پپتید‌ها و پروتئینها
۷۲۲	ث) پیوند دو آمینو اسید با هم
۷۲۳	ج) از پپتید‌ها به پروتئین‌ها
۷۲۸	ANR AND (ج)

۱۳

شیمی آلی

۱- ۱۳- تعیین فرمول و طبقه‌بندی ترکیبات آلی

۲- ۱۳- آلkan‌ها، آلکن‌ها، آلکین‌ها و ترکیبات آروماتیک

۳- ۱۳- گروههای عاملی

۴- ۱۳- آمینو اسید‌ها، پپتید‌ها و پروتئینها

۱۳-۱ تعیین فرمول و طبقه‌بندی ترکیبات آلی

مقدمه: همان‌طور که در هنگام مطالعه عنصر کربن (فصل ۱۲-۲) گفته شد، تعداد ترکیبات کربن به اندازه‌ای زیاد است که بخش مهمی از علم شیمی به این عنصر اختصاص یافته است و به دلایل تاریخی نام این بخش از علم شیمی «شیمی آلی» می‌باشد. در آغاز تحول این علم، به غلط تصور می‌شد که فقط موجودات زنده می‌توانند ترکیبات کربن دار را در درون خود بسازند. به هر حال امروزه به کمک سنتز و یا استخراج از اعضاء موجودات زنده بیش از ۶ میلیون ترکیب آلی شناخته شده است. برای شناخت اهمیت شیمی آلی در صنعت به این آمار توجه کنید که، فروش سالانه ترکیبات آلی در کشور فرانسه در سال ۱۹۹۵ میلادی در حدود ۱۸۵ میلیارد فرانک و حال آنکه فروش سالانه مواد معدنی متشكل از کلیه عناصر جدول تناوبی فقط ۵۲ میلیارد فرانک بوده است. با توجه به فراوانی تعداد ترکیبات آلی، شناسایی و نام‌گذاری این ترکیبات اهمیت فراوان دارد. از این رو ابتدا چگونگی تشخیص فرمول یک جسم آلی را بررسی کرده، سپس به اختصار تقسیم‌بندی این ترکیبات را ذکر می‌کنیم.

الف) تعیین فرمول خام یک ترکیب آلی

ترکیبات آلی متشكل از کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند؛ فرمول کلی این ترکیبات را می‌توان به صورت $C_xH_yO_z$ نشان داد. در این فرمول، x و y و z اعداد کامل مثبتی هستند. محاسبه مقدار این سه عنصر را در ۱۰۰ گرم ماده آلی نسبت درصد جرمی گویند.

$$m = \frac{24 \times 100}{46} \approx 52/2 \text{ g}$$

$$C = 52/2\% \quad \text{نسبت درصد کربن موجود در ترکیب آلی است}$$

با محاسباتی کاملاً مشابه مقدار درصد هیدروژن و اکسیژن به ترتیب عبارتند از:

$$m_H = \frac{6 \times 100}{46} \approx 13\% \quad H \approx 13\%$$

$$m_O = \frac{16 \times 100}{46} \approx 34/8 \quad O \approx 34/8\%$$

تعیین (۱۳-۱) فرمول خام اتانول "C₂H₆O" است؛ با دانستن جرم مولکولی، نسبت درصد جرمی هریک از سه عنصر کربن، هیدروژن و اکسیژن را محاسبه کنید. $M_C = 12$ ، $M_O = 16$ ، $M_H = 1$ است.

حل: جرم مولکولی اتانول برابر با:

$$= 46 \text{ g/mol} = (16 \times 1) + (1 \times 6) + (1 \times 2)$$

تناسب را به صورت زیر می‌نویسیم. ۴۶ گرم اتانول ۲۴ گرم کربن دارد پس صد گرم آن شامل $\frac{24}{46} = \frac{4}{10}$ است. از این رابطه m به دست می‌آید.

هنگام تقسیم کردن باید دقیق کرد محاسبه تقریب به شکلی در نظر گرفته شود تا نسبت درصد معادل با ۱۰۰ گردد. به عنوان مثال:

$$52/2 + 13 + 34/8 = 100$$

اگر نسبت درصد ترکیب آلی مشخص باشد فرمول خام را می‌توان به دست آورد. نسبت

در صد بعد از تجزیه شیمیایی و یا سوختن در هوا به دست می‌آید. تمرینهایی که در پی می‌آیند چگونگی کاربرد نسبت درصد را برای تعیین فرمول خام مشخص می‌کنند.

صورت زیر نوشته:

$$\frac{12X}{55} = \frac{Y}{8/92} = \frac{16Z}{36/1} = \frac{(12X) + (16Z)}{55 + 8/92 + 36/1} = \frac{M}{100}$$

صورت کسر عبارت است از حاصل جمع تعداد اتمهای هر عنصر ضرب در جرم اتمی آن:

$$(12X) + (16Z) = M$$

بدین ترتیب می‌توانیم یک معادله دیگر به دو معادله قبل اضافه کنیم.

$$\frac{12X}{55} = \frac{Y}{8/92} = \frac{16Z}{36/1} = \frac{43/8}{100}$$

پس سه معادله و سه مجهول به دست می‌آید:

$$\frac{12X}{55} = \frac{43/8}{100} \Rightarrow X = \frac{43/8 \times 55}{12 \times 100} = 2/01$$

$$\frac{Y}{8/92} = \frac{43/8}{100} \Rightarrow Y = \frac{43/8 \times 8/92}{100} = 3/91$$

$$\frac{16Z}{36/1} = \frac{43/8}{100} \Rightarrow Z = \frac{43/8 \times 36/1}{16 \times 100} = 0/99$$

چون X ، Y و Z اعداد کامل هستند بنا بر این می‌توان نوشت:

$$Z = 1 \quad Y = 2 \quad X = 2$$

و فرمول خام ترکیب عبارت است از: C_2H_4O و جرم مولکولی دقیق آن عبارت است از:

$$M = (12 \times 2) + (1 \times 4) + (16 \times 1) = 44 \text{ gr/mol}$$

البته این ترکیب ایثار است که بعداً درباره آن صحبت خواهیم کرد.

تمرین (۱۳-۲) یک ترکیب آلی شامل ۵۵ درصد کربن و $8/92$ درصد هیدروژن است، در تجربیات جرم مولکولی ترکیب آلی در حدود $43/8$ گرم به دست آمده است. فرمول خام و جرم اتمی دقیق ترکیب را حساب کنید.

حل: ابتدا نسبت درصد اکسیژن را مشخص می‌کنیم:

$$\% O = 100 - (55 + 8/92) = 36/1$$

با توجه به فرمول عمومی $C_xH_yO_z$ ابتدا جرم کربن، هیدروژن و اکسیژن را برای هر مول در جدولی نوشتند و سپس مقدار هر یک را در صد گرم از ترکیب در زیر آن می‌نویسیم. در هر مول از ترکیب x مول اتم کربن وجود دارد. گرم $X = 12X$ و نیز در هر مول Y مول هیدروژن و Z مول اکسیژن وجود دارند بنابراین: گرم $Y = mH = 12X$ و گرم $Z = mO = 16Z$ در صدش می‌باشد، از این رو جدول به صورت زیر در می‌آید.

اکسیژن	هیدروژن	کربن	نوع عنصر
۱۶Z	۲	۱۲X	۱ مول
۸/۹۲	۳۶/۱	۵۵	۱۰۰ گرم

بدینه است که نسبت مشخصی بین جرم عنصر در یک مول و ۱۰۰ گرم وجود دارد.

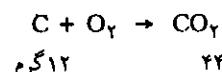
$$\frac{12X}{55} = \frac{Y}{8/92} = \frac{16Z}{36/1}$$

رابطه فرق شامل دو معادله و سه مجهول است که می‌توان آن را به

تجزیه ترکیب آلی

با احتراق یک مولکول آلی می‌توان نسبت درصد اجزاء تشکیل دهنده آن را به دست آورد. کربن موجود در ترکیب با سوختن در هوا تبدیل به CO_2 می‌شود و هیدروژن با اکسیژن آب تولید می‌کند.

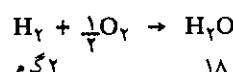
محاسبه جرم کربن موجود در نمونه:



$$12 \text{ گرم} \quad 44$$

$$mC = \frac{12}{44} \times mCO_2$$

محاسبه جرم هیدروژن موجود در نمونه:



$$2 \text{ گرم} \quad 18$$

$$mH = \frac{2}{18} mH_2O$$

نسبت درصد آنها در ترکیب عبارت است از:

$$\% \text{ C} = \frac{12mC}{m} = \frac{12}{44} \times m\text{CO}_2$$

$$\% \text{ H} = \frac{2mH}{m} = \frac{2}{18} \times m\text{H}_2\text{O}$$

$$\% \text{ O} = 100 - (\% \text{ C} + \% \text{ H})$$

برای یا دیگری محاسبه جرم ترکیبات آلی چندین تمرین داده می‌شود.

تمرین (۱۳-۵) از احتراق یک مولکول آلی نسبت درصد عناصر تشکیل دهنده آن به صورت زیر مشخص شده است:

$$\text{C} = 59/8\%, \text{ H} = 13/4\%, \text{ O} = 26/8\%.$$

فرمول خام و جرم مولکولی دقیق ترکیب را مشخص کنید.
تمرین (۱۳-۶) در گازسنجد مشابه شکل (۱۳-۱) ۴۰ سانتیمتر مکعب مخلوط متان (CH_4) و اتیلن (C_2H_4) و هیدروژن وارد نموده پسین ۱۲۰ سانتیمتر مکعب گاز اکسیژن به آن اضافه می‌کنیم. بعد از ایجاد جرقه الکتریکی، مجموعه را خنک نموده حجم گاز باقی مانده ۹۴ سانتیمتر مکعب است که ۵۶ سانتیمتر مکعب آن جذب پتانس و باقی مانده جذب فسفر می‌گردد.

(الف) واکنشهای انجام شده را بتویسید.

(ب) حجم اکسیژن مصرفی و حجم گاز دی اکسید کربن تشکیل شده را حساب کنید.

(پ) نسبت هر گاز را در ترکیب حساب کنید.

تمرین (۱۳-۷) در گازسنجد، ۶۰ سانتیمتر مکعب اکسیژن و ۱۰ سانتیمتر مکعب هیدروکربوری گازی به فرمول C_xH_y وارد نمودیم. بعد از ایجاد جرقه الکتریکی و خنک کردن گازها ۴۵ سانتیمتر مکعب گاز باقی ماند که ۳۰ سانتیمتر مکعب آن جذب پتانس و ۱۵ سانتیمتر مکعب جذب فسفر می‌گردد. فرمول هیدروکربور را مشخص کنید.

جواب: C_4H_8

تمرین (۱۳-۸) یک مایع آلی مشکل از کربن، هیدروژن و اکسیژن است. مقدار ۱۸٪/ گرم از آن را تبدیل به بخار کرده و در گاز سنجدی که قبلاً اکسیژن در آن وجود داشته وارد می‌کنیم بعد از ایجاد جرقه الکتریکی متوجه می‌شویم که مقدار ۳۰/۸ سانتیمتر مکعب گاز اکسیژن برای احتراق لازم بوده است و ۲۲/۴ سانتیمتر مکعب گاز جذب پتانس شده است جرم مولکولی ترکیب در حدود ۷۲ گرم در مول است.

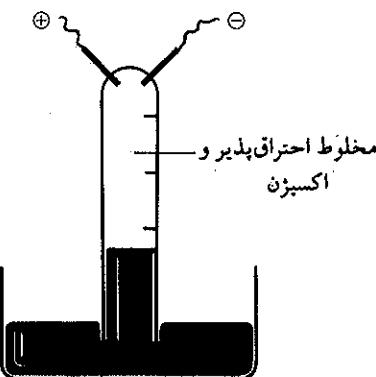
(الف) واکنش احتراق را برای ترکیب آلی به فرمول عمومی CxHyOz بنویسید.

(ب) اندازه X و Z را تعیین کنید.

جواب: $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$

تمرین (۱۳-۹) در ظرف شیشه‌ای مقدار ۵٪/ گرم متanol (CH_3OH)

تمرین (۱۳-۳) در یک گاز سنج (eudiometre) مطابق شکل (۱۳-۱) ۱۰۰ سانتیمتر مکعب اکسیژن و ۳۰ سانتیمتر مکعب مخلوط متان (CH_4) و اتیلن (C_2H_4) وارد کرده بعد از ایجاد جرقه الکتریکی ۷۰ سانتیمتر مکعب گاز در لوله باقی می‌ماند. ۳۶ سانتیمتر مکعب از آن به وسیله پتانس و باقی مانده جذب فسفر می‌شود. حجم گازها در شرایط متعارف اندازه‌گیری شده است
 (الف) معادله شیمیایی سوختن را بتویسید.
 (ب) حجم اکسیژن مصرفی را تعیین کنید.
 (پ) حجم هریک از ترکیبات آلی را در مخلوط حساب کنید.



شکل (۱۳-۱) یک گاز سنج (اویدیومتر)
 یادآوری: پتانس، دی اکسید کربن، فسفر و اکسیژن باقی مانده را جذب می‌کند، آب تولید شده در شرایط متعارف به صورت مایع است و از حجم آن می‌توان صرفنظر کرد.
 جواب پ: حجم متان ۲۴ سانتیمتر مکعب و حجم اتان ۶ سانتیمتر مکعب بوده است.

تمرین (۱۳-۴) چگالی یک ترکیب آلی به حالت گازی در شرایط عادی معادل با $1/34$ کیلوگرم در متر مکعب است. می‌دانیم که این ترکیب مشکل از کربن، هیدروژن و اکسیژن است. نسبت درصد کربن $40/4\%$ و هیدروژن $67/6\%$ است فرمول ترکیب را مشخص کنید.

جواب: CH_4O

- مگس به نام مگس اسپانیا وجود دارد. جرم مولکولی آن با ۵ درصد تقریب ۱۹۸ گرم است $M < 20.8 < 188$ تجزیه عنصری مقادیر $C = 61/2\%$ و $H = 6/2\%$ را به دست می‌دهد.
- آزمایش‌های جانی، عدم وجود ازت را در ترکیب تأیید می‌کند.
- بنابراین می‌توان تصور کرد که عنصر بعدی در این ترکیب اکسیژن باشد. فرمول خام این ترکیب را مشخص کنید.
- جواب: تنها فرمول ممکن $C_1H_{12}O_4$ است.
- تمرین (۱۲-۱۳) تجزیه کافین نسبت درصد زیر را به دست می‌دهد $C = 49/68\%$ ، $N = 5/0.4\%$ ، $H = 29/0.1\%$.
- در کافین علاوه بر عناصر فوق اکسیژن نیز وجود دارد. جرم مولکولی آن با تقریب $2/5$ درصد، در حدود ۱۹۷ گرم است. فرمول خام کافین را حساب کنید. می‌دانیم که فقط یک اتم ازت در ترکیب وجود دارد.
- تمرین (۱۱-۱۳) کانتریدین (Cantharidine) ماده‌ایست که در نوعی
- وارد نمودیم پس از گرم نمودن ظرف و ایجاد جرقه الکتریکی تمام متابول سوخت.
- (الف) جرم آب تشکیل شده و حجم دی اکسید کربن ایجاد شده را حساب کنید.
- (ب) حداقل حجم هوا لازم برای سوختن این مقدار متابول را حساب کنید.
- تمرین (۱۰-۱۳) یک ترکیب آلی مشکل از کربن، هیدروژن و ازت را همراه با مس اکسید (CuO) حرارت دادیم. ۰/۸۸۵ گرم از این ترکیب $1/32$ گرم دی اکسید کربن و $6/675$ گرم آب تولید می‌کند. ازت موجود در $6/63$ گرم از این ترکیب را در شرایط بخصوصی می‌توان افزاد کرد که حجمی معادل با 119 سانتی‌متر مکعب دارد. فرمول خام ترکیب فوق را حساب کنید. می‌دانیم که فقط یک اتم ازت در ترکیب وجود دارد.

ب) طبقه‌بندی هیدروکربورها

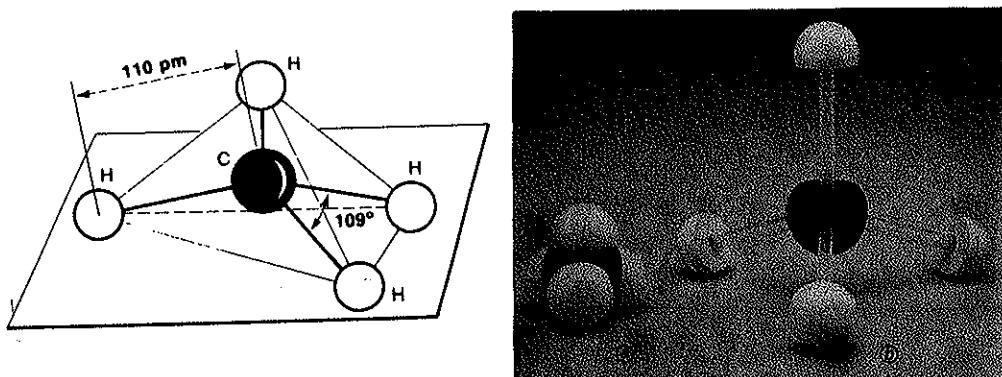
با توجه به افرادی تعداد ترکیبات آلی، طبقه‌بندی این ترکیبات در گروههایی با ساختار مشابه الزامی است. هیدروکربورها خانواده بسیار ساده ترکیبات آلی هستند که از ترکیب دوتایی هیدروژن و کربن تشکیل یافته‌اند. در این دسته از ترکیبات مولکولها یا به صورت زنجیری هستند و یا به صورت حلقه‌ای از شبکه کربن که در آن اتمهای هیدروژن پیوندهای ازad باقی مانده را اشغال می‌کنند. کاملاً آشکار است که در آغاز مطالعه شیمی آلی، باید در نظر داشته باشیم که در خانواده هیدروکربورها دو دسته ترکیب وجود دارد. در برخی از هیدروکربورها نسبت تعداد اتمهای هیدروژن به تعداد اتمهای کربن بیشتر از هیدروکربوری با همان تعداد اتم کربن است. مثلاً در اتان (C_2H_6) به ازاء هر اتم کربن سه اتم هیدروژن و در اتیلن (C_2H_4) دو اتم هیدروژن و در استیلن (C_2H_2) یک اتم هیدروژن وجود دارد.

بنابراین اختلافی در بین این دو دسته از ترکیبات وجود دارد و باید آنها را در دو دسته متمایز از هم قرار داد. همان‌طور که قبلاً گفته شد اختلافی در پیوندهای کربن-کربن وجود دارد. دسته اول که آنها را هیدروکربور اشباع شده می‌خوانند، پیوند کربن-کربن ساده و دسته دیگر که هیدروکربورهای اشباع نشده هستند، پیوندهای کربن-کربن دوگانه یا سه‌گانه دارند.

۱۳-۲ آلکان‌ها، آلکین‌ها، آلکین‌ها و ترکیبات آروماتیک

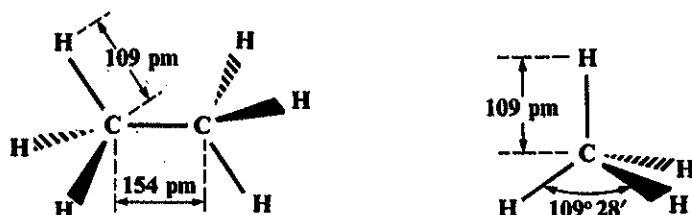
الف) آلکان‌ها ALKANES

آلکان‌ها هیدروکربورهای اشباع شده هستند، پیوند کربن - کربن در آنها از نوع ساده می‌باشد. دو ترکیب بسیار ساده از هیدروکربورهای اشباع شده، متان و إتان است. مولکول متان چهار وجهی است و همان طور که قبلاً گفته شد پیوند H - C در اثر همپوشانی اوربیتالهای هیبریدی sp^3 اتم کربن با اوربیتال ۱s اتمهای هیدروژن بوجود می‌آید. در شکل (۱۳-۲) زاویه، طول پیوند و نیز نحوه ترسیم مولکول چهار وجهی متان نمایش داده شده است. طول پیوند بر حسب پیکو متر معادل با 10^{-12} متر است.

$$1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$$


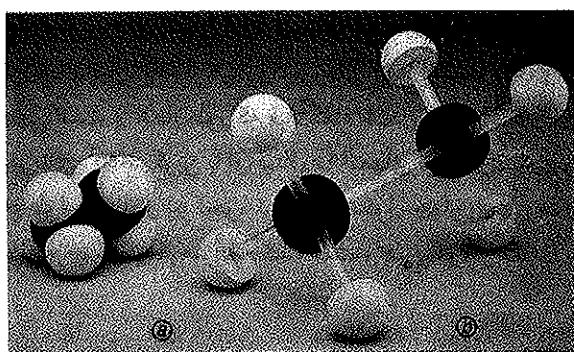
شکل (۱۳-۲) دو روش مقاومت برای نمایش دادن مولکول متان. روش ترسیم در صفحه کاغذ با مشخص نمودن زاویه و طول پیوند. روش نمایشی به کمک مدل‌های چوب - گلوله : (a) مدل توپر (b) مدل باز

قرارداد بین‌المللی برای نمایش آرایش پیوندها در یک مولکول به صورت شکل (۱۳-۳) است. در این شکل خطوط توپر نازک نماینده پیوندهایی هستند که در صفحه قرار دارند، علامت مثلثی توپر ━ نماینده پیوند جلوی صفحه و علامت مثلثی خط چین ━━ نماینده پشت صفحه را نمایش می‌دهد.



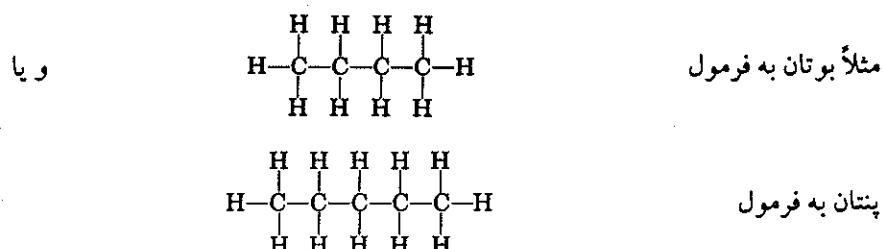
شکل (۱۳-۳) قرارداد بین‌المللی برای نمایش پیوندها در مولکولهای متان و إتان.

مولکول إتان را می‌توان حاصل از پیوند دو گروه متیل به یکدیگر دانست. در گروه متیل هر اتم کربن یک اوربیتال sp^3 آزاد دارد و در موقع پیوستن این دو گروه به یکدیگر، همپوشانی اوربیتالهای هیبریدی sp^3 اتمهای کربن، پیوند $C-C$ را بوجود می‌آورد. در شکل (۱۳-۴) نمایش آرایش فضایی مولکول إتان به وسیله مدل‌های چوب - گلوله (a) مدل توپر (b) مدل باز مشخص شده‌اند.



شکل (۱۳-۴) نمایش فضایی مولکول إتان به وسیله مدل‌های چوب - گلوله

به همین ترتیب می‌توان هیدروکربورهای اشباع شده دیگر را با قرار دادن یک گروه $-CH_2-$ در بین دو اتم کربن تشکیل داد.



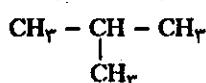
آلکان‌ها هیدروکربورهایی با فرمول عمومی C_nH_{2n+2} هستند، سردسته این ترکیبات متان است و بعد از آن إتان می‌باشد، پس از آن افزایش یک اتم کربن و دو اتم هیدروژن زنجیر هیدروکربور ادامه پیدا می‌کند. در جدول (۱۳-۱) اسامی و نقطه جوش این ترکیبات از متان (C₁, H_۲) تا دکان (C₁₀, H_{۲۲}) داده شده است. همچنین نام و فرمول رادیکال هریک از این ترکیبات داده شده است.

نام	فرمول	نقطه جوش	نام رادیکال	فرمول
Methane	CH ₄	- 161°C	Methyl	CH ₃ -
Ethane	C ₂ H ₆	- 89	Ethyl	C ₂ H ₅ -
Propane	C ₃ H ₈	- 40	Propyl	C ₃ H ₇ -
Butane	C ₄ H ₁₀	- 0.5	Butyl	C ₄ H ₉ -
Pentane	C ₅ H ₁₂	36	Pentyl (amyl)	C ₅ H ₁₁ -
Hexane	C ₆ H ₁₄	68	Hexyl	C ₆ H ₁₃ -
Heptane	C ₇ H ₁₆	98	Heptyl	C ₇ H ₁₅ -
Octane	C ₈ H ₁₈	126	Octyl	C ₈ H ₁₇ -
Nonane	C ₉ H ₂₀	151	Nonyl	C ₉ H ₁₉ -
Decane	C ₁₀ H ₂₂	174	Decyl	C ₁₀ H ₂₁ -

جدول (۱۳-۱) فرمول، نام و نقطه جوش آلکان‌ها و رادیکالهای مشتق از آنها

(a) ایزومری در آلکان‌ها

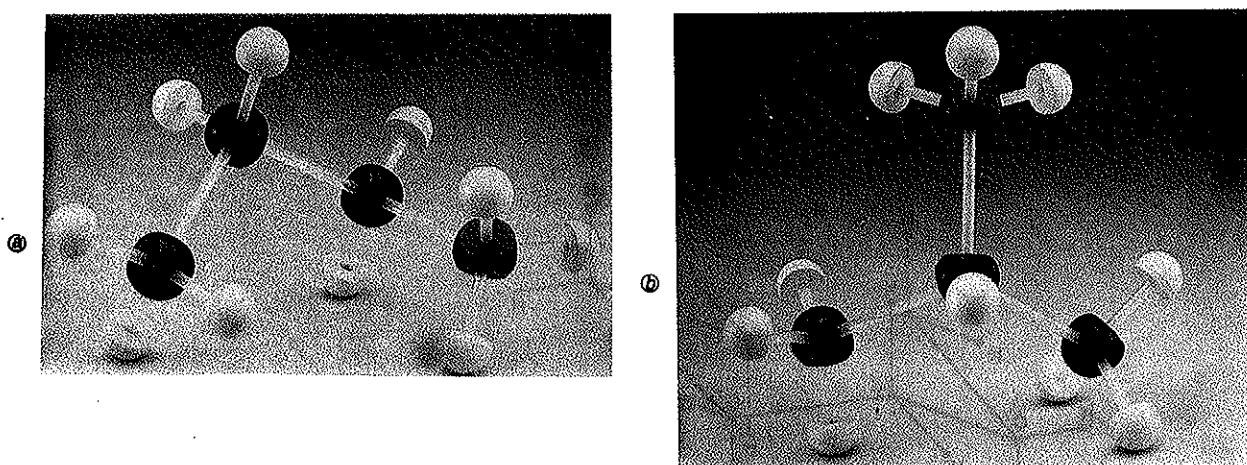
ایزومری در آلکان‌ها از مولکول بوتان شروع می‌شود. به عنوان مثال بوتان به فرمول



و یا به صورت



می‌تواند وجود داشته باشد. در شکل (۱۳-۵) به کمک مدل (چوب - گلوله باز) آرایش فضایی این دو ایزومر نشان داده شده است. در شکل (a) مولکول بوتان نرمال و در (b) ایزومر آن به نام متیل پروپان نمایش داده شده است. فرمول خام این دو ترکیب یکی است.



شکل (۱۳-۵) آرایش فضایی مولکول بوتان (a) بوتان نرمال (b) ایزومر بوتان و با متیل پروپان

به طور کلی هرگاه دو ترکیب فرمول خام مشابه داشته باشند ولی شکل فضایی مولکولهای آنها منطبق برهم نباشند آنها را ایزومر گویند و خواص فیزیکی آنها کاملاً متفاوت از هم است. مثلاً نقطه جوش بوتان نرمال $5/0^{\circ}\text{C}$ - درجه سانتیگراد و چگالی آن $d = 0.601 \text{ gr/cm}^3$

و حال آنکه نقطه جوش ایزوبوتان $6/11^{\circ}\text{C}$ - درجه سانتیگراد و چگالی آن $d = 0.549 \text{ gr/cm}^3$

است.

در آلکان‌های زنجیری تعداد ایزومرها با افزایش n (تعداد کربنها در مولکول) افزایش می‌یابد.

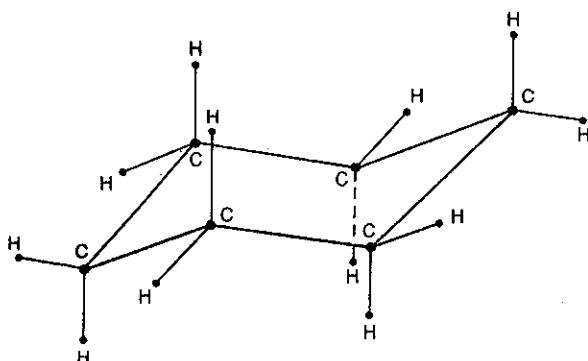
$n = 4$	۳ ایزومر
$n = 6$	۵ ایزومر
$n = 8$	۱۸ ایزومر
$n = 10$	۷۵ ایزومر
$n = 20$	نفیراً ۳۶۶ هزار ایزومر
$n = 40$	در حدود 6×10^{13} ایزومر

جدول (۱۳-۲) تعداد ایزومرهای ممکن بر حسب تعداد اتمهای کربن (n) در آلکانها.

(b) ترکیبات زنجیری بسته

در یک سری از ترکیبات زنجیری اشباع شده کربن، اولین اتم کربن می‌تواند با آخرين کربن پیوند کووالانسی (کاملاً مشابه پیوندهای هیبریدی sp^3 دو اتم کربن میانی) به وجود آورد. به عنوان مثال، سیکلو هگزان به فرمول عمومی C_6H_{12} براساس شکل لویس به صورت شش ضلعی ساده در صفحه ترسیم می‌شود ولی در واقع اتمهای کربن با ساختار چهاروجهی مسطح نمی‌باشد. در شرایط عادی فرمولی که نشان دهنده پایدارترین صورت‌بندی آن است، به صورت یک صندلی است (نوعی صندلی که در کنار دریا از آن استفاده می‌کنند).

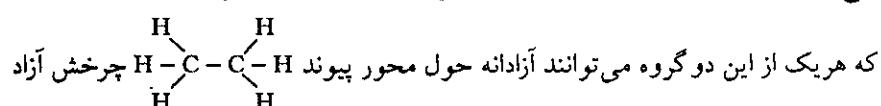
در شکل (۱۳-۶) آرایش فضایی سیکلو هگزان در صورت‌بندی صندلی نمایش داده شده است. ترکیباتی شبه سیکلو هگزان به صورت عمومی سیکلان خوانده می‌شوند.



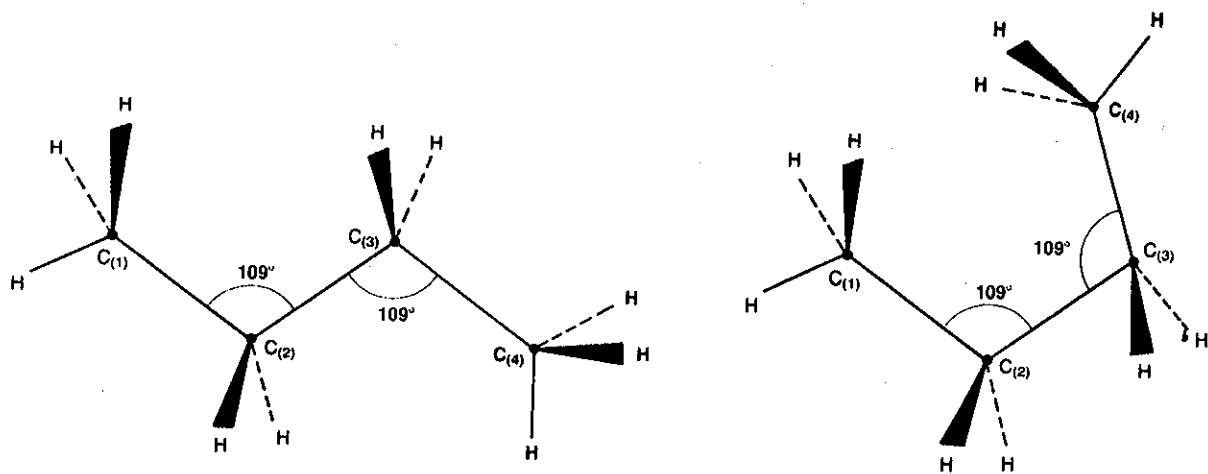
شکل (۱۳-۶) نمایش فضایی سیکلو هگزان

(c) چرخش آزاد مولکولها

چرخش آزاد گروههای موجود در یک مولکول شرایطی را به وجود می‌آورد که مولکول در پایین ترین تراز انرژی قرار گیرد. برای فهم این مسئله، ساده‌ترین مولکولها یعنی اتان را در نظر می‌گیریم ($CH_3 - CH_3$) به کمک مدل «چوب - گلوله» شکل مولکول را ساخته (مراجعة شود به شکل ۱۳-۴) و به پیوند کربن - کربن نگاه می‌کنیم. پیوند دو اتم به یکدیگر به نحوی است که تقارن انتقالی حول محور دو اتم کربن دارد. مفهوم عبارت این است که هیچ وضعیت استثنایی برای گروه CH_3 انتها می‌نماید و وجود ندارد به نحوی

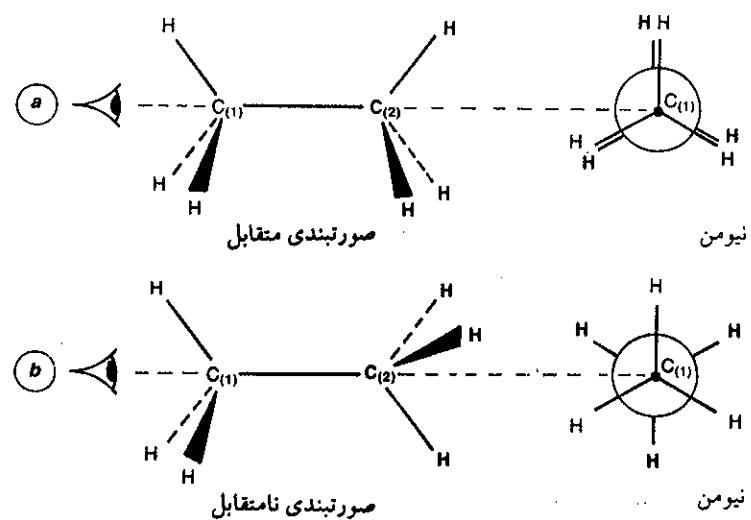


داشته باشند. نتیجه اینکه در کلیه آلکان‌ها چرخش آزاد حول محور $C - C$ وجود دارد. در شکل (۱۳-۷) این خاصیت در مرور مولکول بوتان نرمال نمایش داده شده است. دو نمودار به نحوی ترسیم شده‌اند که زاویه 109° درجه بین دو اتم کربن $C - C$ همواره وجود داشته باشد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید چرخش آزاد مخصوصاً حول محور کربنها (C_2 و C_3) نیز وجود دارد و با یک چرخش حول این محور، مجموعه $C_4 - C_3$ از نمودار سمت چپ به نمودار سمت راست می‌رسیم بدون آنکه زاویه 109° درجه چهاروجهی کربنها تغییر کند.



شکل (۱۳-۷) چرخش آزاد حول محور C_2C_3 امکان ترسیم مولکول بوتان را به دو صورت ممکن می‌سازد.

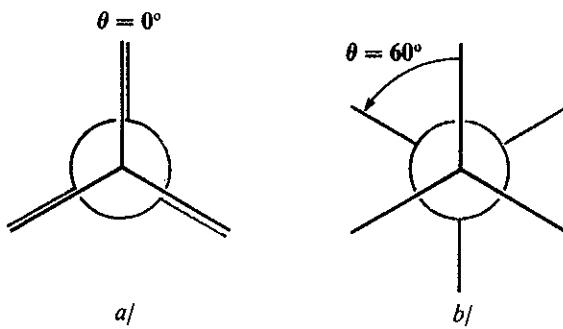
مجددأ همان مولکول اتان را در نظر می‌گیریم، چرخش آزاد دو گروه (CH_3) حول محور $C_1 - C_2$ در شکل (۱۳-۸) نمایش داده شده است که بخوبی چرخش آنها را با چشم مشاهده می‌کنید. به دو روش می‌توان چرخش آزاد مولکول را مشخص کرد. در شکل a اتمهای کربن C_2 در معرض دید و به نحوی قرار گرفته‌اند که اتمهای H کربن C_1 مقابل هیدروژنهای C_2 قرار می‌گیرند. در دایره فقط کربن C_1 و سه اتم H مربوط به آن دیده خواهد شد (البته برای تشخیص اتمهای H کربن C_2 آنها را قادری از محل اصلی تغییر داده‌ایم). این آرایش را صورت‌بندی متقابل (eclipse conformation) گویند. در سمت چپ همین



شکل (۱۳-۸) دو صورت‌بندی اتان a) متقابل b) نامتقابل

شکل، نحوه ترسیم را با نام نیومن (Newman) معرفی می‌کنند. تمام پیوندهای C-H نسبت به هم زاویه ۱۲۰ درجه دارند. در شکل b (۱۳-۸) مجموعه C_۲ و سه اتم هیدروژن متصل به آن را ۱۸۰ درجه حول محور C_(۱)-C_(۲) چرخش می‌دهیم در اینحال صورت‌بندی به صورت نامتقابل (Staggered conformation) در می‌آید.

برای إتان و يا هر آلکانی تعداد زیادی صورت‌بندی متفاوت ممکن است وجود داشته باشد. برخوردهای مولکولها با یکدیگر دائمًا وضعیت قرار گرفتن گروههای متصل به پیوند C-C را نسبت به یکدیگر تغییر می‌دهند. در شکل (۱۳-۹) a و b زاویه θ معرف صورت‌بندیهای ممکن می‌باشد. برای چرخش آزاد $\theta = 0^\circ$ ، $0^\circ = 240^\circ$ و یا 360° درجه، پیوندهای C-H صورت‌بندی متفاوت را پیدا می‌کنند و تمام پیوندهای H-C دوم در مقابل کربن اول قرار گرفته‌اند. ولی برای چرخش آزادی که در آن $\theta = 60^\circ$ ، $60^\circ = 300^\circ$ و یا 180° درجه پیوندهای H-C در نیمساز زوایای H-C_۱ ها قرار می‌گیرند.



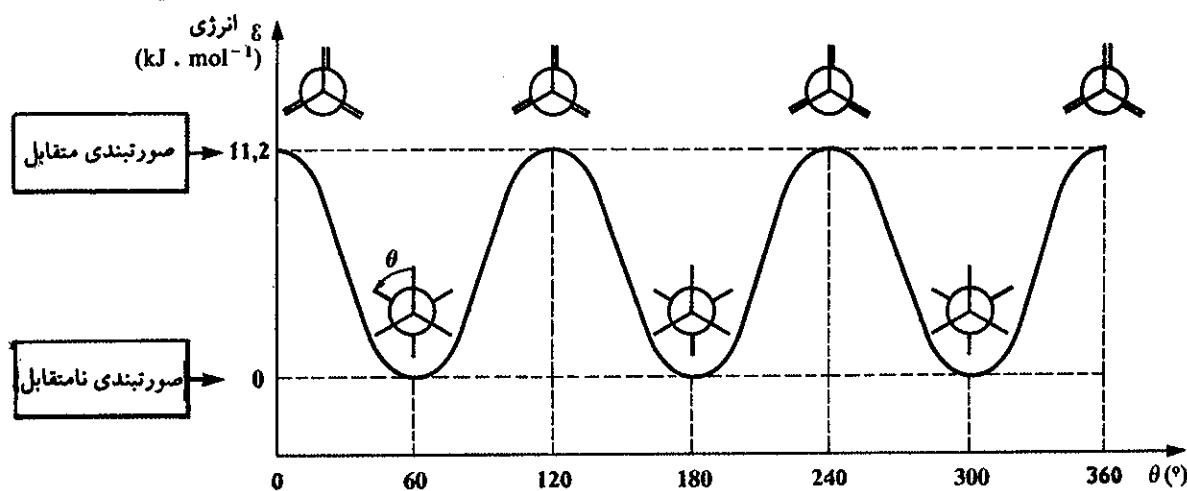
شکل (۱۳-۹)

a) صورت‌بندی متفاوت در إتان همین صورت‌بندی در چرخش‌های آزاد 360° و 240° و $120^\circ = \theta$ تکرار می‌شود.

b) صورت‌بندی نامتقابل به ازاء چرخش آزاد مولکول به 60° و 300° و $180^\circ = \theta$.

d) چرخش آزاد و وضعیت انرژی مولکول

بین اتمهای هیدروژن متصل به کربن نیروی دافعه الکترواستاتیکی وجود دارد، انرژی حاصل از این دافعه بین دو گروه CH_۳ - زمانی کمترین مقدار را دارد که فاصله بین اتمهای هیدروژن دو گروه بیشترین مقدار را داشته باشد. بنابراین زمانی که مقدار θ بسیار پایین است، دافعه اتمهای متصل به گروه C_۱ بر روی گروه اتمهای C_۲ زیاد و درنتیجه پایداری مولکول کمتر می‌شود ولی بر عکس زمانی که مقدار θ حداقل یعنی 60° درجه است نیروی دافعه کولتی کمترین ارزش را داشته و مولکول پایدارتر خواهد بود. شکل (۱۳-۱۰) تغییرات انرژی مولکول را در دو حالت حداقل و حداقل و مابین این دو به کمک منحنی نشان می‌دهد. و نیز باید یادآور شد احتمال صورت‌بندی نامتقابل گروهها نسبت به هم بیشتر از صورت‌بندی متفاوت است.



شکل (۱۳-۱۰) منحنی تغییرات انرژی (ΔE) بر حسب وضعیت چرخش گروههای CH_3 - در مولکول اتان با درنظر گرفتن زاویه θ دو گروه نسبت به هم.

(e) نام‌گذاری آلکان‌ها براساس قواعد IUPAC¹

نام‌گذاری ترکیبات آلی بسیار اهمیت دارد، زیرا با توجه به فراوانی (بیش از ۶ میلیون) این ترکیبات و افزایش نمایی روزانه آنها، ممکن نیست خارج از قاعده آنها را نام‌گذاری کرد. اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی (IUPAC) روش‌هایی را برای نام‌گذاری درنظر گرفته که باید همواره به کاربرده شود.

با نام متان، اتان، پروپان و بوتان آشنا شدید و می‌بینید که تمام آنها با پسوند «ان» (ane) ختم می‌شوند و این پسوند مشخص کننده نوع ترکیب است که در جلو آن پیشوندی که تعداد اتمهای کربن را مشخص می‌کند می‌آورند. در جدول (۱۳-۱) با اسامی ده هیدروکربور اشباع شده و اسامی رادیکالهای مشتق از آنها آشنا شدید. آلکان‌هایی با زنجیره مستقیم را معمولاً الکان نرمال گویند و غالباً حرف «ا» را در جلو نام آلکان قرار می‌دهند.

(f) گروه الکیل Alkyl

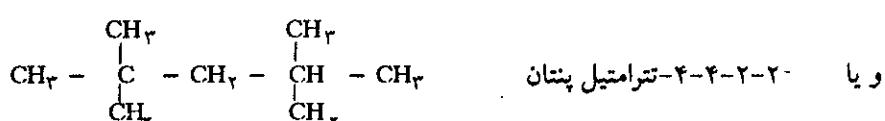
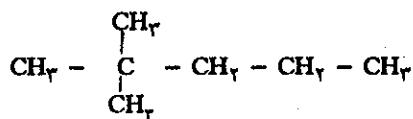
فرمول آلکان‌ها را می‌توان به این صورت نوشت: متان CH_4 به صورت $\text{H}-\text{CH}_3$ ، اتان (C_2H_6) به صورت $\text{H}-\text{C}_2\text{H}_5$ و پروپان (C_3H_8) به صورت $\text{H}-\text{C}_3\text{H}_7$ و یا به صورت $(\text{C}_n\text{H}_{2n+1})-\text{H}$.

بدین ترتیب مجموعه اتمهایی را که می‌توانند به اتم هیدروژن پیوند شده و آلکان را به وجود آورند مشخص کرده‌ایم. این مجموعه از اتمها را گروه الکیل گویند. بنابراین CH_3- گروه متیل و C_2H_5- گروه اتیل و C_3H_7- را گروه پروپیل گویند. البته در مرور گروه آخر به شرط آن که C_3H_7- زنجیره مستقیمی باشد. زیرا اگر به صورت $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ باشد ایزومری از گروه پروپیل است. نام‌گذاری در آلکان‌هایی شاخه‌دار بدین ترتیب است که ابتدا بلندترین زنجیر را انتخاب و شماره گذاری می‌کنند. با قرار دادن شماره کربن شاخه‌دار و ذکر نام گروه الکیل پیوند شده به آن نام آلکان را در آخر اضافه می‌کنند.

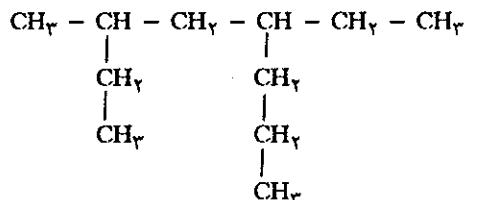
مثال $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ نام زنجیر طویل‌تر پروپان است و محل پیوند گروه متیل

1. IUPAC = International Union of Pure and Applied Chemistry.

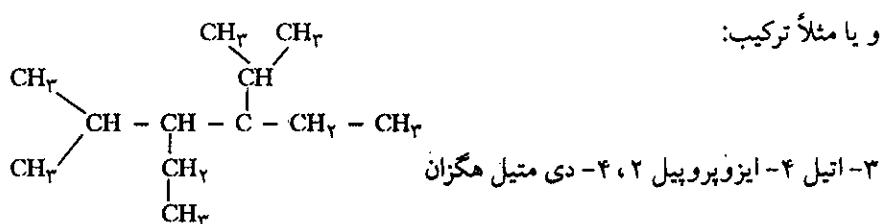
برروی کربن دوم است بنابراین نام آن ۲-متیل پروپان است. گاهی تعداد گروههای مشابه بیش از یکی است در این حال تعداد آنها را با کلمات دی - تری و ترا آغاز می‌کنند. مثلاً ۲-۲-دی متیل پنتان



حتی اگر زنجیر به ترتیبی نوشته باشد تا جای کمتری را اشغال کند به هر حال باید زنجیر بلندتر را پیدا کرد. مثلاً



به نظر می‌رسد که این ترکیب مشتقی از هگزان با ۶ کربن اصلی است ولی این درست نیست و باید زنجیر بلندتر را پیدا کرد و آن اکтан است. پس نام ترکیب فوق ۳-متیل-۵-اتیل اکтан است.

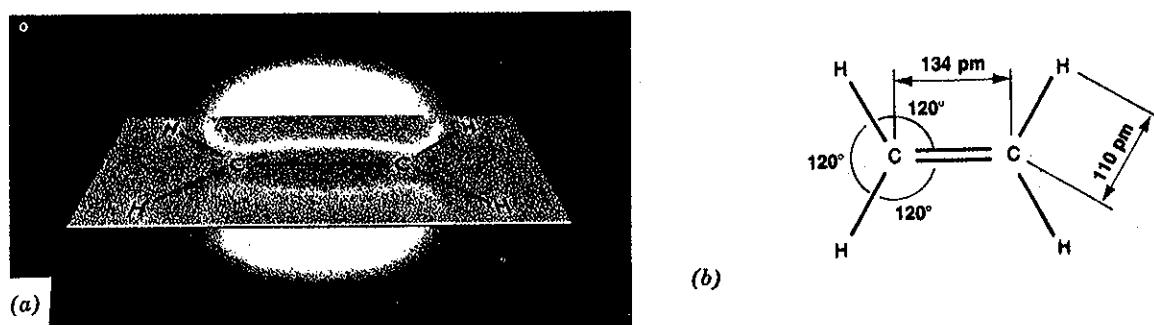


ب) ترکیبات اشباع نشده

(a) آلکین‌ها

ساده‌ترین هیدروکربور اشباع نشده اتیلن C_2H_4 است که در آن یک پیوند دوگانه وجود دارد. در فصل سوم گفته شد که این پیوند دوگانه متشکل از یک پیوند σ و یک پیوند π است. مشخصات پیوند اتیلن (زاویه و طول پیوندها) در شکل (۱۳-۱۱) داده شده است.

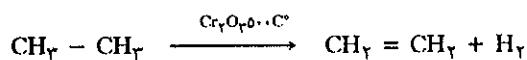
این ترکیبات را آلکین (Alkenes) گویند که عبارتند از یک سری ترکیبات مشابه، مشتق از اتیلن که در آنها گروههای $-\text{CH}_3$ - یکی بعد از دیگری اضافه شد به نوعی که فرمول عمومی آنها C_nH_{2n} می‌باشد و در آن n عدد کامل برابر و یا بزرگتر از ۲ است. پیوند دوگانه اتیلن در صفحه واقع می‌باشد و درنتیجه چرخش آزاد حول $\text{C}=\text{C}$ برای آن غیر ممکن و هیچ



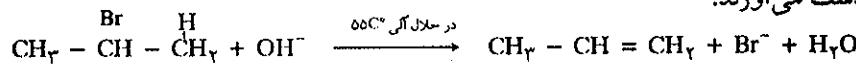
شکل (۱۳-۱۱) (a) نمودار پیوند در اتیلن (b) زوابا و طول پیوندهای آن

یک از گروههای CH_2 - نمی‌توانند چرخشی نسبت به یکدیگر داشته باشند. بعد از اتیلن ترکیب ساده بعدی پروپیلن $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ است. وجود پیوند دو گانه فعالیت شیمیایی آلکین‌ها را بیشتر از آلکان‌ها نموده است و به همین دلیل وجود آنها همراه با مواد نفتی نادر است.

آلکین‌ها در پتروشیمی اهمیت فراوان دارند و در اولین مرحله تبدیلات شیمیایی فراورده‌های نفتی (آلکان‌ها) به دست می‌آیند و این عمل با حذف دو اتم هیدروژن انجام می‌گیرد.

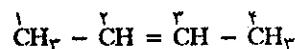


در آزمایشگاه آلکین‌ها را از اثر بازها بر روی الکیل بر میدهای در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد به دست می‌آورند.

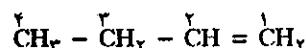


(b) نامگذاری آلکین‌ها

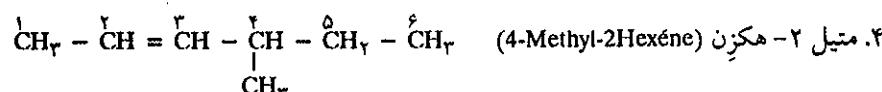
برای نامگذاری آلکین‌ها پسوند ان (ene) را به آلکانی که این آلکین مشتق شده است می‌دهند. بلندترین زنجیر کربنها را انتخاب کرده پیشوند هیدروکربور اشاع شده را با پسوند ان بیان می‌کنند. تعداد اتمهای کربن این زنجیر را به ترتیبی شماره گذاری می‌کنند که کوچکترین عدد با پیوند دو گانه آغاز شود و قبل از نام آلکین عدد مشخص کننده پیوند دو گانه را قرار می‌دهند مثل:



۲. بوتین (2-Butene)



۱. بوتین (1-Butene)



و اگر دو پیوند دو گانه در مولکول وجود داشته باشد کلمه دی (di) را در مقابل «ان» اضافه

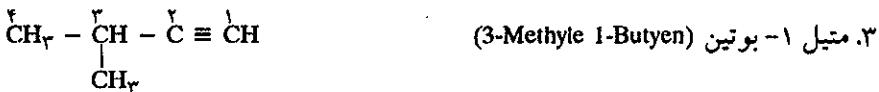
می‌کنند.



ب) آلکین‌ها:

این ترکیبات رانیز کربور استیلن نام نهاده‌اند. هیدروکربورهایی هستند با زنجیر باز که در مولکول یک یا چند پیوند سه گانه یافت می‌شود. با برداشتن دو اتم هیدروژن از آلکن‌ها، ترکیبات آلکین با همان تعداد کربن به دست می‌آید بنابراین فرمول عمومی آنها $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ خواهد بود که در آن $n \geq 2$ است. به ازاء $n=2$ کوتاهترین آلکین را خواهیم داشت که همان استیلن معمولی (C_2H_2) است و نام رسمی آن اتنی می‌باشد. به ازاء $n=3$ آلکین را پروپین و $n=4$ بوتین و ... بنابراین پسوند پن (yne) همراه با شماره یونانی تعداد کربنها مشخص کننده نام آلکین‌ها است. نامگذاری آنها نیز مانند آلکن‌ها است: یعنی محل پیوند سه گانه را در جلو نام آنها قرار می‌دهند.

مثال:



استیلن با شعله بسیار گرمی در هوای احتراق حاصل می‌کند و دمای آن به 300°C درجه می‌رسد که از آن برای برش فلزات مخصوصاً آهن استفاده می‌شود. اثر آب بر روی کلسیم کاربید به دست می‌آید.



۳) ایزومری در آلکین‌ها

بیادآورید دو ترکیب با فرمول خام مشابه ولی فرمول گستردۀ متفاوت ایزومر نام دارند. پیوند دو گانه در آلکین‌ها دو نوع ایزومری تولید می‌کند:

ایزومری پیکربندی (Configurations): ترکیبات زیر را در نظر بگیرید

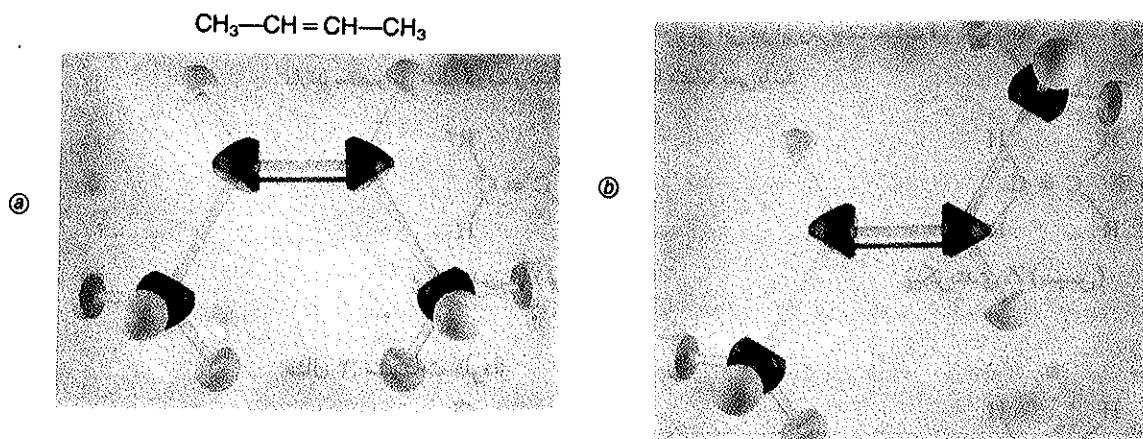


فرمول خام این دو ترکیب C_4H_8 است ولی مولکولهای آنها را نمی‌توان بریکدیگر منطبق کرد. زیرا محل پیوند دو گانه متفاوت از هم است. این حالت را ایزومری پیکربندی گویند. توجه داشته باشید ایزومری ۱ - بوتین را نمی‌توان داشت زیرا پیکربندی آن کاملاً مشابه «۱ - بوتین» است و می‌توان آنها را برهم منطبق نمود.

۴) ایزومری فضایی Stereoisomeris

کلمه استرنو کلمه‌ای یونانی است که مفهوم جامد و یا مجموعه چیزهای سخت را می‌رساند. بنابراین ایزومری فضایی و یا Stereoisomerism مربوط به ترکیباتی می‌شود که

پیکربندی فضایی محکمی داشته و شکل آنها در فضای تغییر ناپذیر است. به عنوان مثال ترکیب ۲ - بوتن ($\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$) را در نظر بگیرید. به کمک مدل‌های «چوب - گلوله» اشکال ممکن این مولکول را درست کنید. دو وضعیت به صورت نمایش داده شده در شکل (۱۳-۱۲) خواهید داشت. همان‌گونه که در اشکال می‌بینید، محل قرار گرفتن گروه متیل بر روی مولکول کاملاً متفاوت از هم است و در دمای عادی انرژی جنبشی مولکولها قادر به تعویض و یا چرخش را دیگر نمی‌باشد. زیرا انرژی پیوند π سدی در مقابل این عمل است و برای از بین بردن این سد انرژی فعالسازی (Activation) لازم است. بنابراین در دمای عادی می‌توان این دو ایزومر را از یکدیگر جدا ساخت زیرا نقطه جوش آنها متفاوت از هم می‌باشد.

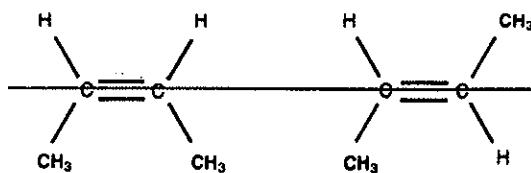


شکل (۱۳-۱۲) دو پیکربندی فضایی مولکول ۲ - بوتن

دو روش برای نامگذاری این نوع ایزومری وجود دارد:

- ۱) روش قدیمی به نامهای (Cis - trans) سیس و ترانس که تنها در مورد این حالت بخصوص یعنی (۲ - بوتن) و یا شکل هندسی مشابه آن) به ترتیب زیر بیان می‌شود: خط راستی از مرکز دو اتم کربن با پیوند دو گانه رسم می‌کنند. اگر دو گروه متیل در یک سمت این خط باشند، ایزومری را سیس (Cis) گویند و اگر یکی در بالا و دیگر در پایین در دو جهت مخالف هم باشند ایزومری را ترانس گویند شکل (۱۳-۱۳).
- ۲ - روش جدید که برای تمام ایزومری‌های فضایی به کار برده می‌شود با حروف Z و E مشخص می‌گردد. باز مانند روش قبل خط راستی که از مرکز دو اتم با پیوند دو گانه عبور می‌کند رسم کرده و ایزومری را که دو گروه متیل آن در یک سوی خط قرار گرفته است، پیکربندی Z گویند (z از کلمه آلمانی Zusammen است که معنی باهم دارد). ایزومری که دو گروه متیل در طرف خط و در دو جهت مخالف هم باشند E گویند (E از کلمه آلمانی Entgegen که معنای مخالف هم را دارد).

مثال ۱: در این ترکیب $\text{R}-\text{CH} = \text{CH} - \text{R}'$ دو گروه آکیل متفاوت از هم هستند:



پیکربندی Z (یا سیس)

(Z)

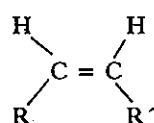
(سیس)

پیکربندی E (یا ترانس)

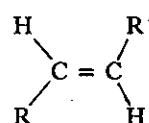
(E)

(ترانس)

شکل (۱۳-۱۴) ایزومری فضایی مولکول ۲-بوتن این دو ایزومر مشخصات فیزیکی کاملاً متفاوت از هم دارند بخصوص نقطه ذوب و نقطه جوش آنها مشابه نمی‌باشد.

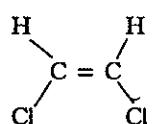


پیکربندی Z (سیس)

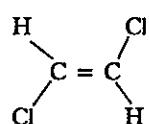


پیکربندی E (ترانس)

مثال ۱: مشتقات کلردار

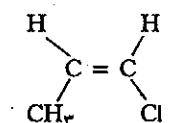


۱، ۲ دی کلرو اتیلن Z (سیس)

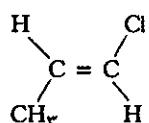


۱، ۲ دی کلرو اتیلن E (ترانس)

مثال ۲:

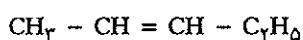
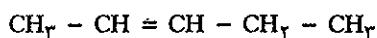


۱ - کلرو ۱ - پروپن Z (سیس)

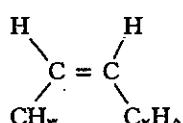


۱ - کلرو ۱ - پروپن E (ترانس)

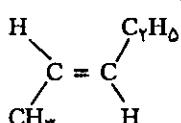
مثال ۳: برای فرمول نیمه گسترده ۲ - پتن به صورت:



آرایش فضایی به صورت زیر است:



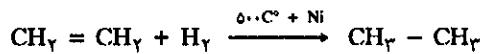
۲ - پتن Z (سیس)



۲ - پتن E (ترانس)

ت) افزایش هیدروژن بر آلکین‌ها و آلکین‌ها

عمل افزایش هیدروژن به اتیلن احتیاج به کاتالیزور دارد و کاتالیزور آن نیز پودر بسیار نرم نیکل است. همان‌گونه که در فصل یازدهم (۱۱-۳) مطالعه شد عمل کاتالیزور سریع کردن واکنش است.



در شیمی آلی حالات فیزیکی سه گانه مواد شرکت کننده و فراورده واکنش غالباً ذکر نمی‌شود، چون از یک سو ممکن است حلالها متفاوت از هم باشند و از سوی دیگر واکنش در روی سطحی انجام می‌گیرد که شرایط گازی و یا مایع بودن مواد مانند واکنش فوق چندان مشخص نیست. بنابراین از گذاشت آن دیس‌های S، g، 1که معرف جامد، گازی و یا مایع بودن مواد است، خودداری می‌شود.

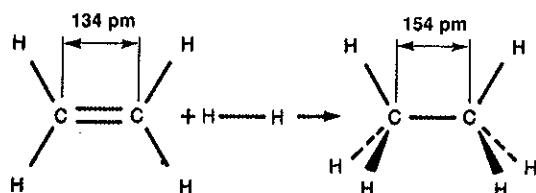
امکان انجام واکنش را می‌توان با توجه به ضعیف بودن پیوند C = C و قدرت پیوند فراورده بررسی نمود. آنتالپی واکنش هیدروژن‌دار کردن اتیلن، عبارتست از تفاوت مقدار انرژی لازم برای شکستن پیوند دو گانه C = C و پیوند H - H در مولکول هیدروژن، با انرژی به دست آمده از یک پیوند C - H و دو پیوند H - C در فراورده واکنش

$$\Delta H = D(C=C) + D(H-H) - [2 \times E(C-H) + E(C-C)]$$

از جدول (۲-۲) فصل سوم انرژی پیوند و یا انرژی تفکیک را می‌توان به دست آورد.

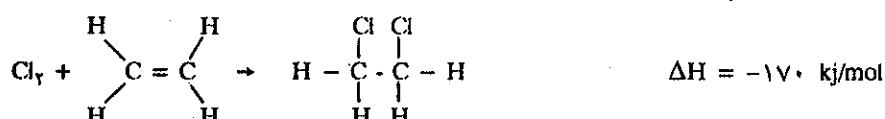
$$\Delta H = 612 + 436 - (2 \times 412 + 348) = -124 \text{ kJ/mol}$$

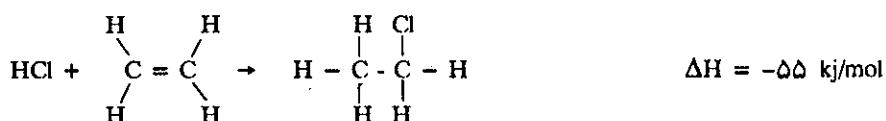
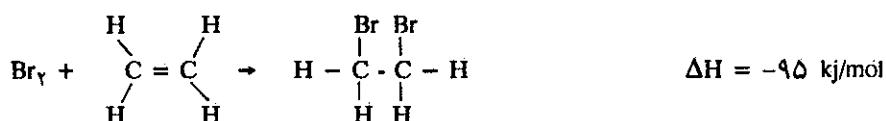
بنابراین واکنش گرمایزا (exothermic) و همراه با آزاد شدن ۱۲۴ کیلوژول بر مول انرژی است در شکل (۱۳-۱۴) مشخصات واکنش هیدروژن‌دار کردن اتیلن داده شده است.



شکل (۱۳-۱۴) عمل هیدروژن‌دار کردن اتیلن تغییراتی در طول پیوند و شکل هندسی مولکول به وجود می‌آورد. مولکول اتیلن واقع در صفحه است و حال آنکه مولکول اتان چهار وجهی می‌باشد.

با محاسباتی مشابه آنتالپی واکنشهای زیر که همه گرمایزا می‌باشند به دست می‌آید.





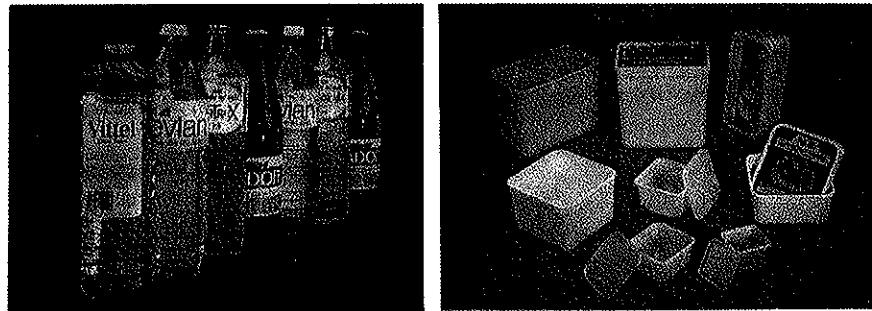
افزایش هالوژن به آلکین‌ها را هالوژن‌دار کردن گویند و ترکیب حاصل را آلکیل هالاید گویند.

ث) پلی‌مر شدن آلکین‌ها

آلکین‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند و بدین ترتیب پلی‌مری افزایشی از آنها تشکیل می‌شود. مثلاً یک مولکول اتیلن ممکن است پیوندی با مولکول اتیلن دیگر به وجود آورد و یک مولکول اتیلن دیگر نیز بر آنها اضافه شود و همین طور عمل ادامه پیدا کند تا زنجیر بلندی از هیدروکربورها به وجود آید. آلکین اولیه را مونومر گویند (monomére) کلمه یونانی که مفهوم یک بخش را دارد) زنجیره تشکیل شده از پیوند کووالانسی مونومرها را با یکدیگر «پلی‌مر» (Polymere) چند بخشی گویند). ساده‌ترین پلی‌مراها پلی‌اتیلن به فرمول $(\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_n$ است که زنجیره بلندی از واحدهای $-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$ دارد. غالباً پلی‌مراها شاخه‌های جانبی نیز دارند. در صنعت پلاستیک‌سازی، پلی‌مراها را از اتحاد مونومرها یابی با فرمول کلی: $\text{CH}_x = \text{CH}_2$ تهیه می‌کنند. در این مونومر X ممکن است یک اتم کلر (مثلاً در وینیل کلرید: $\text{CHCl} = \text{CH}_2$) و یا گروه متیل (CH_3) باشد و فرمول کلی پلی‌مراها عبارتند از: $[\text{CH}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2]_n$ - پلی‌وینیل کلرید یا PVC و $[\text{CH}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2]_n^-$ - به نام پلی‌پروپیلن است. در جدول (۱۳-۳) چند نوع مونومر و پلی‌مراهای به وجود آمده از آنها را داده‌ایم.

نام	فرمول	نام نوع پلی‌مر	مونومر
اتیلن	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	پلی‌اتیلن	
وینیل کلرید	$\text{CH}=\text{CH}_2$	پلی‌وینیل کلرید	$\text{CH}=\text{CH}_2$
استیرن	$\text{CH}=\text{CH}_2$ 	پلی‌استیرن	$\text{CH}=\text{CH}_2$
آکریلو نیتریل	$\text{CH}=\text{CH}_2$ CN	اورلن	
پروپیلن	$\text{CH}=\text{CH}_2$ CH_3	پلی‌پروپیلن	
متیل متاکریلات	$\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{CH}_3$ $\text{C}=\text{CH}_2$ CH_3	پلکسی‌گلام، لوسیت	$\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{CH}_3$ $\left\{ \begin{array}{c} \text{C}=\text{CH}_2 \\ \text{CH}_3 \end{array} \right\}_n$
اتیلن ترفلورید	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	تلون	$-(\text{CF}_2-\text{CF}_2)_n-$

جدول (۱۳-۳) چند نوع پلی‌مر افزایشی

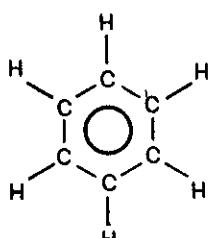


بطری آب ساخته شده از PVC پلی وینیل کلرید
Polyvinylchloride

ظروف برای نگهداری غذا و بستنی ساخته
شده از پلی استیرن (Polystyrene)

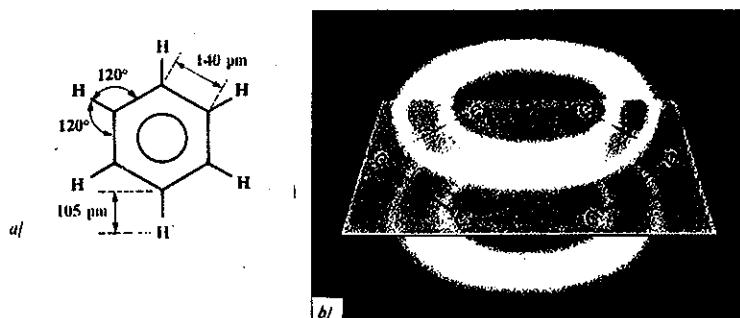
ج) هیدروکربورهای آروماتیک

مقدمه: بنزن C_6H_6 اولین ترکیب آروماتیک است که در قرن نوزدهم به وسیله فیزیکدان انگلیسی مایکل فاراده از ترکیبات آلی جداسازی شد. چندی بعد تعداد زیادی ترکیبات آروماتیک در انسان‌های معطره کشف شد و معلوم گردید که با واکنشهای شیمیایی مناسب می‌توان آنها را به بنزن تبدیل نمود. در ابتدا این ترکیبات را مشتقات بنزن و سپس ترکیبات آروماتیک یا معطره نامیدند زیرا غالب آنها بوی بسیار قوی دلپذیر دارند.



حلقه رزونانسی بنزن

(a) مشخصات مولکول بنزن خواص شیمیایی بنزن و ترکیبات مشابه آن بسیار حیرت‌انگیز است. با وجود آنکه ترکیبات بنزنی، ترکیباتی اشباع نشده شبیه الکین‌ها و الکین‌ها می‌باشند، ولی بر عکس واکنشهای افزایشی در آنها نسبتاً نادر و حال آنکه واکنشهای جایگزینی در آنها بسیار ساده و تعداد بی‌شماری از این قبیل ترکیبات تولید می‌کنند. بنابراین ترکیبات آروماتیک مستقل از ترکیبات اشباع نشده معمولی بوده و خواص عجیب آنها به علت داشتن حلقه بنزنی است. در مولکول بنزن ۶ اتم کربن و ۶ اتم هیدروژن وجود دارد و حال آنکه، هگزان با ۶ اتم کربن و ۱۴ اتم هیدروژن هیدروکربور اشباع شده است و هگزان متشکل از ۶ اتم کربن و ۱۲ اتم هیدروژن هیدروکربور اشباع نشده می‌باشد. بنابراین بنزن نسبت به هگزان ۸ اتم هیدروژن و نسبت به هگزان ۶ اتم هیدروژن کمتر دارد و همان طور که در فصل سوم گفته شد طول پیوند در بنزن 140 \AA پیکو متر و آرایش آن به صورت رزونانسی می‌باشد (شکل در حاشیه). گفته شد که در مولکول بنزن ۶ الکترون اوربیتالهای π را اشغال کرده‌اند. استخوان‌بندی مولکول از اوربیتالهای پیوندی $s p^2$ که از همپوشانی اوربیتالهای $s p^2$ اتم کربن با یکدیگر و با اتمهای هیدروژن درست شده است. شکل (۱۳-۱۵) طول و زوایای پیوند در مولکول بنزن را نمایش می‌دهد.

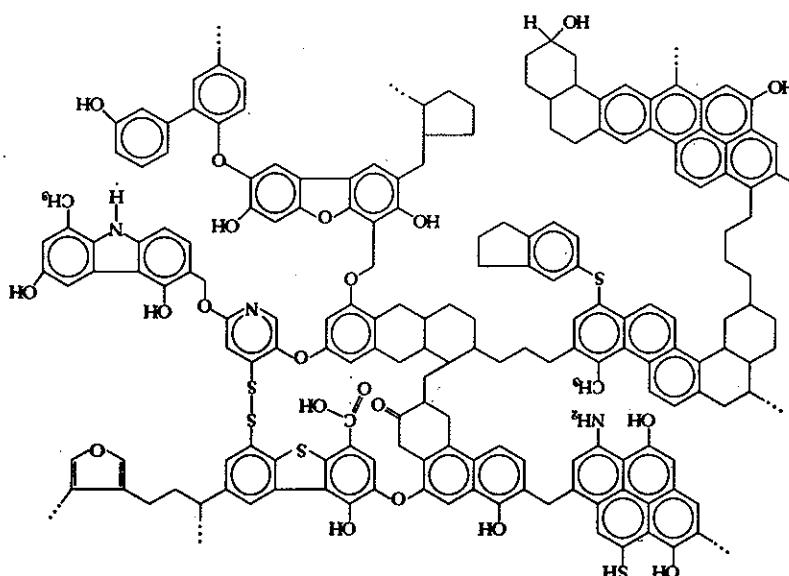


شکل (۱۳-۱۵) (a) طول و زوایای پیوند (b) نمایشی از اوربیتالهای π در مولکول بنزن

با توجه به اینکه هیدروکربورهای آروماتیک اشباع نشده هستند از این رو آنها را با پسوند «ان Ane»، شبیه آکین‌ها و پیشوند آر مشتق از کلمه آروماتیک می‌نامند بنابراین نام سیستماتیک آنها «آرن Arenes» است.

ترکیبات آروماتیک علاوه بر شکل ساده بنزنی به صورت ترکیبات چند حلقه‌ای نیز وجود دارند، به عنوان مثال، از پیوستن دو یا چند حلقه بنزنی به یکدیگر ترکیبات متنوعی به وجود می‌آید.

نفتالن ($C_{10}H_8$) و آنتراسن ($C_{14}H_{10}$) دو ترکیب چند حلقه‌ای بسیار مهم هستند که فرمول آنها از حلقه بنزنی و گروه (های) $-C_6H_5$ - تشکیل شده است. در جدول (۱۳-۴) انواع مشتقهای بنزن با نامهای رسمی و نامهای تجاری و همچنین کاربرد آنها داده است. این ترکیبات از تقطیر زغال سنگ به دست می‌آیند. در واقع زغال سنگ مخلوطی بسیار پیچیده از مولکولهای ساخته شده اند. شکل (۱۳-۱۶) نموداری از شبکه مولکولی زغال سنگ را نمایش می‌دهد. تقطیر زغال سنگ تا نهایت تخریب تمام شبکه و حتی تبدیل اتمهای گازی کربن منجر به تولید ترکیبات آروماتیک متنوع می‌شود.



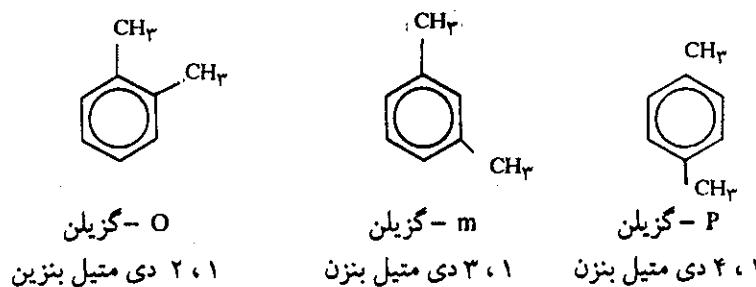
شکل (۱۳-۱۶) نموداری از ساختار درونی زغال سنگ

فرمول	نام رسمی	نام تجاری	کاربرد
	هیدروکسی بنزن	فنول	تهیه پلیمر
	متیل بنزن	تولوئن	حلال رنگها و تهیه لاک و مرکب
	۱ و ۲- دی متیل بنزن	أرتوکریلن	حلال رنگها و مواد حشره کش
	۱ و ۳- دی متیل بنزن	میتاکریلن	
	۱ و ۴- دی متیل بنزن	پاراکریلن	
	فنیل اتیلن	استیرن	در انرژی میرزا سیرون پلی استیرن می دهد
	نفتالین	نفتالین	نفتالین کشنده بید
	آنتراسن	آنتراسن	
	دی فنیل	دی فنیل	برای جلوگیری از امراض مرکبات
	آمینو بنزن	آئیلین	پلیمر و مواد رنگ کشند
	بنزوئیک اسید	بنزوئیک اسید	
	آلدهید بنزوئیک	آلدهید بنزوئیک	
	آلکیل بنزن سولفات	الکیل بنزن سولفونات	پودرهای رخت شوئی که در سال ۱۹۴۰ کشف شد

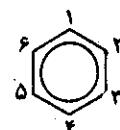
جدول (۱۳-۴) انواع مشتقات بنزن و کاربرد آنها

(b) نامگذاری ترکیبات آروماتیک

بسیاری از این ترکیبات نامهای تاریخی و کاربردی خود را حفظ کرده‌اند که مربوط به مبداء اصلی و طبیعی آنها است. مثلاً تولوئن $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ که از رزین درختان نظریم (Baum de Tolu) (درختی واقع در آمریکای جنوبی) به دست می‌آید و حال آنکه نام سیستماتیک آن متیل بنزن است. زیرا گروه متیل ($-\text{CH}_3$) یکی از گروههای جایگزینی در روی حلقة بنزنی است. موقعی که بیش از یک گروه یا ترکیب جایگزینی در روی حلقه قرار گیرد چندین نوع ایزومری به وجود می‌آید. مثلاً در مورد دی متیل بنزن:

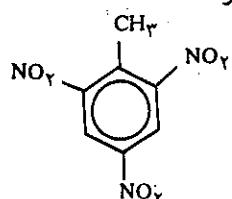


سه ایزومر فوق نامهای کاربردی گزیلن (Xylene) را دارند که سابقاً از تقطیر چوب به دست می‌آمد و نام یونانی (Xulon) بوده است و اسامی ایزومرها با پیشوند اورتو (O)، متا (m) و پارا (p)، را نیز از کلمات یونانی قدیم Orto مستقیماً، meta بعد از و Para روبرو، گرفته شده‌اند. موقعی که دو ترکیب جایگزینی نیز متفاوت از هم هستند همان پیشوند‌ها را به کار می‌برند مثلاً در مورد نیترو تولوئن آنرا پارانیترو تولوئن گویند (P - نیترو تولوئن، $\text{CH}_3(\text{C}_6\text{H}_4)\text{NO}_2$) همان‌طور که در مورد گزیلن گفته شد اسامی سیستماتیک بعد از عمل جایگزینی گروه‌ها بر روی بنزن با شماره‌گذاری اطراف حلقه‌بنزنی صورت می‌گیرد و همان‌طور که در مورد سه نوع گزیلن گفته شد آنها را دی متیل بنزن و با ذکر محل قرار گرفتن گروه‌های متیل بیان می‌کنند که عبارتند از: ۱ ، ۲ دی متیل بنزن، ۱ ، ۳ دی متیل بنزن و ۱ ، ۴ دی متیل بنزن. همین نام‌گذاری در مورد مولکولهای بسیار پیچیده دیگر نیز به کار برده می‌شود، مثلاً نام سیستماتیک تری نیترو تولوئن TNT عبارتست از:

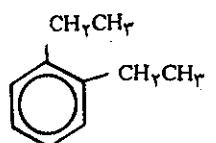


۱ - متیل ۲ ، ۴ ، ۶ تری نیترو بنزن

مثالهایی از مشتقات بنزن:

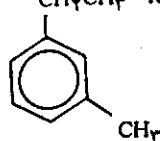


(۱) دو گروه اتیل در وضعیت ۱ و ۲ قرار دارند لذا نام ترکیب ۱ ، ۲ دی اتیل بنزن است.

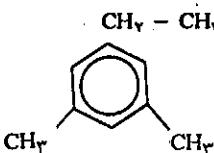


(۲) یک گروه اتیل در وضعیت ۱ و یک گروه متیل در وضعیت ۳ وجود دارد از این رو نام

ترکیب: ۱ - اتیل ۳ - متیل بنزن است.

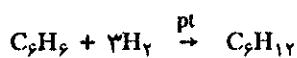


(۳) گروه اتیل در روی کربن شماره یک و دو گروه متیل بر روی کربن های ۳ و ۵ قرار دارند نام ترکیب ۱- اتیل ۳، ۵ دی متیل بنزن است.

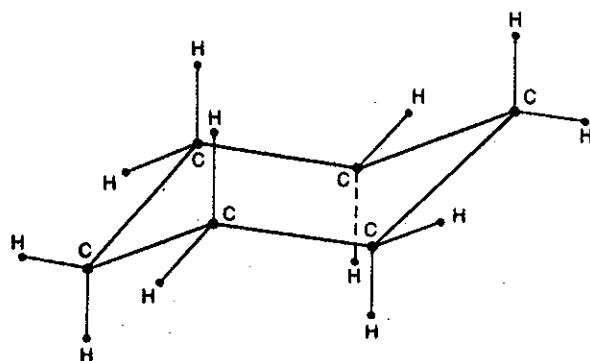


۴) واکنشهای هیدروکربورهای آروماتیک واکنشهای افزایشی

با وجود اینکه آرن ها همه هیدروکربور اشباع نشده هستند ولی تمایل چندانی به ایجاد واکنشهای افزایشی از خود نشان نمی دهند. در شرایط بخصوص و در درجه سانتیگراد و در حضور کاتالیزور نیکل یا پلاتین و تحت فشار می توان ۳ مولکول هیدروژن به بنزن اضافه نمود، فراورده واکنش فقط سیکلو هگزان C_6H_{12} است.



در این واکنش سه مولکول هیدروژن (نه بیشتر و نه کمتر) بر روی بنزن جذب می شود و این نمودار از بین رفتن ۳ پیوند π موجود در مولکول است که آنرا به صورت هیبرید رزونانسی در شکل (۱۳-۱۵) نمایش دادیم. و به همین دلیل واکنش افزایشی بر روی حلقه به سختی انجام می گیرد و نیز باید هر سه پیوند π هم زمان از بین بروند تا مثلث سیکلو هگزان تشکیل شود. سیکلو هگزان برخلاف بنزن که در صفحه واقع است صورت بندی فضایی دارد و شکل آن به صورت صندلی و هر کدام از ۶ اتم کربن آرایش چهار وجهی دارند شکل (۱۳-۱۷).

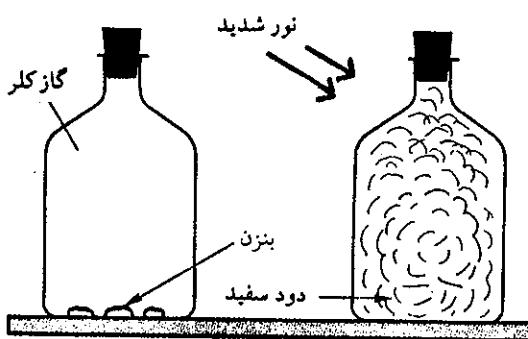


شکل (۱۳-۱۷) صورت بندی صندلی در سیکلو هگزان

افزایش کلر به بنزن:

مطابق شکل (۱۳-۱۸) در بالتنی مملو از گاز کلر چند قطره بنزن وارد کرده و سپس بالن را با چوب پنبه ای بسته و تکان دهید تا تمامی بنزن به صورت بخار در آید. در غیاب نور واکنشی انجام نمی گیرد ولی به مجرد قرار دادن بالن در مقابل نور خورشید و یا نوار مشتعلی

از منیزیم واکنش شروع می‌شود و رنگ سبز کلر از بین رفته و دود سفید رنگی در داخل بالن مشاهده می‌شود (mekanizm واکنش مشابه تهیه هیدروکلریک اسید از اختلاط گاز کلر هیدروژن است که در فصل یازدهم شرح دادیم). تجزیه و تحلیل دقیق دود نشان می‌دهد که واکنش افزایشی کلر بر روی بنزن به صورت زیر انجام گرفته است:

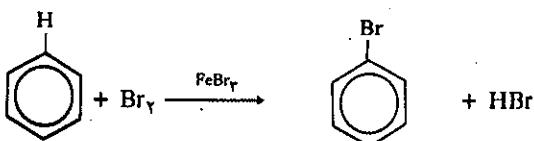


شکل (۱۳-۱۸) افزایش کلر بر بنزن واکنش در اثر نور شدید شروع و منجر به جسم جامدی که در ابتدا به صورت دود سفید رنگی است می‌شود. این جسم هگزاکلر و سیکلو هگزان است.

فرآورده واکنش ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ هگزاکلرو سیکلو هگزان است و در اینجا نیز حتماً باید سه مولکول کلر در واکنش شرکت کند. ساختار فضایی $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}_2$ شبیه سیکلو هگزان و صورت پیوندی صندلی دارد.

واکنشهای جایگزینی

در آلکین‌ها و یا الکین‌ها واکنش افزایشی ساده‌تر از واکنشهای جایگزینی انجام می‌گیرند. مثلًاً برم فوراً و به راحتی بر روی پیوند دوگانه آلکین افزوده می‌شود و حال آنکه بر روی حلقه بنزنی به صورت جایگزینی و آنهم در حضور کاتالیزور آهن (III) برومید (FeBr_3) اتم هیدروژن را جایه جا کرده و خود بجای آن قرار می‌گیرد.

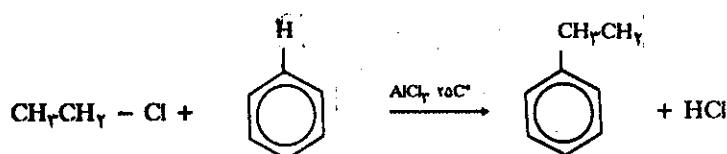


فلوئوردار کردن بنزن با گاز فلوئور به صورت انفجاری است و حال آنکه کلدار کردن در حضور کاتالیزورهای AlCl_3 و FeCl_3 انجام می‌گیرد. جایگزینی الکیل بر روی حلقة بنزنی به روش فرید و کرافت^۱ انجام می‌شود. تمام گروههای آلکیل قادر به جایگزینی بر روی

1. Charles Friedel (1832-1899) شیمیدان فرانسوی

James Crafts (1839-1917) شیمیدان آمریکایی

مولکول بنزن هستند. در این روش از کاتالیزور آلمینینیم کلرید استفاده می‌شود.



در این واکنش هیدروژن بنزن استخلاف شده و گروه آکیل جایگزین آن می‌شود. اهمیت این واکنش تشکیل پیوند C – C بین هیدروکربور و حلقه بنزنی است و بدین ترتیب می‌توان مولکولهای پیچیده‌تری را سنتز نمود.

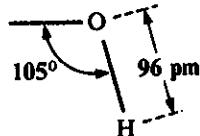
۱۳-۳ گروههای عاملی

مقدمه: همان طور که در بخش‌های قبل دیدیم تعداد زیادی از ترکیبات آلی با استخوان‌بندی هیدروکربور گونه، دسته اتحمایی را تشکیل می‌دهند که نام آنها را گروههای عاملی (Functional groups) نهاده‌اند و این گروهها و اکنشهای فراوان و متمایزی نظیر جایگزینی و یا افزایشی با سایر مواد دارند و ما برخی از آنها را مطالعه نمودیم. گروههای عاملی نظیر هالوژنهای (Br⁻ یا Cl⁻) و هیدروکسیل (OH) - امکان تهیه ترکیبات آلی دیگری را بدست می‌دهند که در ساختار اندامهای زنده نقش اساسی دارند. دیدیم که وجود یک پیوند دوگانه در هیدروکربورهایی نظیر C=C چگونه منجر به سایر هیدروکربورها و یا پلی‌مرها می‌شود. مولکول حامل کدهای وراثت و ژن‌هارادر پایان این بخش مطالعه کرده و اعجاز پیوندهای عاملی را در آن خواهیم دید. در جدول (۱۳-۵) اسامی و آرایش گروههای عاملی را ذکر کرده‌ایم که کاربرد بیشتر دارند و برای سنتز مولکولهای جدید مورد استفاده شیمیدانان قرار می‌گیرند. افزایش روزافزون تعداد ترکیبات آلی به علت شناخت و کاربرد همین گروهها است.

نام	فرمول	نوع ترکیبات	گروههای عاملی
إتن	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	آلکین	$-\text{C}=\text{C}-$
إاتین	$\text{HC}\equiv\text{CH}$	آلکین	$-\text{C}\equiv\text{C}-$
کلرومتان	CH_3Cl	هالید	F, Cl, Br, I
متانول	CH_3OH	الکل	$-\text{OH}$
اتانال (استالدهید)	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H}$ or CH_3CHO	آلدهید	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H}$
پروپانون (استرون)	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CH}_3$	کتون	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$
اتانوئیک اسید (استیک اسید)	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}-\text{OH}$	کربوکسیلیک	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}-$
متیل آمین	CH_3NH_2	آمین	$-\text{C}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{N}}}-$
إتان آمید (استامید)	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{NH}_2}{\text{C}}}-\text{NH}_2$	آمید	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{N}}}-$
دی متیل اتر	$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$	إتر	$-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$
متیل استات	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_3$	استر	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{O}-\text{C}-$

جدول (۱۳-۵) مشخصات گروههای عاملی در ترکیبات آلی.

الف) گروه هیدروکسیل (-OH)

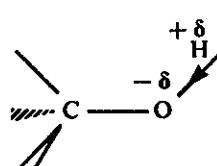


مشخصات هندسی گروه هیدروکسیل

گروه هیدروکسیل OH - با پیوند کووالانسی به اتمی دیگر متصل می‌شود. این گروه متمایز از یون هیدروکسید (OH⁻، یون دو اتمی) می‌باشد. گروه OH - در بسیاری از ترکیبات آلی یا به صورت الكل یا فنل و یا به صولت کربوکسیلیک اسید وجود دارد.

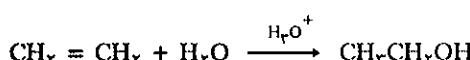
(a) الكلها

یکی از ترکیبات آلی بسیار مشهور که از بدبو تمدن بدو سیله بشر شناخته شده اتیل الكل است. بشر در تمام قاره‌ها و در تمام اجتماعات، تخمیر الكلی را در مایعات قنددار شناخته است. و هم‌اکنون در کشور ما تمام کسانی که قبل از انقلاب عادت به شرب الكل داشتند به علت ممنوع بودن خرید و فروش الكل، در منازل با وسائل بسیار ساده پس از تخمیر کشمش به وسیله دیگ زودبز و یک لوله پلاستیکی الكل را تقطیر می‌کنند و ادعای دارند که از این نظر خودکفا شده‌اند. در واقع این به علت سادگی تخمیر مولکولهای قند و تبدیل آن به الكل اتیلیک C₂H₅OH است.



پیوند (O - H) پیوندی قطبی است.

کلمه الكل را برای تمام ترکیباتی که دارای گروه هیدروکسیل (به استثناء آنهایی که به حلقه آروماتیک و یا C = O وصل شده‌اند) دارند به کار می‌برند. الكل کلمه عربی است و منظور جوهر یا اسانسی است که در شراب وجود دارد. منابع تولید الكل بیشتر از تخمیر مایعات قنددار (کربوهیدراتها) به وسیله آنزیم تخمیر الكلی است. اتیل الكل را نیز می‌توان از هیدراسیون (آب دادن به) اتیلن به دست آورد.



اولین الكل متانول (الكل متیلیک) CH₃OH است که سابقاً از تقطیر چوب به دست می‌آورند و به نام الكل چوب معروف است ولی در حال حاضر آنرا از اکسایش هیدروکربورهای گازی و یا از منواکسید کربن و هیدروژن تحت فشار ۱۵۰ جو و ۴۰۰ درجه سانتیگراد و حضور کاتالیزور ZnO ستنتز می‌کنند.



متیل الكل مایع فرار بی‌رنگ و بسیار خطروناکی است که مصرف مقدار مختصر آن کوری و اگر مقدار زیادتر باشد منجر به مرگ می‌شود.

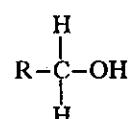
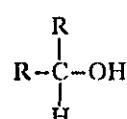
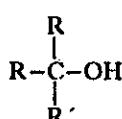
(b) نامگذاری الكلها

الكلها را بر حسب تعداد اتمهای هیدروژن متصل به کربنی که عامل OH - به آن پیوند شده است به سه دسته تقسیم می‌نمایند.

الكل نوع سوم

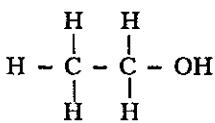
الكل نوع دوم

الكل نوع اول

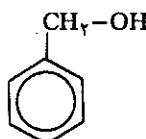


گروه آلی R اجباراً یکسان نبوده و ممکن است آلیفاتیک نظیر CH_3- و یا آروماتیک نظیر C_6H_5- باشند.

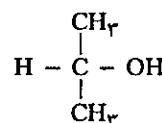
اتیل الکل (اتانول) و بنزیل الکل هر دو از الکلهای نوع اول و حال آنکه ایزوپروپیل الکل از الکلهای نوع دوم است.



اتیل الکل (اتانول)

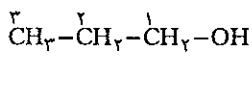
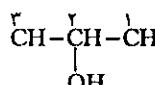
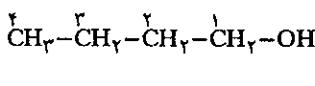
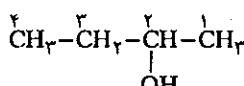
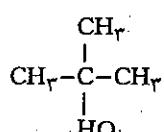
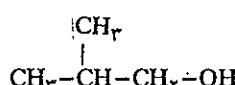


بنزیل الکل



ایزوپروپیل الکل

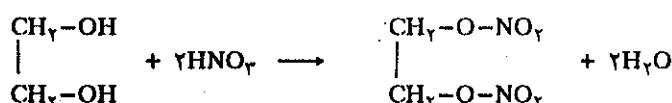
اسامی سیستماتیک الکلهای با افزایش پسوند "اول، Ol" به نام آلکان مربوط خوانده می‌شود و برای اینکه اشتباہی پیش نیاید، اتمهای کربن را شماره گذاری کرده و عدد کوچکتر را به کربنی می‌دهند که عامل OH - به آن متصل است. مثلاً در مورد ایزوپروپیل الکل می‌گوییم ۲-پروپانول. نمونه‌هایی برای یادگیری در زیر داده‌ایم.

propanol-1
۱-پروپانولpropanol-2
۲-پروپانولbutanol-1
۱-بوتanolbutanol-2
۲-بوتanolméthyl-2-propanol-2
۲-متیل-۲-پروپانولméthyl-2 , propanol-1
۲-متیل-۱-پروپانول

الکلهایی با چند عامل هیدروکسیل: مولکول اتیلن گلیکول که نام سیستماتیک آن

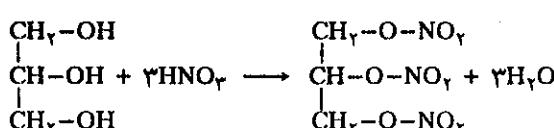
۱-۲- Ethanediol می‌باشد، از الکلهایی است که دو عامل هیدروکسیل دارد.

این الکل به عنوان مادهٔ ضدیخ در رادیاتورهای خودروها مصرف دارد و نیز برای تهیه الیاف مصنوعی کاربرد دارد. عمل آن به عنوان ضدیخ به علت انحلال پذیری زیاد آن و داشتن دو عامل هیدروکسیل است که با آب به سهولت پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند. با نیتریک اسید ترکیب شده و مادهٔ منفجر شونده‌ای به نام نیترو گلیکول تولید می‌نماید.

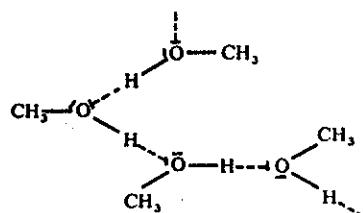


گلیسرول الکلی است که با سه عامل OH^- - به فرمول عمومی

ما بایعی است چسبنده که به سهولت در آب حل می شود و به عنوان نرم کننده آب مصرف دارد. گلیسرول نیز با نیتریک اسید تری نیتروگلیسرین تولید می نماید.



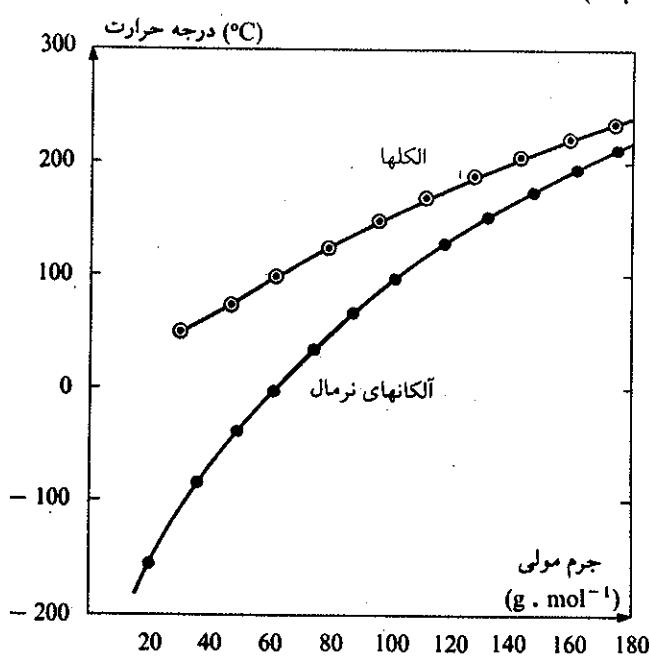
تری نیتروگلیسرین ماده بسیار منفجر شونده و ناپایداری است که در سال ۱۸۷۰ شیمیدان دانمارکی نوبل توانست با استفاده از خاک اره آنرا تا حدی پایدار نماید و از آن تاریخ تاکنون به عنوان دینامیت مصرف می شود. نوبل از این راه ثروت فراوانی اندوخت ولی موقعی که کاربرد آن را به عنوان ابزار جنگ توسط انسانها برای از بین بردن هم دید، تمام ثروت خود را وقف دادن جایزه نوبل و دادن آن به دانشمندان واقعی و انسان دوست نمود.



بینند هیدروژنی در متانول

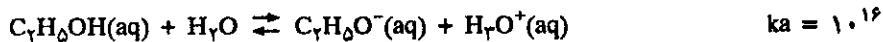
c) خواص و فعالیت شیمیایی الکلها

الکلها بی با جرم مولکولی پایین در شرایط عادی مایع هستند و فشار بخار آنها به مراتب پایین تر از فشار بخار آلکانهای مشابه است و این به علت تمایل شدید به تشکیل پیوند هیدروژنی است که قابلیت انحلال آنها را در آب زیاد و فشار بخار محلول را پایین می آورد. نقطه جوش الکلها در مقایسه با آلکانها در شکل (۱۳-۱۹) داده شده است. الکلها دو خصلتی (amphiprotiques) هستند.



شکل (۱۳-۱۹) نقطه جوش الکلها در مقایسه با آلکانها

از یک سو: اسیدهای بسیار ضعیفی هستند که ثابت تعادل بینهایت کوچک دارند.

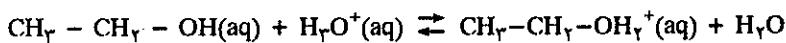


اثر سدیم بر روی اتانول ملایم است و یون اتوکسید $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^-$ تولید می‌کند

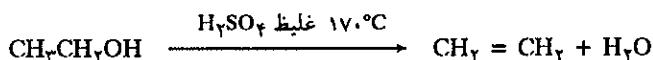


سدیم الکوتید در محلولهای آبی بازی است بسیار قوی و این دقیقاً ضعیف بودن اسید مزدوجش را توجیه می‌کند.

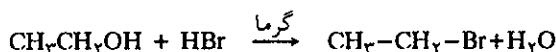
از سوی دیگر: الکلها مانند باز برونشتاد عمل می‌کنند، زیرا زوج الکترون آزاد اتم اکسیژن گروه $\text{OH}-$ قادر به جذب پروتون اسیدهای دیگر است.



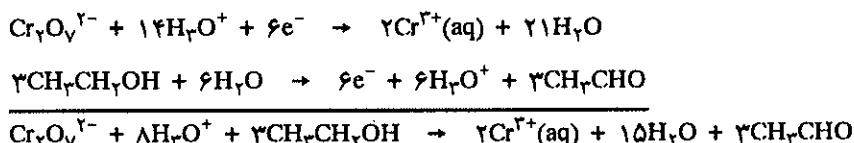
اسید مزدوج الکل $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}_2^+$ نمونه‌ای از یونهای اکسونیوم به فرمول کلی ROH_2^+ است (یون هیدرونیوم H_3O^+ حالت اختصاصی از یونهای اکسونیوم است که در آن بجای H اتم R قرار گرفته است. تشکیل یون اکسونیوم اولین مرحله واکنشهای متعدد و متنوعی است که الکلها در حضور کاتالیزور اسید انجام می‌دهند، مثلاً آبگیری از الکل در محیط سولفوریکی با واسطه یون اکسونیوم انجام می‌گیرد.



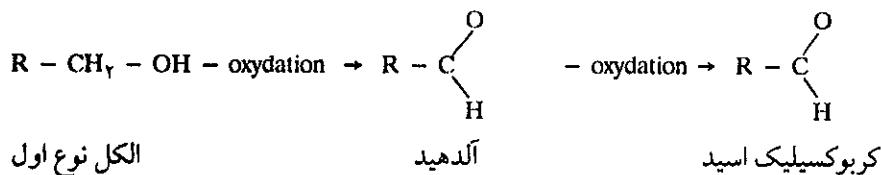
بدین ترتیب آبگیری از اتیل الکل، امکان تبدیل انرژی نباتی را به هیدروکربورها به دست می‌دهد. زیرا تخمیر فراورده‌های کشاورزی (غلات چغندر، نیشکر، خرما، انگور و...) منجر به تشکیل الکل و آبگیری از آنها اتیلن و سپس پلی اتیلن‌ها را تولید می‌کند. الکلها را نیز می‌توان به عنوان ماده مؤثر برای جذب اتمهای هالوژن به کار برد.



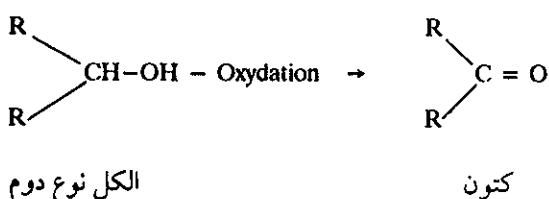
این واکنش بسیار با اهمیت است زیرا می‌تواند ماده اولیه تشکیل مولکولهای متعدد دیگر باشد. اثر مواد اکسیدهای مثلاً اکسیژن موجود در هوایا یا محلول سدیم بیکرومات، الکلها را تبدیل به ماده شناخته شده‌ای به نام آلدهید می‌کند. مثلاً اثر یون بیکرومات در محیط اسیدی بر روی الکلها عبارتست از:



شراب در ظرف باز بعد از مدتی در اثر اکسایش تبدیل به آلدهید می‌شود که بوی معطر آن کاملاً متفاوت از الکل است، سپس در اثر اکسایش بیشتر تبدیل به سرکه یا استیک اسید می‌شود که بوی آن کاملاً متفاوت از دو ترکیب قبلی است. اکسایش بی دربی الکلها نوع اول منجر به تولید کربوکسیلیک اسید می‌شود.

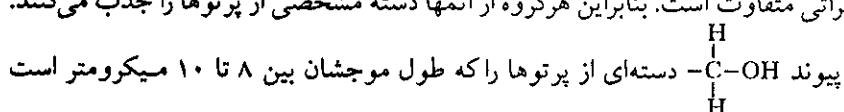


اکسایش الکلهای نوع دوم کتونها را تولید می‌کند.

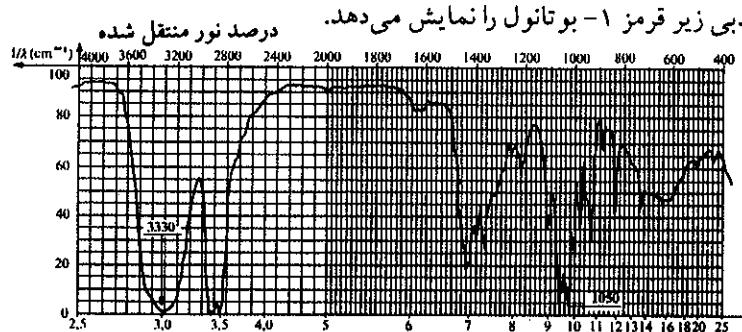


الکلهای نوع سوم بدون تغییر می‌مانند.

(d) تشخیص الکلهای به کمک طیف جذبی زیر قرمز
مطالعه طیف جذبی عامل هیدروکسیل (O-H) و طیف مجموعه هیدروکسیل متصل به کربن (C-OH) در مولکولهایی که این عامل وجود دارد بسیار شاخص است. همان‌طور که در فصل سوم اشاره شد مولکولهای آلی برخی از پرتوهای زیر قرمز به طول موجهای مابین ۲/۵ تا ۲۵ میکرومتر را جذب می‌کنند. انرژی جذب شده به‌وسیله مولکول باعث تغییراتی در نهاد آن می‌گردد. مثلاً نوساناتی در اتمها در حوالی وضعیت تعادلیشان وارد می‌آورد. بر حسب جرم اتمها و استحکام پیوندها، انرژی پرتوهای لازم برای ایجاد چنین تغییراتی متفاوت است. بنابراین هرگروه از اتمها دسته مشخصی از پرتوها را جذب می‌کنند.



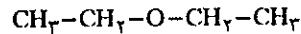
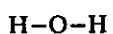
جذب می‌نماید. و حال آن که پیوند H-O- پرتوهایی را جذب می‌کند که طول موجشان حدود ۳ میکرومتر است. بنابراین طیف جذبی زیر قرمز تمام ترکیباتی که در آنها گروه هیدروکسیل وجود دارد، دارای دو نوار مشخص کننده است. این خاصیت بسیار جالب است، زیرا اجرا و به دست آوردن طیف جذبی زیر قرمز ماده مورد مطالعه، به چند قطره از ماده و زمانی کمتر از ده دقیقه نیاز است. از این رو طیف‌بینی زیر قرمز وسیله‌ای بسیار دقیق و سریع برای تشخیص وجود گروههای عاملی در مولکولهای آلی می‌باشد. شکل (۱۳-۲۰)



شکل (۱۳-۲۰) طیف جذبی زیر قرمز در مورد ۱- بوتانول

(e) اترها

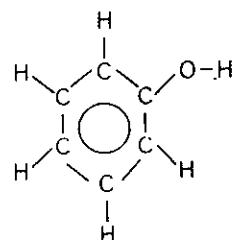
می‌توان در نظر گرفت که الکل‌ها مشتق از مولکول آبی است که یکی از هیدروژنهایش به وسیله گروه آکیل جایگزین شده است. اگر هیدروژن دیگر نیز به وسیله گروه آکیل دیگری جایگزین شود اتر به وجود می‌آید.



آب

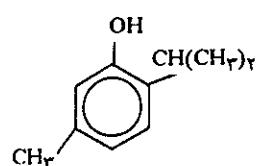
اتیل الکل

دی‌اتیل اتر



فنول

دی‌اتیل را سابق بر این به عنوان ماده بیهوده کننده به کار می‌برندند. اترها فرارتر از الکل‌ها هم جرم خود هستند زیرا در آنها پوند هیدروژن وجود ندارد. فعالیت شیمیایی اترها در مقابل تعداد زیادی از مواد بسیار کم است. حالهای بسیار خوبی برای سایر مواد الکلی می‌باشند. مانند الکلها واکنشهای جایگزینی در حضور کاتالیزور بر روی اترها انجام می‌گیرد.

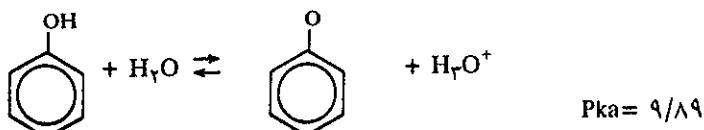


Thymol

اگر یک اتم هیدروژن حلقة بنزنی آرنها به وسیله گروه هیدروکسیل جایگزین شود فنول به دست می‌آید Ar-OH، فنول جامد بلوری سفید رنگی است که نقطه ذوب پایین دارد و نام سیستماتیک آن بنزول (C₆H₅OH) است. سابق براین از تقطیر قیر به دست می‌آمد ولی در حال حاضر آنرا ستز می‌کنند. در انسانهای روغنهای نباتی انواع فنولها وجود دارد و عطر گیاهان مربوط به فنولهایی است که در آنها وجود دارد، از تقطیر گلها و برگهای درختان روغنی به دست می‌آید که بر حسب نوع گیاه، نوع فنول موجود در آن متفاوت است. مثلاً تیمول در انسان به دست آمده از آویشن Thymol وجود دارد.

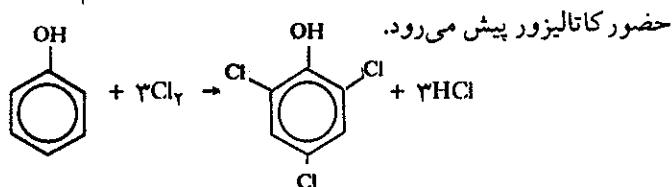
(f) خواص اختصاصی فنولها:

با وجود آنکه فنولها عامل هیدروکسیل متصل به کربن (C-OH) نظیر الکلها دارند ولی مشاهده می‌شود که اتصال این عامل در حلقة بنزنی خواص کاملاً متفاوتی به فنولها داده است، اگرچه فنولها اسیدهای ضعیفی هستند ولی به مراتب قوی‌تر از الکلها می‌باشند.



سابق براین فنول را فنیک اسید می‌نامیدند و باز مزدوج این اسید C₆H₅O⁻ یون فنوكسید نامیده می‌شود. بار منفی موجود در این یون در روی تمام حلقة بنزنی گستردگی شود و درنتیجه این باز پایداری بیشتر و قدرت بازی کمتر از باز مزدوج الکلها دارد و از آنجا قدرت اسیدی فنولها که بیشتر از الکلها است آشکار می‌شود.

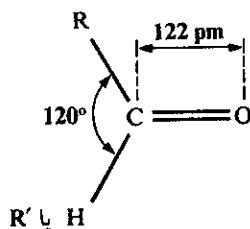
با وجود آنکه حلقة بنزنی چندان فعال نیست ولی وجود گروه هیدروکسیل آنرا فعالتر می‌کند و واکنشهای جایگزینی بر روی حلقة سه لتر انجام خواهد گرفت. مثلاً اثر گاز کلر بر روی فنول محلول در آب حتی تا مرحله جایگزین شدن سه اتم هیدروژن به وسیله کلر بدون



ترکیب حاصل را $\text{C}_6\text{H}_4\text{COCl}$ نامند که ماده‌ای بسیار مؤثر برای کشتن باکتریها است.

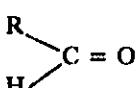
ب) عامل کربونیل

عامل کربونیل ($\text{C}=\text{O}$) در ترکیبات فراوانی دیده می‌شود و خواص استثنایی دارد. پیوند دوگانه عامل کربونیل دارای یک پیوند σ مشکل از پوشش اوربیتال هیبریدی sp^2 کربن با sp^2 اتم اکسیژن و دارای یک پیوند π حاصل از پوشش اوربیتال هیبرید نشده $2p$ اتم کربن با $2p$ اتم اکسیژن است. در شکل (۱۳-۲۱) مشخصات عامل کربونیل طول و زاویه پیوند داده شده است.

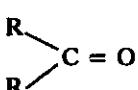


شکل (۱۳-۲۱) مشخصات یا پیوند در گروه کربونیل

ساختار آلدهیدها و کتونها به هم نزدیک و هر دو دارای عامل کربونیل هستند، تنها در تعداد اتمهای هیدروژن متصل به کربن عامل کربونیل با یکدیگر اختلاف دارند.



شکل عمومی آلدهیدها



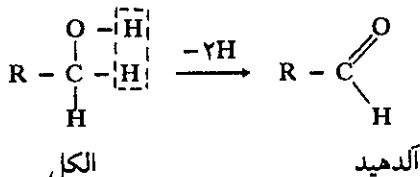
شکل عمومی کتونها

گروههای R ممکن است آلفاتیک و یا آروماتیک باشند.

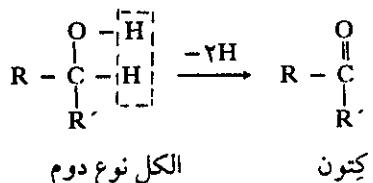
عامل $\text{C}=\text{O}$ - را معمولاً به صورت CHO می‌نویسند که معرف آلدهیدهای دودی و ساده‌ترین آنها

HCHO فرمیک آلدهید است که فرمول نیز نامیده می‌شود. فرمول مایعی است که غالباً به صورت محلول در آب برای نگهداری نمونه‌های موجودات زنده به کار برده می‌شود. دودی که از چوبهای سوخته خارج می‌شود فرمیک آلدهید دارد و چون کشنده باکتریها است، گوشت و یا ماهی دودی که از زمانهای بسیار قدیم به وسیله بشر مورد استفاده قرار دارد، به علت وجود آلدهید در آن فاسد نمی‌شوند.

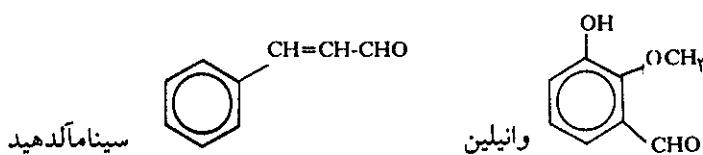
فرمول شیمیایی آلدهیدها نسبت به فرمول الکلها نوع اول دو اتم هیدروژن کمتر دارد و بدین سبب نام آلدهید از الكل بدون هیدروژن (Alcool déhydrogéné = Aldéhyd) اقتباس شده است.



اکسایش الکل در کبد منجر به تشکیل استیک الدهید می‌شود و برگشت آن به داخل خون باعث سردرد و یا به اصطلاح «می‌زدگی» می‌شود. فرمول شیمیایی کتوها نیز نسبت به الکلهای نوع دوم دو اتم هیدروژن کمتر دارد.



استن در اسانس‌های چرب و معطر وجود دارد، طعم و مزه میوه‌ها و عطر گیاهان به علت وجود کتونهای مختلف در آنها است. عطر مشخص گیلاس و بادام مربوط به بنزاکلیدی (C₆H₅CHO) است که در آنها وجود دارد و سینامالدهید (Cinnamaldehyde) در دارچین و وانیلین (Vanilin) در وانیل وجود داردند.

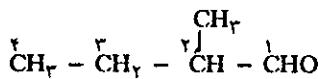


نام سیستماتیک آلدهیدها بر مبنای نام آلکانی است که از آن مشتق شده است و کرین عامل کربونیل نیز در شماره گذاری به حساب می‌آید. پسوند «آل *ا*» به نام آلکان مربوطه اضافه می‌شود. مثلاً استالکدھید ($\text{CH}_3\text{-CHO}$) به عنوان مشتقی از اتان در نظر گرفته شده و بنابراین نام قراردادی آن اتانال (étanal) است.

نامگذاری سیستماتیک کتونها با افزایش پسوند «ان One» به نام آلکان مربوطه انجام می‌گیرد. مثلاً چون استن ($\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$) مشتق از پروپان است لذا نام قراردادی آن پروپانون Propanone است. موقعی که شماره گذاری لازم است کوچکترین شماره باید روی کربن عامل کربونیل باشد مثلاً:

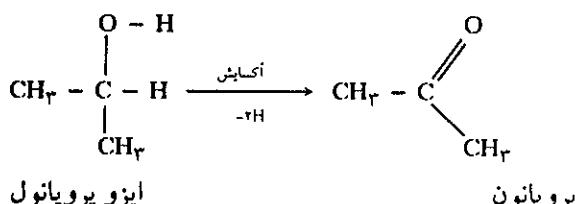
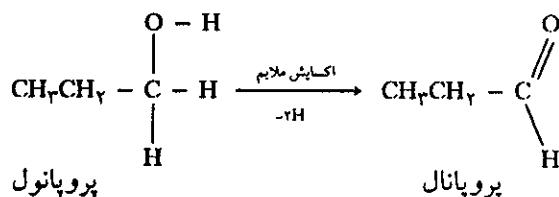


و یا $\text{CH}_3-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CHO}$ آلدهیدی است مشتق از بوتان و چون زنجیر مستقیم است حتی شماره گذاری نیز الزامی نمی‌باشد. «۱ - بوتانال» یا خلاصه‌تر بوتانال نامیده می‌شود و با درمورد $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CHO})\text{C}_2\text{H}_5$ ابتدا فرمول گستردۀ را نوشته و شماره گذاری می‌کنیم.

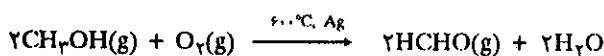


چون این ترکیب مشتق از آلکانی است که ۴ اتم کربن در زنجیره اصلی دارد و عامل -CHO -کربن شماره ۱ را تشکیل می‌دهد و عامل متیل بر روی کربن شماره ۲ قرار گرفته است لذا نام آن «۲ - متیل بوتانال» است.

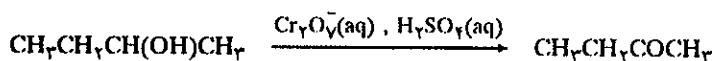
(a) خواص شیمیایی آلدهیدها و کتونها:
آلدهیدها و کتونها از اکسایش الكلهای نوع اول و دوم به دست می‌آیند.



در صنعت برای تهیه آلدهیدها از اکسندرهای کم قدرت استفاده می‌شود زیرا با اکسندرهای قوی ممکن است فراورده‌های دیگر به وجود آید. و نیز بهتر است عمل اکسایش در محیط آبی انجام گیرد. برای تهیه فرم آلدهید که کاربرد زیاد در تهیه رزینهای فنولیک دارد الكل متیلیک را در حضور کاتالیزور نقره در دمای 600 درجه سانتیگراد با اکسیژن ترکیب می‌کنند.

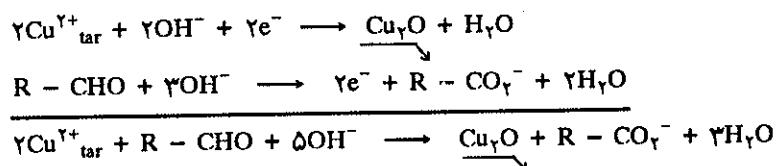


در مورد اکسایش کتونها احتیاط لازم نیست، چون فراورده نهایی به هر صورت کتون است و تنها اکسندرهای بسیار قوی می‌توانند پیوند C-C را در مولکول از بین ببرند. اکسایش الكلهای نوع دوم به کمک بیکرومات با راندمان بسیار خوب کتون به وجود آورده و اکسایش اضافی انجام نمی‌گیرد.

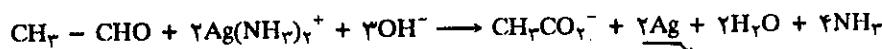


تشخیص آلدهیدها از کتونها به کمک محلول فهلینک (Fehling) (محلول قلیایی Cu^{2+} و یونهای تارتارات) میسر است و علت آن اکسیدشوندگی ساده آلدهیدها است. آلدهیدها با

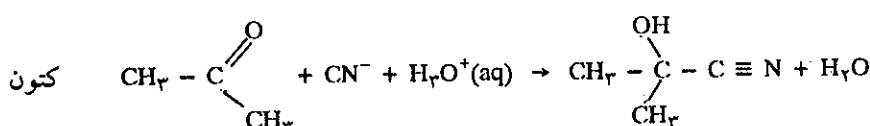
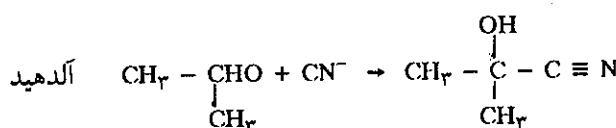
یون مس رسوب آجری رنگ Cu_2O را می‌دهد و حال آنکه کتونها واکنشی از خود بروز نمی‌دهند.



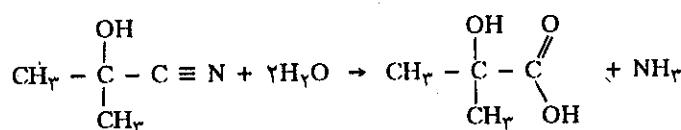
آلدهیدها در محلول آمونیاکی یون Ag^+ (معرف تولین Tollen) نقره را از محلول جدا کرده و دیواره لوله آزمایش آبینه مانند می‌شود. کتونها قادر به انجام این واکنش نیستند.



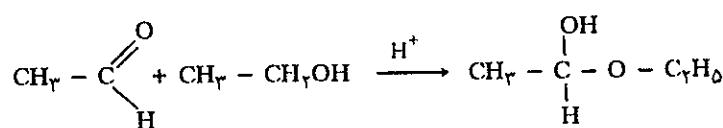
عامل کربونیل با یونهای سیانید ترکیبی تولید می‌کند که در آن هم عامل OH و هم یک عامل $\text{C}\equiv\text{N}$ وجود دارد. تمام آلدهیدها با یونهای سیانید چنین ترکیبی را به وجود می‌آورند ولی در بین کتونها فقط تعداد محدودی مثلاً استون با یونهای سیانید ترکیب می‌شوند. ترکیب حاصل سیانو هیدرین نام دارد.



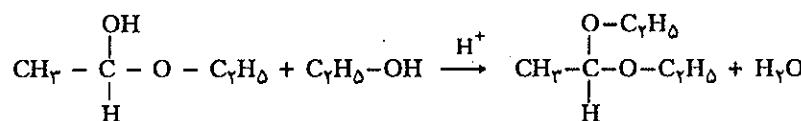
این واکنشها منجر به تشکیل پیوند (C-C) جدیدی می‌شود که از یک سو مولکول بزرگتری را به وجود آورده و از سوی دیگر هیدرولیز آن منجر به تشکیل کربوکسیلیک اسیدی می‌شود که یک عامل OH^- نیز اضافه دارد. این نوع واکنشها در شیمی آلی کاربرد فراوان دارد.



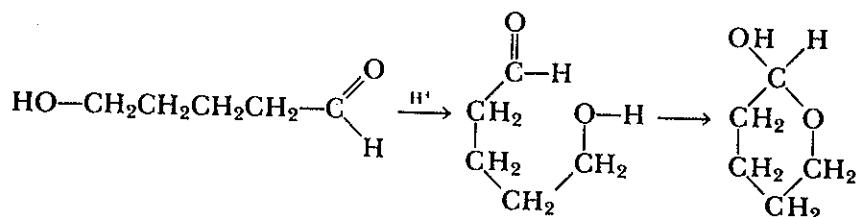
آلدهیدها با الکلها در محیط هیدروکلریک اسید خالص با هم ترکیب می‌شوند و ترکیبی به نام همی‌استال Hemiacetals کلمه Hemi در زبان یونانی معنی نیمه دارد) به وجود می‌آورند. ترکیبی که در آن واحد یک پیوند اتر و یک عامل هیدروکسیل OH^- دارد. مثلاً



همی‌استال به وجود آمده را نمی‌توان از ماده اولیه جدا کرد ولی با مقدار بیشتر از اندازه الکل، همی‌استال به وجود می‌آید که نمونه‌ای از اتر دوبله با عامل $\text{O}-\text{C}-\text{O}-$ است.

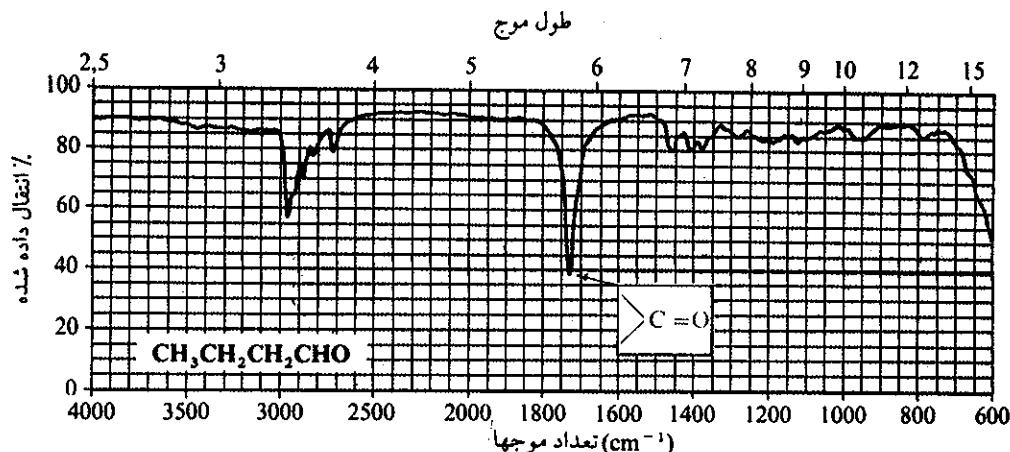


اگر آلدهید اولیه شامل هیدروکسیل باشد تشکیل همی آستال ممکن است در نهاد مولکول انجام گیرد و ترکیب حاصل همی آستال حلقوی خواهد شد که استحکام بیشتری دارد.



(b) مشخصات طیف جذبی عامل کربونیل

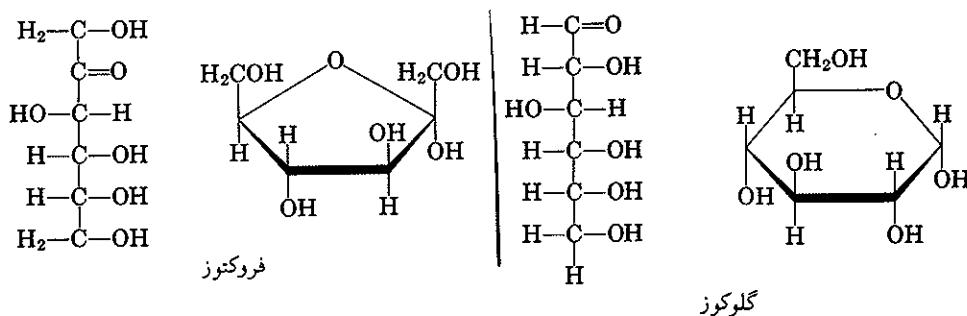
عامل کربونیل بهشدت پرتوهای زیر قرمز با طول موج ۵/۸ میکرومتر را جذب می‌کند. مطالعه طیف جذبی زیر قرمز، وجود یا عدم وجود عامل کربونیل را در مولکول به سادگی مشخص می‌کند در شکل (۱۳-۲۲) طیف جذبی زیر قرمز بوتانال داده شده است.



شکل (۱۳-۲۲) طیف جذبی زیر قرمز بوتانال

پ) قندها (Carbohydrates)

این دسته از ترکیبات را غالباً هیدراتهای کربن گویند چون فرمول خام آنها $\text{C}_m\text{H}_{2n}\text{O}_n$ و یا کلی تر به صورت $\text{C}_m(\text{H}_2\text{O})_n$ و بهنظر شبیه مولکول کربن آبدار می‌نماید. این دسته از ترکیبات شامل گلوكوز ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) که آلدهید و فُركتوز $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ قندی که در غالب میوه‌ها وجود دارد و کتون است. فرمول این دو قند در شکل (۱۳-۲۳) داده شده است.



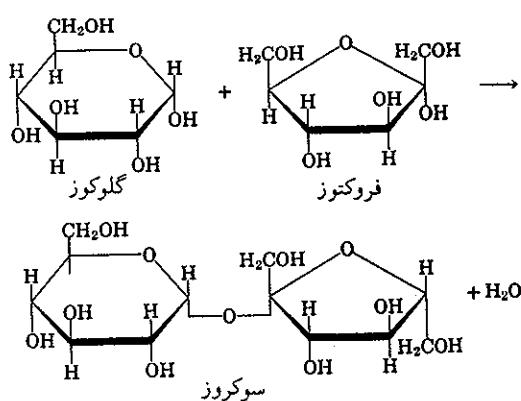
شکل (۱۳-۲۳) فرمول گستردۀ گلوكوز و فروكتوز و فرمول حلقوی آنها به صورت پیرانوز و فورانوز

(ا) اشکال پیرانوز و فورانوز

گلوكوز دارای عوامل الكلی و آلدھیدی می‌باشد و زنجیره نسبتاً بلند و قابل انعطاف دارد و قادر به تشکیل یک همی استال حلقوی است. حلقه‌ای با ۶ اتم که گلوكوز پیرانوز نامیده می‌شود زیرا شباهتی به اتر حلقه‌ای پیران دارد.

فروكتوز نیز در محلولها تا ۷۰ درصد شکل همی استال حلقوی دارد. مخصوصاً به شکل حلقه‌ای پیرانوز با ۶ اتم ولی تا ۳۰ درصد به صورت حلقة پنج اتمی است حلقة اخیر را فورانوز furanose گویند و بخصوص در مرور فروكتوز نام آن فروكتوفورانوز است. معمولاً فرمول گلوكوز پیرانوز و فروكتوفورانوز را به شکل نمایش داده شده در حاشیه مشخص می‌کنند و نیز باید یادآورش که در محلولها شکل حلقوی و شکل گستردۀ این ترکیبات باهم در حال تعادل هستند.

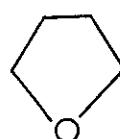
معمولاً کربوهیدراتها پیچیده‌تر از اشکال گلوكوز و فروكتوز هستند. نمونه بسیار ساده این ترکیب ساکاروز (Sacarose) یا قند نیشکر است که از اجتماع یک مولکول گلوكوز پیرانوز و یک مولکول فروكتوفورانوز با از دست دادن یک مولکول آب به وجود می‌آیند و چون این اجتماع از دو واحد کربوهیدرات ۶ کربنی درست شده است آنها را دی ساکارید می‌نامند، که هر واحد آن یک منو ساکارید است. واحدهای متعدد منو ساکارید را اولیگو ساکاریدها گویند. شکل (۱۳-۲۴) چگونگی اتصال دو منو ساکارید را باهم نمایش می‌دهد.



شکل (۱۳-۲۴) چگونگی تشکیل یک مولکول ساکاروز با قند نیشکر.



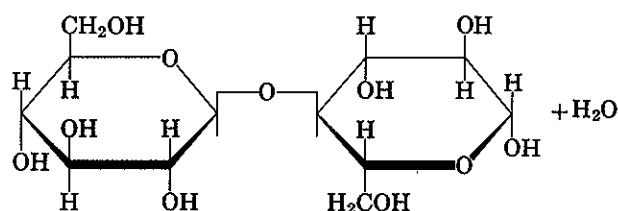
حلقه پیران



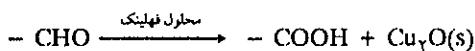
حلقه فوران

پلی ساکاریدها (Polysacarides) از اتحاد واحدهای گلوكوپیرانوز با یکدیگر و با ازدست دادن یک مولکول آب حاصل می‌شوند. این دسته از ترکیبات شامل نشاسته است که ساختار انشعابی دارد و به همین دلیل قابل هضم برای ما می‌باشد ولی سلولز که آنهم از زنجیروه پلی ساکارید به صورت رشته طولی درست شده است و به دلیل آنکه این رشته‌ها با پیوند هیدروژن با یکدیگر متعدد شده‌اند مادهٔ فیری و مقاومی را تشکیل می‌دهند که غیرقابل هضم برای ما است. اندام و الیاف درختان از این رشته‌ها درست شده است.

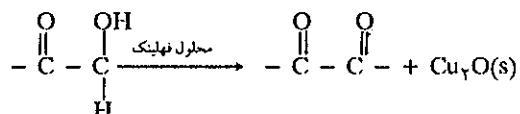
۲ گلوكوز →



برای تشخیص این قندها از سایر ترکیبات بهترین وسیلهٔ معرف فهلهینک است که با گلوكوز رسوب قرمز آجری می‌دهد.



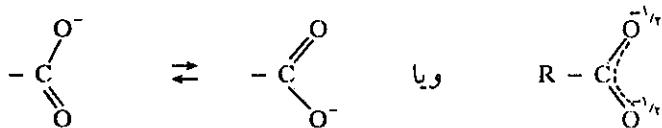
فروکتوز نیز اکسیده می‌شود ولی اکسایش بر روی گروه هیدروکسیل OH – انجام می‌گیرد.



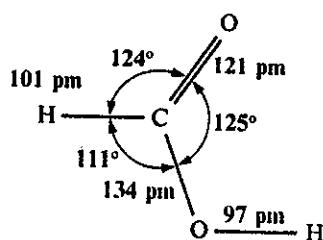
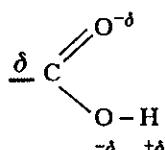
قندهایی که با معرف فهلهینک و معرف تولین اکسید می‌شوند به نام قندهای کاهنده معروف هستند.

ت) عامل کربوکسیل Carboxylic group

گروه کربوکسیل $\text{OH} - \overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$ – ترکیبی از عامل کربونیل و هیدروکسیل است که غالباً در ترکیبات آنرا به صورت COOH – نمایش می‌دهند ولی باید همیشه به خاطر داشت که در این عامل پیوند O – O وجود ندارد. این عامل می‌تواند پروتون از دست داده و تبدیل به یون COO^- – به نام کربوکسیلات بشود. در این یون هر دو اتم اکسیژن یکسان هستند و این نتیجه روزنامی است که در مولکول وجود دارد.



تمام ترکیباتی که عامل کربوکسیل دارند کربوکسیلیک اسید نامیده می‌شوند. مشخصات پیوند در مولکول فرمیک اسید در شکل (۱۳-۲۵) داده شده است. وجود اتم هیدروژن، اکسیژن و کربن با الکترونگاتیوی متفاوت مولکول را قطبی می‌نماید.



شکل (۱۳-۲۵) ساختار مولکول فرمیک اسید (متانویک اسید)

در جدول (۱۳-۶) خلاصه‌ای از مشخصات فیزیکی و شیمیایی و فرمول چند نمونه از این اسیدها داده شده است.

فرمول	نام	pK_{a_1}	pK_{a_2}	نقطه جوش °C	نقطه ذوب °C
$H-COOH$	فرمیک اسید*	3,75	8	101	
	متانوئیک اسید				
CH_3-COOH	استیک اسید*	4,76	17	118	
	پروپانوئیک اسید				
$CH_2Cl-COOH$	استیک کلرید اسید*	2,86	63	189	
CH_3CH_2-COOH	پروپانوئیک اسید	4,87	-21	141	
C_6H_5-COOH	بنزوئیک اسید	4,20	122	249	
$\begin{array}{c} COOH \\ \\ COOH \end{array}$	اکزالیک اسید*	1,23	4,28	190d **	
$\begin{array}{c} COOH \\ \\ CH_2 \\ \\ COOH \end{array}$	إتان دیوئیک اسید				
$\begin{array}{c} COOH \\ \\ COOH \end{array}$	مالونیک اسید*	2,83	5,69	136d	
	پروپان دیوئیک اسید				

* اسم کاربردی اسید ** اسیدی که تغذیه می‌شود.

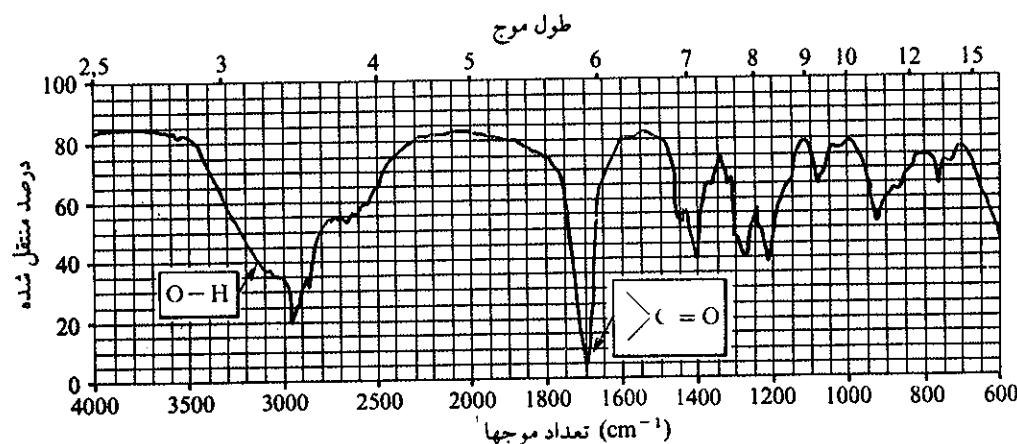
جدول (۱۳-۶) مشخصات چند کربوکسیلیک اسید

(a) نامگذاری

اغلب کربوکسیلیک اسیدها را تحت نامهای معمولیشان می‌شناسند. ساده‌ترین آنها فرمیک اسید $\text{H}-\text{COOH}$ است که به وسیله مورچه‌ها ترشح می‌شود، سپس استیک اسید CH_3-COOH که همه آنرا می‌شناسید و در سرکه وجود دارد و از اکسایش اتیل الکل و یا اکسایش شراب تولید می‌شود. نام قراردادی این اسیدها از ترکیب نام آلکان مربوطه با پسوند «ویک Oique» به دست می‌آید. مثلاً استیک اسید که مشتق از اتان است إتانویک اسید و فرمیک اسید مشتق از متان است لذا متانویک اسید نامیده می‌شود.

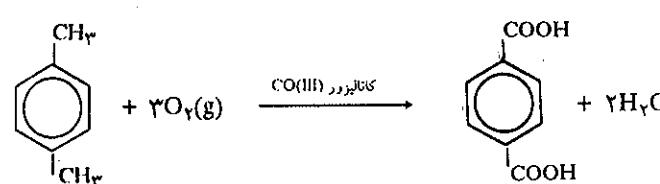
(b) تشخیص و تهیه

برای تشخیص این اسیدها بهترین وسیله کاربرد طیف جذبی زیر قرمز است که نوسانات عامل ($\text{C}=\text{O}$) در ۸ تا ۱۰ میکرومتر و ($\text{C}=\text{O}$) در ۵/۸ میکرومتر و بالاخره ($\text{O}-\text{H}$) در ۳ تا ۴ میکرومتر است. طیف جذبی بوتانویک اسید در شکل (۱۳-۲۶) داده شده است.



شکل (۱۳-۲۶) طیف جذبی زیر قرمز بوتانویک اسید

غالباً این اسیدها را از اکسایش الکل‌های نوع اول و یا آلدهیدها به وسیله پتابسیم پرمنگنات در محلولهای اسیدی و یا اکسایش در حضور کاتالیزور با اکسیژن هوا بعدست می‌آورند. روش اخیر اقتصادی تر است و در صنعت به کار برده می‌شود، مثلاً تهیه استیک اسید در حضور کاتالیزور کبالت استات انجام می‌گیرد. در برخی اوقات گروه الکیل را می‌توان مستقیماً تبدیل به کربوکسیلیک اسید نمود. مثلاً در مورد پارا‌گزیلن در حضور کبالت



فراورده واکنش ترپنتالیک اسید (Terephthalique) نام دارد و برای تهیه الیاف مصنوعی به کار برده می‌شود.

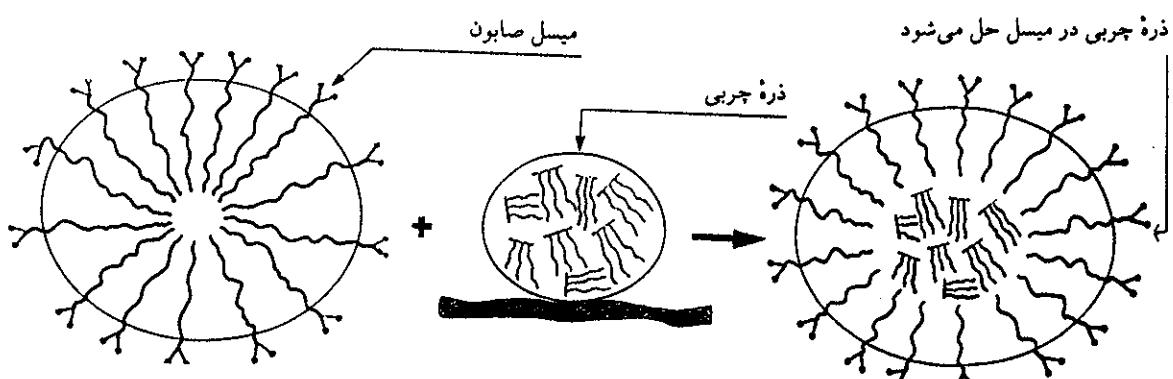
در عامل کربوکسیل، اتم اکسیژن با الکترونگاتیوی زیادی که دارد به عامل کربنیل پیوند

شده و چون چگالی بارالکتریکیش نسبتاً زیاد است، عامل OH^- - مجاور را به سوی خود می‌کشد و درنتیجه پیوند بین $\text{O}-\text{H}$ تضعیف می‌گردد. بنابراین کربوکسیلیک اسیدها عملآ اسید برونوستد هستند. قدرت اسیدی آنها به نحو بسیار آشکار بیشتر از الکلها است. مثلاً اگر برای اتیل الکل برابر با ۱۶ است برای استیک اسید معادل با $4/8$ می‌شود یعنی به ناگهان ۱۱ واحد قدرت اسیدی آن بیشتر می‌شود. نمک این اسیدها که باز برونوستد هستند کربوکسیلات نامیده می‌شوند.

مطالعه آرایش فضایی یونهای کربوکسیلات نشان می‌دهد که طول دوپیوند «کربن - اکسیژن» کاملاً یکسان و برابر با 126 پیکومتر یعنی حد وسط پیوند ساده (134 پیکومتر) و پیوند مضاعف (121 پیکومتر) است. بنابراین نوشتن فرمول یون کربوکسیلات به صورت $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{O}^+$ کاملاً غلط است. در موقع شکست پیوند $\text{O}-\text{H}$ ، اتم اکسیژن بار منفی را برده و اتم هیدروژن تبدیل به پروتون (H^+) می‌شود. در آرایش واقعی کربوکسیلات‌ها دو الکترون پیوند π و دو الکترون باقی مانده بر روی اکسیژن بعد از شکست پیوند $\text{O}-\text{H}$ ، ابر الکترونی واحدی بین سه اتم تشکیل دهنده یون کربوکسیلات تشکیل می‌شود. این پیوند را همان‌طور که در فصل سوم گفته شد پیوند نامستقر (Multicenter Delocalized Bond) یا M.D.B (Multicenter Delocalized Bond) گویند.

که در آن بار اضافی e^- به نحو یکنراخت بین سه اتم توزیع می‌شود $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{O}^+$. این استدلال تساوی دو پیوند اکسیژن - کربن و نیز پایداری یونهای کربوکسیلات را توجیه می‌کند و نیز به همین دلیل قابلیت انحلال کربوکسیلات‌ها به مراتب بیشتر از اسیدهای مربوطه است.

قابلیت انحلال نمک سدیم و یا پتاسیم اسیدهای چرب سبب افزایش کاربرد آنها برای تهیه صابون شده است. این نمکها که متشکل از 18 تا 16 اتم کربن هستند یک سر آب دوست *hydrophilic* و یک دنباله آب گریز *hydrophobe* دارند. سر آب دوست آنها محلول در آب و دنباله آب گریز آنها ذرات چربی موجود بر روی دست و اشیاء را در خود حل می‌کند. مکانیسم عملکرد آنها و تشکیل میسل در شکل (۱۳-۲۷) داده شده است.

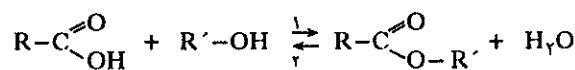


شکل (۱۳-۲۷) چگونگی تشکیل میسل و مکانیسم انحلال چربی‌ها به وسیله صابون

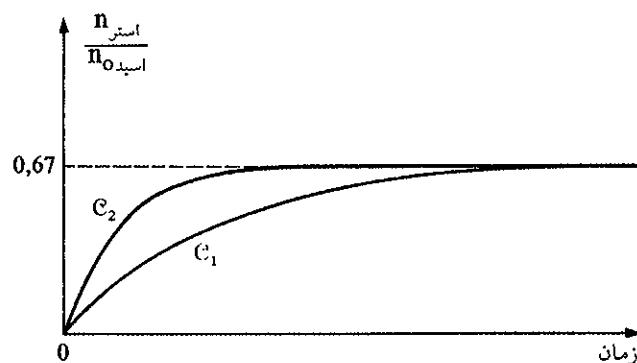
ث) استرهای

فراورده واکنش بین اسیدهای کربوکسیلیک و الکلها استر نامیده می‌شود. استیک اسید و اتیل الکل در درجه سانتیگراد و در حضور یک اسید قوی به عنوان کاتالیزور به سادگی

با هم ترکیب شده و استر تولید می‌کنند این واکنش را استری شدن estéification گویند.

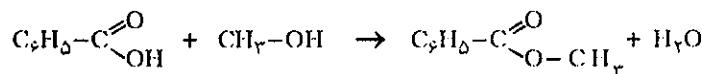


در فصل هشتم درباره واکنشهای تعادلی استری شدن به طور مختصر مطالبی گفته شد در اینجا تأثیر دما در مورد مخلوط مساوی از اتیل الکل و استریک اسید را در دو دمای T_2 و T_1 در شکل (۱۳-۲۸) داده و با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که در دماهای بالا (T_2) زمان رسیدن به وضعیت تعادلی کوتاهتر است. منحنی C_2 در دمای T_2 و منحنی C_1 در دمای T_1 است $T_2 > T_1$.



شکل (۱۳-۲۸) تحول سیستم تعادلی مخلوط مساوی از اتیل الکل و استریک اسید در دماهای T_1 و T_2 حسب زمان.

(a) بررسی مکانیسم واکنش استری شدن
مکانیسم واکنش استری شدن را با دقت زیاد مورد مطالعه قرار داده‌اند و اکنون شکی بر آن نمی‌توان داشت. در اینجا چگونگی تشخیص را به اختصار تشریح می‌کنیم و به عنوان مثال واکنش بین بنزوئیک اسید و متانول را در نظر بگیرید.

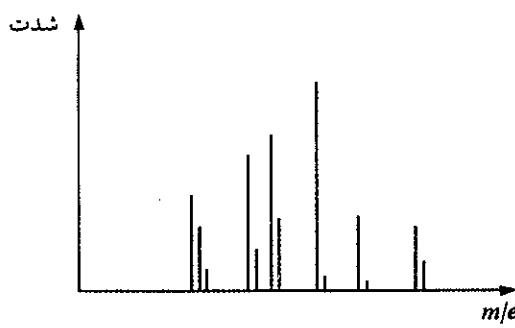


برای تشخیص مکانیسم از روش نشان‌دار کردن مولکولها به وسیله ایزوتوبهای پایدار اکسیژن استفاده می‌کنند. عنصر اکسیژن سه ایزوتوب طبیعی پایدار ^{16}O ، ^{17}O ، ^{18}O دارد که فراوانی نسبی آنها در طبیعت به ترتیب $99/75$ ، $99/00$ و $0/037$ درصد است. بدیهی است خواص شیمیایی این سه ایزوتوب کاملاً یکسان و فقط از نظر جرم باهم اختلاف دارند و می‌توان آنها را به روشهای فیزیکی از یکدیگر جدا نمود. بنابراین، متانول را با اکسیژن 18 نشان دار کرده ($\text{CH}_3-\text{OH}^{18}$) و سپس آنرا با بنزوئیک اسید در حضور یک اسید قوی به عنوان کاتالیزور، ترکیب می‌کنیم. استر تولید شده را جداسازی و تخلیص کرده و به کمک طیف‌نگار جرمی، طیف جرمی آن را به دست می‌آوریم. روش عمل بدین صورت است که استر را در محفظه‌ای تحت خلاء، دستگاه طیف‌نگار تبخیر کرده و به وسیله

الکترونهای شتاب داده شده بمباران می‌کنند. یونهایی تولید می‌شوند که تحت میدان مغناطیسی و الکتریکی از یکدیگر جدا می‌شوند. (مراجعه شود به فصل دوم طیف نگار جرم) جدایی یونها به نسبت جرم به بار آنها می‌باشد $\frac{m}{e}$. شکل (۱۳-۲۹) طیف به دست آمده از استر رانمایش می‌دهد. این تجزیه نشان می‌دهد که متیل بنزووات غنی از اکسیژن ۱۸ شده است، بنابراین واکنش انجام گرفته عبارتست از:



کاربرد ایزوتوب اکسیژن در این تحقیق مشخص می‌کند که در موقع ترکیب الکلهای نوع اول با کربوکسیلیک اسیدها، پیوند بین کربن و اکسیژن الكل از هم گسیخته نمی‌شود



شکل (۱۳-۲۹) طیف جرم $\frac{m}{e}$. ارتفاع خطوط متناسب با تعداد یونهای جذب شده است.

(b) استرها در طبیعت

اکثر استرها برای مطبوع داشته، طعم میوه‌ها به علت وجود آنها می‌باشد. در جدول (۱۳-۷) برای میوه‌های مختلف و استر موجود در آنها داده شده است.

فرمول	برای میوه
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagdown \\ \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2 \end{array}$	گلابی
$\text{CH}_3-\text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagdown \\ \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	موز
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagdown \\ \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	موز
$\text{CH}_3-\text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagdown \\ \text{O}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3 \end{array}$	پرتقال
$\text{CH}_3 \begin{array}{c} \diagup \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagdown \\ \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array} \end{array} \end{array}$	سیب
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagdown \\ \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	زردآلو

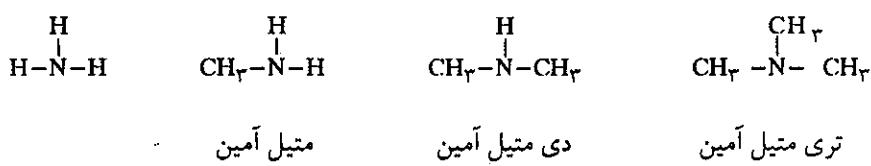
جدول (۱۳-۷) برخی از استرها. البته باید خاطر نشان کرد الزاماً این استرها در برخی از این میوه‌جات وجود ندارد ولی برای استر میوه یاد شده را به خاطر می‌آورد.

طعم یک ماده و یا میوه نتیجه امتزاج قندها و کربوکسیلیک اسیدهای موجود در آن است و بوی میوه‌های نیز نتیجه امتزاج تمام مواد شیمیایی فوار موجود در آن است که شامل استرها- آلدھیدها و کتونها می‌باشد. یک سبب درختنی در حدود ۲۰ کربوکسیلیک اسید دارد که زنجیره کربن آنها تا ۱۹ اتم کربن هم می‌رسد و در حدود ۳۰ نوع الکلها یی با زنجیره کربن کم و بیش یک اندازه و تقریباً ۷۰ نوع استر دارد که از ترکیب الکلها و اسیدهای موجود در آن تشکیل شده‌اند. و حدود ۳۰ مواد آلتی مختلف دیگر نیز در آن وجود دارد.

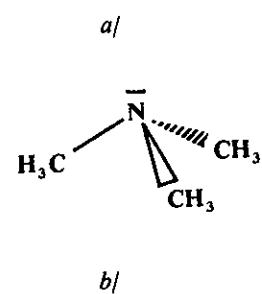
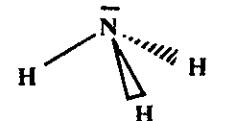
۱۳- آمینو اسیدها، پپتیدها و پروتئینها

الف) گروههای عاملی ازت دار

مقدمه: مهمترین خانواده گروههای ازت دار، آمینها می باشند و این ترکیبات مشتق از آمونیاک هستند که جایگزین یک یا چندین اتم هیدروژن در مولکول هیدروکربور شده اند.

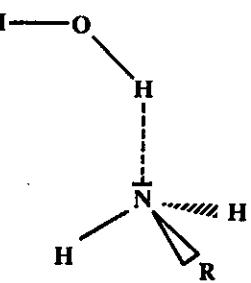
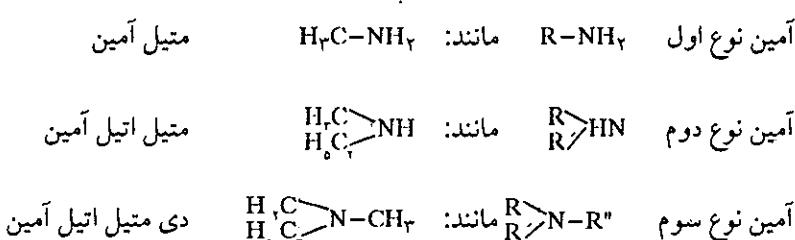


در تمام حالات مولکول، هرمی با قاعده مثلثی است که یک زوج الکترون غیر پیوندی روی اتم ازت همچنان که قبلاً در مورد آمونیاک دیدیم باقی می ماند و این زوج الکترون کم و بیش حاصل از هیبریدشدن^۳ اتم ازت است با اختلاف جزئی در زوایای آن. آمینها غالباً در مواد طبیعی و یا فراوردهای سنتزی یافته می شوند و بیشتر آنها بوی قوی نامطبوع دارند. پروتئینها مواد آلی ازت دار هستند و آمینها نیز بعد از تجزیه و تخریب مواد زنده و همراه با ترکیبات گوگرد دار بسوی مستعفن ایجاد می کنند. نام دو نوع دی آمین $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$ پیوترسین (Putrescine) و $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_8\text{NH}_2$ کداورین (Cadaverin) بوی تعفن جسد دقیقاً از کلمات تعفن و بوی مردار گرفته شده است.



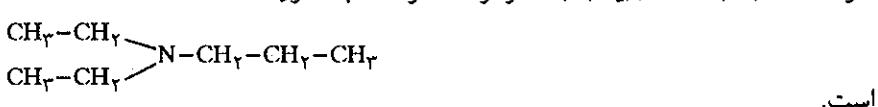
در آمینها ساختار هرمی مثلثی مولکول آمونیاک باقی می ماند.

(a) نامگذاری آمینها
آمینها را می توان بر حسب تعداد اتمهای کربن پیوند شده به اتم ازت، به سه دسته تقسیم نمود.



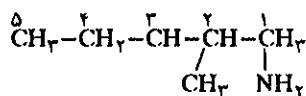
انم ازت در آمینها آب دوست Hydrophilic است و این به علت پیوند هیدروژن است.

نوع چهارم از آمینها به صورت یون چهاروجهی به شکل R_4N^+ است. نظیر تترامتیل آمونیم CH_3N^+ . گروههای R متصل به اتم ازت می توانند آلیفاتیک و یا آروماتیک باشند و اجباراً یکسان نیستند در نامگذاری گروههای پیوند شده به ازت باید با پسوند آمین بیان شود. مثال: $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{N}-\text{C}_2\text{H}_5$ که فرمول گسترده آن به صورت:



آمین نوع سوم است و دی اتیل پروپیل آمین نامیده می شود.
 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{NH}_2$ آمین نوع اول و فنیل آمین نام دارد و عموماً به آن آنیلین aniline گویند.

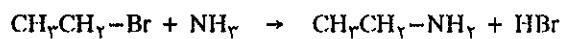
برخی از اوقات لازم است کربنها را شماره‌گذاری نمود مثل:



۲-آمینو، ۳-متیل پتان

(b) روش تهیه آمینها

روشهای مختلفی برای تهیه آمینها وجود دارد، ساده‌ترین آنها ترکیب الکل هالیدها با آمونیاک است.



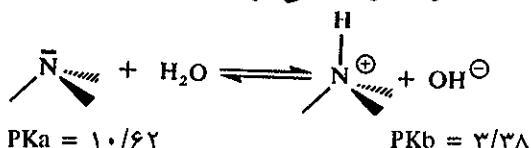
که در محلول آبی به صورت Br^- و $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-NH}_3^+$ است.
عیب این روش این است که فراورده‌های متعددی تولید می‌شود.



که این ترکیب نیز در محلول آبی به صورت $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{NH}_3^+$ و Br^- است و باز آمین به دست آمده می‌تواند با یک مولکول دیگر ترکیب شود و آمین نوع سوم تولید نماید.

(c) واکنشهای آمینها

چون آمینها مشتق از آمونیاک هستند بنابراین مانند آمونیاک باز برونوستد بوده و بخصوص خاصیت بازی آنها امکان تشکیل کمپلکس با یونهای فلزی را به آنها می‌دهد که سپس مانند اسید لویس عمل می‌کنند. معمولاً الک آمینها (آمینهای متتشکل از الکانها مثل متیل آمین) بازهایی قوی‌تر از آمونیاک می‌باشند و این بدان علت است که گروه الکل کترون به ازت می‌دهد و قدرت جذب پروتون ازت را بیشتر نموده و یون مشت به وجود آمده پایدارتر و درنتیجه قدرت اسیدی آن کمتر از آمونیاک می‌شود.



در صورتی که در آمونیاک:

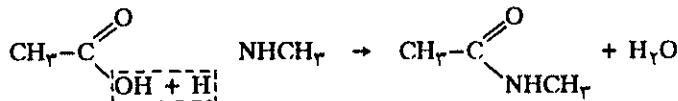


ولی بر عکس آمینهای متتشکل از ترکیبات آروماتیک که آنها را آریل آمین (Arylamines) می‌نامند بازهای ضعیفی می‌باشند.

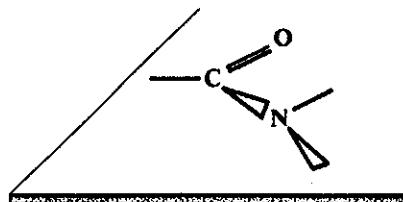


ب) آمیدها و پلی آمیدها

مقدمه: آمینهای نوع اول و نوع دوم مشابه الکلها با کربوکسیلیک اسیدها ترکیب می‌شوند.
مثلًا:



فراورده اصلی واکنش را آمید گویند. تعداد آمیدهای طبیعی و یا سنتزی بسیار می‌باشدند. مطالعه آرایش گروهها به وسیله روش‌های فیزیکی، (مثلًا طیف جذبی ماکروویو) مشخص نموده‌اند که تمام پیوندهای بین ازت و گروه کربونیل نمایش داده شده در شکل (۱۳-۳۰) در صفحه می‌باشند و دلیل صفحه‌ای بودن آنکنش و واکنش بین الکترونهای پیوند اکسیژن-کربن از یک سو و زوج الکترون آزاد اتم ازت از سوی دیگر است که متفقًا ابرهای الکترونی نامستقر (M.D.B) ۴ الکترون بر روی سه اتم N.C.O تشکیل داده‌اند و این عمل زوج الکترون آزاد اتم ازت را مقید کرده و به همین دلیل در محلولهای آبی آمیدها چندان خاصیت بازی از خود بروز نمی‌دهند. این پیوند نامستقر به گروه آمید ثبات شیمیایی قابل توجهی می‌دهد به نحوی که در مقابل اسیدها و بازهای رقیق و آب از خود مقاومت نشان می‌دهند.



شکل (۱۳-۳۰) صفحه‌ای بودن پیوند ازت با گروه کربونیل

۲) نامگذاری و تهیه آمیدها

نام آمیدها مستخرج از نام الکان تشکیل دهنده اسیدی است که با گروه آمین پیوند حاصل کرده البته بدون ذکر کلمه اسید و جانشین نمودن پسوند «اویک با کلمه آمید».

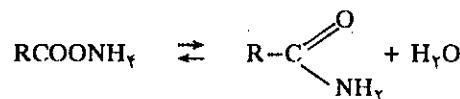
مثلًا $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\underset{\text{NH}_3}{\text{C}}}$ این آمید مشتق از بوتانوییک اسید می‌باشد آن را بوتان آمید می‌نامند.

برای تهیه آمیدهایی به فرمول عمومی $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{NH}_3}{\text{C}}}-\text{R}'$ قاعده‌تاً می‌توان ترکیب مستقیم کربوکسیلیک اسید و آمونیاک را پیشنهاد نمود که تولید آمونیم کربوکسیلات می‌نماید.

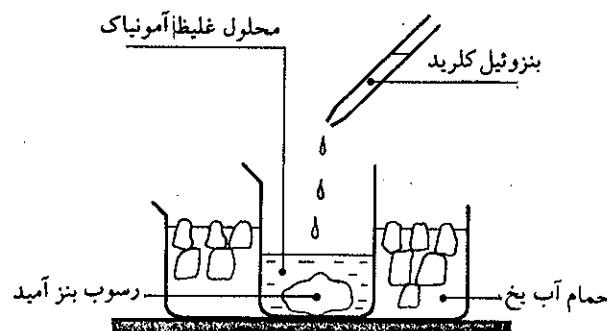


آمونیوم کربوکسیلات

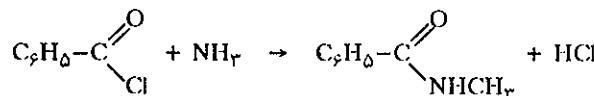
برای تبدیل کربوکسیلات به آمید باید آن را حرارت داده و یک مولکول آب از آن گرفت:



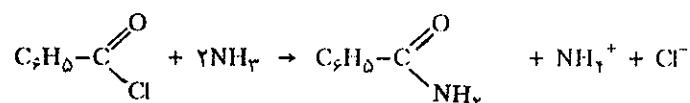
واکنش بسیار کند و راندمان پایین است و بدین سبب از روش‌های دیگر استفاده می‌شود مثلاً ترکیب بنزوئیل کلرید با آمونیاک در بشری مطابق شکل (۱۳-۳۱) محلول غلیظ آمونیاک ریخنه و بشر را در ظرف تبلوری مملو از آب پیخ قرار دهد و به آن قطره قطره بنزوئیل کلرید اضافه کنید رسوپ بنزآمید در ته بشر تشکیل می‌شود.



شکل (۱۳-۳۱) تهیه بنزآمید

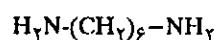


در واقع هیدروکلریک اسید حاصل بلا فاصله بر آمونیاک موجود در ظرف اثر گذاشت و آمونیوم کلرید نیز تولید می‌شود، واکنش مجموع عبارتست از:



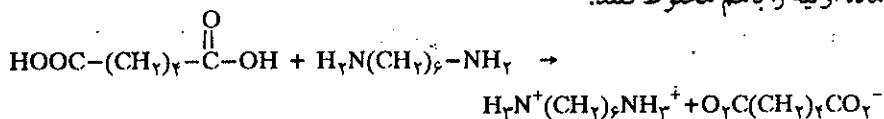
(b) پلی آمیدها

عمل تراکم آمیدها منجر به پلیمر شدن گروههای آمید می‌شود یعنی زنجیرهای که در آن این گروههای آمیدی یکی بعد از دیگری تکرار می‌گردند. در صنعت از اثر کربوکسیلیک اسیدها بر روی آمین استفاده می‌شود و فراورده عمل را نایلون گویند. پلی آمیدی که کاربرد بیشتر دارد ۶-۶ نایلون است که آنرا از عمل تراکم بین ۱-۶ هگزا متیلن دی آمین



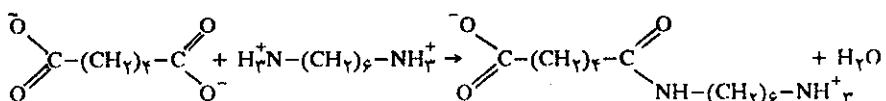
و آدیپیک اسید (هگزان دی اثیک اسید) $\text{HO}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}_2\text{H}$ به دست می‌آورند، اعداد ۶ و ۶ در جلو نایلون معرف تعداد اتمهای کربن در مونومرها است، اولین تراکم منجر به

تشکیل اولین زنجیره پلی مر می شود و برای این کار لازم است مقادیر کاملاً مساوی از دو ماده اولیه را باهم مخلوط کنند.

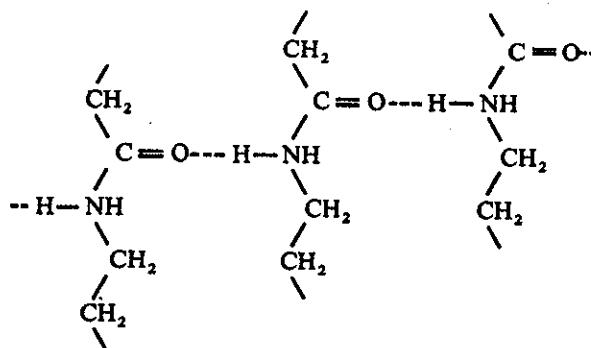


^

در این مرحله نمک نایلون تشکیل می شود و با خارج کردن زیادت اسید و یا آمین و حرارت دادن، نمک فوق متراکم شده و اولین مرحله تشکیل منومر انجام می گیرد.



زنジره طولانی پلی آمید (نایلون) را می توان یا با قالبگیری و یا به صورت نخ درآورده و در نساجی مصرف کرد. بخشی از استحکام الیاف پلی آمید مربوط به پیوندهای هیدروژنی تشکیل شده بین اتمهای هیدروژن و اکسیژن $\text{C=O} \cdots \text{H}-\text{N}$ است. در شکل (۱۳-۳۲) زنجیره های پلی آمید نمایش داده شده است.



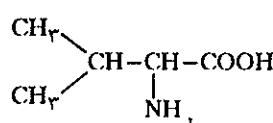
شکل (۱۳-۳۲) مقاومت الیاف نایلون به سبب پیوندهای هیدروژنی تشکیل شده بین اتم اکسیژن و هیدروژن زنجیره های پلی آمید مجاور به هم است.

(پ) آمینواسیدها

مقدمه: آمینواسیدها، کربوکسیلیک اسیدهایی هستند که در آنها گروههای آمین وجود دارد مثلًا $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ آمینواسیدی است مشتق از استیک اسید که از جایگزین شدن یک اتم هیدروژن متصل به کربن به وسیله یک گروه آمین تشکیل یافته است. با وجود آنکه بیوشیمی دانها نامهای اختصاصی به آمینواسیدها داده اند با این وجود باید نامگذاری بین المللی آمینواسیدها را شناخت.

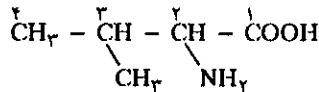
مثلاً: $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ glycine یا گلی کول و $\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{COOH}$ alanine, را آلانین گویند.

ولی نامهای بین‌المللی این دو ترکیب به صورت زیر می‌باشد. چون آلانین مشتق از پروپانویک اسید $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ است و گروه NH_2 - بر روی کربن ۲ قرار دارد (البته همیشه باید کوچکترین شماره را به کربن گروه کربوکسیلیک داد) بنابراین نام قراردادی آلانین عبارت از آمینواسید ۲ پروپانویک است و به همین ترتیب نام گلیسین آمینو اتانویک می‌باشد و نیز باید به خاطر داشت که در کربوکسیلیک اسیدها گروه COOH همیشه در انتهای زنجیره می‌باشد. اتم کربن پیوندشده به گروه COOH را α و به ترتیب کربنهای دیگر β و γ می‌باشند آمینو اسیدهایی که گروه NH_2 - آن روی کربن α است، α -آمینو اسید و اگر روی کربن β و یا γ باشد به ترتیب β -و γ -آمینو اسید نامیده می‌شوند. مثلاً نام این ترکیب



چیست؟

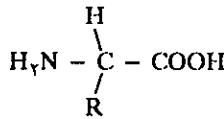
کربنهای را شماره‌گذاری کرده و شماره ۱ را روی کربن COOH قرار می‌دهیم



بنابراین نام آن آمینو اسید ۲-متیل ۳ بوتانویک است که بیوشمی‌دانها آن را والین Valine نامند.

(a) پیکربندی L و D

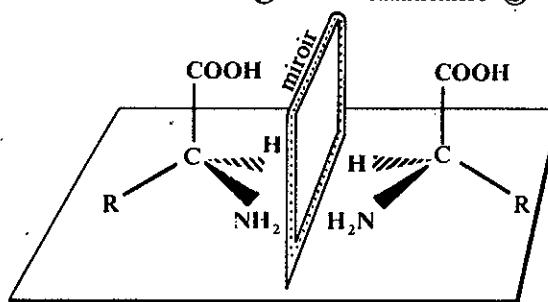
فرمول عمومی «آمینو اسیدها، نشان می‌دهد که اتم کربن در وضعیت α گروه COOH مشتمل از چهار رادیکال متفاوت است، بنابراین اتم کربن غیرمتقارن می‌باشد



تمام مولکولهای آمینو اسید غیر از گلیسین کایرال Chirales می‌باشند (مشابه تصویر دست راست یا چپ در آیینه) بنابراین هر مولکول آمینو اسید تصویری متفاوت از خود در آیینه دارد که آنرا إنانتیومر enantiomer گویند و هر مولکول دو إنانتیومر است که فرمول آنها غیرقابل انطباق بر یکدیگر است شکل (۳۳-۳۴).

énantiomère ④

énantiomère ⑤



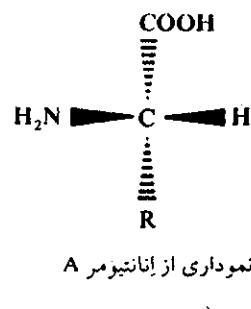
شکل (۳۳-۳۴) تمام آمینو اسیدها غیر از گلیسین دو إنانتیومر A و B دارند.

در موقع سنتز آمینو اسیدها در آزمایشگاهها، معمولاً دو شکل (إنانتیومر) بانسبتیهای مساوی تشکیل می‌شوند. دو روش برای نمایش دادن هر نوع إنانتیومر وجود دارد.

۱. إنانتیومتر A: ساختار فضایی گروه COOH و R پشت صفحه هستند و پیوند C-H و C-NH₂ در جلو صفحه واقع شده‌اند شکل حاشیه صفحه. همانطور که ملاحظه می‌شود گروه NH₂ در سمت چپ واقع شده است لذا این ایزومری را L (Lévogyres) گویند.

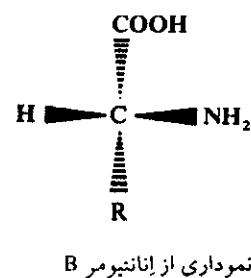
۲. إنانتیومر B: در حاشیه صفحه نمایش فضایی این ایزومر داده شده است و همانطور که ملاحظه می‌کنید گروه NH₂ در سمت راست شکل قرار دارد این ایزومری را D (Dextrogyres) گویند.

به طور خلاصه آمینو اسیدی را پیکربندی D گویند. اگر گروه NH₂ که بر روی کربن α قرار گرفته در سمت راست باشد و بر عکس اگر در سمت چپ باشد آن را پیکربندی L گویند. در جدول (۱۳-۸) اسامی و فرمول گسترده ۲۰ آمینو اسید مهم طبیعی آورده شده است.

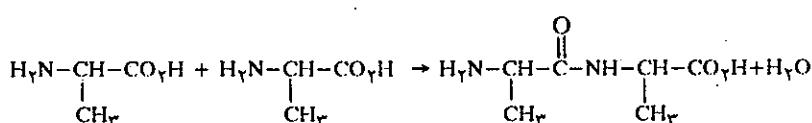


ت) پلی پپتیدها و پروتئینها

مقدمه: اهمیت آمینو اسیدها در این است که واحدهای ساختمانی پروتئینها موجودات زنده را تشکیل می‌دهند. در واقع پروتئینها، نوع پیچیده و تکمیل یافته‌ای از نایلونها می‌باشند، با این اختلاف که نایلونها شکل تکراری و یکنواختی از متونرهای اولیه دارند و حال آنکه پروتئینهای پلیمرهایی هستند که در ساختار آنها بیش از ۲۰ نوع آمینو اسید مختلف به کار رفته است. انداههای بدن ما قادرند ۱۵ نوع از آمینو اسیدهای طبیعی را به مقدار لازم برای نمو و ترمیم و تعادل و ادامه حیات سنتز کنند که البته باید ۵ نوع دیگر را از طریق موادی که جذب می‌کنیم به بدن رساند و بدین سبب نام آنها را آمینو اسیدهای اساسی نهاده‌اند.



مولکولی مشکل از حداقل دو آمینو اسید را پیتید گویند



پیوند -CO-NH- را پیوند پپتیدی گویند و آمینو اسید انتهایی را مواد باقی مانده یا (Residue) گویند.

زنجیره پلی پپتیدی بیش از صدها شاخه انتهایی یا باقی مانده دارند و به وسیله پیوندهای پپتیدی در نظم مطلقی قرار گرفته‌اند. زنجیره پلی پپتیدی آمینو اسیدهایی که باقی مانده ندارند اولیگوپپتید گویند. آمینو اسیدهایی که انتهای زنجیره‌شان دومین عامل COOH دارد در محلولهای آبی خاصیت اسیدی بیشتر از سایر آمینو اسیدهای دارند و با توجه به جدول (۱۳-۸) متوجه می‌شویم که دو آمینو اسید آسپارتیک اسید (ASP) و گلوتامیک اسید (Glu) چنین ساختاری دارند.

موقعی که عامل COOH تبدیل به آمید می‌شود (-NH₂-C_{||}) این اسیدها تبدیل به

گلوتامین (Glu) و آسپارژین (Asn) می‌شوند. آمینو اسیدهای بازی بر عکس آمینواسیدهای فوق یک عامل بازی دارند مثلًا -NH₂-C_{||}-NH- در لیزین (Lys) و -H₃N-C_{||}-NH- و آرژنین (Arg).

نام فارسی	نام معمولی	نام مختصر شده	فرمول
گلبسین	glycine	Gly	$\text{H}-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
آلانین	alanine	Ala	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
والین	valine	Val	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
لثوسین	leucine	Leu	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
ایزو لثوسین	isoleucine	Ile	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2 \end{array}$
سرین	sérine	Ser	$\text{HOCH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
ترفونین	thréonine	Thr	$\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
سیستئین	cystéine	Cys	$\text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
متیونین	méthionine	Met	$\text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
اسید آسپارتیک	acide aspartique	Asp	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
آسپارژین	asparagine	Asn	$\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
گلرتامیک اسید	acide glutamique	Glu	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
گلوتامین	glutamine	Gln	$\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
لیزین	lysine	Lys	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
آرژینین	arginine	Arg	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{NH})-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
فنیل آلانین	phénylalanine	Phe	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
تیروزین	tyrosine	Tyr	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
تریپتوفان	tryptohane	Try	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{N}(\text{H})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
هیستیدین	histidine	His	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
پرولین	proline	Pro	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$

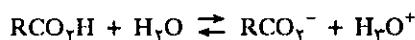
جدول (۸-۱۳) اسامی و فرمول گسترده و نام مختصر شده ۲۰ آمینو اسید طبیعی.

محلول آبی این آمینو اسیدها PH کاملاً بازی دارند. آرژنین آمینو اسید بخصوصی است که در پروتئین اسپرم انسانها و در مایع سفید رنگ تناسلی ماهیهای نر وجود دارد. سیستین (Cys) آمینو اسیدی است که زنجیره آن به یک گروه S-H ختم می‌شود و متیونین (Met) آمینو اسید دیگری است که گوگرد به صورت گروه S-CH₃ در آن وجود دارد. این آمینو اسیدهای گوگرددار نقش بسیار مهم و غیرقابل تعویض در کنترل عمل اکسایش و کاهش اندامهای بدن موجودات زنده دارد. سیستین با ایجاد اتصال دو گوگردی، پیوند زنجیره‌های پروتئین را بین خود ممکن می‌سازد.

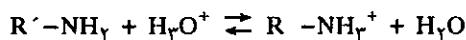
غالب آمینو اسیدها زنجیره کربن آلیاتیک دارند، با وجود این فنیل آلانین (Phe) و تیروزین (Tyr) و ترپوفان (Trp) مشکل از یک هسته آروماتیک هستند که به راحتی می‌شود به وسیله نیتریک اسید آنها را تشخیص داد. اثر نیتریک اسید بر روی آنها ترکیبات جایگزینی نیتره تولید می‌کند. زرد شدن پوست دست در اثر تماس با نیتریک اسید به همین علت است. سفیده تخم مرغ نیز در اثر هیدرولیز، آمینو اسید آروماتیک آزاد می‌سازد.

a) رفتار آمینو اسیدها در محلولهای آبی

وجود دو گروه عاملی COOH اسید و NH₂- بازی در مولکولهای آمینو اسیدها شیمی آنها را تحت تأثیر خود قرار داده است. در محیط اسیدی یا PH بسیار پایین عامل COOH عملایونیده نمی‌شود، قبلاً قوانین لوشاپلیه و تفکیک اسیدها و بازها را در فصل هشتم مطالعه کردیم و به سادگی متوجه می‌شویم که واکنش تفکیک عامل اسیدی -COOH- در چنین شرایطی (PH پایین) عملانجام نمی‌گیرد.



ولی بر عکس در چنین شرایطی عامل آمین تقریباً همگی جذب پروتون می‌کنند و یا به عبارت دیگر واکنش اسید و بازی آنها از چپ به راست کاملاً انجام می‌گیرد.



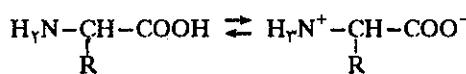
پس در PH بسیار پایین (یا اسیدی زیاد) آمینو اسیدی به فرمول عمومی R-CH-CO₂H کاملاً به شکل H₂N-CH_R-COOH یعنی به صورت کاتیون وجود خواهد

داشت و در محیط بسیار بازی (PH بالا) بر عکس اسیدها کاملاً تفکیک می‌شوند.



پس آمینو اسیدها به صورت آنیون و شکل H₂N-CH_R-COO⁻ وجود دارند. در PH های

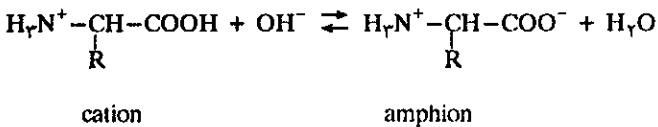
حد واسط تفکیک توان گروههای عاملی اسید و باز انجام می‌گیرد COOH پروتون از دست می‌دهد در صورتی که -NH₂- پروتون جذب می‌کند و در واقع یک واکنش اسید و بازی بین دو سر یک مولکول به وقوع می‌پیوندد و تعادل بین شکل مولکولی و شکل یونی اسیدهای آمینه برقرار می‌گردد.



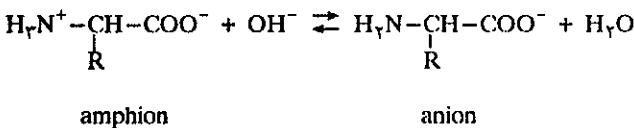
moléculaire

amphion

شكل «آنیونی - کاتیونی» مولکول را دو قطبی یا Amphion نامند. در محلولهای آبی واکنش به سمت راست پیش می‌رود و غلظت شکل مولکولی آمینو اسید در محلول بسیار کم است و به همین دلیل آمینو اسیدها بسیار محلول در آب هستند. موقعی که محلول آمینو اسیدها را از PH اسیدی به PH بسیار بازی سوچ می‌دهیم مشاهده می‌شود که ابتدا کاتیون $\text{H}_3\text{N}^+ - \underset{\text{R}}{\text{CH}} - \text{COOH}$ (به دلیل آنکه عامل COOH اسیدی است قوی تراز NH_3^+) تبدیل به یون دو قطبی $\text{H}_3\text{N}^+ - \underset{\text{R}}{\text{CH}} - \text{COO}^-$ و سپس این یون تبدیل به آنیون $\text{H}_3\text{N}^+ - \underset{\text{R}}{\text{CH}} - \text{COO}^-$ می‌شود.



و سپس:



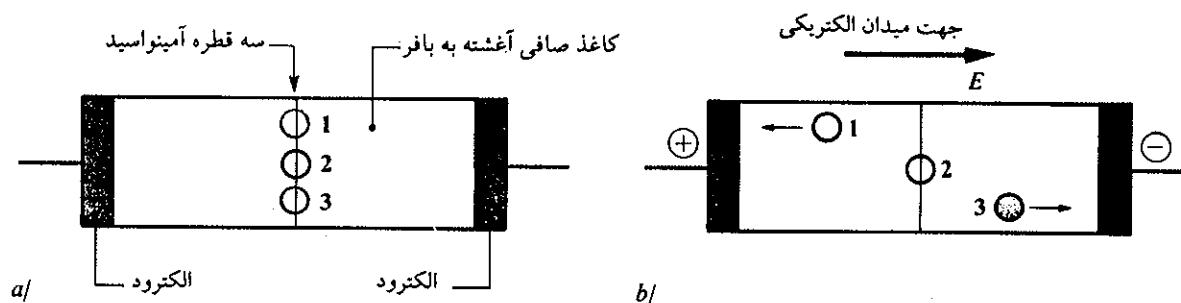
بنابراین برای هر آمینو اسید یک PH مخصوص به نام PH_i آغازی وجود دارد که به ازاء آن غلظت آمفیون ماکزیمم مقدار را دارد، PH_i را نقطه ایزوالکتریک (Isoelectrique Point) گویند.

(b) الکتروفورز (electrophorése)

نقطه ایزوالکتریک اهمیت بسیار دارد زیرا در $\text{PH}=\text{PH}_i$ آمینو اسید کاملاً به صورت یون دو قطبی است و در میدان الکتریکی به علت ختنی بودن مجموعه مولکول، تغییر محلی نمی‌دهد. بر عکس در $\text{PH} < \text{PH}_i$ آمینو اسید به صورت کاتیون می‌باشد و در میدان الکتریکی در جهت میدان حرکت می‌کند. ولی اگر $\text{PH} > \text{PH}_i$ باشد مولکول آمینو اسید به شکل آنیون است و در میدان الکتریکی در خلاف میدان حرکت خواهد کرد.

بیوشیمیدانها برای جدا کردن آمینو اسیدها از یکدیگر از این خصلت حد اکثر استفاده را می‌برند و روش عمل را الکتروفورز گویند. در شکل (۳۴-۳۵) اصول این روش داده شده است. دستگاه مشکل از تیغه شیشه‌ای که بر روی آن یک تکه کاغذ صافی به همان اندازه قرار داده، و در دو انتهای تیغه شیشه‌ای دو الکترود فلزی به نحوی درست شده است که کاغذ را هم بر روی شیشه نگه می‌دارد بین این دو الکترود اختلاف پتانسیلی در حدود چند صد ولت وصل می‌نمایند. سه آمینو اسید ۱ و ۲ و ۳ با $\text{PH}_i=6$ متفاوت از هم مثلاً به ترتیب ۳، ۶ و ۱۰ انتخاب کرده ابتدا کاغذ صافی را با محلول بافری با $\text{PH}=6$ خیس نموده و یک قطره از سه آمینو اسید را در مرکز کاغذ قرار می‌دهند شکل a (۳۴-۳۵) سپس اختلاف پتانسیلی را که میدان الکتریکی E را به وجود می‌آورد متصل می‌نمایند. آمینو اسید ۱ که در شکل آنیونی دارد تغییر محلش در خلاف جهت میدان الکتریکی است. آمینو اسید ۲ که در $\text{PH}=\text{PH}_i$ شکل یون دو قطبی (آمفیون) دارد تغییر محل نمی‌دهد. آمینو اسید ۳ که در $\text{PH} < \text{PH}_i$ شکل کاتیونی دارد تغییر محلش در جهت میدان الکتریکی است. این روش بسیار ساده امکان جداسازی سه آمینو اسید را به سادگی ممکن می‌سازد. PH_i ، ایزوالکتریک

مشخص کننده هریک از آمینو اسیدها می‌باشد. در مورد آمینواسیدهای معمولی نظریه گلیسین (Gly) یا آلانین (Ala) (نقطه ایزوکتریک برابر با $\text{PH}_\text{i} = 6$) و در مورد دی آمینو



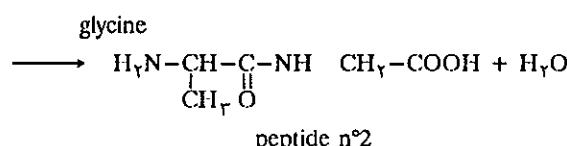
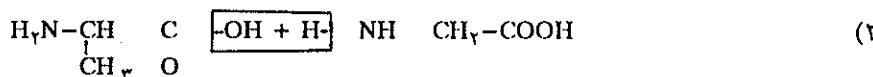
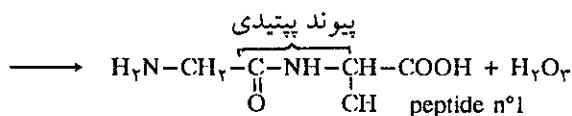
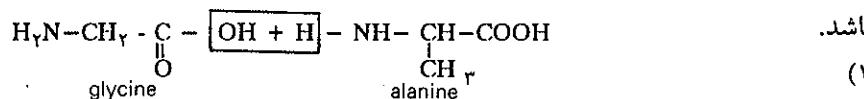
شکل (۱۳-۲۴) نموداری از اصول الکتروفورز، (a) سه آمینو اسید در مرکز کاغذ صافی با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ قرار دارند. (b) در حضور میدان الکتریکی E آمینو اسیدها یا در جهت و یا در خلاف جهت بر حسب نوع بارشان تغییر محل می‌دهند.

اسیدها نظریه گلوتامیک (Glu) برابر با $\text{PH}_\text{i} = ۳/۲$ و بر عکس در مورد آمینواسیدهایی که زنجیره بازی دارند نظریه آرژینین (Arg) برابر با $\text{PH}_\text{i} = ۱۱/۲$ است.

ث) پیوند دو آمینواسید باهم

فرض کنید می‌خواهیم دو آمینواسید، گلیسین (Gly) و آلانین (Ala) را باهم پیوند دهیم. در موقع پیوست آنها با یکدیگر قاعدهاً باید یک مولکول آب از عامل $\text{H}_\text{O}-\text{COOH}$ - یکی (مثلاً گلیسین) و عامل $\text{NH}_\text{H}_\text{O}-\text{NH}_\text{H}_\text{O}$ - دیگری (مثلاً آلانین) حذف نمود این عمل را تراکم گویند و نتیجه

حاصل از آن به وجود آمدن گروه عاملی آمید به صورت $\text{C}-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}_\text{H}_\text{O}$ - است. فراورده حاصل از تراکم را پیوند پپتیدی گویند ولی ممکن است واکنش به دو صورت انجام گیرد. از گلیسین و $\text{NH}_\text{H}_\text{O}-\text{NH}_\text{H}_\text{O}$ - از آلانین یا ممکن است $\text{NH}_\text{H}_\text{O}-\text{NH}_\text{H}_\text{O}$ - از گلیسین و $\text{NH}_\text{H}_\text{O}-\text{NH}_\text{H}_\text{O}$ - از آلانین باشد.



پپتیدهای شماره ۱ و ۲ از نظر خواص شیمیایی و بیولوژی کاملاً متفاوت از هم می‌باشند ولی هر دو عاملهای NH_2 - در یک طرف و عامل COOH - در طرف دیگر دارند و برای نامگذاری و تشخیص آنها با نام آمینو اسیدی که در انتهای زنجیره‌اش عامل NH_2 - را دارد شروع می‌کنند. مثلاً پپتید شماره ۱ Gly-Ala-Gly و پپتید شماره ۲ Ala-Gly-Ala گویند. در واقع در ضمن واکنش ممکن است که مولکولهای Gly با یکدیگر و یا Ala با Ala دیگر وارد در عمل شوند پس در این صورت پپتید نوع سومی نیز به صورتهای Ala-Ala و Gly-Gly تشکیل می‌گردد.

متخصصین شیمی آلی توانسته‌اند راه حلی برای برطرف نمودن این اشکالات پیدا کنند و آن عبارت از قفل کردن انتهای آمینو اسیدی که نمی‌خواهد در واکنش شرکت کند است. مثلاً اگر قصد داشته باشیم که منحصرًا Gly-Ala NH_2 - تنها تهیه کنیم باید مانع انجام تمام واکنشهای ممکن بین عامل COOH - آلانین و عامل NH_2 - NH_2 - گلی سین شد. برای این کار کافیست قبل از مخلوط کردن دو ماده اولیه باهم، عامل COOH - آلانین را تبدیل به استر $\text{C}-\text{OR}'$ و O عامل NH_2 - گلی سین را تبدیل به آمید $\text{R}-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-$ نمود. این عمل را قفل کردن گویند و با شکل  نمایش می‌دهند.

بنابراین بعد از مخلوط کردن، تراکم و حذف آب منحصرًا بین عامل COOH - گلی سین و NH_2 - آلانین انجام می‌گیرد. ولی چون عامل COOH - در مقابل آمینهای فعالیت شیمیایی چندانی ندارد بیوشیمی‌دانها ترجیح می‌دهند ابتدا عامل کربوکسیلیک آمینو اسید را به وسیله گروه عاملی فعالتر عوض نمایند، مثلاً در مورد گلی سین بجای COOH - عامل آسیل $\text{C}(=\text{O})-\text{Cl}$ - را قرار می‌دهند.

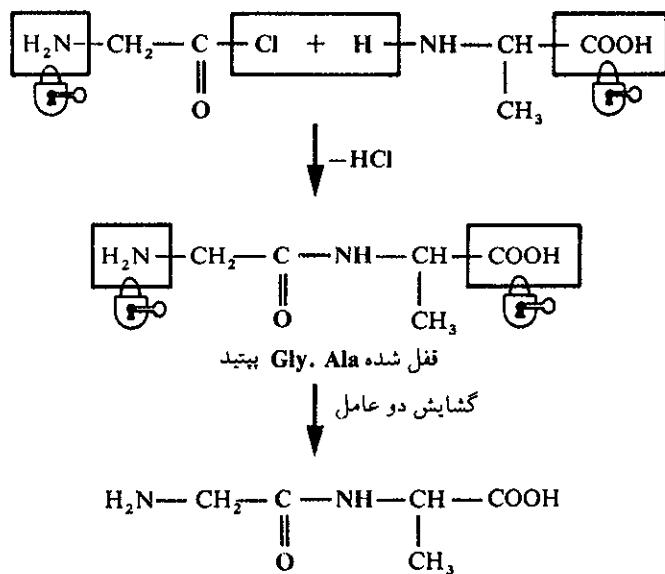
در شکل (۱۳-۳۵) چگونگی مراحل انجام واکنش بین گلی سین قفل شده به وسیله آمید و آنلین قفل شده به وسیله استر را نمایش داده‌ایم.

بعد از انجام واکنش باید در موقع برداشتن قفلها دقت فراوان نمود. برای برداشتن قفل مثلاً تبدیل مجدد $\text{C}-\text{OR}'$ - آلانین به COOH - بدون آنکه پیوند پپتیدی از هم گسیخته شود O

باید استر را در محیطی با PH مختصر بازی هیدرولیز نمود. برای برداشتن قفل آمید $\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}'$ - پیوند شده به NH_2 - گلی سین، باید مولکول را هیدروژنولیز (یعنی شکستن پیوند به کمک هیدروژن) نمود که این عمل در حضور کاتالیزورهای فلزی مثلاً پالادیم انجام می‌گیرد.

ج) از پپتیدها به پروتئینها

عامل COOH - یک دی پپتید می‌تواند با عامل NH_2 - یک آمینو اسید جدید ترکیب شده و تری پپتید تولید کند که انتهای زنجیره آن باز هم عامل COOH - را دارد که این نیز به نوعه خود با آمینو اسید دیگر ترکیب می‌شود و بدین ترتیب پپتیدها تبدیل به پروتئین می‌شوند. با این وجود باید خاطر نشان ساخت موقعی که مولکول کمتر از ۲۵ آمینو اسید دارد آنرا باز هم پپتید گویند. عبارت پروتئین مربوط به پپتیدهایی می‌شود که زنجیره آنها به



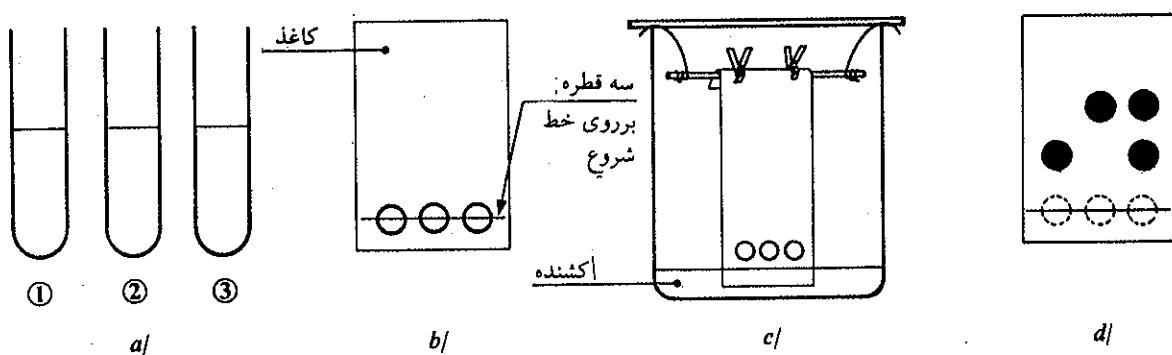
شکل (۱۳-۳۵) مراحل مختلف تشکیل پپتید Gly-Ala

مراتب بیشتر از این تعداد است. برخی از پروتئینها تا ۲۶ هزار اسید آمینه دارند که جرم مولکولی آنها در حدود ۴۰ هزار گرم در هر مول است. در واقع پروتئینها ماکرو مولکولهایی هستند بی نهایت بزرگ در برخی از پروتئینها زنجیرهای متغیری درست شده است. ساختار اولیه یک پروتئین با شناخت آمینو اسیدهای تشکیل دهنده آن و نظمی که آنها را به یکدیگر پیوند داده است تعریف می شود.

به عنوان مثال تشکیل یک تری پپتید را که متشکل از سه آمینو اسید آلانین (Ala)، سرین (Ser) و سیستین (Cys) است در نظر بگیرید به شش روش می توان این سه ترکیب را کنار یکدیگر قرار داد.

Ala . Ser . Cys	Ala . Cys . Ser
Ser . Cys . Ala	Ser . Ala . Cys
Cys . Ala . Ser	Cys . Ser . Ala

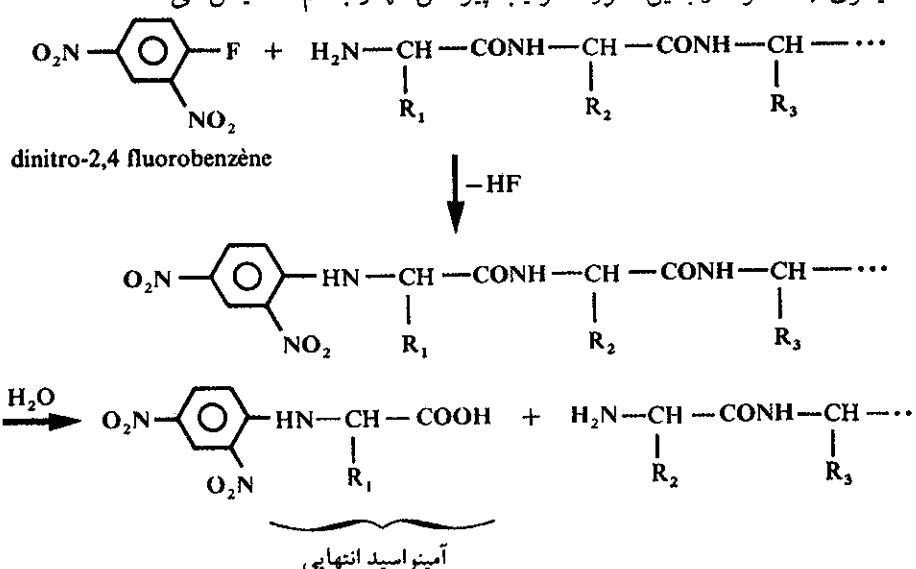
این شش پپتید، آرایش کاملاً متفاوت از هم دارند با وجود آنکه ماده اولیه آنها یکسان است. خواص فیزیکی و بیولوژیکی آنها نیز متفاوت از هم می باشد. این نمونه ساده می تواند نشان دهد که با ۲۰ آمینو اسیدی که در ساختار بدن موجودات زنده وجود دارد، طبیعت توانسته تعداد غیرقابل شمارش پروتئین بسازد. تعداد تقریبی آنها را به 10^{12} در دنیاگیاهان و موجودات زنده تخمین می زنند. شناخت آمینو اسیدهای تشکیل دهنده پروتئین مسئله بسیار مهمی است که بیوشیمی دانها به کمک هیدرولیز در محیطهای مختلف و سپس جداسازی آمینو اسیدها به کمک کروماتوگرافی توانسته اند عملآ نواع



شکل (۱۳-۳۶) روش کروماتوگرافی برای جداسازی دو آمینو اسید

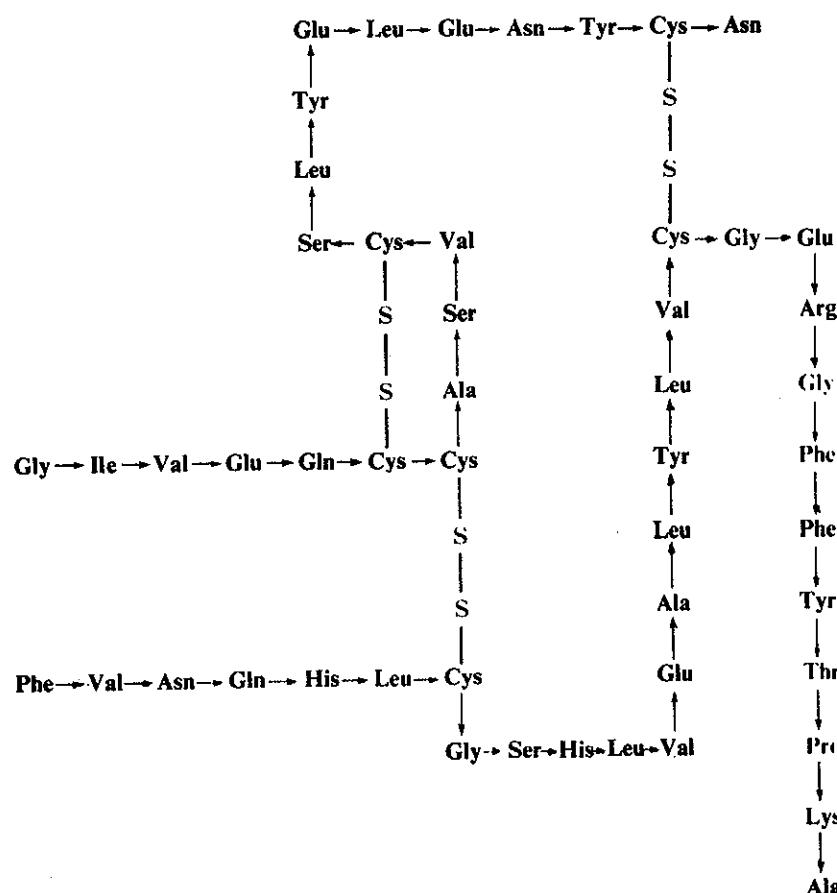
مختلف آمینواسیدها را تشخیص دهنند. شکل (۱۳-۳۶) روش جداسازی دو آمینو اسید آلانین (Ala) و لیزین (Lys) را نمایش می‌دهد.

شناخت آمینواسیدها بسیار مهم ولی از آن مهمتر شناخت ترتیب و نظم در اتصال آنها است. این افتخار نسبت سان ژر (Sanger) می‌شود که در سال ۱۹۵۰ روشی بسیار جالب برای تعیین و تشخیص دنباله‌های پروتئینها کشف کرد. کار او مبتنی بر پیوند ماده شیمیایی مناسب به دنباله‌های پروتئینها است. مثلاً اگر پروتئینی با عامل NH_2-NH_2 - ختم می‌شود به کمک دی‌نیترو ۴-۲ فلورید و بستن آن را مقید نموده و سپس پروتئین را هیدرولیز می‌نمایند. فرمولهای داده شده در شکل (۱۳-۳۷) روش مقید کردن و سپس هیدرولیز زنجیره پروتئین اولین دنباله را که جدا می‌سازد (مثلاً آمینو اسید با رادیکال (R_1) نشان می‌دهد. به همین روش عمل را ادامه داده آمینو اسیدهای R_2 و R_3 تا R_n را یکی بعد از دیگری جدا نموده و بدین صورت ترتیب پیوستن آنها را بهم تشخیص می‌دهند.



شکل (۱۳-۳۷) روش جداسازی و تشخیص آمینواسیدهای تشکیل دهنده پروتئینها

به کمک همین روشی سان ژر، توانستند در سال ۱۹۵۵ ساختار مولکول انسولین را تشخیص دهند. این هورمون که متابولیسم قند را در اندامهای زنده کنترل می‌کند، شامل ۵۱ آمینو اسید است. یازده سال بعد محققین چینی توانستند با قرار دادن آمینو اسیدها یکی بعد از دیگری این مولکول را ستر نمایند. شکل (۱۳-۳۸) ترتیب به هم پیوستن آمینو اسیدهای



شکل (۱۳-۳۸) انسولین گاو متشكل از دو زنجیره پروتئین که به وسیله پلهای دوگرگردی به هم پیوند شده‌اند.

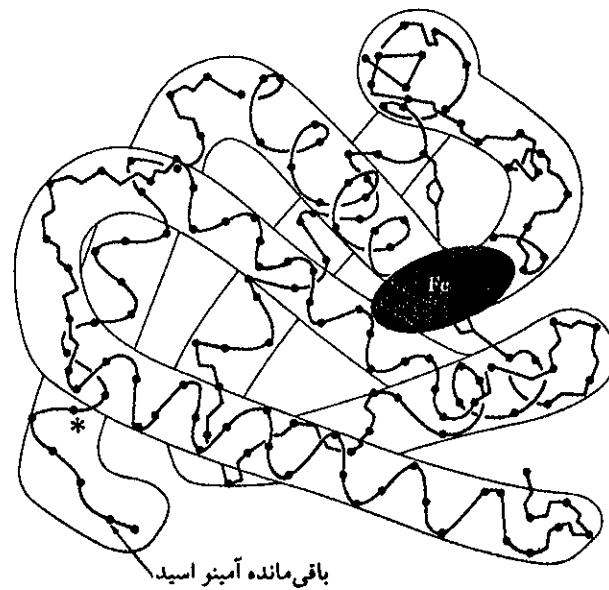
انسولین گاو را نمایش می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود دو زنجیره پروتئینی به کمک پلهای گوگردار به یکدیگر متصل شده‌اند. در جدول (۱۳-۹) نمودار بخش مختصری از

Leu-Ser-Pro-Ala-Asp-Lys-Thr-Asn-Val-Lys- . . . - - - -)
(- . . . - Val-Lys-Gly-Trp-Ala-Ala- . . . -)
C - . . . - Ser-Thr-Val-Leu-Thr-Ser-Lys-Ser-Tyr-Arg

جدول (۱۳-۹) نمودار بخش مختصری از ساختار هموگلوبین خون انسان

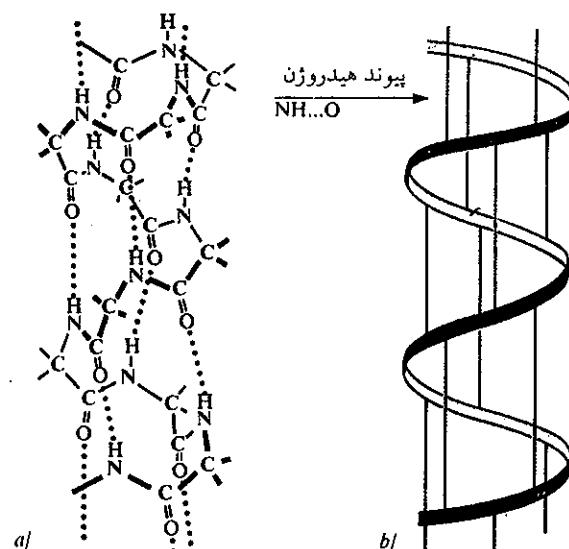
ساختار اولیه هموگلوبین خون انسان داده شده است. تشخیص آرایش اولیه پروتئینها و چگونگی قرار گرفتن آمینواسیدها در کنار یکدیگر احتیاج به تجزیه بسیار دقیق دارد که خوشبختانه در حال حاضر قسمت اعظم پروتئینهای تشکیل دهنده اندامهای موجودات زنده شناخته شده است و حتی اخیراً پروتئینهای سنتزی را نیز به وجود می‌آورند ولی این پروتئینها فعال نمی‌باشند و مشابه پروتئینهای بیولوژیکی عمل نمی‌کنند.

در شکل (۱۳-۳۹) نمودار یکی از چهار زنجیره پلی پپتیدی تشکیل دهنده هموگلوبین



شکل (۱۳-۳۹) نمودار یکی از چهار زنجیره پلی پپتیدی تشکیل دهنده هموگلوبین خون انسان این زنجیره منحصرآ از مارپیچهای α درست شده است.

خون انسان نمایش داده شده است و در شکل (۱۳-۴۰) مارپیچ α از ساختار زنجیره ثانوی با پیوندهای هیدروژن در پلی پپتیدها.



شکل (۱۳-۴۰) مارپیچ α از ساختار زنجیره ثانوی پلی پپتیدها. پیجهای زنجیره به کمک پیوندهای هیدروژن استوار شده‌اند. در (a) به صورت نقطه چین و در (b) با خطوط تقریباً نمایش داده شده‌اند.

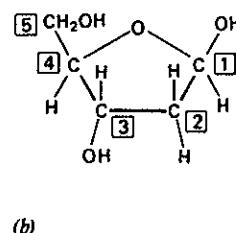
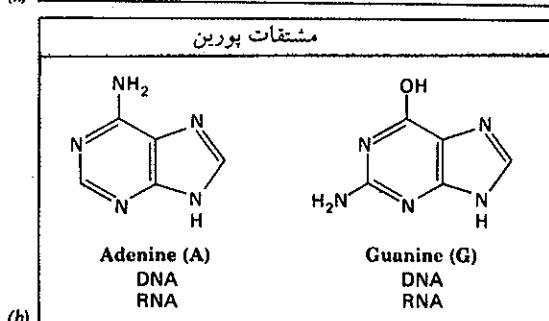
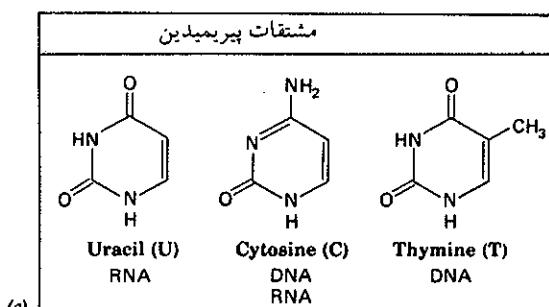
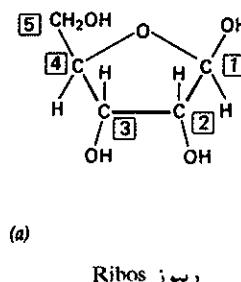
RNA و DNA (ج)

مقدمه: پچیده‌ترین مولکول‌های آلتی (اکسی ریبونوکلئیک اسید DNA) است که در هسته تمام سلول‌های موجودات زنده حداقل یک مولکول DNA برای کنترل تولید پروتئین و انتقال اطلاعات ژنتیکی (وراثت) یک نسل به نسل بعد وجود دارد. مولکول‌های DNA انسان بینهایت بزرگ می‌باشند. اگر بتوانیم یک مولکول DNA هسته یک سلول را بپرسانیم و با شکل طبیعی خودش باز کنیم طول آن ۲ متر خواهد بود.

مولکول ریبونوکلئیک اسید RNA بسیار نزدیک و شبیه به مولکول DNA است فقط با این تفاوت که قدری کوچکتر از آن است. این مولکول اطلاعات جمع آوری شده به وسیله DNA را به خارج از هسته منتقل می‌کند.

(a) نوکلئوزیدها و نوکلئوتیدها

بهترین روش برای شناخت آرایش DNA شناخت مبدأ آن است. DNA پلی‌مری است که در آن واحد تکراری از مولکول تغییرشکل یافته قند ریبوز در شکل فورانوز است. تغییر شکل ریبوز عبارت از حذف شدن اتم اکسیژن پیوند شده به کربن ۲ است، بنابراین تبدیل به مولکول داکسی ریبوز می‌شود که فرمول آن در حاشیه آورده شده است: واحد تکراری یا منومر همین مولکول داکسی ریبوز می‌باشد. به کربن شماره ۱ حلقه ریبوز، بازهایی از نوع آمینه‌ها که باز ازته نام دارند با پیوند کووالانس متصل می‌شوند (در این بازها اتم ازت دهنده زوج الکترون می‌باشد) در شکل (۱۳-۴۱) بازهایی که به زنجیره

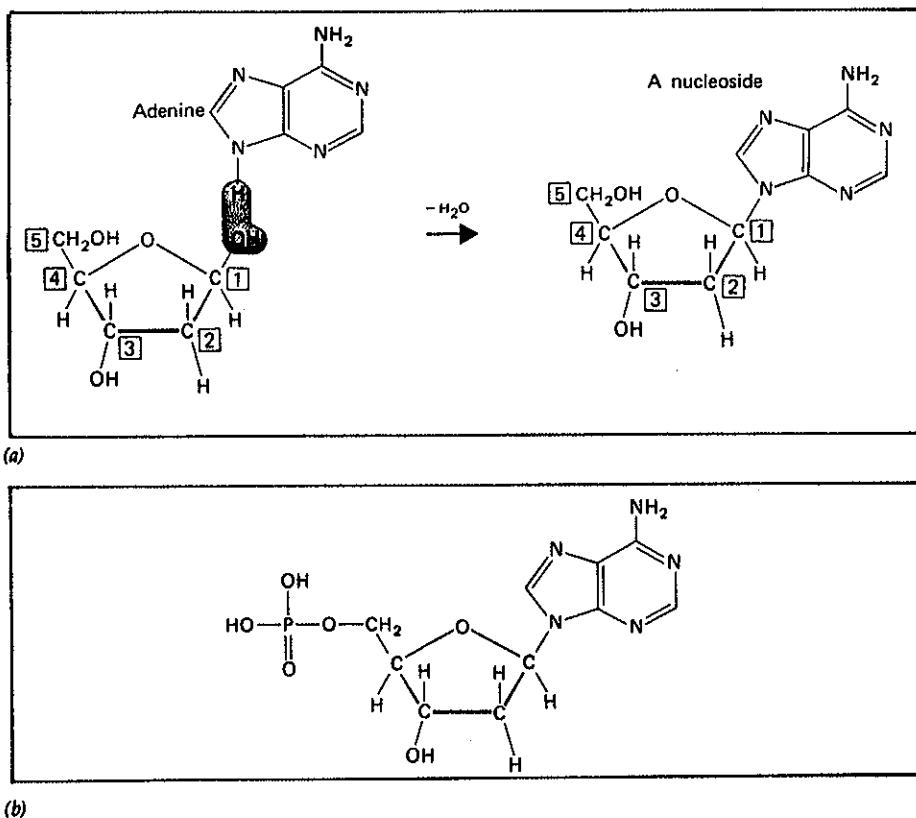


داکسی ریبوز

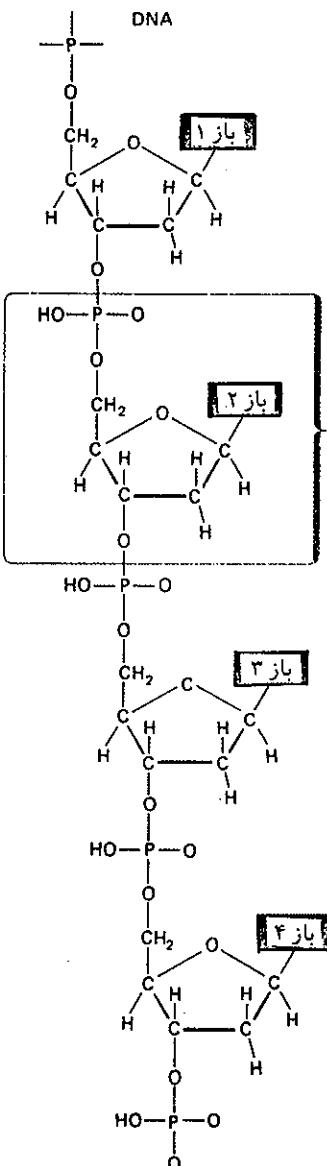
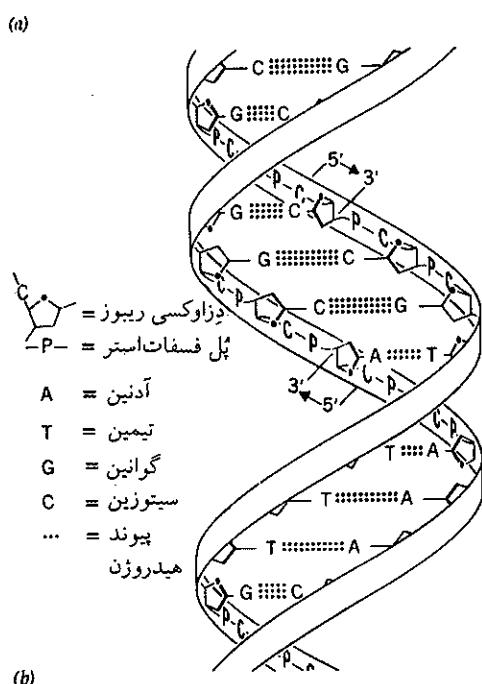
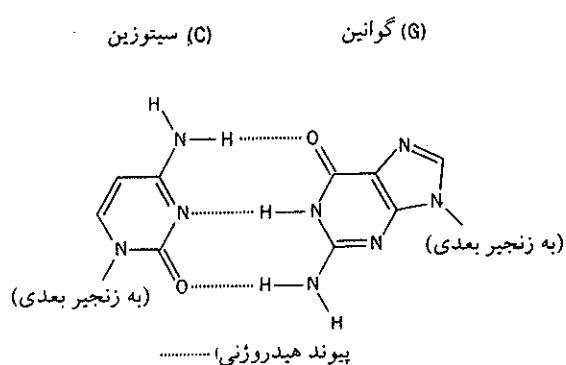
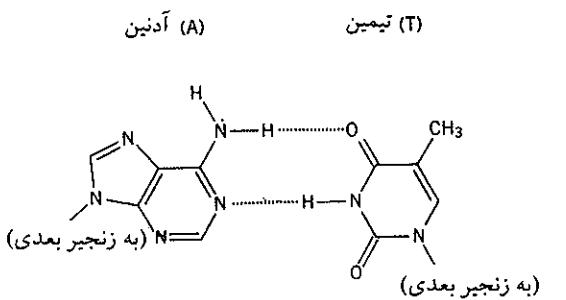
شکل (۱۳-۴۱) بازهای ازته که به مولکول داکسی ریبونوکلئیک اسید DNA و به ریبونوکلئیک اسید RNA پیوند می‌شوند.

دیکسی ریبوز می‌چسبند نشان داده شده است، تعداد آنها ۵ است. چهار نوع آن که در DNA وجود دارند عبارتند از سیتوزین (C)، تیمین (T)، آدنین (A) و بالآخره گوانین (G) یعنی در چهار مولکول A، T، G و C به کربن شماره ۱ دیکسی ریبونوکلئیک اسید پیوند شده‌اند و در RNA بازهای اوراسیل (U)، آدنین (A)، گوانین (G) و سیتوزین (C) به مولکول ریبونوکلئیک اسید پیوند شده‌اند در شکل (۱۳-۴۲) چگونگی پیوند مولکول آدنین (A) به کربن شماره ۱ دیکسی ریبوز و حذف یک مولکول آب نمایش داده شده است (a) و سپس در شکل (b) محل پیوند فسفوریک اسید به مولکول دیکسی ریبوز که استخوان‌بندی مولکول DNA را بوجود می‌آورد نمایش داده شده است.

در شکل (۱۳-۴۳) بخشی از زنجیره پلی نوکلئوتیدی مولکول DNA نمایش داده شده است که در آن پیوندهای فسفودی استر متصل به کربنهای شماره ۳ و ۵ مرتب تکرار شده و پلیمر شدن نوکلئیک اسید را به وجود می‌آورند و در شکل (۱۳-۴۴) بازهایی که قادر به ایجاد اتصال با یکدیگر به کمک پیوندهای هیدروژن هستند نمایش داده‌ایم.



شکل (۱۳-۴۲) در (a) چگونگی پیوند مولکول آدنین به مولکول دیکسی ریبوز تواًم با حذف یک مولکول آب نمایش داده شده است. در (b) چگونگی اتصال فسفوریک اسید به کربن شماره ۵ و آن نیز تواًم با از دست دادن یک مولکول آب دیده می‌شود که بازهای اسید به کربن شماره ۳ دیکسی ریبوز دیگری متصل شده و بازهم یک مولکول آب حذف می‌شود و بدین ترتیب استخوان‌بندی مولکول DNA تشکیل می‌شود.



واحد تکراری DNA در طول
زنگیر که در آن فقط بازهای
۱ و ۲ و ... تغییر می‌کنند

شکل (۱۳-۴۴) (a) بازهایی که با پیوند هیدروژن به تشکیل نوکلئوتیدها که منجر به ایجاد چند متصطل شوند، مثلاً آدنین (A) به تیمین (T) و سیتوزین (C) به گوانین (G) متصل می‌شوند، و در (b) نزدیک مارپیچ مانند مولکول DNA و چگونگی پیوند و بخصوص پیوند هیدروژن که به صورت نقطه چین نمایش داده شده است.

شکل (۱۳-۴۴) (b) پلیمر شدن نوکلئوتیدها که منجر به تشکیل نوکلئوتید اسیدها می‌شود.

شیمی عمومی

دکتر علی افضل صمدی
نشر نی

بخش چهاردهم

شیمی هسته ای

چاپ دوم به صورت اینترنتی و رایگان

۱۳۸۸ ماه بهمن

شیمی هسته ای

۷۳۱	شیمی هسته ای
۷۳۵	الف) مشخصات هسته اتمها
۷۳۸	ب) پرتو زایی طبیعی
۷۴۰	پ) پرتو زایی
۷۴۴	ت) تحولات به وسیله تقسیم
۷۴۸	ث) سرعت تحولات مواد پرتوزا
۷۵۱	ج) تشخیص پرتوها
۷۵۵	ج) انرژی پیوند
۷۵۸	ح) پرتو زایی مصنوعی
۷۶۳	خ) نیروگاه اتمی
۷۶۷	د) اثر پرتو ها بر روی موجودات زنده
۷۷۲	جدولهای ضمیمه
۷۹۱	منابع

۱۴

شیمی هسته‌ای

۱۴ شیمی هسته‌ای

۱۴ شیمی هسته‌ای

مقدمه: در فصل دوم آرایش الکترونی اتم مطالعه شد. در این فصل منحصراً خواص هسته اتم بررسی می‌شود.

همان طور که قبلاً گفته شده هر اتم متشکل از دو قسمت هسته و لایه خارجی است، لایه خارجی متشکل از الکترونها بوده و خواص شیمیایی اتم منحصراً بستگی به این قشر الکترونی و آرایش الکترونها دارد (تغییرات برگشت پذیر از قبیل تغییر ظرفیت مربوط به این قشر می‌باشد) و اما به عکس خاصیت پرتوزایی و واکنشهای هسته‌ای منحصراً مربوط به هسته اتم می‌شود.

هسته که نوکلئید نامیده می‌شود بسیار فشرده بوده و شعاع آن از رابطه

$$R = 1/32 \times A^{1/4} \times 10^{-13} \text{ cm}$$

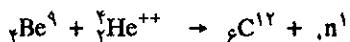
محاسبه می‌شود. R شعاع هسته و A عدد جرم می‌باشد. هسته از اجتماع پروتون و نوترون تشکیل یافته هریک از این ذرات را نوکلئون گویند.

پروتون: که عبارتست از هسته اتم هیدروژن سبک باز مثبت داشته و جرمش برابر با $1/10^{22} \times 1/67229$ گرم و یا برابر با $1/10078252$ A.M.U. می‌باشد.

(واحد جرم اتمی $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲ است) جرم پروتون 1836 مرتبه بیشتر از جرم الکترون است. پروتون ذره پایداری است. تعداد پروتونها در هر عنصر خنثی معادل با تعداد الکترونها آن عنصر می‌باشد از این رو تعداد پروتونها یا Z را عدد اتمی گویند و همانطور که در فصل دوم ملاحظه شد، آرایش الکترونی اتم تابع نیروی جاذبه بین پروتون و الکترون و درنتیجه تابع تعداد پروتونها می‌باشد.

نوترون: ذره‌ایست کروی به شعاع 10^{-12} سانتیمتر و چگالی معادل 10^{14} گرم بر سانتیمتر مکعب داشته و جرم آن مساوی $1/10^{22} \times 1/6747$ گرم و یا $1/1008654$ A.M.U. می‌باشد.

این ذره در سال ۱۹۳۲ توسط چادویک^۱ به وسیله رابطه زیر کشف شد.



بار الکتریکی نوترون آشکارا خنثی است، با وجود این در ساختمان داخلی آن بارهای مثبت و منفی به طوری در کنار هم قرار گرفته‌اند که ذره را نسبت به محیط خارج خنثی می‌نمایند و دلیل وجود این بارهای داخلی همان منیتیک نوترون می‌باشد. چون نوترون بار

1. Chadwick (sir. James) physicien anglais (1891-1974) prix Nobel 1935.

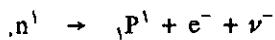
برندۀ جایزۀ نوبل سال ۱۹۳۵



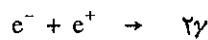
ناراد لذا نمی‌توان آن را در یک شتاب دهنده Accelerator سریع کرد، لذا از پروتون تسريع شده برای تهیه نوترونهای سریع استفاده می‌کنند. بدین معنی که هدفی از ایزوتوپ لیتیم^{7Li} را به وسیله پروتونهایی که چندین میلیون الکترون ولت انرژی دارند بمباران می‌نمایند و طی واکنش زیر نوترون از هسته لیتیم منتشر می‌شود.



نوترون به صورت آزاد پایدار نبوده و نیمه عمری معادل 1.0×10^{-3} ثانیه دارد و از تجزیه آن یک پروتون و یک الکترون حاصل می‌شود.



الکترون: ذرهایست با بار منفی و جرمی معادل با $\frac{1}{1836}$ جرم پروتون و یا برابر با 0.0005 واحد جرم اتمی M.A.U. دارد. بار الکترون برابر با 1.602×10^{-19} کولن و یا 4.8×10^{-10} e.s.u است. الکترون مثبت یا ضد الکترون که پوزیترون خوانده می‌شود بار مثبت دارد. با وجود آنکه الکترون و پوزیترون هر دو پایدارند، با وجود این پوزیترون عمری محدود داشته یعنی بر روی مواد تأثیر می‌کند و با جذب یک الکترون منفی تولید دو پرتو⁷ نموده و از این رو ضد الکترون نام دارد.



اغلب در شیمی و فیزیک هسته‌ای، جرم را به صورت انرژی بیان می‌کنند، یعنی به صورت الکترون ولت (e.v) و یا ضرایب آن که کیلو و مگا و بلیون الکترون ولت است، در محاسبات وارد می‌نمایند.

$$\text{BeV} = 1000 \text{ MeV} = 10^6 \text{ KeV} = 10^9 \text{ ev}$$

الکترون ولت = 10^6 کیلوالکترون ولت = 10^3 میلیون الکترون ولت = ۱ بلیون الکترون ولت

	PROTON	NEUTRON	ELECTRON
علامت اختصاری	p	n	e^-
A.M.U	1,00728	1,00866	$5,486 \cdot 10^{-4}$
kg بر حسب	$1,672 \cdot 10^{-27}$	$1,674 \cdot 10^{-27}$	$9,109 \cdot 10^{-31}$
جرم بر حسب میلیون الکترون ولت	938,2	939,5	0,511
بار بر حسب کولن	$+ 1,6 \cdot 10^{-19}$	0	$- 1,6 \cdot 10^{-19}$

جدول (۱۴-۱) مشخصات فیزیکی پروتون، نوترون و الکترون

یک الکترون ولت عبارتست از انرژی جنبشی که یک الکترون در اثر اختلاف پتانسیل یک ولت کسب کرده (انرژی جنبشی الکترون در مبدأ صفر فرض شده است).

$$\begin{aligned} \text{ژول} &= 1 \times 10^{-19} \times 1/602 = 1 \text{ eV} \\ 1 \text{ Joule} &= 10^7 \text{ erg} \end{aligned}$$

$$1 \text{ eV} = 1/602 \times 10^{-19} \times 10^7 = 1/602 \times 10^{-12}$$

$$\text{یک واحد جرم اتمی (A.M.U)} = 1/66 \times 10^{-24} \text{ gr}$$

تبدیل جرم به انرژی طبق رابطه اینشتاین

$$E = 1/66 \times 10^{-24} (2/998)^2 \times 10^2 = 1/492 \times 10^{-3}$$

$$E = \frac{1/492 \times 10^{-3}}{1/602 \times 10^{-12}} = 0.9314 \times 10^9 \text{ eV}$$

بنابراین یک واحد جرم اتمی (A.M.U.) معادل $931/4 \text{ MeV}$ است.

الف) مشخصات هسته اتمها

همانطور که قبلاً گفته شد هسته اتم از اجتماع پروتونها و نوترونها تشکیل یافته است، تعداد پروتونها را به Z و تعداد نوترونها را به N نمایش می‌دهند. $A = N + Z$ را عدد جرمی نامند. A عددی است کامل که برابر با مجموع تعداد پروتونها و نوترونهاست بوده و نزدیکترین عدد کامل به جرم واقعی عنصر می‌باشد. در رابطه

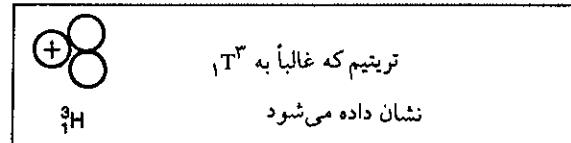
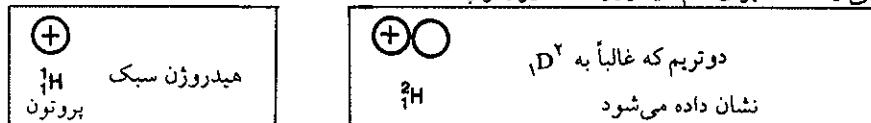
$$I = A - 2Z = N - Z$$

I زیادت نوترون را نسبت به پروتون نشان می‌دهد و عدد ایزوتوپی نام دارد. برای مشخص نمودن یک هسته معمولاً آن را با علامت اختصاری عنصر مربوطه نشان می‌دهند. مشخصات هسته را در طرف چپ و یا راست بدین ترتیب که عدد اتمی در پایین و طرف چپ و عدد جرمی در بالا (طرف راست یا چپ) علامت اختصاری عنصر مربوطه قرار گیرد به عنوان مثال در مورد ایزوتوپهای کلر:

$^{35}_{17}\text{Cl}$ و $^{37}_{17}\text{Cl}$ (در کشورهای فرانسه زبان)

$^{35}_{17}\text{Cl}$ و $^{37}_{17}\text{Cl}$ (در کشورهای انگلیسی زبان)

ایزوتوپ: عبارت است از یک سری اتمهایی که عدد اتمی آنها (Z) مساوی ولی عدد جرمی شان (A) متفاوت است (یعنی اتمهایی که در تعداد نوترون فقط باهم اختلاف دارند). این دسته از اتمها را ایزوتوپ گویند و این اختلاف در اثر کم یا زیاد شدن نوترونها به وجود می‌آید. مثلاً برای اتم هیدروژن سه ایزوتوپ شناخته شده است.



ایزوتوبهای خواص شیمیایی یکسان دارند ولی در خواص هسته‌ای و فیزیکی تفاوت بسیار بین آنها موجود است.

مثلاً (T^3) تریتیم پرتوزا بوده و در طی زمان تجزیه می‌شود نیمه عمری در حدود ۱۲/۵ سال دارد. T^1 را برای تشخیص امراض به صورت ترکیب با کربن در داروها به مریض می‌دهند و به کمک دستگاههای (تشخیص پرتوها) آشکارساز تحول ماده دارویی را در بدن بیمار و یا نبات دنبال می‌کنند. مثال دیگری از ایزوتوبهای، ایزوتوبهای کربن است که عبارت از: C^{14} ، C^{13} ، C^{12} ، C^{11}

می‌باشد. ایزوتوبهای C^{13} ، C^{12} پایدار می‌باشد و ایزوتوب C^{11} پرتوزا می‌باشد. ایزوتوب C^{11} نیمه عمری معادل با ۵۶ سال دارد، خواص شیمیایی آن با کربن معمولی یکسان و در ترکیبات شیمیایی عیناً شبیه به C^{11} عمل می‌کند، لذا از وجود آن برای تحقیق و تشخیص امراض انسانی و یا نباتی و یا در پژوهش‌های علمی استفاده می‌نمایند. ایزوتوب مذکور در باستان شناسی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثلاً اندامهای یک فرد مصری که ۵۰۰۰ سال قبل مرده است با اندامهای شخص امروزی تفاوت بسیار دارد، این تفاوت ظاهرًا قابل روئیت نیست ولی به کمک دستگاههای آشکارساز به سهولت می‌توان این تفاوت را مشخص نمود. بدین معنی که در استخوانها و موها و خلاصه کلیه اندامهای بدن فردی که در ۵۰۰۰ سال پیش می‌زیسته همان اندازه کربن پرتوزا وجود داشته که در اندامهای فردی که امروزه زندگی می‌کند. فردی که در ۵۰۰۰ سال قبل فوت شده در اثر عدم تبادل با محیط خارج مقدار کربن موجود در اندامهایش ثابت می‌ماند، و اما چون کربن C^{12} پرتوزا ناپایدار است و در طول زمان تجزیه می‌شود، (زمان لازم برای تجزیه نیمه‌ای از اتمهای کربن C^{14} معادل ۵۶۰۰ سال است) لذا مقدار C^{12} در اندامهای یک مصری فوت شده در ۵۶۰۰ سال پیش نصف مقدار آن در اندامهای یک فرد امروزی است.

همینطور در نباتی که در ۱۱۲۰۰ سال پیش می‌زیسته (در اثر قطع و عدم تبادل با محیط خارج کربن C^{14} منحصرًا تابع نیمه عمر خود تجزیه می‌شود) مقدار C^{12} آن یک چهارم مقدار C^{14} نباتی زنده و مشابه است. بدین ترتیب در باستان‌شناسی از این خاصیت استفاده می‌کنند و عمر آثار تاریخی را محاسبه می‌نمایند. ایزوتوب $^{92}U^{235}$ (اورانیم) که به نسبت $\frac{1}{40}$ در اورانیم طبیعی وجود دارد ($^{92}U^{235} + 0.7\%$) به علت خاصیت شکستگی که از خود در موقع جذب نوترون نشان می‌دهد بسیار با اهمیت بوده و در بمب و واکنشگاههای اتمی به عنوان سوخت مصرف می‌شود. ایزوتوبهای غیرپرتوزانیز مصارف متعدد دارند. مثلاً D_2O یا آب سنگین که هیدروژن آن دو تریم است با آب معمولی از نظر خواص شیمیایی کاملاً مشابه و اما از نظر خواص فیزیکی اختلاف دارد و در واکنشگاههای اتمی به عنوان ملایم کننده نوترون به کار می‌رود.

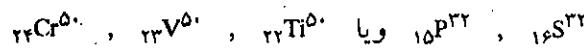
از ایزوتوبهای پایدار و یا ایزوتوبهای پرتوزا در شناخت مکانیسم واکنشها استفاده می‌شوند. مثلاً از مخلوط هیدروژن با دو تریم به غلظت بیشتر از فراوانی نسبی طبیعی آن در سنتز مواد آلی استفاده کرده و سپس محل دو تریم را در مولکول به کمک طیف‌نگار جرم تعیین می‌کنند و یا به همین ترتیب از ایزوتوبهای پایدار اکسیژن استفاده می‌شود. در جدول (۱۴-۲) ایزوتوبهای طبیعی عناصر سبک و فراوانی نسبی آنها داده شده است کاربرد ایزوتوبهای پرتوزا را در بحثی جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

ایزوبار: هسته‌هایی را گویند که عدد جرمی آنها مساوی ولی از نظر تعداد پروتون

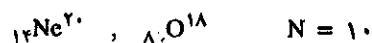
عدد اتمی Z	عنصر	عدد جرم A	فراوانی نسبی en %
1	H	1	99,985
	D	2	0,015
	T	3	10^{-17}
2	He	3	0,000 13
		4	99,999 57
3	Li	6	7,42
		7	92,58
4	Be	9	100
5	B	10	19,6
		11	80,4
6	C	12	98,89
		13	1,11
		14	
		15	
7	N	14	99,63
		15	0,37
8	O	16	99,759
		17	0,037
		18	0,204
		19	100
9	F	20	90,92
		21	0,257
		22	8,82
		31	100
10	Ne	32	95,0
		33	0,76
		34	4,22
		36	0,014
15	P	35	75,53
		37	24,47

جدول (۲-۱۴) ایزوتوبهای عناصر سبک و فراوانی نسبی آنها در طبیعت

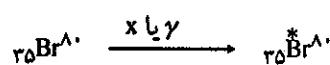
اختلاف دارند. مثلاً:



ایزوتون: هسته‌هایی هستند که مقدار نوترن آنها باهم مساوی است.



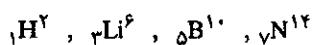
ایزومر: به هسته‌هایی گویند که در آنها Z و N برابر ولی از نظر انرژی درونی اختلاف بین آنها وجود دارد. معمولاً هسته‌ای که انرژی بیشتر دارد ناپایدارتر بوده و بعد از مدتی انرژی اضافی خود را به صورت پرتو X یا لاز دست می‌دهد و به حالت پایدار و یا حالتی دیگر از ناپایداری بر می‌گردد.



هسته‌ها یا نوکلئیدهای پایدار را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد:

۱. هسته‌هایی که در آنها Z و N عدد جفت باشد مانند: C^{12} .
۲. هسته‌هایی که در آنها Z و N عدد فرد باشد مثل: N^{14} .
۳. هسته‌هایی که در آنها Z جفت ولی N فرد می‌باشد نظیر: O^{16} .
۴. و بالاخره هسته‌هایی که Z فرد ولی N جفت است همانند: F^{17} .

مشاهده می‌شود که نصف بیشتر هسته‌های پایدار جفت، جفت یعنی تعداد پروتون و نوترون در آنها عدد جفت (۲۰۱ هسته) و بالاخره بیش از ۴ هسته که نوترونها و پروتونهای آنها عدد فرد باشد نمی‌شناستند که پایدار باشند.



از جدول نتیجه می‌گیریم، هسته‌هایی که در آنها تعداد پروتونها و نوترونها جفت و جفت و یا حتی یک عدد جفت مثلاً تعداد پروتون و یا تعداد نوترون جفت باشد پایدارند ولی هسته‌هایی که تعداد Z و N در آنها فرد و فرد باشد خیلی نادر و یا اگر هم وجود دارند ناپایدار می‌باشند. در محاسبه نظری جرم هسته‌ها و یا محاسبه نظری انرژی پیوند نوکلئونها، فرد یا زوج بودن تعداد پروتونها و نوترونها در نظر گرفته می‌شود. مثلاً انرژی پیوند ایزوباری که تعداد پروتون و نوترون آن عدد زوج است، به طور قابل ملاحظه بیشتر از انرژی پیوند ایزوباری است که تعداد پروتون و نوترون آن عدد فرد می‌باشد.

$Z \backslash N$	جفت	فرد
جفت	۲۰۱	۶۹
فرد	۶۱	۴

ب) پرتوزایی طبیعی Radioactivity

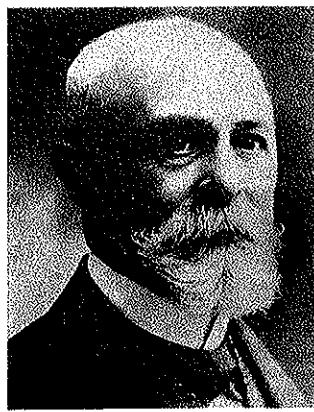
برخی از ایزوتوپهای عناصر و یا خود عناصر دائماً پرتوهایی از خود نشر می‌دهند. این چنین ایزوتوپهایی را ایزوتوپ پرتوزا و عمل مذکور را پرتوزایی گویند. در ابتدای کشف خاصیت پرتوزایی، به نظر می‌رسید که فقط بعضی عناصر سنگین دارای این خاصیت هستند، ولی در سال ۱۹۳۴ معلوم شد که عناصر سبک نیز می‌توانند ایزوتوپ پرتوزا داشته باشند و با توسعه و تکمیل ماشینهای سیکلotron و واکنشگاههای اتمی، ساختن و تهیه ایزوتوپ رادیواکتیو برای تمام عناصر میسر و معمول گردید. تاکنون بیش از ۲۰۰۰ هسته (یا نوکلئید) شناخته شده‌اند که در حدود ۱۶۰۰ تای آنها ایزوتوپ پرتوزا Radioisotope یا عنصر پرتوزا Radioelement هستند.

هسته ایزوتوپهای پرتوزا ناپایدار بوده و در داخل آنها تحولاتی صورت می‌گیرد. بدطور کلی یک هسته ناپایدار همیشه تمايل دارد با از دست دادن پرتوهایی خود را به حالت یک هسته پایدار درآورد، یعنی خود را از انرژی زيادي که سبب تحریک آن می‌باشد رها سازد. خاصیت پرتوزایی به شرایط خارجی از قبیل درجه حرارت، فشار جو، مقدار رطوبت، یا وضع شیمیایی بستگی نداشته و فقط تابع خواص درونی هسته می‌باشد، بنابراین ایزوتوپهای پرتوزایی یک عنصر در ترکیبات شیمیایی مانند خود عنصر عمل می‌کنند و به همین دلیل از خواص آنها به آسانی می‌توان در آزمایشها تجربی شیمی و بیولوژی استفاده کرد و مخصوصاً به طریق ردیابی tracer بسیاری از کارهای تجزیه و ترکیب و کیفیتهای تغذیه و جذب و یا فوتوسنتز را مطالعه نمود.

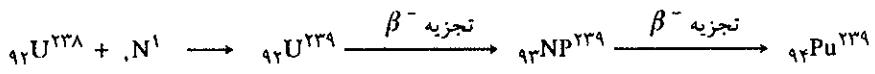
عناصری که عدد اتمی آنها برابر یا بیشتر از ۸۴ است همه پرتوزا بوده و رادیو عنصر نامیده می‌شوند.

مثالاً ^{87}PO و ^{85}At و ^{86}Rn و ^{87}Fr) عناصر پرتوزا می‌باشند. اکتنيدها به عدد اتمی ۹۰ تا آخرین عنصر این دسته یعنی عنصر ۱۰۳ Lawrencium (عنصر ۱۰۴ که در سال ۱۹۶۴ کشف شده، جزو دسته اکتنيدها نیست) همگی پرتوزا هستند و عناصر پرتوزا نامیده می‌شوند.

بعضی از این عناصر پرتوزا در طبیعت وجود ندارند و آنها را مصنوعاً تهیه می‌کنند. عنصر اورانیم در طبیعت وجود دارد ولی از اورانیم به بعد بقیه عناصر به علت نیمه عمر کوتاهتر از عمر زمین در طی دوران زمین از بین رفته‌اند. امروزه به کمک واکنشگاه هسته‌ای و یا شتابدهندهای این عناصر را سنتز می‌نمایند. عنصر پلوتونیم که به عنوان سوخت در واکنشگاه‌های اتمی و یا بمب اتمی مصرف دارد به مقدار چندین تن در سال توسط کشور امریکا و یا کشورهای اروپایی تهیه می‌شود. واکنش تهیه این عنصر به صورت زیر خلاصه می‌شود.



ماری بکرل (۱۸۵۲-۱۹۰۸)
پرتوزاپی طبیعی در سال ۱۸۹۶ به طور تصادفی به وسیله هنری بکرل کشف شد. این فیزیکدان فرانسوی که پرتوهای X را مطالعه می‌کرد، تصادفاً متوجه شد که برخی از فیلمهای عکاسی که در نزدیکی سنگ معدن اورانیم قرار دارند نور دیده‌اند. تحقیق درباره این پدیده را به دانشجوی لهستانی خانم کوری سهرد که ایشان با کشف عناصر رادیوم دلیل انتشار پرتوها را از سنگ معدن دریافت و از آنجا نام این پدیده را پرتوزاپی نهادند. بکرل در سال ۱۹۰۳ برنده جایزه نوبل شد.



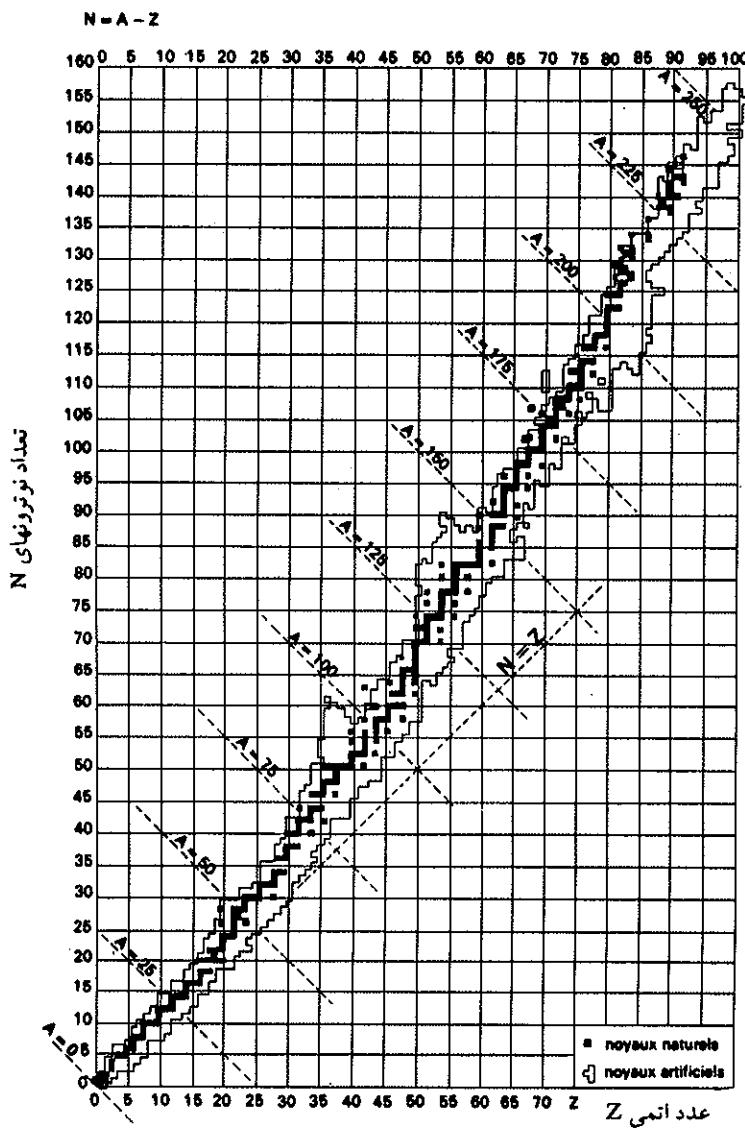
$^{92}\text{U}^{238}$ ایزوتوپ پرتوزا عنصر اورانیم می‌باشد که نیمه عمری در حدود ۲۳ دقیقه دارد و با تجزیه β^- (تجزیه β^- در سطح آینده تفسیر خواهد شد) تبدیل به ایزوتوپ پرتوزاپی نپتونیم $^{93}\text{NP}^{239}$ می‌شود که این نیز پرتوزا می‌باشد و با نیمه عمری معادل $2/3$ روز و تجزیه β^- تبدیل به ایزوتوپ پرتوزاپی پلوتونیم $^{94}\text{Pu}^{239}$ Plutonium می‌شود که نیمه عمری معادل با 24360 سال دارد. این ایزوتوپ پرتوزا نظیر ایزوتوپ $^{92}\text{U}^{235}$ (اورانیم) با جذب یک نوترن شکست حاصل می‌نماید و در هر شکست 200 میلیون الکترون ولت انرژی از هر اتم Pu آزاد می‌شود.

Stability and instability of the nucleus

پایداری و ناپایداری هسته‌ها
فراآنی نسبی ایزوتوپهای پایدار عناصر:

به کمک طیف سنجی جرمی و روش‌های جدید جدا کردن ایزوتوپها، امروزه توanstه‌اند نسبت درصد ایزوتوپی کلیه عناصر پایدار را به دست آورند. برای 83 عنصر پایدار موجود در طبیعت، 284 ایزوتوپ پایدار شناخته‌اند (بعضی از عناصر تک ایزوتوپی هستند تعداد این عناصر 20 می‌باشد به عنوان مثال: $^9\text{Be}^9$, $^{11}\text{Na}^{22}$, $^{13}\text{Al}^{27}$, $^{15}\text{P}^{31}$, $^{19}\text{Au}^{197}$, $^{87}\text{Bi}^{209}$, $^{79}\text{Au}^{197}$, $^{14}\text{N}^{14}$, $^{14}\text{C}^{14}$, $^{16}\text{O}^{16}$, $^{18}\text{O}^{18}$, $^{20}\text{Ne}^{20}$, $^{22}\text{Ne}^{22}$, $^{24}\text{Mg}^{24}$, $^{26}\text{Mg}^{26}$, $^{28}\text{Si}^{28}$, $^{30}\text{Si}^{30}$, $^{32}\text{S}^{32}$, $^{34}\text{S}^{34}$, $^{36}\text{S}^{36}$, $^{38}\text{Ar}^{38}$, $^{40}\text{Ar}^{40}$, $^{42}\text{Ar}^{42}$, $^{44}\text{Ca}^{44}$, $^{46}\text{Ca}^{46}$, $^{48}\text{Ca}^{48}$, $^{50}\text{Ti}^{50}$, $^{52}\text{Cr}^{52}$, $^{54}\text{Fe}^{54}$, $^{56}\text{Fe}^{56}$, $^{58}\text{Ni}^{58}$, $^{60}\text{Ni}^{60}$, $^{62}\text{Ni}^{62}$, $^{64}\text{Ni}^{64}$, $^{66}\text{Ni}^{66}$, $^{68}\text{Ni}^{68}$, $^{70}\text{Ni}^{70}$, $^{72}\text{Ni}^{72}$, $^{74}\text{Ni}^{74}$, $^{76}\text{Ni}^{76}$, $^{78}\text{Ni}^{78}$, $^{80}\text{Ni}^{80}$, $^{82}\text{Ni}^{82}$, $^{84}\text{Ni}^{84}$, $^{86}\text{Ni}^{86}$, $^{88}\text{Ni}^{88}$, $^{90}\text{Ni}^{90}$, $^{92}\text{Ni}^{92}$, $^{94}\text{Ni}^{94}$, $^{96}\text{Ni}^{96}$, $^{98}\text{Ni}^{98}$, $^{100}\text{Ni}^{100}$, $^{102}\text{Ni}^{102}$, $^{104}\text{Ni}^{104}$, $^{106}\text{Ni}^{106}$, $^{108}\text{Ni}^{108}$, $^{110}\text{Ni}^{110}$, $^{112}\text{Ni}^{112}$, $^{114}\text{Ni}^{114}$, $^{116}\text{Ni}^{116}$, $^{118}\text{Ni}^{118}$, $^{120}\text{Ni}^{120}$, $^{122}\text{Ni}^{122}$, $^{124}\text{Ni}^{124}$, $^{126}\text{Ni}^{126}$, $^{128}\text{Ni}^{128}$, $^{130}\text{Ni}^{130}$, $^{132}\text{Ni}^{132}$, $^{134}\text{Ni}^{134}$, $^{136}\text{Ni}^{136}$, $^{138}\text{Ni}^{138}$, $^{140}\text{Ni}^{140}$, $^{142}\text{Ni}^{142}$, $^{144}\text{Ni}^{144}$, $^{146}\text{Ni}^{146}$, $^{148}\text{Ni}^{148}$, $^{150}\text{Ni}^{150}$, $^{152}\text{Ni}^{152}$, $^{154}\text{Ni}^{154}$, $^{156}\text{Ni}^{156}$, $^{158}\text{Ni}^{158}$, $^{160}\text{Ni}^{160}$, $^{162}\text{Ni}^{162}$, $^{164}\text{Ni}^{164}$, $^{166}\text{Ni}^{166}$, $^{168}\text{Ni}^{168}$, $^{170}\text{Ni}^{170}$, $^{172}\text{Ni}^{172}$, $^{174}\text{Ni}^{174}$, $^{176}\text{Ni}^{176}$, $^{178}\text{Ni}^{178}$, $^{180}\text{Ni}^{180}$, $^{182}\text{Ni}^{182}$, $^{184}\text{Ni}^{184}$, $^{186}\text{Ni}^{186}$, $^{188}\text{Ni}^{188}$, $^{190}\text{Ni}^{190}$, $^{192}\text{Ni}^{192}$, $^{194}\text{Ni}^{194}$, $^{196}\text{Ni}^{196}$, $^{198}\text{Ni}^{198}$, $^{200}\text{Ni}^{200}$, $^{202}\text{Ni}^{202}$, $^{204}\text{Ni}^{204}$, $^{206}\text{Ni}^{206}$, $^{208}\text{Ni}^{208}$, $^{210}\text{Ni}^{210}$, $^{212}\text{Ni}^{212}$, $^{214}\text{Ni}^{214}$, $^{216}\text{Ni}^{216}$, $^{218}\text{Ni}^{218}$, $^{220}\text{Ni}^{220}$, $^{222}\text{Ni}^{222}$, $^{224}\text{Ni}^{224}$, $^{226}\text{Ni}^{226}$, $^{228}\text{Ni}^{228}$, $^{230}\text{Ni}^{230}$, $^{232}\text{Ni}^{232}$, $^{234}\text{Ni}^{234}$, $^{236}\text{Ni}^{236}$, $^{238}\text{Ni}^{238}$, $^{240}\text{Ni}^{240}$, $^{242}\text{Ni}^{242}$, $^{244}\text{Ni}^{244}$, $^{246}\text{Ni}^{246}$, $^{248}\text{Ni}^{248}$, $^{250}\text{Ni}^{250}$, $^{252}\text{Ni}^{252}$, $^{254}\text{Ni}^{254}$, $^{256}\text{Ni}^{256}$, $^{258}\text{Ni}^{258}$, $^{260}\text{Ni}^{260}$, $^{262}\text{Ni}^{262}$, $^{264}\text{Ni}^{264}$, $^{266}\text{Ni}^{266}$, $^{268}\text{Ni}^{268}$, $^{270}\text{Ni}^{270}$, $^{272}\text{Ni}^{272}$, $^{274}\text{Ni}^{274}$, $^{276}\text{Ni}^{276}$, $^{278}\text{Ni}^{278}$, $^{280}\text{Ni}^{280}$, $^{282}\text{Ni}^{282}$, $^{284}\text{Ni}^{284}$, $^{286}\text{Ni}^{286}$, $^{288}\text{Ni}^{288}$, $^{290}\text{Ni}^{290}$, $^{292}\text{Ni}^{292}$, $^{294}\text{Ni}^{294}$, $^{296}\text{Ni}^{296}$, $^{298}\text{Ni}^{298}$, $^{300}\text{Ni}^{300}$, $^{302}\text{Ni}^{302}$, $^{304}\text{Ni}^{304}$, $^{306}\text{Ni}^{306}$, $^{308}\text{Ni}^{308}$, $^{310}\text{Ni}^{310}$, $^{312}\text{Ni}^{312}$, $^{314}\text{Ni}^{314}$, $^{316}\text{Ni}^{316}$, $^{318}\text{Ni}^{318}$, $^{320}\text{Ni}^{320}$, $^{322}\text{Ni}^{322}$, $^{324}\text{Ni}^{324}$, $^{326}\text{Ni}^{326}$, $^{328}\text{Ni}^{328}$, $^{330}\text{Ni}^{330}$, $^{332}\text{Ni}^{332}$, $^{334}\text{Ni}^{334}$, $^{336}\text{Ni}^{336}$, $^{338}\text{Ni}^{338}$, $^{340}\text{Ni}^{340}$, $^{342}\text{Ni}^{342}$, $^{344}\text{Ni}^{344}$, $^{346}\text{Ni}^{346}$, $^{348}\text{Ni}^{348}$, $^{350}\text{Ni}^{350}$, $^{352}\text{Ni}^{352}$, $^{354}\text{Ni}^{354}$, $^{356}\text{Ni}^{356}$, $^{358}\text{Ni}^{358}$, $^{360}\text{Ni}^{360}$, $^{362}\text{Ni}^{362}$, $^{364}\text{Ni}^{364}$, $^{366}\text{Ni}^{366}$, $^{368}\text{Ni}^{368}$, $^{370}\text{Ni}^{370}$, $^{372}\text{Ni}^{372}$, $^{374}\text{Ni}^{374}$, $^{376}\text{Ni}^{376}$, $^{378}\text{Ni}^{378}$, $^{380}\text{Ni}^{380}$, $^{382}\text{Ni}^{382}$, $^{384}\text{Ni}^{384}$, $^{386}\text{Ni}^{386}$, $^{388}\text{Ni}^{388}$, $^{390}\text{Ni}^{390}$, $^{392}\text{Ni}^{392}$, $^{394}\text{Ni}^{394}$, $^{396}\text{Ni}^{396}$, $^{398}\text{Ni}^{398}$, $^{400}\text{Ni}^{400}$, $^{402}\text{Ni}^{402}$, $^{404}\text{Ni}^{404}$, $^{406}\text{Ni}^{406}$, $^{408}\text{Ni}^{408}$, $^{410}\text{Ni}^{410}$, $^{412}\text{Ni}^{412}$, $^{414}\text{Ni}^{414}$, $^{416}\text{Ni}^{416}$, $^{418}\text{Ni}^{418}$, $^{420}\text{Ni}^{420}$, $^{422}\text{Ni}^{422}$, $^{424}\text{Ni}^{424}$, $^{426}\text{Ni}^{426}$, $^{428}\text{Ni}^{428}$, $^{430}\text{Ni}^{430}$, $^{432}\text{Ni}^{432}$, $^{434}\text{Ni}^{434}$, $^{436}\text{Ni}^{436}$, $^{438}\text{Ni}^{438}$, $^{440}\text{Ni}^{440}$, $^{442}\text{Ni}^{442}$, $^{444}\text{Ni}^{444}$, $^{446}\text{Ni}^{446}$, $^{448}\text{Ni}^{448}$, $^{450}\text{Ni}^{450}$, $^{452}\text{Ni}^{452}$, $^{454}\text{Ni}^{454}$, $^{456}\text{Ni}^{456}$, $^{458}\text{Ni}^{458}$, $^{460}\text{Ni}^{460}$, $^{462}\text{Ni}^{462}$, $^{464}\text{Ni}^{464}$, $^{466}\text{Ni}^{466}$, $^{468}\text{Ni}^{468}$, $^{470}\text{Ni}^{470}$, $^{472}\text{Ni}^{472}$, $^{474}\text{Ni}^{474}$, $^{476}\text{Ni}^{476}$, $^{478}\text{Ni}^{478}$, $^{480}\text{Ni}^{480}$, $^{482}\text{Ni}^{482}$, $^{484}\text{Ni}^{484}$, $^{486}\text{Ni}^{486}$, $^{488}\text{Ni}^{488}$, $^{490}\text{Ni}^{490}$, $^{492}\text{Ni}^{492}$, $^{494}\text{Ni}^{494}$, $^{496}\text{Ni}^{496}$, $^{498}\text{Ni}^{498}$, $^{500}\text{Ni}^{500}$, $^{502}\text{Ni}^{502}$, $^{504}\text{Ni}^{504}$, $^{506}\text{Ni}^{506}$, $^{508}\text{Ni}^{508}$, $^{510}\text{Ni}^{510}$, $^{512}\text{Ni}^{512}$, $^{514}\text{Ni}^{514}$, $^{516}\text{Ni}^{516}$, $^{518}\text{Ni}^{518}$, $^{520}\text{Ni}^{520}$, $^{522}\text{Ni}^{522}$, $^{524}\text{Ni}^{524}$, $^{526}\text{Ni}^{526}$, $^{528}\text{Ni}^{528}$, $^{530}\text{Ni}^{530}$, $^{532}\text{Ni}^{532}$, $^{534}\text{Ni}^{534}$, $^{536}\text{Ni}^{536}$, $^{538}\text{Ni}^{538}$, $^{540}\text{Ni}^{540}$, $^{542}\text{Ni}^{542}$, $^{544}\text{Ni}^{544}$, $^{546}\text{Ni}^{546}$, $^{548}\text{Ni}^{548}$, $^{550}\text{Ni}^{550}$, $^{552}\text{Ni}^{552}$, $^{554}\text{Ni}^{554}$, $^{556}\text{Ni}^{556}$, $^{558}\text{Ni}^{558}$, $^{560}\text{Ni}^{560}$, $^{562}\text{Ni}^{562}$, $^{564}\text{Ni}^{564}$, $^{566}\text{Ni}^{566}$, $^{568}\text{Ni}^{568}$, $^{570}\text{Ni}^{570}$, $^{572}\text{Ni}^{572}$, $^{574}\text{Ni}^{574}$, $^{576}\text{Ni}^{576}$, $^{578}\text{Ni}^{578}$, $^{580}\text{Ni}^{580}$, $^{582}\text{Ni}^{582}$, $^{584}\text{Ni}^{584}$, $^{586}\text{Ni}^{586}$, $^{588}\text{Ni}^{588}$, $^{590}\text{Ni}^{590}$, $^{592}\text{Ni}^{592}$, $^{594}\text{Ni}^{594}$, $^{596}\text{Ni}^{596}$, $^{598}\text{Ni}^{598}$, $^{600}\text{Ni}^{600}$, $^{602}\text{Ni}^{602}$, $^{604}\text{Ni}^{604}$, $^{606}\text{Ni}^{606}$, $^{608}\text{Ni}^{608}$, $^{610}\text{Ni}^{610}$, $^{612}\text{Ni}^{612}$, $^{614}\text{Ni}^{614}$, $^{616}\text{Ni}^{616}$, $^{618}\text{Ni}^{618}$, $^{620}\text{Ni}^{620}$, $^{622}\text{Ni}^{622}$, $^{624}\text{Ni}^{624}$, $^{626}\text{Ni}^{626}$, $^{628}\text{Ni}^{628}$, $^{630}\text{Ni}^{630}$, $^{632}\text{Ni}^{632}$, $^{634}\text{Ni}^{634}$, $^{636}\text{Ni}^{636}$, $^{638}\text{Ni}^{638}$, $^{640}\text{Ni}^{640}$, $^{642}\text{Ni}^{642}$, $^{644}\text{Ni}^{644}$, $^{646}\text{Ni}^{646}$, $^{648}\text{Ni}^{648}$, $^{650}\text{Ni}^{650}$, $^{652}\text{Ni}^{652}$, $^{654}\text{Ni}^{654}$, $^{656}\text{Ni}^{656}$, $^{658}\text{Ni}^{658}$, $^{660}\text{Ni}^{660}$, $^{662}\text{Ni}^{662}$, $^{664}\text{Ni}^{664}$, $^{666}\text{Ni}^{666}$, $^{668}\text{Ni}^{668}$, $^{670}\text{Ni}^{670}$, $^{672}\text{Ni}^{672}$, $^{674}\text{Ni}^{674}$, $^{676}\text{Ni}^{676}$, $^{678}\text{Ni}^{678}$, $^{680}\text{Ni}^{680}$, $^{682}\text{Ni}^{682}$, $^{684}\text{Ni}^{684}$, $^{686}\text{Ni}^{686}$, $^{688}\text{Ni}^{688}$, $^{690}\text{Ni}^{690}$, $^{692}\text{Ni}^{692}$, $^{694}\text{Ni}^{694}$, $^{696}\text{Ni}^{696}$, $^{698}\text{Ni}^{698}$, $^{700}\text{Ni}^{700}$, $^{702}\text{Ni}^{702}$, $^{704}\text{Ni}^{704}$, $^{706}\text{Ni}^{706}$, $^{708}\text{Ni}^{708}$, $^{710}\text{Ni}^{710}$, $^{712}\text{Ni}^{712}$, $^{714}\text{Ni}^{714}$, $^{716}\text{Ni}^{716}$, $^{718}\text{Ni}^{718}$, $^{720}\text{Ni}^{720}$, $^{722}\text{Ni}^{722}$, $^{724}\text{Ni}^{724}$, $^{726}\text{Ni}^{726}$, $^{728}\text{Ni}^{728}$, $^{730}\text{Ni}^{730}$, $^{732}\text{Ni}^{732}$, $^{734}\text{Ni}^{734}$, $^{736}\text{Ni}^{736}$, $^{738}\text{Ni}^{738}$, $^{740}\text{Ni}^{740}$, $^{742}\text{Ni}^{742}$, $^{744}\text{Ni}^{744}$, $^{746}\text{Ni}^{746}$, $^{748}\text{Ni}^{748}$, $^{750}\text{Ni}^{750}$, $^{752}\text{Ni}^{752}$, $^{754}\text{Ni}^{754}$, $^{756}\text{Ni}^{756}$, $^{758}\text{Ni}^{758}$, $^{760}\text{Ni}^{760}$, $^{762}\text{Ni}^{762}$, $^{764}\text{Ni}^{764}$, $^{766}\text{Ni}^{766}$, $^{768}\text{Ni}^{768}$, $^{770}\text{Ni}^{770}$, $^{772}\text{Ni}^{772}$, $^{774}\text{Ni}^{774}$, $^{776}\text{Ni}^{776}$, $^{778}\text{Ni}^{778}$, $^{780}\text{Ni}^{780}$, $^{782}\text{Ni}^{782}$, $^{784}\text{Ni}^{784}$, $^{786}\text{Ni}^{786}$, $^{788}\text{Ni}^{788}$, $^{790}\text{Ni}^{790}$, $^{792}\text{Ni}^{792}$, $^{794}\text{Ni}^{794}$, $^{796}\text{Ni}^{796}$, $^{798}\text{Ni}^{798}$, $^{800}\text{Ni}^{800}$, $^{802}\text{Ni}^{802}$, $^{804}\text{Ni}^{804}$, $^{806}\text{Ni}^{806}$, $^{808}\text{Ni}^{808}$, $^{810}\text{Ni}^{810}$, $^{812}\text{Ni}^{812}$, $^{814}\text{Ni}^{814}$, $^{816}\text{Ni}^{816}$, $^{818}\text{Ni}^{818}$, $^{820}\text{Ni}^{820}$, $^{822}\text{Ni}^{822}$, $^{824}\text{Ni}^{824}$, $^{826}\text{Ni}^{826}$, $^{828}\text{Ni}^{828}$, $^{830}\text{Ni}^{830}$, $^{832}\text{Ni}^{832}$, $^{834}\text{Ni}^{834}$, $^{836}\text{Ni}^{836}$, $^{838}\text{Ni}^{838}$, $^{840}\text{Ni}^{840}$, $^{842}\text{Ni}^{842}$, $^{844}\text{Ni}^{844}$, $^{846}\text{Ni}^{846}$, $^{848}\text{Ni}^{848}$, $^{850}\text{Ni}^{850}$, $^{852}\text{Ni}^{852}$, $^{854}\text{Ni}^{854}$, $^{856}\text{Ni}^{856}$, $^{858}\text{Ni}^{858}$, $^{860}\text{Ni}^{860}$, $^{862}\text{Ni}^{862}$, $^{864}\text{Ni}^{864}$, $^{866}\text{Ni}^{866}$, $^{868}\text{Ni}^{868}$, $^{870}\text{Ni}^{870}$, $^{872}\text{Ni}^{872}$, $^{874}\text{Ni}^{874}$, $^{876}\text{Ni}^{876}$, $^{878}\text{Ni}^{878}$, $^{880}\text{Ni}^{880}$, $^{882}\text{Ni}^{882}$, $^{884}\text{Ni}^{884}$, $^{886}\text{Ni}^{886}$, $^{888}\text{Ni}^{888}$, $^{890}\text{Ni}^{890}$, $^{892}\text{Ni}^{892}$, $^{894}\text{Ni}^{894}$, $^{896}\text{Ni}^{896}$, $^{898}\text{Ni}^{898}$, $^{900}\text{Ni}^{900}$, $^{902}\text{Ni}^{902}$, $^{904}\text{Ni}^{904}$, $^{906}\text{Ni}^{906}$, $^{908}\text{Ni}^{908}$, $^{910}\text{Ni}^{910}$, $^{912}\text{Ni}^{912}$, $^{914}\text{Ni}^{914}$, $^{916}\text{Ni}^{916}$, $^{918}\text{Ni}^{918}$, $^{920}\text{Ni}^{920}$, $^{922}\text{Ni}^{922}$, $^{924}\text{Ni}^{924}$, $^{926}\text{Ni}^{926}$, $^{928}\text{Ni}^{928}$, $^{930}\text{Ni}^{930}$, $^{932}\text{Ni}^{932}$, $^{934}\text{Ni}^{934}$, $^{936}\text{Ni}^{936}$, $^{938}\text{Ni}^{938}$, $^{940}\text{Ni}^{940}$, $^{942}\text{Ni}^{942}$, $^{944}\text{Ni}^{944}$, $^{946}\text{Ni}^{946}$, $^{948}\text{Ni}^{948}$, $^{950}\text{Ni}^{950}$, $^{952}\text{Ni}^{952}$, $^{954}\text{Ni}^{954}$, $^{956}\text{Ni}^{956}$, $^{958}\text{Ni}^{958}$, $^{960}\text{Ni}^{960}$, $^{962}\text{Ni}^{962}$, $^{964}\text{Ni}^{964}$, $^{966}\text{Ni}^{966}$, $^{968}\text{Ni}^{968}$, $^{970}\text{Ni}^{970}$, $^{972}\text{Ni}^{972}$, $^{974}\text{Ni}^{974}$, $^{976}\text{Ni}^{976}$, $^{978}\text{Ni}^{978}$, $^{980}\text{Ni}^{980}$, $^{982}\text{Ni}^{982}$, $^{984}\text{Ni}^{984}$, $^{986}\text{Ni}^{986}$, $^{988}\text{Ni}^{988}$, $^{990}\text{Ni}^{990}$, $^{992}\text{Ni}^{992$

ایزوتوپ پایدار است، که عدد جرمی آنها ۱۱۲ تا ۱۲۴ می‌باشد. نسبت $\frac{A-Z}{Z}$ برای $^{82}\text{Pb}^{208}$ از همه عناصر پایدار بیشتر می‌باشد، عبارت از: $1/53 \approx 20.8\%$ است.

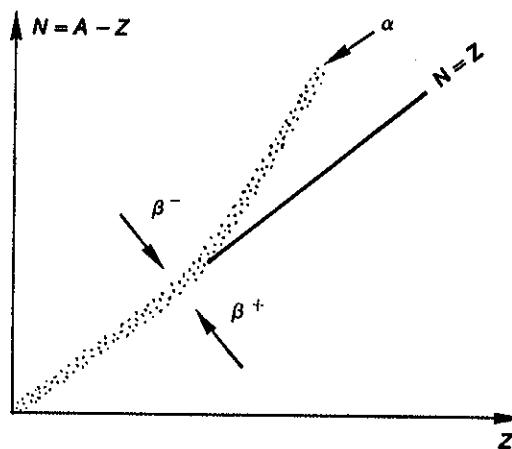


پیر و ماری کوری عناصر رادیوم و پلوتونیم را در سنگ معدن اورانیم کشف کردند. در سال ۱۹۰۳ همراه با بکرل به دریافت جایزه نوبل در فیزیک نایل آمدند. خانم کوری بعد از فوت همسرش کار تحقیق را ادامه داد و توانست رادیم خالص را از سنگ معدن استخراج کند و جرم ائمی آنرا مشخص نمود. در سال ۱۹۱۱ برندهٔ جایزه نوبل در شیمی شد.

شکل (۱۴-۱) نسبت نوترون به پروتون برای عناصر پایدار و ناپایدار و مصنوعی. ناحیه پایداری در بالای نیمساز قرار دارد.

پ) پرتوزایی Radioactivity

با توجه به اشکال (۱۴-۱) و (۱۴-۲) مشاهده می‌شود، ایزوتوپهایی که نوترون آنها بیشتر است در بالای ناحیه پایداری و ایزوتوپهایی که پروتون بیشتر دارند در زیر ناحیه پایداری قرار گرفته‌اند و به همین دلیل ناپایدار بوده و تجزیه می‌شوند. عناصر سنگین که عدد اتمی آنها از ۸۲ بیشتر است نیز ناپایدار می‌باشند ولی نوع دفع ناپایداری و تحول آنها متفاوت از دو نوع ذکر شده در فوق است.



شکل (۱۴-۲) نمودار روش تجزیه ایزوتوپهای پرتوزا است. ایزوتوپهایی که در بالای ناحیه پایداری واقع هستند با نشر پرتو β^- تجزیه می‌شوند و ایزوتوپهایی که در زیر این ناحیه قرار دارند با نشر پرتو β^+ تجزیه می‌شوند ایزوتوپهای بسیار سنگین با نشر پرتو « α » تجزیه می‌شوند.

به طور کلی تجزیه مواد پرتوزا را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

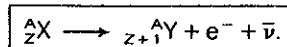
۱) تبدیلات ایزوباریک که در طی آن عدد جرمی ثابت می‌ماند و فقط عدد اتمی است که تغییر می‌کند و بدین علت این تحولات را ایزوباریک گویند چون بعد از تحول ایزوباری از ایزوتوپ پرتوزا اولیه حاصل می‌گردد. این نوع تحولات خود به سه دسته تقسیم می‌شوند: رادیو اکتیویته β^- و β^+ و جذب الکترونی.

تحولات ایزوباریک غالباً توانم با تحولات دیگری به نام ایزومریک می‌باشند. در تحول اخیر مشخصات اصلی ایزوتوپ پرتوزا (عدد جرمی، عدد اتمی و تعداد نوترونها) تغییر نکرده فقط انرژی ترازهای درونی هسته است که کاهش می‌یابد.

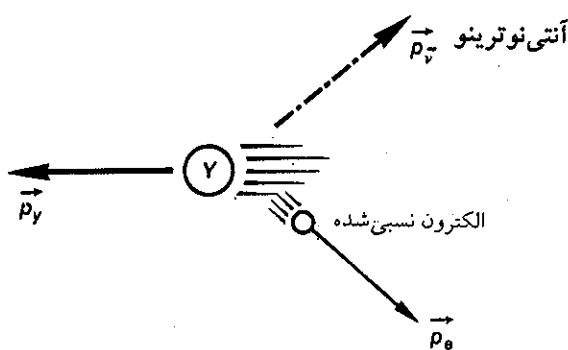
۲) تحولات به وسیله تقسیم در طی این تحول هسته به دو قسمت تقسیم می‌شود: یا با انتشار پرتو α (هسته اتم هلیم) و یا با شکست خود بخود.

تبدیلات ایزوباریک

(a) پرتوزا β^- : این نوع تجزیه در سال ۱۸۹۶ به وسیله هنری بکرل در موقع مطالعه سنگ معدن اورانیم کشف شده و سپس رادرفورد (Rutherford) ذرات منفی را که از اتم نشر دهنده خارج می‌شود تشخیص داد و متوجه شد که این ذرات الکترون می‌باشند. ایزوتوپ پرتوزا نشر دهنده پس از این تحول مبدل به ایزوتوپ پایدار و یا ایزوتوپ پرتوزا جدید با عدد اتمی $Z+1$ می‌شود. این تحول را می‌توان به صورت عمومی زیر مشخص نمود. ایزوتوپ پرتوزا X با عدد جرمی A و عدد اتمی Z مبدل به ایزوتوپ Y با عدد جرمی ثابت A ولی عدد اتمی $Z+1$ می‌شود.



مکانیسم واقعی این پدیده تا سال ۱۹۳۱ مجهول بود و در این سال ول夫 پاولی فرضیه وجود ذره خنثی یا آنتی نوتربینو را در بیلان واکنش فوق الزامی دانست و بیان داشت که واکنش فوق در واقع تبدیل یک نوترون درونی هسته به پروتون و الکترون منفی و آنتی نوتربینو است: $n \rightarrow p + e^- + \bar{n}$ زیرا عملاً مشاهده شده بود که مقدار حرکت هسته باقی مانده ۷ دقیقاً در جهت مخالف الکترون به وجود آمده نیست و این ذره آنتی نوتربینو است که سبب این اختلاف شده است شکل (۱۴-۳). در این گونه تحولات ایزوتوپ پرتوزای اولیه را پدر (فرانسوی زبانها) و یا مادر (انگلیسی زبانها) و فراورده واکنش را پسر (فرانسوی زبانها) و یا دختر (انگلیسی زبانها) گویند. در این فصل ما آنها را پدر و پسر خطاب می‌کنیم.



شکل (۱۴-۳) اگر آنتی نوتربینو وجود نداشت می‌باشد مقدار حرکت $\bar{p}_n = \bar{p}_e$ در ۱۸۰ درجه باشد ولی به علت وجود آنتی نوتربینو مقدار حرکت الکترون و هسته باقی مانده یکی نیست.

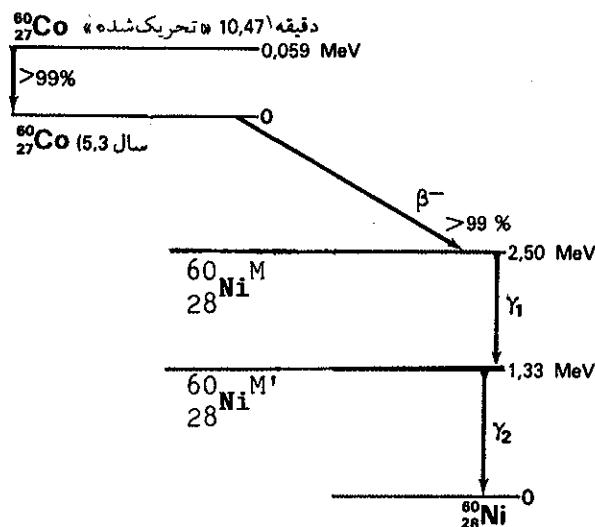
در این پدیده هسته به صورت γ در جهت محورهای مختصات تحول پیدا می‌کند یعنی یک واحد از تعداد نوترونها کاسته شده و یکی بر تعداد پروتونها افزوده می‌شود. انرژی آزاد شده در این پدیده برابر است با:

$$\Delta E = (M_y + M_e - M_x) C^2 \quad (14-1)$$

اگر جرم الکترون و اتمها را بحسب واحد جرم بیان کنیم کافی است در رابطه فوق بجای C^2 عدد $931/4$ را بگذاریم انرژی بحسب Mev بدست می‌آید. انرژی آزاد شده به صورت انرژی جنبشی الکترون منتشر شده و آنتی نوتربینو از هسته پرتوزا خارج می‌شود. این تحول ممکن است منجر به یک هسته پایدار و یا ایزومری از هسته شود که در حالت اخیر هسته باقی مانده حالت نیمه پایدار داشته و با انتشار پرتوهای X یا یا به حالت پایدار می‌رسد. در شکل (۱۴-۴) نمودار تجزیه کبالت پرتوزا ^{60}Co و راههای ممکن تبدیل آن به نیکل (^{60}Ni) پایدار داده شده است: در عمل برای محاسبه انرژی آزاد شده در این تحول، باید جرم اتمهای خنثی را در نظر گرفت. بنابراین، در بیلان انرژی رابطه (۱۴-۱) جرم الکترون خودبخود در جرم فراورده واکنش یعنی ۲ به صورت اتم خنثی محاسبه می‌شود مثلاً در تجزیه ^{60}Co به ^{60}Ni .

$$\Delta E = (M_{Ni} - M_{Co}) 931/4$$

$$\Delta E = -0.059 \text{ Mev}$$

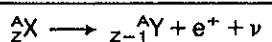


شکل (۱۴-۴) راههای ممکن تبدیل کیالت رادیواکتیو به نیکل پایدار

نبود الکترون در معادله فوق به علت این است که نیکل خنثی ^{28}Co الکترون دارد و حال آنکه کیالت خنثی ^{27}Co الکترون داشته است. در این تحول کیالت با انتشار پرتو β^- تبدیل به $^{60}\text{Ni}^M$ (نیکل نیمه پایدار) می‌شود و نیکل با انتشار یک پرتو γ به انرژی $1/17 \text{ MeV}$ باز تبدیل به $^{60}\text{Ni}^{M'}$ در تراز انرژی $1/33 \text{ MeV}$ می‌شود که این نیز به توبه خود با انتشار پرتو $\gamma = 1/33 = 1/3$ تبدیل به نیکل پایدار می‌گردد. زمان دفع تحریک نیکل بسیار کوتاه است (چند میلیونی ثانیه) این است که عملاً نیمه عمر کیالت که $5/3$ سال است در نظر گرفته می‌شود. از کیالت پرتوزا در پزشکی برای بمباران سلولهای سرطانی استفاده می‌شود و دلیل آن داشتن همین دو پرتو γ و β^- ترازهای تحریکی نیکل حاصل از آن است.

(b) پرتوزایی β^+ : هسته‌هایی که تعداد پروتون آنها از تعداد لازم برای ناحیه پایداری بیشتر است ناپایدار بوده و برای رسیدن به ناحیه پایداری الزاماً باید در درون هسته آنها یک پروتون تبدیل به نوترون شود.

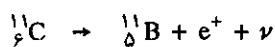
این واکنش در مورد پروتون آزاد غیرممکن می‌باشد زیرا جرم نوترون بیشتر از جرم پروتون است و واکنش گرماگیر خواهد بود ولی درون هسته ناپایدار به علت اختلاف انرژی پیوند پدر و پسر این واکنش ممکن است. در این تحول یک الکترون مثبت که پوزیtron نامیده می‌شود و یک ذره نوترون به وجود می‌آید. نتیجه تحول عکس حالت قبل است زیرا یک پروتون از بین می‌رود درنتیجه عدد اتمی $Z - 1$ خواهد شد و باز تحول به شکل عمومی به صورت زیر نمایش داده می‌شود.



محاسبه انرژی در این پدیده عبارتست از:

$$\Delta E = (M_y + M_e^+ - M_x) C^2$$

ولی در محاسبه باید جرم اتمهای خنثی را در نظر گرفت، مثلاً در مورد تجزیه کربن C^{12}

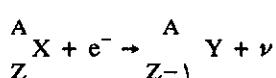


رابطه به صورت زیر است:

$$\Delta E = (M_B + 2M_e - M_C) 931/4 = -1 \text{ Mev}$$

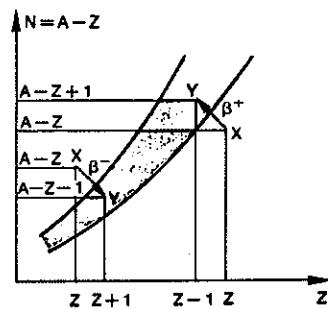
نیمه عمر کربن پرتوزا $20/4$ دقیقه می‌باشد و در طی آن با انتشار پرتو β^+ و نوترونو تبدیل به بُر می‌شود.

(c) جذب الکترون (K-Capture): این پدیده نظری پرتوزایی β^+ است و نتیجه آن همراه با کم شدن یک عدد اتمی در فراورده واکنش است. در این تحول یکی از پروتونهای هسته الکترون قشر K اتم را جذب می‌کند و مبدل به نوترون می‌شود.



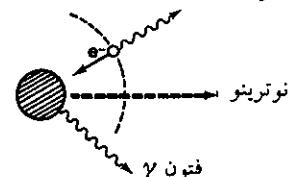
کمبود الکترون در قشر K سبب می‌شود که الکترونی از قشرهای بالاتر جانشین الکترون جذب شده در قشر K گردد و اختلاف انرژی آن با این الکترون به صورت پرتو X از اتم خارج می‌شود.

در هسته‌های سبک تجزیه یا به صورت β^+ و یا به صورت جذب الکترونی انجام می‌گیرد. در هسته‌های سنگین غالباً تحول با جذب الکترونی انجام می‌گیرد. پرتوزایی β^+ و جذب الکترونی در رادیوایزوتوپهای مصنوعی اتفاق می‌افتد و حال آنکه ایزوتوپهای پرتوزایی طبیعی غالباً یا نشده‌اند و یا β^- هستند. بر م پرتوزایی که به صورت مصنوعی در واکنشگاه اتمی تهیه می‌شود به چهار روش مختلف تجزیه می‌شود. ابتدا تحول ایزومریک نموده و سپس با تجزیه β^+ ، β^- و جذب الکترونی تبدیل به کربیتون و یا سلنیم پایدار می‌شود.



در تحول β^- و β^+ تغییرات بد شکل به سوی ناحیه پایداری است.

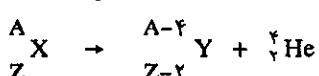
نوترون X (خط K)



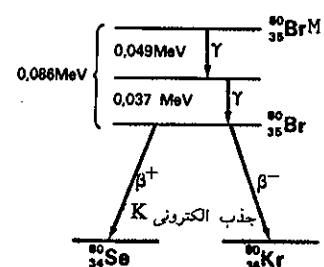
پدیده جذب الکترونی. هسته ناپایدار یک الکترون از قشر الکترونی اتم جذب می‌کند.

ت) تحولات به وسیله تقسیم

(a) پرتوزایی α : نشر پرتو α از مشخصات عناصری است که جرم اتمی بزرگتر از سرب دارند. ذرات α که هسته اتم هلیم می‌باشند بسیار پایدار و انرژی پیوند مجموع آنها ۲۸ میلیون الکترون ولت است. انرژی حاصل در موقع نشر یک ذره α از اتم منتشر کننده باید برابر با اختلاف انرژی پیوند ذره α و انرژی لازم برای کندن دو پروتون و دو نوترون از هسته مربوطه باشد. انرژی پیوند ذره α بیشتر از انرژی لازم برای کندن عناصر مشکله ذره α در درون هسته‌های بسیار سنگین است و بدین علت منحصرًا عناصر سنگین‌تر از سرب نشده‌اند α هستند و این تحول برای آنها انرژی‌زا یا exothermic می‌باشد. در این تحول یکباره ۴ واحد از عدد جرمی و ۲ واحد از عدد اتمی عنصر نشر دهنده کاسته می‌شود.

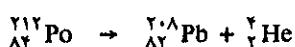


در این تحول ایزوتوپ پرتوزا با خطی به موازات نیمساز محورهای مشخصات به سوی ناحیه پایداری میل می‌کند.



تجزیه برم متاستabil به برم و سلسیس تجزیه آن به کربیتون

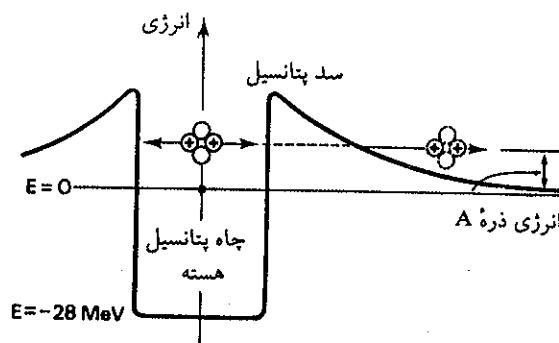
انرژی جنبشی ذرات α منتشره از ایزوتوپهای پرتوزای مختلف بین ۴ تا ۹ Mev می‌باشد. تنها به کمک مکانیک کوانتایی پدیده نشر پرتو α را می‌توان توجیه نمود. زیرا سه پتانسیل هسته‌های نشر دهنده بیشتر از ۳۰ میلیون الکترون ولت است. به عنوان مثال در تجزیه:



از این سه پتانسیل هسته R که در آن Z_1 و Z_2 به ترتیب بارذره α و بار هسته سرب (عدد اتمی یا تعداد پروتونهای هسته سرب) در فاصله R . ارتفاع این سه معادل با ۳۳ میلیون الکترون ولت است. موقعی که هسته اتم پلوتین Po شکسته و ذره α و هسته سرب تشکیل می‌شود، ذره α در درون چاه پتانسیل هسته قرار می‌گیرد و بنابر مکانیک نیوتونی خروج آن از چاه پتانسیل هسته غیرممکن است. ولی ذره α که در درون این چاه انرژی معادل ۵ میلیون الکترون دارد طبق مکانیک موجی مقدار درصدی احتمال برای خروج از هسته داشته و با تصور اینکه ذره در درون چاه پتانسیل هسته نوساناتی مشابه برخورد مولکولهای گاز به جدار ظرف دارد، می‌توان مقدار $\frac{1}{2}mv^2$ احتمال خروج از چاه را برای آن در نظر گرفت.

این نظریه تحت عنوان پدیده تونل زنی معرفی می‌شود و تعریف ساده آن این است که بگوییم مثل این است که ذره α تونلی در چاه پتانسیل هسته زده و از آن خارج می‌شود شکل (۱۴-۴). با این فرضیه می‌توان گفت هر قدر انرژی ذره α بیشتر باشد، احتمال خروج آن از چاه پتانسیل هسته بیشتر است و درنتیجه نیمه عمر ایزوتوپ پرتوزای نشر دهنده کوتاه‌تر خواهد بود.

ذرات α در حین عبور از ماده به سرعت انرژی خود را از دست می‌دهند و در طول مسیر کوتاه خود اتمهای ماده را یونیده می‌کنند اگر برای ایجاد هر زوج یون و الکترون در داخل ماده ۳۰ الکترون ولت انرژی لازم باشد. در طول مسیر ذره α ای به انرژی ۶ میلیون الکترون ولت

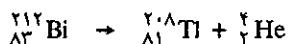


شکل (۱۴-۴) سه پتانسیل هسته در مقابل خروج با دخول ذره α به درون هسته. $(E = -28 MeV)$ تعداد صد هزار الکترون و یون مثبت تولید می‌شود که به سهولت می‌توان آنها را در یک اطاق یونش تشخیص داد. حذاکثر مسیر طی شده بوسیله ذرات α در هوا چند سانتیمتر و در جامدات چند میکرومتر است.

انرژی آزاد شده در یک تحول α به صورت عمومی به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta E = (M_Y + M_{He} - M_X) C^2$$

مثلاً برای تجزیه ایزوتوپ پرتوزای بیسموت:



$$\Delta E = (M_{\text{Tl}} + M_{\text{He}} - M_{\text{Bi}}) \cdot 931/4 \text{ Mev}$$

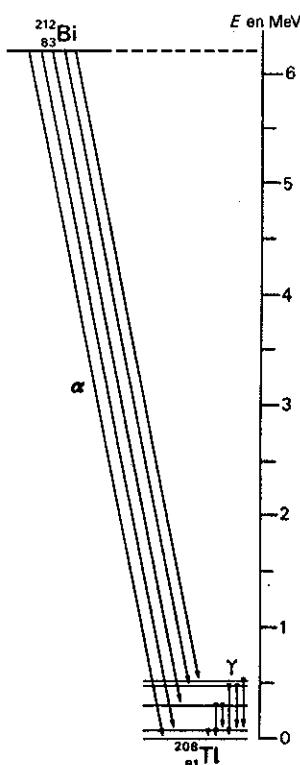
در موقع نشر پرتو α ، اتم باقیمانده عقب گردی می‌کند (درست مانند گلوله‌ای که از تفنگ شلیک می‌کنید قنداق تفنگ لگدی به شما می‌زند)

$$(مقدار حرکت عقب گرد) M_\alpha V_\alpha = M_r V_r \quad (مقدار حرکت ذره \alpha)$$

در این رابطه $M_\alpha V_\alpha$ مقدار حرکت ذره α و $M_r V_r$ مقدار حرکت هسته باقیمانده از تجزیه است بنابراین مقدار انرژی جنبشی ذره α با توجه به رابطه فوق معادل با:

$$Ec_{(\alpha)} = \frac{\Delta E}{(1 + \frac{M_\alpha}{M_r})}$$

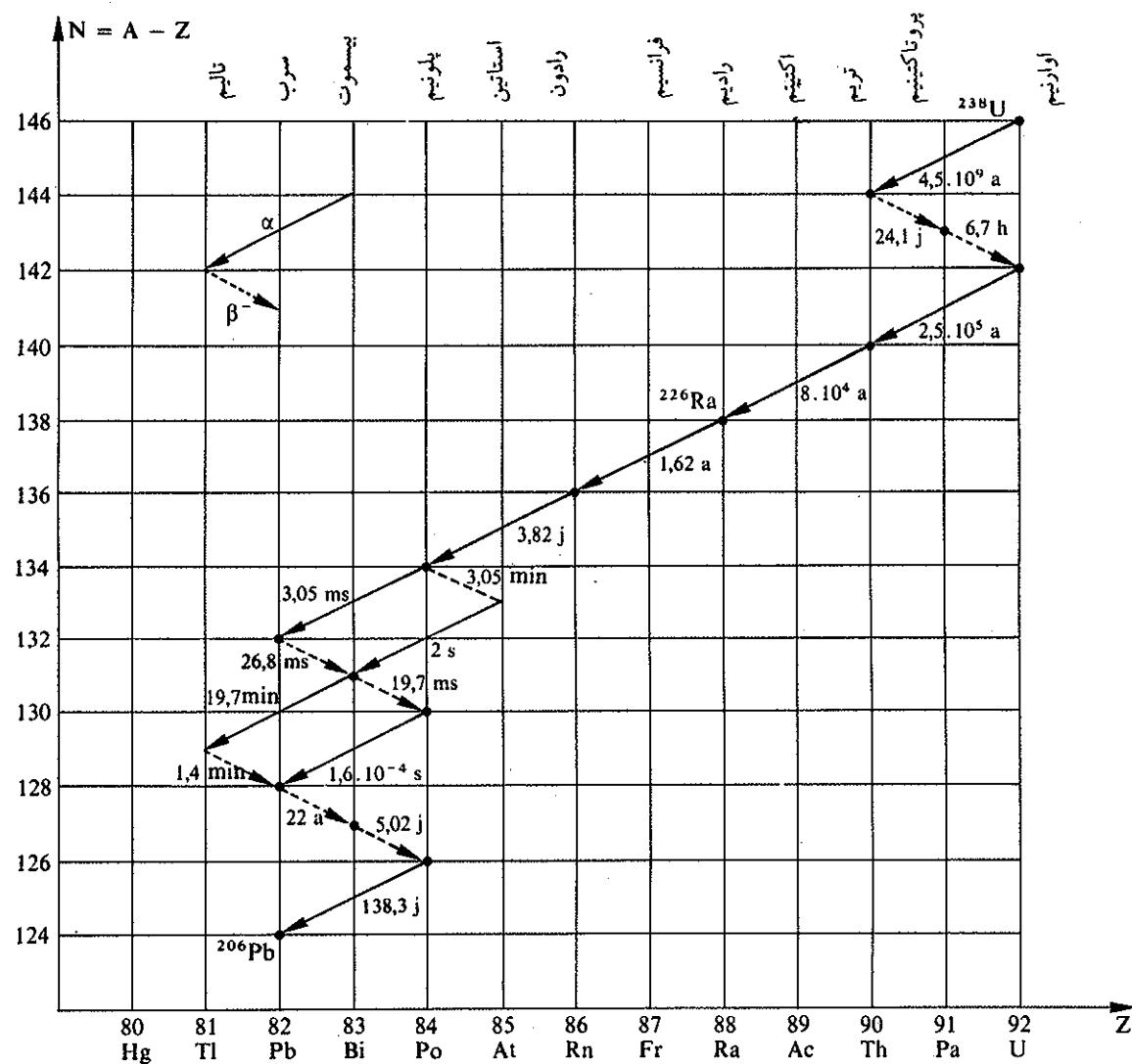
در مورد تجزیه بیسموت پرتوزا، ۵ نوع ذره α همراه با ۴ پرتو γ به صورت خطوطی بالتری کاملاً مشخص منتشر می‌شود که در شکل (۱۴-۵) نمایش داده شده است.



شکل (۱۴-۵) پرتوهای α و γ منتشره از بیسموت پرتوزا و تبدیل آن به تالیم پایدار.

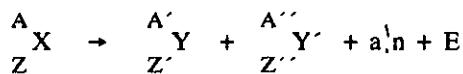
ایزوتوپهای پرتوزای طبیعی نشوده‌نده α به چهار خانواده تقسیم می‌شوند خانواده توریم (۴n) که از $^{232}_{90}\text{Th}$ شروع و به $^{212}_{82}\text{Pb}$ پایدار ختم می‌شود. خانواده نپتونیم (4n+1) که از $^{237}_{93}\text{Np}$ شروع و به $^{203}_{83}\text{Bi}$ پایدار ختم می‌شود. خانواده اورانیم (4n+2) $^{238}_{92}\text{U}$ که از $^{235}_{92}\text{U}$ شروع و به $^{207}_{82}\text{Pb}$ پایدار ختم می‌شود. خانواده اورانیم (4n+3) $^{235}_{92}\text{U}$ که از $^{238}_{92}\text{U}$ شروع و به $^{207}_{82}\text{Pb}$ پایدار ختم می‌شود. برای نمونه تجزیه خانواده اورانیم (4n+2) $^{238}_{92}\text{U}$ را در شکل (۱۴-۶)

داده‌ایم در این شکل نیمه عمر پدر به پسر بر حسب سال (a)، روز (J)، ساعت (h)، دقیقه (min) و یا بر حسب ثانیه (s) داده شده است.



شکل (۱۴-۶) تسلسل خانوادگی در خانواره اورانیم ۲۳۸ با نیمه عمری معادل با عمر زمین (۴/۵ میلیارد سال) و فرزندان آن و روش تجزیه هرکدام از آنها با نیمه عمر هریک بر حسب (a) سال، (J) روز، (h) ساعت، (min) دقیقه و بالاخره (s) ثانیه. در سنگ معدن اورانیم تمام این عناصر با یکدیگر در حال تعادل مادام‌العمری می‌باشند.

(b) شکست خودبخود: هسته‌های بسیار سنگین به علت جرم و بار بسیار زیاد و انرژی پیوند کم به طور خودبخود شکسته شده و دو هسته تقریباً مساوی و تعدادی نوترون تولید می‌کنند.



در این رابطه عمومی $Z = Z' + Z''$ محاسبه انرژی حاصل از شکست به صورت عمومی عبارتست از:

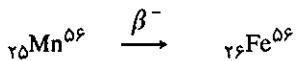
$$\Delta E = (M_Y + M_{Y'} + a_{Mn} - M_X) 931/4$$

عناصر بعد از اورانیم غالباً به طور خود بخود شکسته می‌شوند و در این شکست حدود ۲۰۰ میلیون الکترون ولت انرژی آزاد می‌گردد. در موقع مطالعه واکنشگاههای اتمی بیشتر در این مورد صحبت خواهیم کرد.

(ث) سرعت تحولات مواد پرتوزا

Cinetiques of decay the Radioactivity

خاصیت پرتوزایی ایزوتوپهای پرتوزا به طور دائم در طی زمان کاهش پیدا می‌کند. قبل از گفته شد که عناصر ناپایدار میل دارند خود را به حال سکون و آرامش سوق دهند، لذا تعداد اتمهای ناپایدار با مرور زمان کاهش می‌یابند. مثلاً اگر یک نمونه منگنز $^{25}\text{Mn}^{56}$ را که به تازگی درست شده، نزدیک شمارشگر قرار دهیم، ابتدا صداهای شمارشگر^۱ خیلی سریع و پشت سرهم شنیده می‌شود و پس از چند ساعت صداها کم و به تدریج آهسته و بالاخره بعد از ۲۴ ساعت تقریباً از بین می‌رود. نیمه عمر منگنز $^{25}\text{Mn}^{56}$ برابر با $2/58$ ساعت است، لذا بعد از این مدت مقدار پرتوزایی آن نصف و بعد از ۶ ساعت یک چهارم و بعد از $25/8$ ساعت مقدار آن یک هزارم می‌گردد. و $^{25}\text{Mn}^{56}$ با نشر پرتوهای ${}^{\beta^-}$ طبق واکنش زیر تبدیل به آهن $^{26}\text{Fe}^{56}$ می‌شود.



(a) قوانین تجزیه ایزوتوپهای پرتوزا Decay Laws

در هر لحظه تعداد اتمهایی که تجزیه می‌شوند متناسب با تعداد اتمهای پرتوزا موجود است.

اگر N تعداد اتمهای پرتوزا در زمان t باشد، تعداد اتمهایی که در زمان dt تجزیه می‌شوند به حسب تعریف عبارتند از:

$$-dN = \gamma N dt \quad (1)$$

اعدادی است ثابت و ثابت پرتوزایی نامیده می‌شود و نیز مشخص کننده احتمال تجزیه یک هسته در واحد زمان است. به طور کلی λ مستقل از کلیه عوامل فیزیکی و شیمیایی و

۱. شمارشگر به طور عمومی به دستگاههای آشکارساز مواد پرتوزا گفته می‌شود. در این آزمایش منظور شمارشگر گیگر مولر است که به ازای ورود پرتوهای ${}^{\beta^+}$ و ${}^{\beta^-}$ یا عذر آن یونش ایجاد شده و یونهای بوجود آمده به کمک سیستمهای الکترونیکی تقویت شده و سپس تبدیل به سوت در یک بلندگو می‌شوند، درنتیجه به ازای ورود هر ذره یک صدا از بلندگوی شمارشگر شنیده می‌شود. این نوع شمارشگرها را برای تشخیص مواد رادیواکتیو در معادن به کار می‌برند. درباره سایر دستگاههای آشکارساز بعداً صحبت خواهیم کرد..

محیط است.

رابطه (۱) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$-\frac{dN}{dt} = \text{سرعت تجزیه} = \lambda N$$

حاصلضرب λ در N یعنی λN را فعالیت گویند، در واقع عبارت است از تعداد تجزیه در واحد زمان. می‌توان مقدار λN را به کمک وسایل اندازه‌گیری (شمارشگرهای یونشی و یا بلورهای سوسوزن و غیره) مشخص کرد. سپس می‌توان با مشخص نمودن راندمان دستگاه اندازه‌گیری و بدست آوردن λ از جدولهای مخصوص ایزوتوپهای پرتوزا تعداد اتمهای ناپایدار که در زمانهای آینده تجزیه خواهند شد محاسبه نمود. اگر رابطه (۱) را به صورت $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

بنویسیم و از آن انتگرال بگیریم، خواهیم داشت:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t + \text{Constant}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

بدین ترتیب قانون نزولی پرتوزا بی به دست می‌آید، که در آن N تعداد اتمهای پرتوزا در زمان t و N_0 تعداد اتمها در زمان ۰ است:

اگر طرفین رابطه (۲) را در λ ضرب کنیم خواهیم داشت:

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

قبل‌اگفته شد که λN فعالیت ایزوتوپ پرتوزا بوده، لذا می‌توان نوشت:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

در این رابطه A فعالیت ایزوتوپ پرتوزا در زمان t و A_0 فعالیت در زمان ۰ است.

(b) نیمه عمر Periode

به حسب تعریف نیمه عمر عبارتست از زمان لازم برای اینکه نیمی از اتمهای یک ایزوتوپ پرتوزا تجزیه شود و آن را به $\frac{1}{2}$ نشان می‌دهند. اگر رابطه (۲) را به صورت زیر بنویسیم:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

به حسب تعریف در زمان $\frac{1}{2}$ ، $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$ است.

بنابراین با قرار دادن مقدار $\frac{N}{N_0}$ در رابطه (۴) :

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{1}{2} = \lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{2/3 \times \log 2}{\lambda}$$

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

اگر به جای λ مقدارش را در روابط (۲) و (۳) قرار دهیم،

$$N = N_0 e^{-\frac{0.693}{T_{1/2}} t}$$

$$A = A_0 e^{-\frac{0.693}{T_{1/2}} t}$$

(۱) طریقه پیدا کردن T به نحو ترسیم هندسی از راه عملی

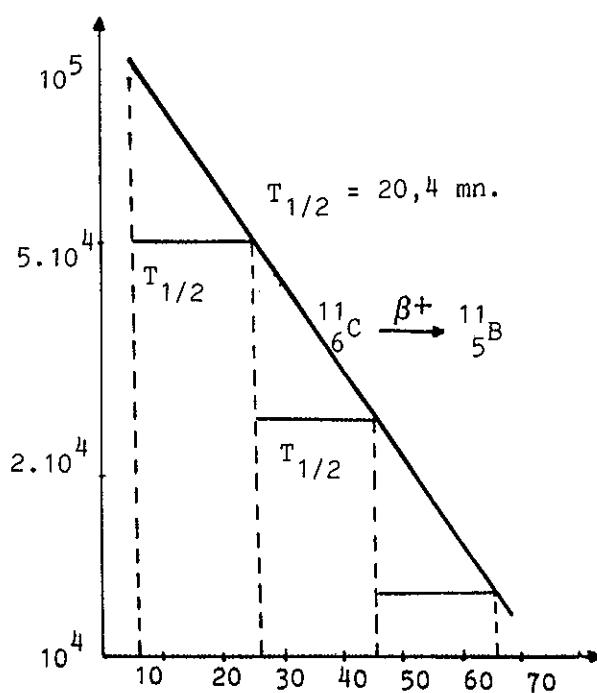
برای تعیین نیمه عمر یک ایزوتوپ پرتوزا به طریق ترسیمی، باید به وسیله دستگاههای اندازه گیری، فعالیت ایزوتوپ پرتوزا را در لحظات مختلف به دست آورده و بر روی کاغذهای نیمه لگاریتمی، اندازه های به دست آمده را در محور عرضها که تقسیم بندی آن به صورت لگاریتمی است برده و زمانهای مناسب با هر اندازه گیری را در روی محور طولها که تقسیم بندی معمولی (سانتیمتری) دارد برداشت، خطی مستقیم حاصل می شود که شبیه آن از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln A = \ln A_0 - \frac{\ln 2}{T} t$$

شبیه این خط مستقیم معادل با $\lambda = -\frac{\ln 2}{T}$ می باشد.

شکل (۱۴-۷) نزول فعالیت ایزوتوپ کربن ^{14}C را که نیمه عمری معادل با $20/4$ دقیقه دارد نمایش می دهد.



شکل (۱۴-۷) نزول فعالیت ایزوتوپ ^{14}C و محاسبه ترسیمی نیمه عمر آن.

(۲) روش وزنی تعیین نیمه عمر

با روش قبلی می‌توان به سهولت و با دقت کامل نیمه عمر ایزوتوپهای پرتوزایی را که نیمه عمر متوسط دارند اندازه گرفت. موقعی که نیمه عمر یک ایزوتوپ پرتوزا بسیار طویل است، به نحوی که نتوان تفاوت فعالیت را در زمانهای مختلف تشخیص داد (نظیر C^{14} ؛ نیمه عمر آن 5600 سال و یا Ra^{226} ؛ نیمه عمر آن 1620 سال و بالاخره U^{235} ؛ نیمه عمر آن 8×10^8 سال است). اغلب اوقات از روش غیر مستقیم استفاده می‌کنند. در این حالت اگر وزن نمونه پرتوزا به اندازه کافی باشد که بتوان با روشهای شیمیایی با دقت کافی وزن آن را مشخص نمود و بخصوص اگر وزن اتمی ماده مورد نظر در دست باشد، می‌توان تعداد هسته‌های موجود در نمونه را اندازه گرفت یعنی:

$$N = \frac{PN}{M}$$

N عبارتست از تعداد اتمهای موجود در نمونه، P عدد آلوگادرو، M وزن نمونه و بالاخره M جرم اتمی ایزوتوپ پرتوزا می‌باشد. از طرف دیگر به کمک یک دستگاه آشکار ساز (شمارشگر یونشی) می‌توان تعداد هسته‌هایی که در واحد زمان تجزیه می‌شوند اندازه گرفت یعنی حاصلضرب $\lambda N = A$ را به دست آورده، بنابراین با به دست آوردن A و قرار دادن مقدار N در رابطه فوق مقدار λ به دست می‌آید.

$$\lambda = \lambda N$$

$$\lambda = \frac{A}{N} = \frac{A \cdot M}{P \cdot N}$$

و یا نیمه عمر:

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$T_{1/2} = \frac{0.693 \times P \cdot N}{A \cdot M}$$

این روش احتیاج به دستگاههای تشخیص بسیار حساس که قادر به محاسبه فعالیت مطلق ماده پرتوزا است دارد. به علاوه باید از خلوص ماده پرتوزا مطمئن بود.

$$P = \frac{T_{1/2} \cdot A \cdot M}{0.693 \times N} =$$

$$P = \frac{(0.693 \times 10^{-7}) \times (2 \times 10^{-23})}{(0.2 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60)} = 2 \times 10^{-7} \text{ گرم}$$

$$P = \frac{2 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-23}} = 10^{16} \text{ erg / ساعت}$$

تمرین (۱۴-۱) - فعالیت مطلق کیالت پرتوزا C^{14} معادل با 10^7 تجزیه در ثانیه است. (۱) وزن کیالت پرتوزا را حساب کنید. (۲) با توجه به اینکه انرژی دو پرتو 7.6×10^{-23} eV و کیالت 2.5×10^{-23} Mev می‌باشد مقدار انرژی منتشره از این کیالت پرتوزا را در هر ساعت حساب کنید. می‌دانیم نیمه عمر کیالت پرتوزا 2×10^5 سال است.

حل: (۱) N عدد آلوگادرو $= 6.02 \times 10^{23}$ ؛ $A = 6$ ؛ فعالیت $= 10^7$ تجزیه در ثانیه M جرم کیالت که همان عدد جرمی 6 را در رابطه قرار می‌دهیم و $T_{1/2} = 2 \times 10^5$ همان نیمه عمر است که باید بر حسب ثانیه تبدیل کرد.

$$T_{1/2} = \frac{0.693 \times P \cdot N}{A \cdot M}$$

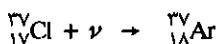
ج) تشخیص پرتوها

در روشهای تجزیه مواد پرتوزا همان‌طور که ملاحظه شد علاوه بر پرتوهای α ، β^+ ، β^- و γ پرتوهای π -پرتوهای نوترون و آنتی نوترون و پرتوهای γ -تولید می‌شوند. پرتوهای π -مربوط به انتقال در ترازهای الکترونی اتمها است که در فصل دوم با آن آشنا شدید و حال آنکه

پرتوهای دیگر مربوط به انتقالات در درون هسته‌ها می‌باشند.

پرتوهای نوتريینو و آنتی‌نوتريینو شبیه پرتوهای لابدون جرم و بار می‌باشند ولی برخلاف اثری بر روی ماده ندارند و به سادگی از مواد عبور می‌کنند. در واکنش هسته‌ای پیوست اتمها در درون خورشید در هر ثانیه میلیارد میلیارد پرتو نوتريینو و آنتی نوتريینو تولید می‌شوند. موقعی که به خورشید نگاه می‌کنیم در هر ثانیه یک میلیارد نوتريینو به چشم ما اصابت می‌کند و از آن رد می‌شوند. باز عجیب‌تر آنکه در شب اگر به جلو پای خود در مسیری که خورشید قسمت دیگر زمین را روشن می‌کند نگاه کنیم، (مثلًاً شب در تهران که در همان لحظه در واشنگتن روز است) همان یک میلیارد نوتريینو در ثانیه از قطر زمین عبور کرده و به حفره بینایی ما اصابت کرده و رد می‌شود و راه خود را در فضای لایت‌ناهی ادامه می‌دهند.

در سال ۱۹۵۷ اولین مشاهده تجربی در مورد اثبات وجود آنتی نوتريینوها به وسیله دو فیزیکدان به نامهای Cowen و Reins به کمک واکنش $e^+ + p \rightarrow e^- + \gamma$ انجام گرفت. نوتريینوهای منتشره از خورشید می‌توانند بر روی هزاران تن سدیم کلرید اثر گذاشته و فقط چند اتم کلر را تبدیل به ارگون کنند.



(۸) پرتوهای γ

پرتوهای γ بر عکس نوتريینوها با ماده واکنشهای متعددی دارند و بر حسب انرژی‌شان به سه طبق مختلف بر روی ماده اثر می‌گذارند:

(۱) اگر انرژی پرتو γ کمتر از ۱۰۰ کیلوالکترون ولت باشد این پرتوها می‌توانند مثلًاً در حین عبور از بلور سدیم یدید الکترون قشر K اتم ید را از آن جدا نمایند و تمام انرژی‌شان به صورت انرژی جنبشی الکترون کنده شده در می‌آید. این پدیده را عمل فتو الکترونیک گویند که در طی آن اتم ضربه خورده یک الکترون در قشر K کم دارد و یکی از الکترونها قشر L جانشین آن می‌شود. در اثر این انتقال، اتم یک پرتو X از خود منتشر می‌کند. پرتو X حاصل، در بعضی از اوقات قادر است الکترونی از قشرهای بالاتر جدا کند به الکترون اخیر الکترون اوژه Auger گویند.

(۲) اگر انرژی پرتو γ بیش از ۱۰۰ کیلو الکترون ولت باشد پرتو γ در حین عبور از ماده به الکترونها مختلف اصابت کرده و آنها را از اتم جدا می‌نمایند. در هر اصابت بخشی از انرژی γ به الکترون ضربه خورده منتقل می‌شود تا اینکه انرژی‌شان کمتر از ۱۰۰ kev شود، در این حال با کنندن الکترون قشر K ای اتمهای بلور پرتو γ ازین می‌رود و مابقی انرژی‌شان به صورت انرژی جنبشی الکترون کنده شده در می‌آید. این تحول را پدیده کامپتون گویند.

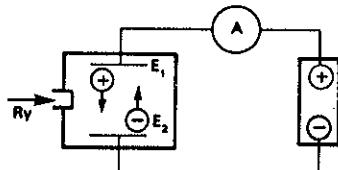
(۳) اگر انرژی پرتو γ بیش از ۲ Mev باشد پرتو γ خود بخود تبدیل به ماده می‌شود و دو الکترون از آن به وجود می‌آید. $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$ الکترونها در جهت مخالف هم حرکت می‌کنند و انرژی جنبشی آنها عبارتست از:

$$E_{e(e^-)} = E_{e(e^+)} = \frac{E_\gamma - 2me.C^2}{2}$$

(۴) جرم دو الکترون به وجود آمده است که معادل با $1/0.2\text{ Mev}$ است. الکترونها در حین عبور از ماده انرژی خود را با یونش اتمهای ماده از دست می‌دهند و موقعی که انرژی جنبشی پوزیترون (e^+) برابر با صفر شد با یک الکترون (e^-) ماده ترکیب شده و مبدل به دو

پرتو لعکه هریک در جهت مخالف دیگری حرکت می‌کنند می‌شوند. انرژی هر یک از پرتوهای لمعنادل با ۱۱ کیلو الکترون ولت است.

$$E_\gamma = 11 \text{ keV} \quad e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$$

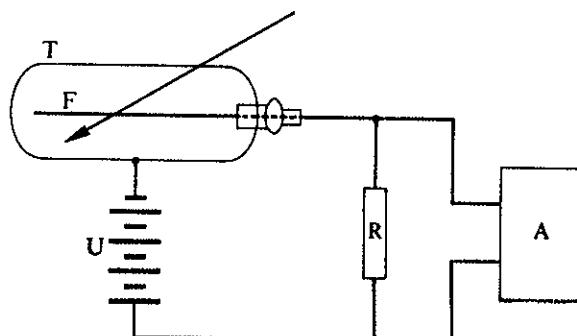


پرتوهای اخیر نیز در ماده ابتدا به صورت پدیده کامپتون عمل کرده و نهایتاً با تولید الکترون فوتو الکتریک از بین می‌روند.

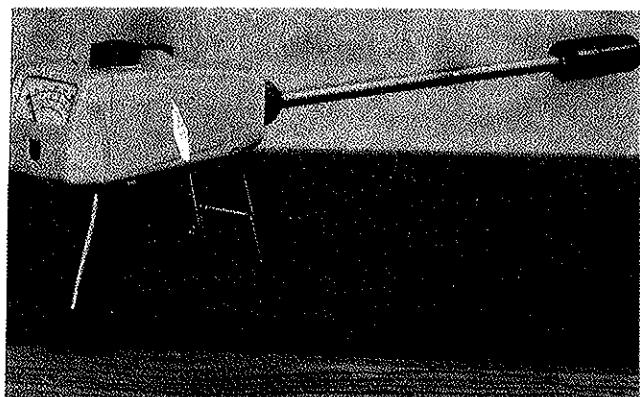
(b) آشکارسازهای پرتوها

نموداری از یک اطاق یونش. دستگاه اندازه‌گیری جریان به وجود آمده در اثر یونش E_1 آند، E_2 کاتد، Ry چشم‌برنوا.

پرتوهای β^- و α به سهولت به وسیله قشر نازکی از ماده متوقف می‌شوند. برای تشخیص آنها می‌توان از شمارشگر گیگرمولر (Geiger) یا اطاق یونش استفاده کرد. شمارشگر گیگر تشکیل شده از استوانه‌ای فلزی که در مرکز آن سیم بسیار باریکی به عنوان آند قرار دارد. کاتد بدنۀ استوانه می‌باشد. دریچه این شمارشگر قشر بسیار نازکی از میکا است. درون شمارشگر محلوظی از گاز هلیم با آرگون در فشار یک جو وجود دارد. ذرات در موقع ورود به شمارشگر مناسب با انرژی خود گاز موجود در شمارشگر را بونیده می‌کنند. الکترونهای حاصله از یونش گاز به وسیله آند و یونهای مثبت به وسیله جدار استوانه یعنی کاتد جذب می‌شوند شکل (۱۴-۸).



شکل (۱۴-۸) نموداری از شمارشگر گیگر (Geiger-Muller) A (Amplifier) فیکاتور. F سیمی که پتانسیل آن U است. T لوله شبیه‌ای با جدار بسیار نازک.



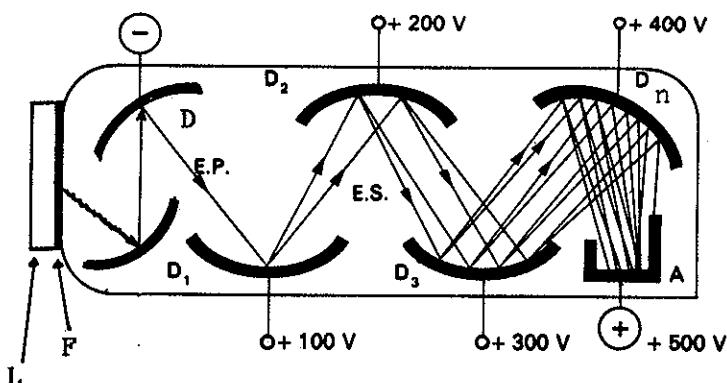
عکسی از یک نمونه شمارشگر گیگر برای تشخیص مواد پرتوزا در معادن.

برای تشخیص پرتوهای γ در شمارشگرهای جامد متشکل از بلور سدیم یدید یا ترانزیستورهای تشکیل شده از سیلیسیم یا ژرمنیم - لیتیم استفاده می‌کنند. اصول کارکرد ترانزیستورها در فصل چهارم بیان شد. در اینجا اصول بلورهای سوسوزن (ستیاتور) را به طور مختصر بیان می‌کنیم:

ورود پرتوهای γ به داخل یک بلور سدیم یدید و یا هر سوسوزن دیگر تؤمن با ایجاد الکترون به سه طریق گفته شده در سطور قبل است، یعنی پدیده فتوالکتریک، پدیده کمپتون و پدیده ایجاد الکترونهای مثبت و منفی. الکترونهای حاصل از این سه پدیده اتمهای ید بلور را تحریک کرده و اتمهای تحریک شده در موقع دفع تحریک از خود فوتونهای نوری تولید می‌کنند.

برخورد فوتونهای نوری به یک فتوکاتد منجر به ایجاد دسته‌ای از الکترون می‌گردد. الکترونهای اخیر در دستگاه تکثیر کننده فوتون یا فوتومالتی پلایر (photomultiplier) تکثیر می‌شوند و دستگاه آشکارساز به ازاء ورود هر ذره γ بدهسته زیادی از الکترون را در فاصله زمانی بسیار کوتاه ثبت می‌کند.

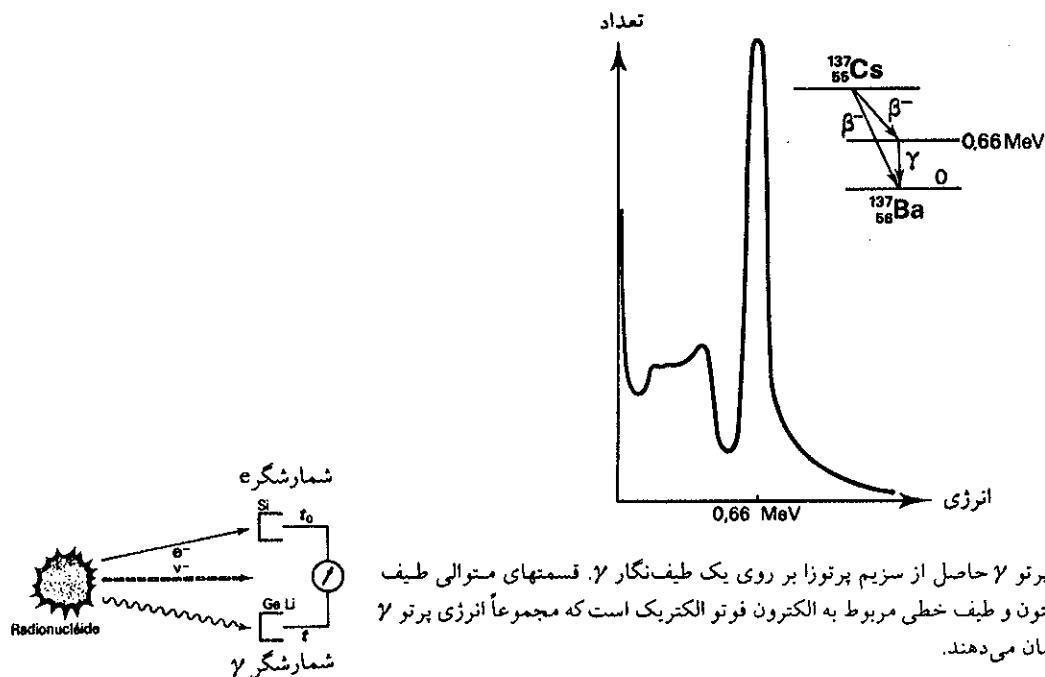
فوتمالتی پلایر تشكیل شده از لوله شیشه‌ای مسدودی که در داخل آن تعداد زیادی (۱۰ تا ۲۰) الکترود که اختلاف پتانسیل وصل شده به هر الکترود کمی بیشتر از اختلاف پتانسیل الکترون ما قبل است $= \Delta V = 100$ ولت. این الکترودها را دینود گویند و جنس آنها از سریم آنتیمونید $SbCs_3$ است اولین الکترود را فتوکاتد گویند. فتوکاتد به سطح تحتانی بلور سدیم یدید (NaI) و یا بلور ژرمنیم لیتیم GeLi متصل می‌باشد. ورود یک پرتو γ به داخل بلور منجر به ایجاد دسته‌ای الکترون $(10^9 \text{ تا } 10^{10})$ و در نتیجه باعث افزایش ارتفاع پتانسیل خروجی دستگاه می‌شود، در شکل (۱۴-۹) نموداری از یک لوله فوتومالتی پلایر مجهز به بلور سدیم یدید داده شده است.



شکل (۱۴-۹) اصول یک دستگاه تشخیص پرتو γ . متشکل از یک بلور (L) سدیم یدید با ژرمانیم. فتوکاتد (F) و تعداد زیادی دینود D_1 تا D_n . الکترون ایجاد شده در F از D_1 کنده و تعداد این الکترونهای در دینودهای دیگر چند برابر می‌شود. دسته الکترونهای ایجاد شده در یک طیف نگار γ تجزیه شده و مناسب با ارتفاع پتانسیل (امپرسیون) در کانالهای جداگانه خطوط طیفی ایجاد می‌کنند. سریم = الکtron اولیه و E.S. = الکترونهای ثانوی و A = آند.

سریم پرتوزا یکی از فراوانترین ایزوتوپهای پرتوزا حاصل از شکست اتم اورانیم است که

نیمه عمری در حدود ۳۰ سال دارد. نشر دهنده β^- و γ می‌باشد. تشخیص پرتو β^- آن به وسیله اطاق یونش و یا شمارشگر Si میسر است و تشخیص پرتو γ به وسیله شمارشگر Ge-Li متصل به فوتومالتی پلایر و بالاخره طیف نگار γ ممکن می‌باشد. بر روی صفحه طیف نگار لزکه مشابه صفحه تلویزیون و متشکل از ۴ تا ۸ هزار کانال است طیفی متناسب با انرژی پرتو γ ظاهر می‌شود که در شکل (۱۴-۱۰) نمایش داده شده است.



شکل (۱۴-۱۰) طیف پرتو γ حاصل از سزیم پرتوزا بر روی یک طیف‌نگار γ . قسمتهای متواالی طیف مربوط به الکترونهای کمپتون و طیف خطی مربوط به الکترون فتو الکتریک است که مجموعاً انرژی پرتو γ را که 66 MeV است نشان می‌دهند.

تشخیص پرتو β^- (الکترون) و پرتو γ متنشره از سزیم پرتوزا و اختلاف زمان انتشار این دو پرتو، برای β^- و γ برای γ .

اغلب ایزوتوپهای پرتوزای طبیعی و یا مصنوعی در ضمن انتشار پرتوهای β^- و β^+ و α و γ پرتوهای لانیز متنشر می‌کنند به کمک طیف نگارهای γ با دقت بسیار زیاد می‌توان همه آنها را از یکدیگر بخوبی تشخیص داد.

ج) انرژی پیوند Bond Energies

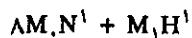
همانطور که در فصل اول گفته شد با محاسبه دقیق جرم عناصر و یا ایزوتوپهای عناصر و کاربرد فرمول اینشتاین ($E = mc^2$) می‌توان انرژی پیوند را حساب کرد. انرژی پیوند عبارتست از مقدار انرژی حاصل شده در حین تشکیل یک هسته از عناصر متشکله‌اش، مثلاً اگر هسته $Z^A X$ از ترکیب N نوترون و Z پروتون تشکیل شود یعنی:



رابطه فوق نشان می‌دهد که در حین تشکیل هسته $Z^A X$ باید مقداری انرژی آزاد شود. این انرژی را انرژی پیوند هسته گویند.

به عنوان مثال اتم اکسیژن (O^{16}) که متشکل از ۸ پروتون و ۸ نوترون و ۸ الکترون است، جرمش برابر با $15/99419494$ واحد جرم اتمی است (مبدأ واحد جرم C^{12} است). جرم نوترون برابر با $1/0086544$ واحد جرم اتم هیدروژن (H^1) یک پروتون و یک الکترون، برابر با $1/00782522$ واحد جرم اتمی است، بنابراین جرم ۸ نوترون و ۸ پروتون و ۸

الکترون معادل با:



$$8 \times 1/100866544 + 8 \times 1/100782522 = 16/13192528 \text{ A.M.U.}$$

می باشد. حال اگر اختلاف جرم عناصر متشکله را با جرم عنصر محاسبه کنیم.

$$16/13192528 - 15/99419494 = 1/1377304 \text{ A.M.U.}$$

این مقدار جرم را نقصان جرم گویند که در موقع تشکیل اکسیژن از جرم عناصر متشکله کم شده و تبدیل به انرژی گردیده است. بنابراین انرژی درونی هسته علامت منفی دارد. همانطور که قبل اشاره شد هر واحد اتمی بنایه رابطه اینشتاین برابر با $931/4$ میلیون الکترون ولت است، بنابراین انرژی آزاد شده در ضمن تشکیل اتم O^{16} ، که انرژی پیوند نامیده می شود، عبارتست از:

$$E = -1/1377304 \times 931/4 = -128/282 \text{ Mev}$$

باید یادآور شد که در سنتز اتم O^{16} تقریباً کلیه انرژی حاصل از تشکیل هسته اتم اکسیژن است. انرژی پیوند الکترونها اتم قابل صرفنظر است. در مورد اکسیژن انرژی پیوند 8 الکترون حدود $1/0$ میلیون الکترون ولت می باشد.

معمولانه انرژی پیوند را نسبت به عدد جرمی یا تعداد نوکلئونها موجود در هسته سنجیده و به نام انرژی پیوند به ازای هر نوکلئون یا به صورت $\frac{Eb}{A}$ نشان می دهند. در مورد اکسیژن انرژی پیوند به ازای هر نوکلئون برابر با:

$$\frac{-128/282}{16} = -8/01 \text{ Mev}$$

می باشد.

برای یک اتم به جرم M انرژی پیوند مجموع برحسب میلیون الکترون ولت عبارتست:

$$[(ZM, H^1 + NMn) - M] 931/4 = Eb$$

همانطور که قبل اگفته شد Z و N تعداد پروتونها و تعداد نوترونها و MH جرم اتم هیدروژن و Mn جرم یک نوترون می باشد.

خطا یا کمبود جرم

اگر جرم اتمی M باشد رابطه $(Z+N) - M$ و یا $A - M$ به نام خطای یا کمبود جرم نامیده می شود. در مورد اکسیژن خطای جرم عبارتست از:

$$15/99419494 - 16 = -1/00508506 \text{ A.M.U.}$$

واحد انتخاب شده جرم کربن ۱۲ است که برای آن خطای جرم برابر صفر است زیرا: $12 - 12 = 0$ مقدار $\frac{M-A}{A}$ را به نام کسر فشرده Packing fraction می نامند، که اصطلاحی عملی برای به دست آوردن اطلاعاتی راجع به انرژی متوسط پیوند بین نوکلئیدهاست. اگر ارزش این کسر زیاد باشد نمونه سست بودن پیوندهاست.

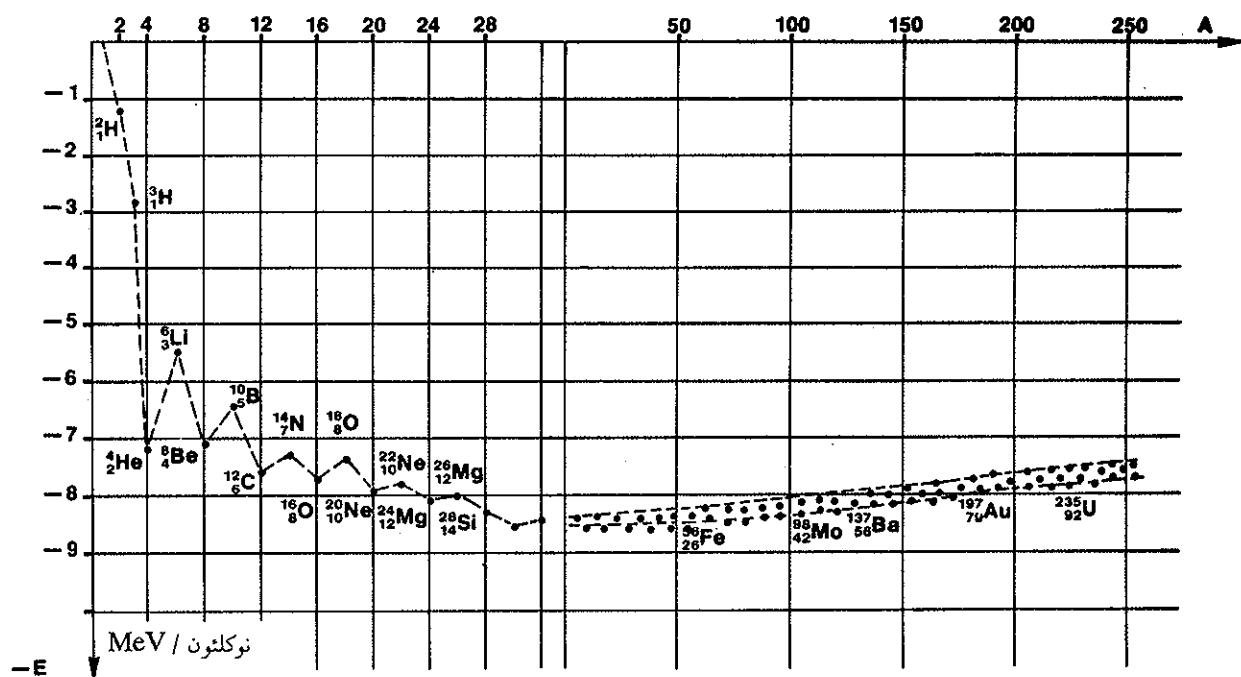
انرژی پیوند به ازای هر نوکلئون $\frac{Eb}{A}$ به نحوی جالب برش حسب عدد جرمی A تغییر می نماید. شکل (۱۴-۱۱) و جدول (۱۴-۳) نمودار تغییرات انرژی پیوند هر نوکلئون $\frac{Eb}{A}$

$\frac{Eb}{A}$ Mev	هسته
-1/09	H^3 دوتریم
-2/8	H^3 تریسیم
-2/5	He^3 هلیم سبک
-7	He^3 هلیم نرمал
-7/95	C^{12} کربن
-8/01	O^{16} اکسیژن
-8/6	$A=120$ تا $A=40$
-8	pt^{196} پلاتین
-7/5	U^{238} اورانیم

جدول (۱۴-۳) مقدار انرژی پیوند به ازای هر نوکلئون ($\frac{Eb}{A}$) برای چند هسته

بر حسب A برای کلیه عناصر پایدار است، از هیدروژن سبک تا کربن ۱۲ مقدار انرژی پیوند به ازای هر نوکلئون به سرعت از صفر به ۸ میلیون الکترون ولت تنزل می‌کند، از کربن ۱۲ به عنصری که عدد جرمی آن حدود ۶۰ است، مقدار این انرژی با تأثیر از -۸ به -۸/۵ میلیون الکترون ولت می‌رسد، بالاخره موقعی که به عنصر اورانیم می‌رسیم، مقدار انرژی فوق از -۸/۵ به -۷/۵ ترقی نموده است. در منحنی (۱۴-۱۱) ماکزیممها بیان وجود دارد که مشخص کننده پایداری نسبی عناصر مربوطه می‌باشد. در نواحی ابتدایی منحنی مینیممها براي هسته‌های He^4 و Be^8 و C^{12} و O^{16} و Ne^{20} وجود دارد، و نیز برای هسته‌هایی به عدد اتمی، یا عدد جرمی و یا تعداد نوترونها معادل با ۲۸ و ۵۰ و ۸۲ و ۱۲۶ ماکزیممها بیان شود. این هسته‌ها پایدارتر از هسته‌های مجاور به خود می‌باشند (مثلاً قلع با عدد اتمی ۵۰ ده ایزوتوپ پایدار دارد). این خود دلیلی بر وجود قشرهای کامل هسته‌ای شبیه قشرهای الکترونی اتم می‌باشد. اعداد ۲ و ۸ و ۲۰ و ۵۰ و ۲۸ و ۸۲ و ۱۲۶ را اعداد جادویی Magic گویند.

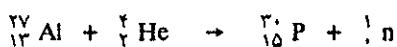
با توجه به منحنی شکل (۱۴-۱۱) می‌توان گفت که از اتحاد عناصر سبک با هم عناصر سنگینتر با انرژی پیوند بیشتر، یعنی عنصر پایدارتر حاصل می‌شود و نیز در مورد عناصر سنگین می‌توان تصور نمود که از شکسته شدن آنها عناصر سبکتر با انرژی پیوند بیشتر، یعنی عنصر پایدارتر حاصل می‌شود. دو واکنش فوق که از نقطه نظر تولید انرژی اهمیت بسیاری دارند، لذا آنها را در دو قسمت جداگانه بررسی می‌نماییم.



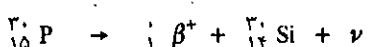
شکل (۱۴-۱۱) نمودار تغییرات انرژی پیوند به ازاء هر نوکلئون. همان‌طور که ملاحظه می‌شود انرژی پیوند ارزش منفی دارد و هرچه قدر مطلق انرژی پیوند بزرگتر باشد عنصر پایدارتر است. خانواده آهن در قسمت مبینیم این منحنی قرار دارند. بنابراین پایدارترین عناصر موجود در طبیعت می‌باشند.

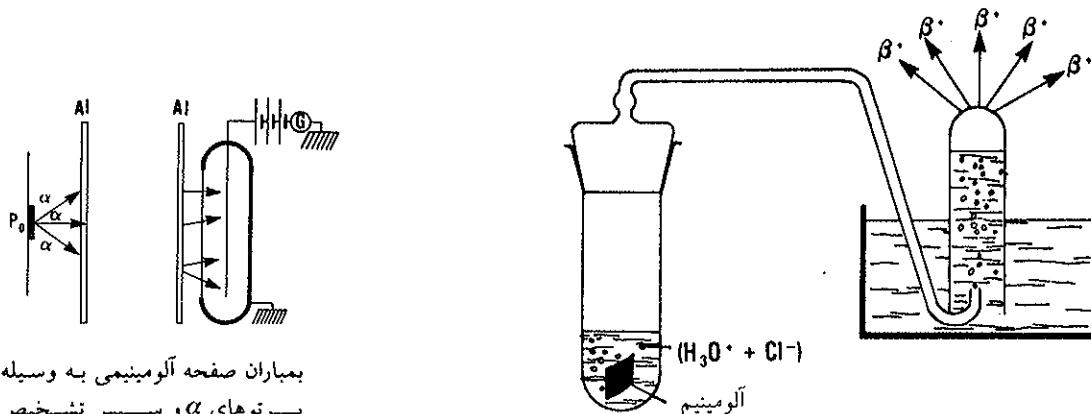
ح) پرتوزایی مصنوعی

فردریک وایرن ژولیوکوری، داماد و دختر پیر و ماری کوری، در خدمت مطالعه اثر پرتوهای α بر روی ماده مثلاً قرار دادن یک صفحه آلومینیمی در مقابل مسیر ذرات α مشاهده کردند که این صفحه خاصیت پرتوزایی پیدا می‌کند و بدین ترتیب متوجه شدند که خاصیت پرتوزایی به‌طور مصنوعی در اتمهای آلومینیم ایجاد شده است و نیز متوجه شدند که نیمه عمر ایزوتوپ پرتوزایی حاصل سه دقیقه می‌باشد و با قرار دادن صفحه آلومینیمی در مقابل یک شمارشگر گیگر خاصیت پرتوزایی و از آنجا نیمه عمر آنرا حساب نمودند. برای شناخت مکانیسم واکنش و تشخیص ایزوتوپ پرتوزایی به وجود آمده، ژولیوکوری صفحه آلومینیم را در هیدروکلریک اسید حل نموده و گاز حاصل را که قاعده‌تاً باید هیدروژن خالص باشد در زیر لوله آزمایشی جمع نمودند تجزیه دقیق این گاز وجود هیدروژن فسفید H_3P را در مخلوط گازی نشان داد. شکل (۱۴-۱۲) چگونگی این آزمایش را مشخص می‌نماید. بنابراین بمباران صفحه آلومینیمی به وسیله ذرات α منجر به واکنش هسته‌ای به صورت زیر گردیده است.



فسفر به وجود آمده پرتوزا بوده و با انتشار پرتو β^+ مبدل به سیلیسیم پایدار می‌گردد:

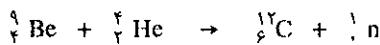




بیماران صفحه آلمینیمی به وسیله پرتوهای α و سپس تشخیص پرتوزایی آن به کمک شمارشگر گیگر مولر.

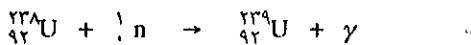
شکل (۱۴-۱۲) چگونگی تشخیص ایزوتوپ پرتوزای ایجاد شده در صفحه آلمینیم.

به دلیل این کشف مهم در سال ۱۹۳۵ ایرن و فردیريك ژولیو کوری برنده جایزه نوبل در شیمی شدند و همین واکنش سبب شناخت ذره نوترون به وسیله چادویک Chadwick شد. قبل اگفته شد که مخلوط برلیم و رادیم (رادیم نشر دهنده پرتو α) تولید دسته‌ای از نوترون می‌کند.

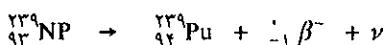
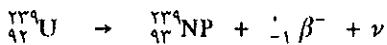


مخلوط ۰/۰۱ گرم رادیوم با چندین گرم برلیم در حدود یکصد هزار دره نوترون در ثانیه تولید می‌نماید. نوترونهای به وجود آمده اگر بر روی هدفی از اورانیم طبیعی تابیده شوند دو واکنش شگفت‌انگیز ایجاد می‌کنند که امروزه قسمت مهمی از انرژی الکتریکی کشورهای صنعتی از برکت آنها حاصل می‌شود، این دو واکنش عبارتند از: ستز پلوتونیم و شکست اتم اورانیم.

(۸) ستز پلوتونیم: نوترونهای حاصله از واکنش فوق به وسیله اتمهای اورانیم ۲۳۸ جذب می‌شوند.



اورانیم ۲۳۹ حاصل ناپایدار و با انتشار دو پرتو β^- پی در پی تجزیه شده ابتدا با نیمه عمری معادل با $2/3$ دقیقه مبدل به نپتونیم ۲۳۹ و ایزوتوپ پرتوزای اخیر نیز با نیمه عمری معادل با $2/3$ روز مبدل به پلوتونیم ۲۳۹ می‌شود.

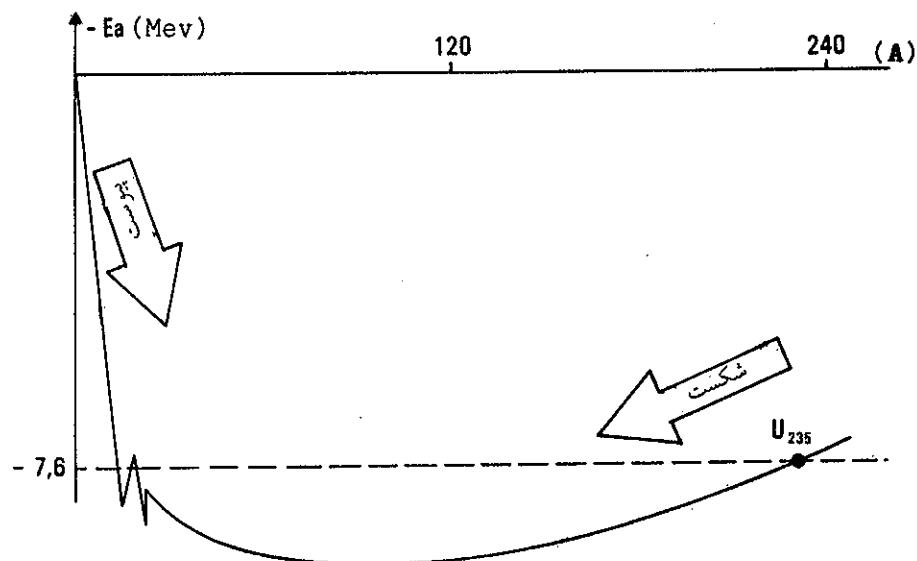


ایرن و فردیريك ژولیو کوری فیزیک و شیمی دانان فرانسوی و بنیان‌گذاران اشیمی و فیزیک اتمی، برنده جایزه نوبل شیمی در سال ۱۹۳۵.

نیروگاه اتمی به قدرت هزار مگاوات سالانه ۳۵۰ کیلوگرم پلوتونیم به وسیله واکنش فوق تولید می‌کند که ۲۰۰ کیلوگرم آن در داخل واکنشگاه با واکنش شکست از بین رفته و ۱۵۰ کیلوگرم آن باقی می‌ماند با این ۱۵۰ کیلوگرم پلوتونیم می‌توان ۱۰ بمب اتمی نظیر بمبی که آمریکایی‌ها بر روی شهر هیروشیما در سال ۱۹۴۵ انداختند، انفجار بمب مذکور در کمتر از چند ثانیه بیش از یکصد هزار نفر از ساکنان شهر چهارصد هزار نفری هیروشیما را کشت و بقیه را مبتلا به انواع سرطانهای مختلف نمود.

Fission (b) شکست

با توجه به منحنی شکل (۱۴-۱۱) بخوبی دلیل شکست و یا پیوست عناصر برای ما آشکار می‌شود. این منحنی معرف پایداری نسبی عناصر نسبت به یکدیگر می‌باشد. قبل از گفته شد که عناصر خانواده آهن در وسط منحنی پایدارترین عناصر و برعکس عناصری که در حد نهایی چپ و راست منحنی قرار گرفته‌اند پایداری نسبی کمتری دارند. عناصر سنگین در سمت راست و عناصر بسیار سبک در سمت چپ منحنی قرار گرفته‌اند. بنابر اصل کلی که از آغاز این کتاب تاکنون مطرح کردہ‌ایم، گرایش به جرم و یا انرژی پایین‌تر در نهاد همه چیز نهفته شده است. عناصر سنگین میل دارند با شکسته شدن به عناصر واقع در وسط منحنی برسند و برعکس عناصر سبک با بهم پیوستن به این ناحیه می‌رسند. این دو تمایل را در شکل (۱۴-۱۳) با پدیده شکست (Fission) و پدیده پیوست Fusion نمایش داده‌ایم.



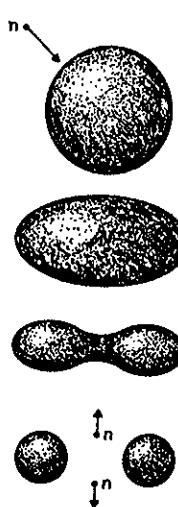
شکل (۱۴-۱۳) نمودار انرژی پیوند به ازاء هر نوکلئون بر حسب عدد جرمی و نمایش تمایل طبیعی عناصر به شکستن (Fission) و پیوستن (Fusion) و رسیدن به انرژی مینیمم.

هسته اورانیم خود به تحدید به سهولت شکسته نمی‌شود و نیز هسته‌های هلیم یا دو تریم خود بخود بهم پیوست حاصل نمی‌کنند. شکستن و یا پیوستن آنها با وجود آنکه گرمایش است ولی برای شروع واکنش همانطور که در فصل قبل دیدیم مقدار حداقل انرژی فعالسازی لازم است.

برای شکستن اتمهای اورانیم $^{235}_{\text{U}}$ وارد یک نوترون بسیار کم انرژی ($E_{\text{C}(n)} = \frac{1}{4} \text{ eV}$) به داخل هسته کافی است و حال آنکه برای شکستن $^{235}_{\text{U}}$ انرژی نوترون باید بیشتر از ۲ میلیون الکترون ولت باشد.

برای پیوستن اتمهای سبک باید دما بسیار بالا باشد تا هسته‌ها انرژی جنبشی کافی برای برخورد با هم و نفوذ نمودن یکی در دیگری کسب کنند. بعداً در این باره صحبت می‌کنیم.

ورود یک نوترون کم انرژی ($\frac{1}{4} \text{ ev}$) در هسته اورانیم ۲۳۵ باعث تغییر شکل آن شده و هسته شکل کروی خود را از دست می‌دهد. دقیقاً مشابه تحولاتی که یک قطره آب در موقع جدا شدن از منبع تحمل می‌کند.



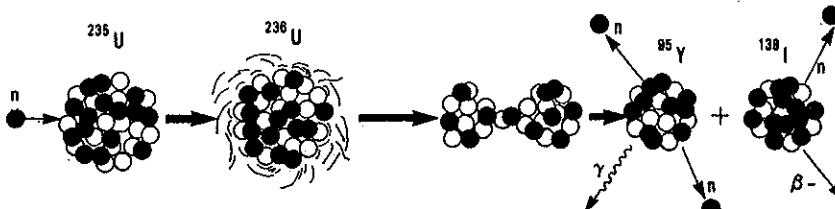
هسته‌های X_1 و X_2 را فراورده شکست گویند، در رابطه فوق:

$$A_1 + A_2 + \kappa = 236$$

$$Z_1 + Z_2 = 92$$

است.

نمونه‌ای از واکنش شکست عبارتست از:



ورود یک نوترون به داخل هسته اورانیم باعث تغییر شکل آن شده و هسته بعد از نوساناتی از هم گسیخته می‌شود.

به دو طریق می‌توان انرژی حاصله از شکست را حساب کرد: یا از اختلاف جرم فراورده و ماده اولیه:

$$\Delta E = (M_Y + M_I + 2M_n - M_u) \cdot 931/4 \approx -200 \text{ Mev}$$

و یا از اختلاف انرژی پیوند فراورده و ماده اولیه. با توجه به منحنی شکل (۱۴-۱۳) انرژی پیوند اورانیم $7/6 \text{ Mev}$ و حال آنکه انرژی پیوند فراورده‌ها I و Y در حدود $-8/45 \text{ Mev}$ است. بنابراین به ازاء هر نوکلئون $85/85 \text{ Mev}$ - انرژی درونی سیستم نزول می‌نماید.

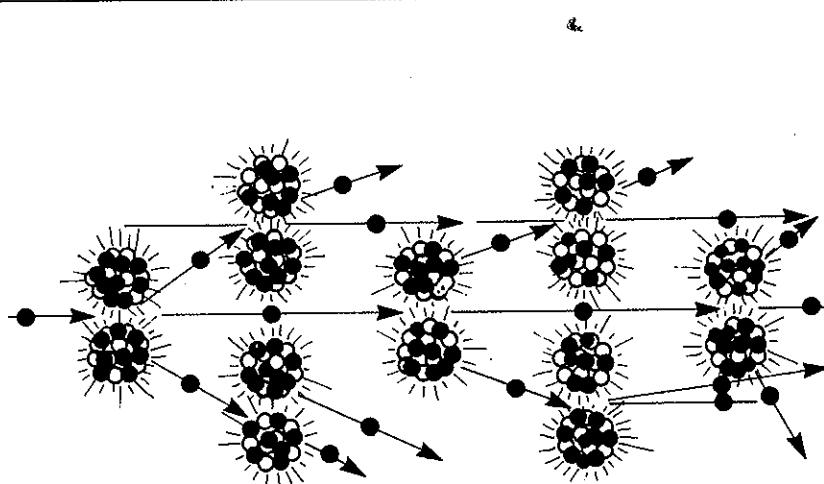
$$235 \times (-85/85) \approx -200 \text{ Mev}$$

یعنی فراورده‌ها به اندازه 200 میلیون الکترون ولت انرژی از دست می‌دهند. شکست یک گرم اورانیم $8/5 \times 10^9$ ژول یا معادل با سوختن $8/5$ تن زغال سنگ انرژی آزاد می‌سازد.

(c) امکان واکنش زنجیره‌ای و کنترل آن

شکست هسته‌های اورانیم به طور متوسط $2/5 = k$ نوترون آزاد می‌سازد. اگر نوترونهای آزاد شده جذب مواد ساختمانی واکنشگاه نشوند، تعداد آنها در هر ثانیه چند صد میلیون بار اضافه خواهد شد و توده اورانیم حالت بمب اتمی را پیدا می‌کند و منفجر خواهد شد شکل (۱۴-۱۴). ولی مواد ساختمانی واکنشگاه و بخصوص اورانیم ۲۳۸ جاذب نوترون هستند بنابراین تعداد نوترونهای مؤثر حاصله از شکست از K کوچکتر خواهد بود.

اگر تعداد نوترونهای جذب شده به وسیله مواد مختلف ساختمانی درونی واکنشگاه

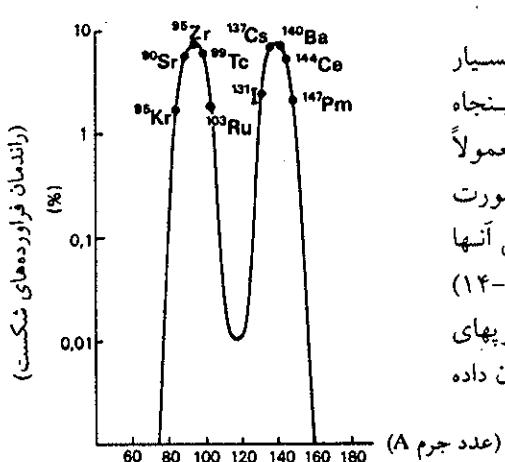


شکل (۱۴-۱۴) واکنش زنجیره‌ای در داخل توده اورانیم.

هسته‌ای K^* و نیز اگر تعداد نوترونهای مؤثر را $k^* = k - k_{ef}$ بنامیم، سه حالت پیش خواهد آمد: اگر $k^* < k_{ef}$ باشد و اکنشگاه متوقف خواهد شد، اگر $k^* = k_{ef}$ باشد واکنش هسته‌ای در داخل اکنشگاه به طور ثابت ادامه پیدا می‌کند و تعداد شکست آتمها در هر ثانیه مقدار ثابتی خواهد بود. اگر $k^* > k_{ef}$ باشد تعداد نوترونهای مؤثر بیشتر و درنتیجه تعداد شکست آتمها در هر ثانیه به صورت تابع نمایی افزایش خواهد یافت و واکنش زنجیره‌ای در چند ثانیه حالت انفجاری پیدا کرده و حالت یک بمب اتمی پیش خواهد آمد، مانند انفجار نیروگاه اتمی روسها چرنوبیل در سال ۱۹۸۶.^۱

برای اینکه k_{ef} برابر با یک و یا بزرگتر از یک باشد باید توده اورانیم حجم یا جرم حداقلی داشته باشد که آنرا جرم بحرانی گویند. جرم بحرانی درمورد اورانیم ۱۵ کیلوگرم و درمورد پلوتونیم ۵ کیلوگرم است.

واکنش شکست اورانیم معمولاً بسیار متنوع و از شکست آن در حدود پنجاه عنصر مختلف حاصل می‌شود. معمولاً فراورده‌های حاصل از شکست را به صورت منحنی راندمان بر حسب عدد جرمی آنها رسم می‌نمایند. در شکل (۱۴-۱۵) نموداری از راندمان عناصر و یا ایزوتوپهای پرتوزای آنها بر حسب عدد جرمی شان داده شده است.



شکل (۱۴-۱۵) نمودار راندمان فراورده‌های حاصل از شکست اورانیم ۲۲۵.

۱. برای اطلاع بیشتر کتاب ستارگان، زمین و زندگی نوشته نگارنده را مطالعه کنید.

خ) نیروگاه اتمی

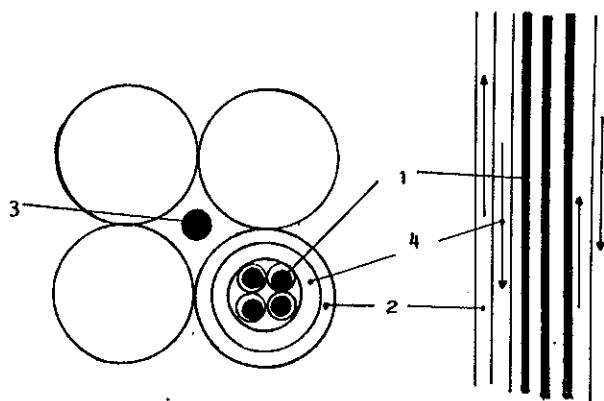
یک نیروگاه اتمی در واقع بمب اتمی است که به کمک میله‌های مهار کننده و خروج دمای درونی تحت کنترل در آمده است. اگر روزی این میله‌ها و یا پمپهای انتقال دهنده مواد خنک کننده وظیفه خود را درست انجام ندهند سوانح متعددی به وجود می‌آید و حتی ممکن است نیروگاه نیز منفجر شود. یک نیروگاه اتمی مشکل از مواد مختلفی است که همه آنها نقش اساسی و مهم در تعادل و ادامه کار آن را دارند. این مواد عبارتند از:

۱) ماده سوخت مشکل از اورانیم طبیعی - اورانیم غنی شده از U^{235} و یا بالاخره پلوتونیم U^{239} که خود از واکنش سنتز در داخل واکنشگاهها به وجود می‌آید.

۲) نرم کننده یا (moderator) موادی هستند که برخورد نوترونهای حاصل از شکست با آنها الزامی است و برای کم کردن انرژی این نوترونها به کار برده می‌شوند زیرا احتمال واکنش شکست زنجیره‌ای به ازاء نوترونهای کم انرژی بیشتر می‌شود. آب معمولی، آب سنگین (D_2O) یا ذغال سنگ (گرافیت) به عنوان نرم کننده نوترون به کار برده می‌شوند.

۳) میله‌های مهار کننده. این میله‌ها از مواد جاذب نوترون درست شده‌اند و وجود آنها در داخل واکنشگاه اتمی الزامی است و مانع از افزایش ناگهانی تعداد نوترونها در قلب واکنشگاهها می‌شود. معمولاً در داخل واکنشگاهها $k_{ef} = 1/1000$ عدد $1/1000$ فعالیت داخلی واکنشگاه را تأمین می‌کند اگر این عدد مثلاً $1/1000$ شود رژیم واکنشگاه فوق بحرانی شده و حالت دیورژانس پیش می‌آید میله‌های مهار کننده به طور خودکار در قلب واکنشگاه فرورفته و نوترونهای اضایافی را جذب می‌کنند. در واکنشگاه چرنوبیل در اثر از کار افتادن پمپهای خنک کننده دمای درونی واکنشگاه بالا رفته بود و تعدادی از این میله‌ها در اثر دمای زیاد خم شده بودند و به سهولت به داخل قلب واکنشگاه نفوذ نکردند و از آنجا فاجعه چرنوبیل پیش آمد. معمولاً جنس این میله‌ها از فلز کادمیم و یا بور می‌باشد.

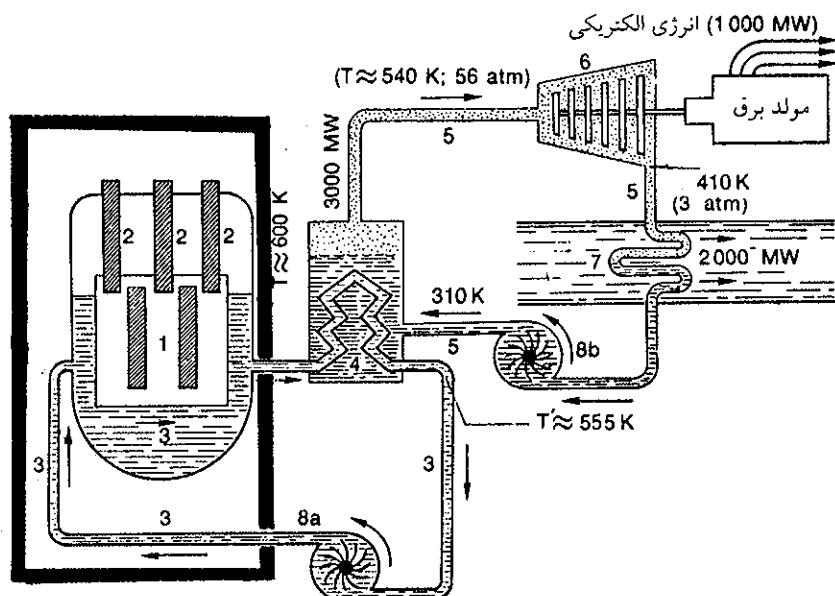
۴) مواد خنک کننده یا انتقال دهنده انرژی حرارتی. این مواد انرژی حاصل از شکست اورانیم را به خارج از واکنشگاه انتقال داده و توربینهای مولد برق را به حرکت در می‌آورند و پس از خنک شدن مجدداً به داخل واکنشگاه بر می‌گردند. باید یادآور شد که این مواد در مدار بسته و محدودی عمل می‌کنند و با خارج از محیط واکنشگاه تماسی ندارند. این مواد می‌توانند گاز (CO_2)، آب، آب سنگین، هلیم گازی و یا سدیم مذاب باشند. شکل (۱۴-۱۶)



شکل (۱۴-۱۶) نموداری از برش طولی یک سلول واکنشگاه در (۱) و نموداری از برش قطری چهار سلول و محل قرار گرفتن میله مهار کننده در بین آنها در (۲). ۱) ماده سوخت ۲) نرم کننده ۳) میله مهار کننده ۴) مواد خنک کننده.

نمودار یکی از هزاران سلول واکنشگاه را نمایش می‌دهد. در داخل یک واکنشگاه اتمی باید پمپهای بسیار قوی برای انتقال مواد خنک کننده و مواد نرم کننده وجود داشته باشد، علاوه بر پمپهای اصلی باید پمپهای فرعی نیز در مدار وجود داشته باشند و بخصوص این پمپها باید به منابع مختلف انرژی متصل باشند. مثلًاً اگر پمپهای اصلی از برق تولیدی نیروگاه استفاده می‌کنند، پمپهای فرعی باید مثلاً از موتور دیزل و یا الترناتور دیگری تغذیه شوند. فاجعه چرنوبیل و تری میل آیلندر در پنسیلوانیا امریکا به علت نقص فنی در پمپها اتفاق افتاد.

در شکل (۱۴-۱۷) به طور شماتیک نموداری از یک نیروگاه اتمی که خنک کننده و نرم کننده آن آب معمولی در فشار ۱۵۵ آتمسفر و ۶۰۰ درجه مطلق کار می‌کند داده شده است. قدرت این نیروگاه سه هزار مگاوات حرارتی است که راندمان تبدیل حرارتی به الکتریکی $\frac{1}{3}$ یعنی هزار مگاوات است.

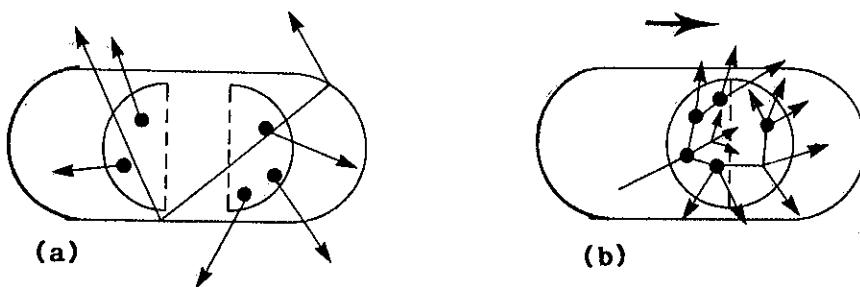
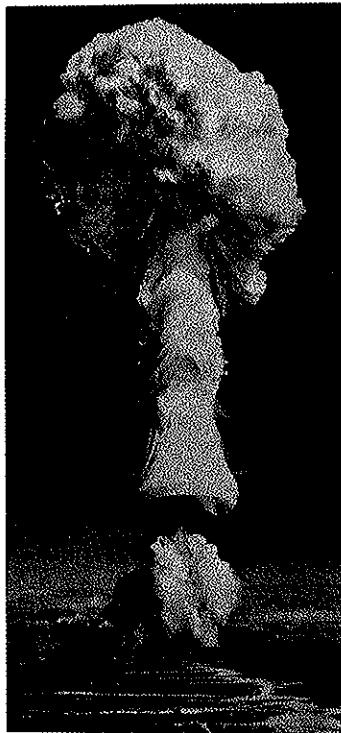


شکل (۱۴-۱۷) نموداری از یک نیروگاه اتمی به قدرت ۳ هزار مگاوات حرارتی. ۱) قلب واکنشگاه مشکل از مبلدهای اورانیم اکسید غنی شده. ۲) میله‌های مهار کننده مشکل از کادمیم. ۳) مدار اول خنک کننده و نرم کننده در فشار ۱۵۵ جو. ۴) تعویض کننده حرارت و ایجاد بخار آب ۵۴۰ درجه مطلق تحت فشار ۵۶ جو. ۵) مدار ثانوی. ۶) توربین که آلتراتور را به حرکت می‌اندازد. ۷) جربان آب جاری که مدار ثانوی را خنک می‌کند و فشار آنرا پایین می‌آورد. ۸) پمپ اول با جربان ۱۳ تن در ثانیه (۸a) و پمپ ثانوی با جربان ۴ تن در ثانیه (۸b). جدار خارجی واکنشگاه از فولاد به قطر ۲۰ سانتیمتر درست شده است.

A) بمب اتمی

بمب اتمی معمولاً متشکل از چند تکه اورانیم ۲۳۵ غنی شده و یا پلوتونیم ۲۳۹، به جرم‌های کمتر از جرم بحرانی است. اگر در داخل این تکه‌ها واکنش شکست هم اتفاق افتد به علت کوچک بودن *kef* انفجار در آنها رخ نمی‌دهد، شکل (۱۴-۱۸). اگر به طور ناگهانی تکه‌ها به هم نزدیک شوند و جرم مجموع آنها از جرم بحرانی بیشتر گردد و بخصوص اگر

منبع تولید کننده نوترون نیز در بین توده‌ها وجود داشته باشد (مثلاً رادیم و برلیم هم زمان با بهم نزدیک شدن توده‌ها با یکدیگر مخلوط شوند) و اکنش زنجیره‌ای شروع می‌شود و در کمتر از چند میکرو ثانیه یک میلیونیم جرم توده اورانیم یا پلوتونیم طبق رابطه اینشتین $E = mc^2$ تبدیل به انرژی می‌شود شکل (۱۴-۱۸).

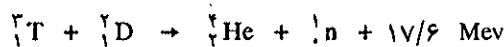


شکل (۱۴-۱۸) شکل فرضی از بمب اتمی (a) قبل از انفجار (b) تکدها بهم پیوسته و واکنش زنجیره‌ای شروع می‌شود.

غالباً انرژی آزاد شده را بر حسب تن TNT بیان می‌کنند. انرژی آزاد شده از بمب هیروشیما Hiroshima در ۶ اوت سال ۱۹۴۵ معادل با ۲۰ تن T.N.T بود که باعث مرگ یکصد هزار نفر از ساکنان این شهر شد.

Fusion (پیوست)

با توجه به شکل (۱۴-۱۴) متوجه می‌شویم که انرژی پیوند عناصر سبک نظری هیدروژن، دوتریم، تریتیم و لیتیم از انرژی پیوند سایر عناصر کمتر است بنابراین اتحاد آنها با همیگر انرژی زا می‌باشد. مثلاً پیوست تریتیم با دوتریم منجر به تولید هلیم و آزاد شدن ۱۷/۶ میلیون الکترون ولت در مقیاس اتمی می‌شود.



انرژی پیوند در دوتریم و تریتیم به مرتبه کمتر از انرژی پیوند در هلیم است: در $_1^3T$ انرژی پیوست به آزاء هر نوکلئون $-1/11 \text{ Mev}$ و در $_1^2D$ $-2/73 \text{ Mev}$ است و حال آنکه در هلیم $-V \text{ Mev}$ می‌باشد. اگر اختلاف انرژی پیوند فراورده و مواد اولیه را بنویسیم خواهیم داشت:

$$\Delta E = E_b - E_{b_0} \quad (\text{فرارورده})$$

$$\Delta E = -4 \times V - (-3 \times 2/73 - 2 \times 1/11)$$

$$\Delta E = -17/6 \text{ Mev}$$

محاسبه به کمک اختلاف جرم فراورده و مواد اولیه همین مقدار را به دست می‌دهد.

$$\Delta E = [M_{He} + M_n - (M_T + M_D)] 931/4 \text{ Mev}$$

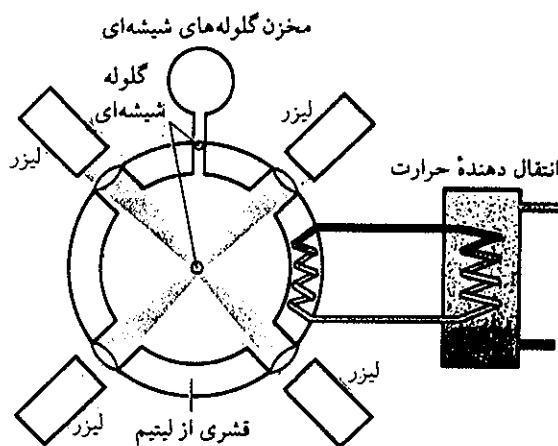
واکنش پیوست اتمهای سبک موقعی انجام می‌گیرد که اتمهای شرکت کننده در واکنش

انرژی جنبشی بسیار زیادی داشته باشند در واقع انرژی فعال کننده در مورد آنها در دمای بیش از ده میلیون درجه سانتیگراد تأمین می‌شود. در داخل خورشید و ستارگان در اثر جرم بسیار زیاد و درنتیجه نیروی گرانش بی‌نهایت زیاد حاصل از آن، اتمهای را که در مرکز واقع شده‌اند آنقدر به هم فشرده و نزدیک می‌کنند که دمای حاصله از دافعه کولنی هسته‌ها از ده میلیون درجه تجاوز خواهد کرد و واکنش پیوست درون ستاره شروع می‌شود.

متاسفانه هنوز بشر قادر به کنترل واکنش پیوست نشده است. در مقایسه آزمایشگاهی و به کمک پرتوهای لیزر و یا در درون پلاسمایی با دمای صد میلیون درجه مطلق توانسته‌اند واکنش پیوست را انجام دهند. واکنش به کاربرده شده در روشن لیزر همان پیوست در دو تریم با ترتیب است



اصول روشن مبتنی بر تابش هم آهنگ پرتوهای لیزر بر روی گلوله‌ای شیشه‌ای بسیار کوچک به قطر ۱۰۰ میکرومتر است در مرکز این گلوله مخلوط فشرده $\text{T}+\text{D}$ نهاده شده است. انرژی پرتوهای لیزر گلوله را منفجر کرده قسمتی از موج فشار مکانیکی شکست گلوله به سوی خارج بوده و از بین می‌رود، بخشی از فشار شکست به داخل نفوذ می‌نماید و باعث افزایش فشار درونی پلاسمای $\text{D}+\text{T}$ می‌شود و درنتیجه واکنش پیوست در آن انجام می‌گیرد. در شکل (۱۴-۱۹) اصول جمع‌آوری حرارت ایجاد شده در حین انجام واکنش پیوست به وسیله لیزر داده شده است.



شکل (۱۴-۱۹) واکنشگاهی براساس پیوست اتمهای سبک به کمک لیزر. گلوله‌های متراکم از مخزن به مرکز فرستاده می‌شوند که در آنجا در اثر تابش پرتوهای لیزر شکسته می‌شوند. موج انفجار سبب پیوست اتمهای سبک شده و نوترون‌های حاصل از واکنش در قشری از لیتیم متوقف می‌شوند. انتقال حرارت به کمک لوله‌های مارپیچ به سوی خارج از واکنشگاه انجام می‌گیرد.

روش دیگر توکاماک (Tokamak) نامیده می‌شود و در پلاسمایی متشکل از هسته‌های یونیده لیتیم و دوتیریم به دمایی معادل یکصد میلیون درجه که بوسیله میدان مغناطیسی بسیار زیادی در مرکز و بدون تماس با قشر خارجی نگه داشته شده است، واکنش پیوست انجام می‌گیرد.

با توجه به اینکه واکنش شکست اورانیم پرخطر و غالباً توأم با حادثی از قبیل چرنوبیل و تری میل ایلنده است و بخصوص نگهداری و انشاشه شدن فراورده‌های حاصل از شکست که غالباً ایزوتوپهای پرتوزای خطرناک نظیر سریم^{۱۷۷} و استرانسیم^{۹۰} با نیمه عمرهایی در حدود سال است و کره زمین را آلوده می‌کنند. بهنظر می‌رسد که واکنش پیوست کم خطر و به مراتب بهتر و تمیزتر باشد و امید می‌رود که بزودی جانشین نیروگاههای اتمی کنونی شود. در پدیده پیوست ایزوتوپهای پرتوزای خطرناک به وجود نمی‌آید و انرژی حاصل در وزن مساوی بیشتر از انرژی حاصل از شکست اورانیم است.

د) اثر پرتوها بر روی موجودات زنده

فراورده‌های حاصل از شکست اورانیم غالباً نشر دهنده پرتوهای β^- و γ هستند. ایزوتوپ پرتوزای طبیعی بخصوص سنگ معدن اورانیم نشر دهنده پرتوهای α با انرژی زیاد و پرتوهای β^- می‌باشند. پرتوهای β^- , β^+ , α و γ مولکولهای موجود در سلولهای زنده را یونیده می‌کنند. عمل یونش عبارتست از کنند الکترون از مولکولی و باقی گذاشتن بار مثبت بر روی بقیه مولکول است. اثر پرتوهای فوق بر روی مولکول آب به صورت زیر خلاصه می‌شود.



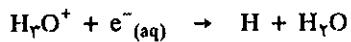
این عمل را یونش مولکول آب گویند که در نتیجه آن مولکول تبدیل به یون مثبت و الکترون می‌گردد و الکترون حاصل غالب اوقات مولکولهای دیگر را یونیده می‌کند. این است که در اثر ورود یک پرتو فراخور انرژی آن، چندین هزار مولکول آب یونیده می‌شوند. مولکولهای آب نمی‌توانند این یونش را تحمل کنند لذا تجزیه می‌شوند.



جمع جبری واکنش (1) و (2) در محیط خنثی عبارتست از:



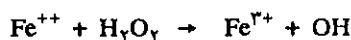
اگر انرژی الکترون کافی باشد می‌تواند باز مولکولهای دیگر را یونیده کند و گزنه در محیط اسیدی با یون هیدرونیم ترکیب شده و رادیکال آزاد H تولید می‌کند.



بنابراین در محیط خنثی رادیکالهای OH و در محیط اسید رادیکالهای OH و H به وجود می‌آیند. در سال ۱۹۵۴ در ضمن رادیولیز محلولهای آبی مشاهده کردند که علاوه بر رادیکالهای آزاد فراورده‌های مولکولی H_2 و H_2O_2 نیز تولید می‌شوند و غلظت آنها مستقل از غلظت جسم حل شده است.

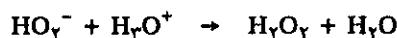
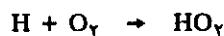


اگر در محلول آبی املاحی از قبیل Fe^{++} یا اکسیژن به صورت محلول وجود داشته باشد واکنشهای متعددی بر روی آنها انجام می‌گیرد منجمله:





یعنی در واقع یک مولکول آب اکسیژن مستقیماً دو یون آهن (II) را اکسید می‌کند ولی H_2 اثری ندارد. و نیز چون اکسیژن به صورت محلول وجود دارد رادیکالهای H که در محیط اسیدی تولید شده‌اند بر روی اکسیژن اثر گذاشته:



و چون محلول اسیدی است لذا:



بنابراین رادیکال H_2O_2 سه یون آهن (II) را اکسید می‌کند. رادیکالهای H و OH بسیار اکسیده هستند و اغلب مواد معدنی و یا آلی را اکسید می‌کنند.

قسمت اعظم سلولهای بدن ما در محیط آب زندگی می‌کنند. رادیکالهای OH ، H و یا مولکول H_2O_2 در داخل سلولها تغییرات فراوانی به وجود می‌آورند. سیستم تنفسی ما به کمک درشت مولکولهای هموگلوبین (Hémoglobin) عمل انتقال اکسیژن را انجام می‌دهند. در موقع جذب اکسیژن هوا، یون آهن که به صورت (Fe^{++}) در درون مولکول وجود دارد مبدل به یون (Fe^{++}) می‌شود و در این حال مولکول را اکسی هموگلوبین گویند. بنابراین اثر پرتوها کارسیستم گردش خون را مختل می‌سازد. بخصوص گلوبولهای سفید یعنی مدافعان بدن را از بین می‌برند. تغییرات فراوانی بر روی DNA و آنزیم‌ها و پروتئین‌ها ایجاد می‌کنند. H_2O_2 پیوند هیدروژن را در مولکولهای آلی و بخصوص در مولکول DNA از بین برده و خاصیت مشابه‌سازی آنرا از بین می‌برد. مولکولهای قند را از مولکولهای فسفات موجود در DNA جدا کرده و در نتیجه مانع فرامین DNA در درون سلولها و در نتیجه مانع تقسیم سلولی آن می‌شود. انواع و اقسام تغییرات ایجاد شده بینهایت زیاد و از حوصله این کتاب خارج است. تعداد زوج یون مثبت و الکترون ایجاد شده در اثر پرتوهای مختلف را در جدول (۱۴-۴) داده‌ایم.

تعداد یونهای ایجاد شده بر روی سلولهای زنده در هر سانتی‌متر مکعب بر اثر ورود یکی از ذرات زیر	
شکست یک هست اورانیم	۱۵۰۰۰۰
یک ذره حاصل از تجزیه سنگ معدن اورانیم	۴۰۰۰
یک نوترون سریع حاصل از شکست اورانیم	۱۰۰۰
پرتوهای γ و β بسیار قوی	۸۰
پرتوهای γ و β حاصل از فرآورده‌های شکست	۱۰

جدول (۱۴-۴) اثر ذرات و پرتوها بر روی سلولهای زنده

(۸) مقدار سنجی یا دوزیمتری Dosimetry

واحدهای مختلفی برای تعیین مقدار انرژی جذب شده و یا منتشر شده در ماده وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

راد (Rad) عبارتست از $100 \text{ erg} / \text{g}$ ایک انرژی منتشر شده و یا جذب شده در یک گرم^۱ و چون هر الکترون ولت معادل با $1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ است لذا یک راد معادل با:

$$\frac{100 \text{ erg}}{1.6 \times 10^{-12} \text{ ev}} = 6.2 \times 10^{13} \text{ ev/g}$$

در مورد موجودات زنده این و احمد برسی یکصدم ژول انرژی جذب شده به وسیله مر کیلوگرم بافت زنده است و عملاً هر دو تعریف یکی است زیرا صد ارگ معادل با 10^{-5} ژول بر گرم و برای یک کیلوگرم همان یکصدم ژول می‌شود.

$$(\text{ارزش برابری دوز} = \text{مقدار پرتو جذب شده} \times \text{ضریب نوع پرتو})$$

ضریب نوع پرتو مناسب با تعداد زوج الکترون و یون مثبتی است که پرتو ایجاد می‌کند و با توجه به جدول (۴-۱۴) و در نظر گرفتن حداکثر مسافت طی شده به وسیله ذره، مشخص می‌شود. ضریب نوع پرتو برای پرتوهای γ ، β (قوی) و β (ضعیف) یک و برای پرتوهای α معادل با ۲۰ است.

واحدی که ارزش برابری دوز را مشخص می‌نماید غالباً با Rem تعریف می‌کنند. Rem بر حسب زمان تأثیر پرتو بر روی بافت زنده بیان می‌شود که معمولاً آنرا زمان تابش دهی Irradiation می‌نامند. بنابراین Rem بر حسب واحد زمان (ساعت) تعریف می‌شود. واحدهای کوچکتر آن یک هزارم یا mRem ساعت است. یک راد پرتو α برابر ۲۰ راد پرتو γ یا β -که برابر با ۲۰ Rem است. صد برابر Rem را به عنوان Sievert با علامت اختصاری S.V. در مواردی که مقدار پرتو زیاد است به کار می‌برند.

واحد مطلق پرتوزایی تعداد تجزیه 10^{23} گرم رادیوم در هر ثانیه می‌باشد که عبارتست از 10^{10} Sievert تجزیه در ثانیه.

جدول (۴-۵) اثر مقدار پرتوها را بر حسب S.V. بر روی بدن انسان مشخص می‌کند.

احتمال مرگ	علام پیاری بدنه	علام ابتدا مرض	مقدار پرتو اصابت نموده به بدن
محیج	محیج	محیج	کمتر از ۱۸۷
صد درصد زنده و یک اگر عالم سرطان ظاهر شود بنای امکان معالجه	امکان ایجاد سرطان در مدتی بعد	اسفاراخ به مدت یک شبانه روز نماد گلبرلهای سفید به کمتر از ۱۰۰ در هر سانتیمتر مکعب می‌رسد	۲۱ SV
امکان مرگ زیاد معالجه غیر ممکن	عفونت مفراسخوان آسیب دیده	اسفاراخ در ظل سه چهار روز گلبرلهای سفید به کمتر از ۱۰۰ در هر سانتیمتر مکعب می‌رسد	۵۲ SV
امکان مرگ بسیار زیاد ممکن بدون غایده	خونریزی دستگاه گوارشی (معدن و روده ها) کاملاً از بین رنده	اسفاراخ بدون اقطع گلبرلهای سفید به کمتر از ۵۰ در هر سانتیمتر مکعب می‌رسد و عدم دفع بدن در مقابل یکدیگرها	۹۵ SV
احتمال مرگ صد درصد ممکن غیر ممکن	علاء و بیر امراض فرق سمیت عصی از بین رنده	علاء و بیر علام فرق اختلالات سیستم عصی گلبرلهای سفید به صفر رسیده	پیشتر از SV ۹

جدول ۴-۵ اثر پرتوها بر روی بدن انسان.

۱. مثلاً در مورد کیالت ^{60}Co که دو پرتو ۷۱ و ۷۲ به انرژی مجموع $2/5 \text{ MeV}$ دارد و اینکه $6/2 \times 10^{13} \text{ ev}$

در جدول (۱۴-۶) مقدار پرتوهای مختلفی که از منابع مختلف به بدن ما اصابت می‌کنند گنجانده شده است به کمک این جدول می‌توان مقدار پرتوهایی را که در سال به بدن ما اصابت می‌کند حساب کرد.

منابع پرتوها	مقدار پرتوها		
پرتوهای کیهانی	28 mRem در سال	در کنار دریاها... باید 3 mRem بر این مقدار در هر 150 متر افزود	محل سکونت
پرتوهای حاصل از رادیو ایزوتوپهای طبیعی که در انواع مختلف مواد تشکیل دهنده زمینی که در آن خانه داریم وجود دارند	30 mRem در سال 50 mRem در سال 120 mRem در سال	نواحی: کجی دار رسوبی سنگ خواری	
پرتوهای حاصل از رادیو ایزوتوپهای طبیعی موجود در مواد ساختمانی مازل ما	1 mRem در سال 1 mRem در سال 20 mRem در سال	نوع مازلی که در آن زندگی می‌کنیم: خانه های چوبی خانه های آجری خانه های سنگ خواری	
۱۴ پرتوهای سربوط به کربن C^{14} رادیواکتیو و پاتسیم K^{40} رادیواکتیو $_{19}$	20 mRem در سال	مواد معدنی، گوشت و سبزی ها	غذاهایی که مصرف می‌کنیم
پرتوهای کیهانی پرتوهای α و ماورای بخش رادیوایز و ترب مصنوعی پرتوهای کیهانی پرتوهای α	ساعت/ mRem $4 \text{ mRem}/\text{سال}$ $2 \text{ mRem}/\text{سال}$ $1 \text{ mRem}/\text{سال}$ $35 \text{ mRem}/\text{سال}$	هر مسافت هوانی تلوریون ساعت میمی با خفره های ظلورسانی ورزش زمستانی پک هفت در سال در ۲۰۰۰ متری یک آزمایش رادیولوژی	نوع زندگی
مواد زايد رآکتورها یا فرآورده های شکست اورانیم	$1 \text{ mRem}/\text{سال}$ $0.1 \text{ mRem}/\text{سال}$	در حاشیه در فاصله 10 کیلومتری	سکونت در نزدیکی نیروگاه اتمی
مواد زايد حاصل از شکست که به طور نصادفی به خارج رآکتور سراابت کرد	$100 \text{ mRem}/\text{ساعت}$	حراشی نیروگاه اتمی حادثه دیده	مرکز اتمی تری میل آبلند
فرآورده های حاصل از شکست اورانیم بسخوص سزیم و استرانسیم و در ماهماهی اول حادثه، یه رادیواکتیو افراد زیادی را مبتلا به سرطان غدد تیرورییدی نمود.	بیش از هزاران 137 Cs در شماع 55 mCi میلیون نفر در نواحی سری ببردن که رادیواکتیو آن بین 50 تا 500 کیلو متري زندگی نمود. خیر ممکن و در نواحی دیگر بسیار از 70 Rem	$2/5$ میلیون کیلومتر مربع آزاده به سزیم 131 در شماع 4 نسی بیش از 500 هزار نفر آزاده، 300 هزار نفر تحت مصالجه، تعداد تلفات 31 نفر، در سالهای آینده تلفات وافقی مشخص خواهد شد.	در 26 آوریل 1986 حادده رآکتور چرنوبیل 500 هزار نفر آزاده، 300 هزار نفر تلفات 31 نفر، در سالهای آینده تلفات وافقی مشخص خواهد شد.
ابرهای آزاده به مواد رادیواکتیو تمام شمال اروپا را آزاده کرده بود و تا مدت‌ها شیر و سبزی های خود را مصرف نمی‌گردند.			

معادل با 62 میلیون Mev می‌باشد و با توجه به رابطه $A = N^{\lambda}$ و نیمه عمر کیالت که $5/2$ سال است می‌توان گفت $62 \times 10^{-6} \text{ پرتو} / \text{سال} \times 6 \times 10^{-7} \text{ گرم کیالت می‌تواند در هر ثانیه یک رادیانزی منتشر کند،$ مراجعت شود به تمرین (۱۴-۱).

مطالب شیمی و فیزیک هسته‌ای بسیار متنوع و تا حدی مشکل و از حوصله این کتاب خارج است. در این خلاصه مقدمه‌ای بسیار مختصر و بدون بسط روابط ریاضی بیان شد و برای فهم بیشتر مطالب عنوان شده، دو تمرین حل شد و چندین تمرین حل نشده در پایان داده می‌شود، اما قبل از بیان تمرینها لازم است خاطر نشان نمود که واحد پرتوزایی کوری است. یک کوری عبارتست از $10^{-1} \text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ تجزیه در ثانیه و در وضعیت 4π ، این مقدار پرتوزایی متناسب با فعالیت $10^3 \text{Bq} = 1 \text{Ci}$ است.

واحدهای کوچکتر عبارتند از میکروکوری و میلی کوری

$$\text{ثانیه / تجزیه} = 10^{-3} \text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$$

$$\text{ثانیه / تجزیه} = 10^{-6} \text{Ci} = 3.7 \times 10^3 \text{Bq}$$

تمرین (۱۴-۳) - یک نمونه از رادیو پلوتونیم تشکیل شده از ایزوتوپهای پرتوزای ^{94}Pu و ^{92}Pu فعالیت یک میلی گرم از محلول برابر با $10^8 \text{Ci} = 3.7 \times 10^{18} \text{Bq}$ تجزیه در دقیقه می‌باشد، نسبت درصد ایزوتوپی چیست؟ نیمه عمر ^{94}Pu برابر با $2.436 \times 10^7 \text{سال}$ و نیمه عمر ^{92}Pu برابر با $5.8 \times 10^6 \text{سال}$ است.

تمرین (۱۴-۲) - یک نوع سنگ معدن اورانیم یک درصد وزنی ^{92}U دارد. وزن ^{88}Ra موجود در یک تن سنگ معدن چقدر است؟ فرض اینکه ^{88}Ra در حال تعادل با اورانیم می‌باشد (یعنی فعالیت یا سرعت تجزیه دو ایزوتوپ پرتوزا باهم برابر است) $\text{Au} = \text{ARa}$ نیمه عمر ^{92}U برابر با عمر زمین $4.51 \times 10^9 \text{سال}$ و نیمه عمر رادیوم 1.622سال است.

حل:

$$\begin{cases} A(Pu^{94}) + A(Pu^{92}) = 1/10^8 \\ P(Pu^{94}) + P(Pu^{92}) = 1 \times 10^{-3} \text{ gr} \end{cases}$$

$$^{92}\text{U} \rightarrow ^{88}\text{Ra}$$

$$P(^{92}\text{U}) = 1000 \times \frac{1}{100} = 10 \text{ Kg} = 10^4 \text{ gram}$$

$$\begin{cases} \lambda(Pu^{94}) \cdot N(Pu^{94}) + \lambda(Pu^{92}) \cdot N(Pu^{92}) = 10^8 \\ P(Pu^{94}) + P(Pu^{92}) = 10^{-3} \text{ gr} \end{cases}$$

$$N(^{92}\text{U}) = \frac{P \cdot N}{M} = \frac{10^4 \times 6 / 0.3 \times 10^{23}}{238} =$$

$$= 2.03 \times 10^{20} \text{ atoms}$$

دو معادله و دو مجهول وجود دارد لذا با نهادن مقادیر در دو معادله فوق وزن دو ایزوتوپ پرتوزا به دست می‌آید:

$$P(Pu^{94}) = 92/100 \times 10^{-3} \text{ gr}$$

$$A(^{92}\text{U}) = A(^{88}\text{Ra})$$

$$P(Pu^{92}) = 8/100 \times 10^{-3} \text{ gr}$$

$$\lambda U \cdot N U = \lambda Ra \cdot N Ra$$

یا

و از آنجا نسبت درصد ایزوتوپی آنها:

$$N Ra^{88} = \frac{N U^{92} \cdot \lambda U^{92}}{\lambda Ra^{88}} = \frac{N U^{92} \cdot T Ra^{88}}{T U^{92}}$$

$$N Ra^{88} = 2.03 \times 10^{20} \times \frac{1.622}{4.51 \times 10^9}$$

$$N Ra^{88} = 9.09 \times 10^{18} \text{ atoms}$$

$$P Ra^{88} = \frac{M \cdot N}{N} = \frac{226 \times 9.09 \times 10^{18}}{6.03 \times 10^{23}} = 2.3794 \times 10^{-3} \text{ gram}$$

یعنی هر تن سنگ معدن اورانیم محتوی 2.3794×10^{-3} میلی گرم رادیوم است.

تمرین (۱۴-۴) - فعالیت وزنهای مختلفی از ایزوتوپهای زیر برابر با یک میکروکوری است. تعداد اتمهای پرتوزا و وزن هریک را بر حسب میلی گرم تعیین کنید.

$$\begin{array}{l|l} {}_{100}\text{P}^{92} & {}_{11}\text{Na}^{22} \\ {}_{100}T_{1/4} = 12/3 & {}_{105}\text{Mn}^{56} \\ \text{ساعت } 15 & \text{ساعت } 1/4 \end{array}$$

یعنی هر تن سنگ معدن اورانیم محتوی 2.3794×10^{-3} میلی گرم رادیوم است.

کربن حاصله از درختی تازه قطع شا، و همنوع ثابت، ده تجزیه در دقیقه دارد.

$$\text{سال} = \frac{\text{روز}}{T_{1/2}} = \frac{5600}{T_{1/2}}$$

$${}^{12}\text{C}$$

$${}^{40}\text{Ca}$$

تمرین (۱۴-۹) - انرژی پیوند مجموع ${}^{12}\text{C}$ را حساب کنید.

تمرین (۱۴-۱۰) - چقدر انرژی آزاد یا جذب می‌شود اگر دو اتم ${}^{16}\text{O}$ با یکدیگر مجتماع شوند و ${}^{32}\text{S}$ تولید نمایند؟ زیادت جرم گوگرد ۲۲ نسبت به کربن ۱۲ برابر با $10^{11}/10^{26}$ میلیون الکترون ولت و زیادت جرم اکسیژن ۱۶ نسبت به کربن ۱۲ برابر با $4/736$ میلیون الکترون ولت است.

تمرین (۱۴-۱۱) - انرژی لازم برای تجزیه یک اتم ${}^{12}\text{C}$ به سه اتم ${}^4\text{He}$ را حساب کنید.

تمرین (۱۴-۱۲) - ${}^{221}\text{Pu}$ مقدار $52/823$ میلیون الکترون ولت اضافه بود جرم نسبت به کربن ۱۲ دارد. انرژی پیوند مجموع و انرژی پیوند هر نوکلئون آن را حساب کنید. جرم پلوتونیم چیست؟

تمرین (۱۴-۱۳) - آهن (${}^{56}\text{Fe}$) نسبت به کربن ۱۲ مقدار $6/101$ میلیون الکترون ولت نقصان جرم دارد. انرژی پیوند آن را حساب کنید. جرم دقیق ${}^{56}\text{Fe}$ چیست؟

تمرین (۱۴-۵) - در یک آزمایش هسته‌ای برای تهیه نوکلئید جدید، ماده به دست آمده 10^{-10} تجزیه ${}^{-\beta}$ در دقیقه دارد. وزن نوکلئید تهیه شده چقدر است؟ می‌دانیم نیمه عمر نوکلئید حاصل یک ساعت و عدد جرمی آن ۱۲۰ است.

تمرین (۱۴-۶) - اورانیم ${}^{239}\text{Np}$ با نیمه عمری برابر با $23/5$ دقیقه ${}^{239}\text{NP}$ تولید می‌نماید و ${}^{239}\text{Np}$ نیز با نیمه عمر $2/23$ روز ${}^{239}\text{Pu}$ تولید می‌نماید. نیمه عمر ${}^{239}\text{Pu}$ معادل با $10^{14}/43 \times 10^4$ سال است. اگر یک نمونه خالص از ${}^{239}\text{U}$ ، 10^{14} روز تجزیه در دقیقه داشته باشد فعالیت و وزن پلوتونیم بعد از $22/3$ روز چقدر است؟

تمرین (۱۴-۷) - ${}^{32}\text{P}$ با تجزیه ${}^{-\beta}$ تبدیل به ${}^{32}\text{S}$ می‌شود. نیمه عمر فسفر برابر با $14/3$ روز است. یک کوری ${}^{32}\text{P}$ بعد از یک روز چه وزنی ${}^{32}\text{S}$ تولید می‌نماید.

تمرین (۱۴-۸) - کربن حاصل شده از چوب ثابت یک مصری $7/26$ تجزیه در دقیقه و بهازای هر گرم دارد عمر ثابت چیست؟ می‌دانیم

جدولهای ضمیمه ۱

جدول شماره ۱ اطلاعات ترمودینامیکی برخی از عناصر و ترکیبات در ۲۵°C

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	S° (J/mol K)	ΔG_f° (kJ/mol)
Aluminum			
Al(s)	0	28.3	0
Al ³⁺ (aq)	-524.7	—	-481.2
AlCl ₃ (s)	-704	110.7	-629
Al ₂ O ₃ (s)	-1676	51.0	-1577
Al ₂ (SO ₄) ₃ (s)	-3441	239	-3100
Arsenic			
As(s)	0	35.1	0
AsH ₃ (g)	+66.4	223	+68.9
As ₄ O ₆ (s)	-1314	214	-1153
As ₂ O ₅ (s)	-925	105	-782
H ₃ AsO ₃ (aq)	-742.2	—	—
H ₃ AsO ₄ (aq)	-902.5	—	—
Barium			
Ba(s)	0	66.9	0
Ba ²⁺ (aq)	-537.6	9.6	-560.8
BaCO ₃ (s)	-1219	112	-1139
BaCrO ₄ (s)	-1428.0	—	—
BaCl ₂ (s)	-860.2	125	-810.8

۱. این جدولها از کتاب زیر اقتباس شده‌اند:

James. E. Brady, *General Chemistry*, John Wiley & Sons, 1990.

دنباله جدول شماره ۱

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	S° (J/mol K)	ΔG_f° (kJ/mol)
BaO(s)	-553.5	70.4	-525.1
Ba(OH) ₂ (s)	-998.22	95	-875.3
Ba(NO ₃) ₂ (s)	-992	214	-795
BaSO ₄ (s)	-1465	132	-1353
Beryllium			
Be(s)	0	9.50	0
BeCl ₂ (s)	-468.6	89.9	-426.3
BeO(s)	-611	14	-582
Bismuth			
Bi(s)	0	56.9	0
BiCl ₃ (s)	-379	177	-315
Bi ₂ O ₃ (s)	-576	151	-497
Boron			
B(s)	0	5.87	0
BCl ₃ (g)	-404	290	-389
B ₂ H ₆ (g)	+36	232	+87
B ₂ O ₃ (s)	-1273	53.8	-1194
B(OH) ₃ (s)	-1094	88.8	-969
Bromine			
Br ₂ (l)	0	152.2	0
Br ₂ (g)	+30.9	245.4	+3.11
HBr(g)	-36	198.5	-53.1
Br ⁻ (aq)	-121.55	82.4	-103.96
Cadmium			
Cd(s)	0	51.8	0
Cd ²⁺ (aq)	-75.90	-73.2	-77.61
CdCl ₂ (s)	-392	115	-344
CdO(s)	-258.2	54.8	-228.4
CdS(s)	-162	64.9	-156
CdSO ₄ (s)	-933.5	123	-822.6
Calcium			
Ca(s)	0	41.4	0
Ca ²⁺ (aq)	-542.83	-53.1	-553.58
CaCO ₃ (s)	-1207	92.9	-1128.8
CaF ₂ (s)	-741	80.3	-1166
CaCl ₂ (s)	-795.8	104.6	-748.1
CaBr ₂ (s)	-682.8	130	-663.6
CaI ₂ (s)	-535.9	143	—
CaO(s)	-635.5	39.8	-604.2
Ca(OH) ₂ (s)	-986.6	76.1	-896.6
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (s)	-4119	241	-3852
CaSO ₃ (s)	-1156	—	—
CaSO ₄ (s)	-1433	107	-1320.3
CaSO ₄ ·½H ₂ O(s)	-1573	131	-1435.2
CaSO ₄ ·2H ₂ O(s)	-2020	194.0	-1795.7
Carbon			
C(s, graphite)	0	5.69	0
C(s, diamond)	+1.88	2.4	+2.9
CCl ₄ (l)	-134	214.4	-65.3
CO(g)	-110	197.9	-137.3
CO ₂ (g)	-394	213.6	-395
CO ₂ (aq)	-413.8	117.5	-386.02

دنبالة جدول شمارة ١

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	S° (J/mol K)	ΔG_f° (kJ/mol)
$\text{H}_2\text{CO}_3(aq)$	-699.65	187.4	-623.16
$\text{HCO}_3^-(aq)$	-691.99	91.2	-586.77
$\text{CO}_3^{2-}(aq)$	-677.14	-56.9	-527.81
$\text{CS}_2(l)$	+89.5	151.3	+65.3
$\text{CS}_2(g)$	+117	237.7	+67.2
$\text{HCN}(g)$	+135.1	201.8	+124.7
$\text{CN}^-(aq)$	+150.6	94.1	+172.4
$\text{CH}_4(g)$	-74.9	186.2	-50.6
$\text{C}_2\text{H}_2(g)$	+227	200.8	+209
$\text{C}_2\text{H}_4(g)$	+51.9	219.8	+68.2
$\text{C}_2\text{H}_6(g)$	-84.5	229.5	-32.9
$\text{C}_3\text{H}_8(g)$	-104	269.9	-23
$\text{C}_4\text{H}_{10}(g)$	-126	310.2	-17.0
$\text{C}_6\text{H}_6(l)$	+49.0	173.3	+124.3
$\text{CH}_3\text{OH}(l)$	-238	126.8	-166.2
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$	-278	160.7	-174.8
$\text{HCHO}_2(g)$ (formic acid)	-363	251	+335
$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2(l)$ (acetic acid)	-487.0	159.8	-392.5
$\text{CH}_2\text{O}(g)$ (formaldehyde)	-108.6	218.8	-102.5
$\text{CH}_3\text{CHO}(g)$ (acetaldehyde)	-167	250	-129
$(\text{CH}_3)_2\text{CO}(l)$ (acetone)	-248.1	200.4	-155.4
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}(s)$ (benzoic acid)	-385.1	167.6	-245.3
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2(s)$ (urea)	-333.5	104.6	-197.2
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2(aq)$	-319.2	173.8	-203.8
$\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}(s)$ (glycine)	-532.9	103.5	-373.4
Chlorine			
$\text{Cl}_2(g)$	0	223.0	0
$\text{Cl}^-(aq)$	-167.2	56.5	-131.2
$\text{HCl}(g)$	-92.5	186.7	-95.4
$\text{HCl}(aq)$	-167.2	56.5	-131.2
$\text{HClO}(aq)$	-131.3	106.8	-80.21
Chromium			
$\text{Cr}(s)$	0	23.8	0
$\text{Cr}^{3+}(aq)$	-232	—	—
$\text{CrCl}_2(s)$	-326	115	-282
$\text{CrCl}_3(s)$	-563.2	126	-493.7
$\text{Cr}_2\text{O}_3(s)$	-1141	81.2	-1059
$\text{CrO}_3(s)$	-585.8	72.0	-506.2
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7(s)$	-1807	—	—
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7(s)$	-2033.01	292.5	-1864
Cobalt			
$\text{Co}(s)$	0	30.0	0
$\text{Co}^{2+}(aq)$	-59.4	-110	-53.6
$\text{CoCl}_2(s)$	-325.5	106	-282.4
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2(s)$	-422.2	192	-230.5

دنباله جدول شماره ۱

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	S° (J/mol K)	ΔG_f° (kJ/mol)
CoO(s)	-237.9	53.0	-214.2
CoS(s)	-80.8	67.4	-82.8
Copper			
Cu(s)	0	33.15	0
Cu ²⁺ (aq)	+64.77	-99.6	+65.49
CuCl(s)	-137.2	86.2	-119.87
CuCl ₂ (s)	-172	119	-131
Cu ₂ O(s)	-168.6	93.1	-146.0
CuO(s)	-155	42.6	-127
Cu ₂ S(s)	-79.5	121	-86.2
CuS(s)	-53.1	66.5	-53.6
CuSO ₄ (s)	-771.4	109	-661.8
CuSO ₄ · 5H ₂ O(s)	-2279.7	300.4	-1879.7
Fluorine			
F ₂ (g)	0	202.7	0
F ⁻ (aq)	-332.6	-13.8	-278.8
HF(g)	-271	173.5	-273
Gold			
Au(s)	0	47.7	0
Au ₂ O ₃ (s)	+80.8	125	+163
AuCl ₃ (s)	-118	148	-48.5
Hydrogen			
H ₂ (g)	0	130.6	0
H ₂ O(l)	-286	69.96	-237.2
H ₂ O(g)	-242	188.7	-228
H ₂ O ₂ (l)	-187.8	109.6	-120.3
H ₂ Se(g)	+76	219	+62.3
H ₂ Te(g)	+154	234	+138
Iodine			
I ₂ (s)	0	116.1	0
I ₂ (g)	+62.4	260.7	+19.3
HI(g)	+26	206	+1.30
Iron			
Fe(s)	0	27.3	0
Fe ²⁺ (aq)	-89.1	-137.7	-78.9
Fe ³⁺ (aq)	-48.5	-315.9	-4.7
Fe ₂ O ₃ (s)	-822.2	87.4	-741.0
Fe ₃ O ₄ (s)	-1118.4	146.4	-1015.4
FeS(s)	-100.0	60.3	-100.4
FeS ₂ (s)	-178.2	52.9	-166.9
Lead			
Pb(s)	0	64.8	0
Pb ²⁺ (aq)	-1.7	10.5	-24.4
PbCl ₂ (s)	-359.4	136	-314.1
PbO(s)	-217.3	68.7	-187.9
PbO ₂ (s)	-277	68.6	-219
Pb(OH) ₂ (s)	-515.9	88	-420.9
PbS(s)	-100	91.2	-98.7
PbSO ₄ (s)	-920.1	149	-811.3
Lithium			
Li(s)	0	29.1	0
Li ⁺ (aq)	-278.6	10.3	-

دبلة جدول شارة ١

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	S° (J/mol K)	ΔG_f° (kJ/mol)
LiF(s)	-611.7	35.7	-583.3
LiCl(s)	-408.8	59.33	-384.4
LiBr(s)	-350.3	66.9	-338.87
Li ₂ O(s)	-596.5	37.9	-560.5
Li ₃ N(s)	-199	37.7	-155.4
Magnesium			
Mg(s)	0	32.5	0
Mg ²⁺ (aq)	-466.9	-138.1	-454.8
MgCO ₃ (s)	-1113	65.7	-1029
MgF ₂ (s)	-1113	79.9	-1056
MgCl ₂ (s)	-641.8	89.5	-592.5
MgCl ₂ · 2H ₂ O(s)	-1280	180	-1118
Mg ₃ N ₂ (s)	-463.2	87.9	-411
MgO(s)	-601.7	26.9	-569.4
Mg(OH) ₂ (s)	-924.7	63.1	-833.9
Manganese			
Mn(s)	0	32.0	0
Mn ²⁺ (aq)	-223	-74.9	-228
MnO ₄ ⁻ (aq)	-542.7	191	-449.4
KMnO ₄ (s)	-813.4	171.71	-737.6
MnO(s)	-385	60.2	-363
Mn ₂ O ₃ (s)	-959.8	110	-882.0
MnO ₂ (s)	-520.9	53.1	-466.1
Mn ₃ O ₄ (s)	-1387	149	-1280
MnSO ₄ (s)	-1064	112	-956
Mercury			
Hg(l)	0	76.1	0
Hg(g)	+61.32	175	+31.8
Hg ₂ Cl ₂ (s)	-265.2	192.5	-210.8
HgCl ₂ (s)	-224.3	146.0	-178.6
HgO(s)	-90.83	70.3	-58.54
HgS(s,red)	-58.2	82.4	-50.6
Nickel			
Ni(s)	0	30	0
NiCl ₂ (s)	-305	97.5	-259
NiO(s)	-244	38	-216
NiO ₂ (s)	—	—	-199
NiSO ₄ (s)	-891.2	77.8	-773.6
NiCO ₃ (s)	-664.0	91.6	-615.0
Ni(CO) ₄ (g)	-220	399	-567.4
Nitrogen			
N ₂ (g)	0	191.5	0
NH ₃ (g)	-46.0	192.5	-16.7
NH ₄ ⁺ (aq)	-132.5	113	-79.37
N ₂ H ₄ (l)	+50.6	121.2	+149.4
NH ₄ Cl(s)	-314.4	94.6	-202.9
NO(g)	+90.4	210.6	+86.8
NO ₂ (g)	+34	240.5	+51.9
N ₂ O(g)	+81.5	220.0	+103.6
N ₂ O ₄ (g)	+9.16	304.3	+97.9
N ₂ O ₅ (g)	+11	356	+115
HNO ₃ (l)	-174.1	155.6	-79.9
NO ₃ ⁻ (aq)	-205.0	146.4	-108.74

دatabale جدول شماره ١

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	S° (J/mol K)	ΔG_f° (kJ/mol)
Oxygen			
$O_2(g)$	0	205.0	0
$O_3(g)$	+143	238.8	+163
$OH^-(aq)$	-230.0	-10.75	-157.24
Phosphorus			
$P(s, white)$	0	41.09	0
$P_4(g)$	+314.6	163.2	+278.3
$PCl_3(g)$	-287.0	311.8	-267.8
$PCl_5(g)$	-374.9	364.6	-305.0
$PH_3(g)$	+5.4	210.2	+12.9
$P_4O_6(s)$	-1640	—	—
$P_4O_{10}(s)$	-2984	228.9	-2698
$H_3PO_4(s)$	-1279	110.5	-1119
Potassium			
$K(s)$	0	64.18	0
$K^+(aq)$	-252.4	102.5	-283.3
$KF(s)$	-567.3	66.6	-537.8
$KCl(s)$	-436.8	82.59	-409.1
$KBr(s)$	-393.8	95.9	-380.7
$KI(s)$	-327.9	106.3	-324.9
$KOH(s)$	-424.8	78.9	-379.1
$K_2O(s)$	-361	98.3	-322
$K_2SO_4(s)$	-1433.7	176	-1316.4
Silicon			
$Si(s)$	0	19	0
$SiH_4(g)$	+33	205	+52.3
$SiO_2(s, alpha)$	-910.0	41.8	-856
Silver			
$Ag(s)$	0	42.55	0
$Ag^+(aq)$	+105.58	72.68	+77.11
$AgCl(s)$	-127.1	96.2	-109.8
$AgBr(s)$	-100.4	107.1	-96.9
$AgNO_3(s)$	-124	141	-32
$Ag_2O(s)$	-31.1	121.3	-11.2
Sodium			
$Na(s)$	0	51.0	0
$Na^+(aq)$	-240.12	59.0	-261.91
$NaF(s)$	-571	51.5	-545
$NaCl(s)$	-413	72.8	-384.0
$NaBr(s)$	-360	83.7	-349
$NaI(s)$	-288	91.2	-286
$NaHCO_3(s)$	-947.7	155	-851.9
$Na_2CO_3(s)$	-1131	136	-1048
$Na_2O_2(s)$	-504.6	94.6	-447.7
$Na_2O(s)$	-510	72.8	-376
$NaOH(s)$	-426.8	64.5	-379.5
$Na_2SO_4(s)$	-1384.49	149.6	-1270.2
Sulfur			
$S(s, rhombic)$	0	31.8	0
$SO_2(g)$	-297	248	-300
$SO_3(g)$	-396	256	-370
$H_2S(g)$	-20.6	206	-33.6

دنباله جدول شماره ۱

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	S° (J/mol K)	ΔG_f° (kJ/mol)
$H_2SO_4(l)$	-813.8	157	-689.9
$H_2SO_4(aq)$	-909.3	20.1	-744.5
$SF_6(g)$	-1209	292	-1105
Tin			
$Sn(s, white)$	0	51.6	0
$Sn^{2+}(aq)$	-8.8	-17	-27.2
$SnCl_4(l)$	-511.3	258.6	-440.2
$SnO(s)$	-285.8	56.5	-256.9
$SnO_2(s)$	-580.7	52.3	-519.6
Zinc			
$Zn(s)$	0	41.8	0
$Zn^{2+}(aq)$	-153.9	-112.1	-147.06
$ZnCl_2(s)$	-415.1	111	-369.4
$ZnO(s)$	-348.3	43.5	-318.3
$ZnS(s)$	-205.6	57.7	-201.3
$ZnSO_4(s)$	-982.8	120	-874.5

جدول شماره ۲ دمای تشکیل اتمهای گازی از عناصر آنها در شرایط استاندارد

Element	ΔH_f° (kJ mol ⁻¹) ^a	Element	ΔH_f° (kJ mol ⁻¹)
Group IA		Group IVA	
H	217.89	C	715
Li	161.5	Si	454
Na	108.2	Group VA	
K	89.62	N	472.68
Rb	82.0	P	332.2
Cs	78.2	Group VIA	
Group IIA		O	249.17
Be	327	S	276.98
Mg	146.4	Group VIIA	
Ca	178.2	F	79.14
Sr	163	Cl	121.47
Ba	177	Br	112.38
Group IIIA		I	107.48
B	555		
Al	329.7		

(a) تمام ارزش‌های داده شده در این جدول مثبت می‌باشند زیرا تشکیل اتمهای گازی از عناصرشان گرم‌گیر است.

جدول شماره ۳ انرژی پیوند متوسط

Bond	Bond Energy (kJ mol ⁻¹)	Bond	Bond Energy (kJ mol ⁻¹)
C—C	348	C—Br	276
C=C	607	C—I	238
C≡C	833	H—H	436

دنباله جدول شماره ۳

Bond	Bond Energy (kJ mol ⁻¹)	Bond	Bond Energy (kJ mol ⁻¹)
C—H	415	H—F	563
C—N	292	H—Cl	432
C≡N	619	H—Br	366
C≡N	879	H—I	299
C—O	356	H—N	391
C=O	724	H—O	463
C—F	484	H—S	338
C—Cl	338	H—Si	376

جدول شماره ۴ فشار بخار آب بر حسب تابعی از دما

Temp. (°C)	Vapor Pressure (torr)						
0	4.58	26	25.2	51	97.2	76	301.4
1	4.93	27	26.7	52	102.1	77	314.1
2	5.29	28	28.3	53	107.2	78	327.3
3	5.68	29	30.0	54	112.5	79	341.0
4	6.10	30	31.8	55	118.0	80	355.1
5	6.54	31	33.7	56	123.8	81	369.7
6	7.01	32	35.7	57	129.8	82	384.9
7	7.51	33	37.7	58	136.1	83	400.6
8	8.04	34	39.9	59	142.6	84	416.8
9	8.61	35	41.2	60	149.4	85	433.6
10	9.21	36	44.6	61	156.4	86	450.9
11	9.84	37	47.1	62	163.8	87	468.7
12	10.5	38	49.7	63	171.4	88	487.1
13	11.2	39	52.4	64	179.3	89	506.1
14	12.0	40	55.3	65	187.5	90	525.8
15	12.8	41	58.3	66	196.1	91	546.0
16	13.6	42	61.5	67	205.0	92	567.0
17	14.5	43	64.8	68	214.2	93	588.6
18	15.5	44	68.3	69	223.7	94	610.9
19	16.5	45	71.9	70	233.7	95	633.9
20	17.5	46	75.6	71	243.9	96	657.6
21	18.6	47	79.6	72	254.6	97	682.1
22	19.8	48	83.7	73	265.7	98	707.3
23	21.1	49	88.0	74	277.2	99	733.2
24	22.4	50	92.5	75	289.1	100	760.0
25	23.8					101	787.6

جدول شماره ٥ حاصلضرب انحلالي

نوع	واکنش تعادلی انحلال	K_{sp}
Fluorides		
MgF_2	$MgF_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	7.3×10^{-9}
CaF_2	$CaF_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	1.7×10^{-10}
SrF_2	$SrF_2(s) \rightleftharpoons Sr^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	2.9×10^{-9}
BaF_2	$BaF_2(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	1.7×10^{-6}
LiF	$LiF(s) \rightleftharpoons Li^+(aq) + F^-(aq)$	1.7×10^{-3}
PbF_2	$PbF_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	3.2×10^{-8}
Chlorides		
$CuCl$	$CuCl(s) \rightleftharpoons Cu^+(aq) + Cl^-(aq)$	1.9×10^{-7}
$AgCl$	$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$	1.7×10^{-10}
Hg_2Cl_2	$Hg_2Cl_2(s) \rightleftharpoons Hg_2^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$	2×10^{-18}
$TlCl$	$TlCl(s) \rightleftharpoons Tl^+(aq) + Cl^-(aq)$	1.8×10^{-4}
$PbCl_2$	$PbCl_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$	1.6×10^{-5}
$AuCl_3$	$AuCl_3(s) \rightleftharpoons Au^{3+}(aq) + 3Cl^-(aq)$	3.2×10^{-25}
Bromides		
$CuBr$	$CuBr(s) \rightleftharpoons Cu^+(aq) + Br^-(aq)$	5×10^{-9}
$AgBr$	$AgBr(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Br^-(aq)$	5.0×10^{-15}
Hg_2Br_2	$Hg_2Br_2(s) \rightleftharpoons Hg_2^{2+}(aq) + 2Br^-(aq)$	5.6×10^{-23}
$HgBr_2$	$HgBr_2(s) \rightleftharpoons Hg^{2+}(aq) + 2Br^-(aq)$	1.3×10^{-19}
$PbBr_2$	$PbBr_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2Br^-(aq)$	2.1×10^{-6}
Iodides		
CuI	$CuI(s) \rightleftharpoons Cu^+(aq) + I^-(aq)$	1×10^{-12}
AgI	$AgI(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + I^-(aq)$	8.5×10^{-17}
Hg_2I_2	$Hg_2I_2(s) \rightleftharpoons Hg_2^{2+}(aq) + 2I^-(aq)$	4.7×10^{-29}
HgI_2	$HgI_2(s) \rightleftharpoons Hg^{2+}(aq) + 2I^-(aq)$	1.1×10^{-28}
PbI_2	$PbI_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2I^-(aq)$	1.4×10^{-8}
Hydroxides		
$Mg(OH)_2$	$Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	7.1×10^{-12}
$Ca(OH)_2$	$Ca(OH)_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	6.5×10^{-6}
$Mn(OH)_2$	$Mn(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	1.2×10^{-11}
$Fe(OH)_2$	$Fe(OH)_2(s) \rightleftharpoons Fe^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	2×10^{-15}
$Fe(OH)_3$	$Fe(OH)_3(s) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	1.1×10^{-36}
$Co(OH)_2$	$Co(OH)_2(s) \rightleftharpoons Co^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	1×10^{-15}
$Co(OH)_3$	$Co(OH)_3(s) \rightleftharpoons Co^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	3×10^{-45}
$Ni(OH)_2$	$Ni(OH)_2(s) \rightleftharpoons Ni^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	1.6×10^{-14}
$Cu(OH)_2$	$Cu(OH)_2(s) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	4.8×10^{-20}
$V(OH)_3$	$V(OH)_3(s) \rightleftharpoons V^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	4×10^{-35}
$Cr(OH)_3$	$Cr(OH)_3(s) \rightleftharpoons Cr^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	2×10^{-30}
Ag_2O	$Ag_2O(s) + H_2O \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + 2OH^-(aq)$	1.9×10^{-8}
$Zn(OH)_2$	$Zn(OH)_2(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	4.5×10^{-17}
$Cd(OH)_2$	$Cd(OH)_2(s) \rightleftharpoons Cd^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	5.0×10^{-15}
$Al(OH)_3$	$Al(OH)_3(s) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	2×10^{-33}
Cyanides		
$AgCN$	$AgCN(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + CN^-(aq)$	1.6×10^{-14}
$Zn(CN)_2$	$Zn(CN)_2(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2CN^-(aq)$	3×10^{-16}
Sulfites		
$CaSO_3$	$CaSO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + SO_3^{2-}(aq)$	3×10^{-7}
Ag_2SO_3	$Ag_2SO_3(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + SO_3^{2-}(aq)$	1.5×10^{-14}
$BaSO_3$	$BaSO_3(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_3^{2-}(aq)$	8×10^{-7}

دنباله جدول شماره ٥

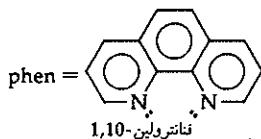
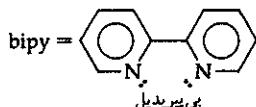
نامک	واکنش تعادلی انحلال	K_{sp}
Sulfates		
CaSO_4	$\text{CaSO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	2×10^{-4}
SrSO_4	$\text{SrSO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Sr}^{2+}(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	3.2×10^{-7}
BaSO_4	$\text{BaSO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	1.5×10^{-9}
RaSO_4	$\text{RaSO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Ra}^{2+}(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	4.3×10^{-11}
Ag_2SO_4	$\text{Ag}_2\text{SO}_4(s) \rightleftharpoons 2\text{Ag}^{+}(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	1.5×10^{-5}
Hg_2SO_4	$\text{Hg}_2\text{SO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	7.4×10^{-7}
PbSO_4	$\text{PbSO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	6.3×10^{-7}
Chromates		
BaCrO_4	$\text{BaCrO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq)$	2.4×10^{-10}
CuCrO_4	$\text{CuCrO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq)$	3.6×10^{-6}
Ag_2CrO_4	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4(s) \rightleftharpoons 2\text{Ag}^{+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq)$	1.9×10^{-12}
Hg_2CrO_4	$\text{Hg}_2\text{CrO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq)$	2.0×10^{-9}
CaCrO_4	$\text{CaCrO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq)$	1.0×10^{-4}
PbCrO_4	$\text{PbCrO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq)$	1.8×10^{-14}
Carbonates		
MgCO_3	$\text{MgCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	3.5×10^{-8}
CaCO_3	$\text{CaCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	9×10^{-9}
SrCO_3	$\text{SrCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Sr}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	9.3×10^{-10}
BaCO_3	$\text{BaCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	8.9×10^{-9}
MnCO_3	$\text{MnCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	5.0×10^{-10}
FeCO_3	$\text{FeCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	2.1×10^{-11}
CoCO_3	$\text{CoCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	1.0×10^{-10}
NiCO_3	$\text{NiCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	1.3×10^{-7}
CuCO_3	$\text{CuCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	2.3×10^{-10}
Ag_2CO_3	$\text{Ag}_2\text{CO}_3(s) \rightleftharpoons 2\text{Ag}^{+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	8.2×10^{-12}
Hg_2CO_3	$\text{Hg}_2\text{CO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	8.9×10^{-17}
ZnCO_3	$\text{ZnCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	1.0×10^{-10}
CdCO_3	$\text{CdCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	1.8×10^{-14}
PbCO_3	$\text{PbCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	7.4×10^{-14}
Phosphates		
$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(s) \rightleftharpoons 3\text{Mg}^{2+}(aq) + 2\text{PO}_4^{3-}(aq)$	6.3×10^{-26}
SrHPO_4	$\text{SrHPO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Sr}^{2+}(aq) + \text{HPO}_4^{2-}(aq)$	1.2×10^{-7}
BaHPO_4	$\text{BaHPO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(aq) + \text{HPO}_4^{2-}(aq)$	4.0×10^{-8}
LaPO_4	$\text{LaPO}_4(s) \rightleftharpoons \text{La}^{3+}(aq) + \text{PO}_4^{3-}(aq)$	3.7×10^{-23}
$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2(s) \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+}(aq) + 2\text{PO}_4^{3-}(aq)$	1×10^{-36}
Ag_3PO_4	$\text{Ag}_3\text{PO}_4(s) \rightleftharpoons 3\text{Ag}^{+}(aq) + \text{PO}_4^{3-}(aq)$	2.8×10^{-18}
FePO_4	$\text{FePO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(aq) + \text{PO}_4^{3-}(aq)$	4.0×10^{-27}
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2(s) \rightleftharpoons 3\text{Zn}^{2+}(aq) + 2\text{PO}_4^{3-}(aq)$	5×10^{-36}
$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$	$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2(s) \rightleftharpoons 3\text{Pb}^{2+}(aq) + 2\text{PO}_4^{3-}(aq)$	3.0×10^{-44}
$\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$	$\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2(s) \rightleftharpoons 3\text{Ba}^{2+}(aq) + 2\text{PO}_4^{3-}(aq)$	5.8×10^{-38}
Ferrocyanides		
$\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6](s) \rightleftharpoons 2\text{Zn}^{2+}(aq) + \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}(aq)$	2.1×10^{-16}
$\text{Cd}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{Cd}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6](s) \rightleftharpoons 2\text{Cd}^{2+}(aq) + \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}(aq)$	4.2×10^{-18}
$\text{Pb}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{Pb}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6](s) \rightleftharpoons 2\text{Pb}^{2+}(aq) + \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}(aq)$	9.5×10^{-19}

جدول شماره ٦ ثابت تشكيل كمبلكس ها (٢٥°C)

تمادلات بونى كمبلекс	K_{form}
Halide complexes	
$\text{Al}^{3+} + 6\text{F}^- \rightleftharpoons [\text{AlF}_6]^{3-}$	6.7×10^{19}
$\text{Al}^{3+} + 4\text{F}^- \rightleftharpoons [\text{AlF}_4]^-$	2.0×10^8
$\text{Be}^{2+} + 4\text{F}^- \rightleftharpoons [\text{BeF}_4]^{2-}$	1.3×10^{13}
$\text{Sn}^{4+} + 6\text{F}^- \rightleftharpoons [\text{SnF}_6]^{2-}$	1×10^{25}
$\text{Cu}^+ + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{CuCl}_2]^-$	3×10^5
$\text{Ag}^+ + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{AgCl}_2]^-$	1.8×10^5
$\text{Pb}^{2+} + 4\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{PbCl}_4]^{2-}$	2.5×10^{15}
$\text{Zn}^{2+} + 4\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{ZnCl}_4]^{2-}$	1.6
$\text{Hg}^{2+} + 4\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{HgCl}_4]^{2-}$	5.0×10^{15}
$\text{Cu}^+ + 2\text{Br}^- \rightleftharpoons [\text{CuBr}_2]^-$	8×10^5
$\text{Ag}^+ + 2\text{Br}^- \rightleftharpoons [\text{AgBr}_2]^-$	1.7×10^7
$\text{Hg}^{2+} + 4\text{Br}^- \rightleftharpoons [\text{HgBr}_4]^{2-}$	1×10^{21}
$\text{Cu}^+ + 2\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{CuI}_2]^-$	8×10^6
$\text{Ag}^+ + 2\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{AgI}_2]^-$	1×10^{11}
$\text{Pb}^{2+} + 4\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{PbI}_4]^{2-}$	3×10^4
$\text{Hg}^{2+} + 4\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{HgI}_4]^{2-}$	1.9×10^{30}
Ammonia complexes	
$\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	1.7×10^7
$\text{Zn}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	7.8×10^8
$\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	4.8×10^{12}
$\text{Hg}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	1.8×10^{19}
$\text{Co}^{2+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	7.7×10^4
$\text{Co}^{3+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	5.0×10^{33}
$\text{Cd}^{2+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	2.6×10^5
$\text{Ni}^{2+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	5.0×10^8
Cyanide complexes	
$\text{Fe}^{2+} + 6\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	1.0×10^{35}
$\text{Fe}^{3+} + 6\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	9.1×10^{41}
$\text{Ag}^+ + 2\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$	5.3×10^{18}
$\text{Cu}^+ + 2\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$	1.0×10^{16}
$\text{Cd}^{2+} + 4\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$	7.7×10^{16}
$\text{Au}^+ + 2\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	2×10^{38}
Complexes with other monodentate ligands	
$\text{Ag}^+ + 2\text{CH}_3\text{NH}_2 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{CH}_3\text{NH}_2)_2]^+$ methylamine	7.8×10^6
$\text{Cd}^{2+} + 4\text{SCN}^- \rightleftharpoons [\text{Cd}(\text{SCN})_4]^{2-}$ thiocyanate ion	1×10^3
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{SCN}^- \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{SCN})_2]$	5.6×10^3
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{SCN})_3]$	2×10^6
$\text{Hg}^{2+} + 4\text{SCN}^- \rightleftharpoons [\text{Hg}(\text{SCN})_4]^{2-}$	5.0×10^{21}
$\text{Cu}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}$	1.3×10^{16}
$\text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$	2.8×10^{15}
Complexes with bidentate ligands*	
$\text{Mn}^{2+} + 3\text{en} \rightleftharpoons [\text{Mn}(\text{en})_3]^{2+}$	6.5×10^5
$\text{Fe}^{2+} + 3\text{en} \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{en})_3]^{2+}$	5.2×10^9
$\text{Co}^{2+} + 3\text{en} \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{en})_3]^{2+}$	1.3×10^{14}
$\text{Co}^{3+} + 3\text{en} \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$	4.8×10^{48}
$\text{Ni}^{2+} + 3\text{en} \rightleftharpoons [\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$	4.1×10^{17}
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{en} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{en})_2]^{2+}$	3.5×10^{19}
$\text{Mn}^{2+} + 3\text{bipy} \rightleftharpoons [\text{Mn}(\text{bipy})_3]^{2+}$	1×10^6
$\text{Fe}^{2+} + 3\text{bipy} \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{bipy})_3]^{2+}$	1.6×10^{17}

دنباله جدول شماره ۶

نامدالت یونی کمپلکس	K_{form}
کمپلکس با لیگاندهای دودنده‌ای	
$\text{Ni}^{2+} + 3 \text{bipy} \rightleftharpoons [\text{Ni}(\text{bipy})_3]^{2+}$	3.0×10^{20}
$\text{Co}^{2+} + 3 \text{bipy} \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{bipy})_3]^{2+}$	8×10^{15}
$\text{Mn}^{2+} + 3 \text{phen} \rightleftharpoons [\text{Mn}(\text{phen})_3]^{2+}$	2×10^{10}
$\text{Fe}^{2+} + 3 \text{phen} \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$	1×10^{21}
$\text{Co}^{2+} + 3 \text{phen} \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{phen})_3]^{2+}$	6×10^{19}
$\text{Ni}^{2+} + 3 \text{phen} \rightleftharpoons [\text{Ni}(\text{phen})_3]^{2+}$	2×10^{24}
$\text{Co}^{2+} + 3 \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{4-}$	4.5×10^6
$\text{Fe}^{3+} + 3 \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$	3.3×10^{20}
کمپلکس با لیگاندهای دیگر	
$\text{Zn}^{2+} + \text{EDTA}^{4-} \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{EDTA})]^{2-}$	3.8×10^{16}
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{NTA}^{3-} \rightleftharpoons [\text{Mg}(\text{NTA})_2]^{4-}$	1.6×10^{10}
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{NTA}^{3-} \rightleftharpoons [\text{Ca}(\text{NTA})_2]^{4-}$	3.2×10^{11}

^a en = ایلان دی آین

EDTA⁴⁻ = ایلان دی آین ترا استات
 NTA³⁻ = یون پیتریاکوئری استات

جدول شماره ۷ ثابت تفکیک اسیدها و بازهای ضعیف

اسیدهای یک پروتونی	K_a
$\text{HC}_2\text{O}_2\text{Cl}_3$	تری کلرو اسیتیک اسید ($\text{Cl}_3\text{CCO}_2\text{H}$)
HIO_3	یدیک اسید
$\text{HC}_2\text{HO}_2\text{Cl}_2$	دی کلرو اسیتیک اسید ($\text{Cl}_2\text{CHCO}_2\text{H}$)
$\text{HC}_2\text{H}_2\text{O}_2\text{Cl}$	کلرو اسیتیک اسید ($\text{ClH}_2\text{CCO}_2\text{H}$)
HF	هیدروفلوریک اسید
HNO_2	نیترو اسید
HOCl	سیانیک اسید
HCHO_2	فرمیک اسید (HCO_2H)
$\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3$	لاکتیک اسید ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CO}_2\text{H}$)
$\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_2$	بنزوئیک اسید ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$)

دنباله جدول شماره ۷

اسیدهای پک پروتونی		K_a	
$\text{HC}_4\text{H}_7\text{O}_2$	Butanoic acid ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$)	1.52×10^{-5}	
HN_3	Hydrazoic acid	1.8×10^{-5}	
$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	Acetic acid ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$)	1.8×10^{-5}	
$\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_2$	Propanoic acid ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$)	1.34×10^{-5}	
$\text{HC}_4\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_3$	Barbituric acid	1.0×10^{-5}	
HOCl	Hypochlorous acid	3.1×10^{-8}	
HOBr	Hypobromous acid	2.1×10^{-9}	
HCN	Hydrocyanic acid	4.9×10^{-10}	
$\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}$	Phenol	1.3×10^{-10}	
HOI	Hypoiodous acid	2.3×10^{-11}	
H_2O_2	Hydrogen peroxide	1.8×10^{-12}	
اسیدهای چند پروتونی	K_{a_1}	K_{a_2}	
H_2SO_4	Sulfuric acid	Large	1.2×10^{-2}
H_2CrO_4	Chromic acid	5.0	1.5×10^{-6}
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	Oxalic acid	5.6×10^{-2}	5.4×10^{-5}
H_3PO_3	Phosphorous acid	3×10^{-2}	1.6×10^{-7}
H_2SO_3	Sulfurous acid	1.5×10^{-2}	1.0×10^{-7}
H_2SeO_3	Selenous acid	4.5×10^{-3}	1.1×10^{-8}
H_2TeO_3	Tellurous acid	3.3×10^{-3}	2.0×10^{-8}
$\text{H}_2\text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4$	Malonic acid ($\text{HO}_2\text{CCH}_2\text{CO}_2\text{H}$)	1.4×10^{-3}	2.0×10^{-6}
$\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_4$	Phthalic acid	1.1×10^{-3}	3.9×10^{-6}
$\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	Tartaric acid	9.2×10^{-4}	4.3×10^{-5}
$\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$	Ascorbic acid	7.9×10^{-5}	1.6×10^{-12}
H_2CO_3	Carbonic acid	4.3×10^{-7}	5.6×10^{-11}
H_3PO_4	Phosphoric acid	7.5×10^{-3}	6.2×10^{-8}
H_3AsO_4	Arsenic acid	5.6×10^{-3}	1.7×10^{-7}
$\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	Citric acid	7.1×10^{-4}	1.7×10^{-5}
	بازهای ضعیف	K_b	
$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	Dimethylamine	9.6×10^{-4}	
CH_3NH_2	Methylamine	3.7×10^{-4}	
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$	Ethylamine	4.3×10^{-4}	
$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	Trimethylamine	7.4×10^{-5}	
NH_3	Ammonia	1.8×10^{-5}	
N_2H_4	Hydrazine	1.7×10^{-6}	
NH_2OH	Hydroxylamine	1.1×10^{-8}	
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	Pyridine	1.7×10^{-9}	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	Aniline	3.8×10^{-10}	
PH_3	Phosphine	10^{-26}	

جدول شماره ٨ پتانسیل نرمال کاہش در 25°C

E° (volts)	نیمه واکنش
+2.87	$\text{F}_2(g) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-(aq)$
+2.08	$\text{O}_3(g) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{O}_2(g) + \text{H}_2\text{O}$
+2.00	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}(aq)$
+1.82	$\text{Co}^{3+}(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}(aq)$
+1.78	$\text{H}_2\text{O}_2(aq) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$
+1.695	$\text{MnO}_4^-(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2(s) + 2\text{H}_2\text{O}$
+1.69	$\text{PbO}_2(s) + \text{SO}_4^{2-}(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_4(s) + 2\text{H}_2\text{O}$
+1.63	$2\text{HOCl}(aq) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cl}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}$
+1.51	$\text{Mn}^{3+}(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}(aq)$
+1.49	$\text{MnO}_4^-(aq) + 8\text{H}^+(aq) + 5e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}(aq) + 4\text{H}_2\text{O}$
+1.47	$2\text{ClO}_3^-(aq) + 12\text{H}^+(aq) + 10e^- \rightleftharpoons \text{Cl}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}$
+1.46	$\text{PbO}_2(s) + 4\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(aq) + 2\text{H}_2\text{O}$
+1.44	$\text{BrO}_3^-(aq) + 6\text{H}^+(aq) + 6e^- \rightleftharpoons \text{Br}^-(aq) + 3\text{H}_2\text{O}$
+1.42	$\text{Au}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}(s)$
+1.36	$\text{Cl}_2(g) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-(aq)$
+1.33	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(aq) + 14\text{H}^+(aq) + 6e^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+}(aq) + 7\text{H}_2\text{O}$
+1.28	$\text{MnO}_2(s) + 4\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}(aq) + 2\text{H}_2\text{O}$
+1.24	$\text{O}_3(g) + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{O}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$
+1.23	$\text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$
+1.20	$\text{Pt}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pt}(s)$
+1.09	$\text{Br}_2(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-(aq)$
+0.96	$\text{NO}_3^-(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{NO}(g) + 2\text{H}_2\text{O}$
+0.94	$\text{NO}_3^-(aq) + 3\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{HNO}_2(aq) + \text{H}_2\text{O}$
+0.91	$2\text{Hg}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}(aq)$
+0.87	$\text{HO}_2^-(aq) + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons 3\text{OH}^-(aq)$
+0.80	$\text{NO}_3^-(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}$
+0.80	$\text{Ag}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(s)$
+0.77	$\text{Fe}^{3+}(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}(aq)$
+0.69	$\text{O}_2(g) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2(aq)$
+0.54	$\text{I}_2(s) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-(aq)$
+0.52	$\text{Cu}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(s)$
+0.49	$\text{NiO}_2(s) + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni(OH)}_2(s) + 2\text{OH}^-(aq)$
+0.45	$\text{SO}_2(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^- \rightleftharpoons \text{S}(s) + 2\text{H}_2\text{O}$
+0.401	$\text{O}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-(aq)$
+0.34	$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(s)$
+0.27	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2(s) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}(l) + 2\text{Cl}^-(aq)$
+0.25	$\text{PbO}_2(s) + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{PbO}(s) + 2\text{OH}^-(aq)$
+0.2223	$\text{AgCl}(s) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(s) + \text{Cl}^-(aq)$
+0.172	$\text{SO}_4^{2-}(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}$
+0.169	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(aq)$
+0.16	$\text{Cu}^{2+}(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+(aq)$
+0.15	$\text{Sn}^{4+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}(aq)$
+0.14	$\text{S}(s) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(g)$
+0.07	$\text{AgBr}(s) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(s) + \text{Br}^-(aq)$
0.00	$2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(g)$
-0.04	$\text{Fe}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s)$

دنباله جدول شماره ٨

E° (volts)	نیمه واکنش
-0.13	$\text{Pb}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(s)$
-0.14	$\text{Sn}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}(s)$
-0.15	$\text{AgI}(s) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(s) + \text{I}^-(aq)$
-0.25	$\text{Ni}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}(s)$
-0.28	$\text{Co}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}(s)$
-0.34	$\text{In}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{In}(s)$
-0.34	$\text{Tl}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Tl}(s)$
-0.36	$\text{PbSO}_4(s) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(s) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$
-0.40	$\text{Cd}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}(s)$
-0.44	$\text{Fe}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s)$
-0.56	$\text{Ga}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Ga}(s)$
-0.58	$\text{PbO}(s) + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(s) + 2\text{OH}^-(aq)$
-0.74	$\text{Cr}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}(s)$
-0.76	$\text{Zn}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}(s)$
-0.81	$\text{Cd}(\text{OH})_2(s) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}(s) + 2\text{OH}^-(aq)$
-0.83	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$
-0.88	$\text{Fe}(\text{OH})_2(s) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s) + 2\text{OH}^-(aq)$
-0.91	$\text{Cr}^{2+}(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Cr}(s)$
-1.03	$\text{Mn}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}(s)$
-1.16	$\text{N}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(aq) + 4\text{OH}^-(aq)$
-1.18	$\text{V}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{V}(s)$
-1.216	$\text{ZnO}_2^-(aq) + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}(s) + 4\text{OH}^-(aq)$
-1.63	$\text{Ti}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ti}(s)$
-1.67	$\text{Al}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}(s)$
-1.79	$\text{U}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{U}(s)$
-2.02	$\text{Sc}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Sc}(s)$
-2.36	$\text{La}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{La}(s)$
-2.37	$\text{Y}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Y}(s)$
-2.38	$\text{Mg}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}(s)$
-2.71	$\text{Na}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Na}(s)$
-2.76	$\text{Ca}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}(s)$
-2.89	$\text{Sr}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sr}(s)$
-2.90	$\text{Ba}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ba}(s)$
-2.92	$\text{Cs}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}(s)$
-2.93	$\text{K}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{K}(s)$
-2.93	$\text{Rb}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Rb}(s)$
-3.05	$\text{Li}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Li}(s)$

جدول لگاریتم طبیعی

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996

دنبالة جدول لگاریتم طبیعی

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396



منابع

- Atkins, Peter. *Chimie Générale*. Paris: InterEditions, 1992.
- Ben - Aim, R., Destriau, M. *Introduction à la Cinétique Chimique*. Dunod Université Paris, 1967.
- Blain, F., Magna, J. Y. & Martin, F. Colectio Eurin, *Chimie*. Paris: Classiques Hachette, 1980.
- Blain, Faye & Martin, *Chimie*. Paris: Magnard, 1982.
- Boichot, C. J. & Faure, C. *Chimie*. Paris: Bordas, 1981.
- Bottaro, P., Cupissol, E., Lacourt, J. & Rouzaud, L. , Collection Lacourt, J., *Physique*. Paris: Armand Colin, 1980.
- Bottaro, P., Cupissol, E., Lacourt, J. & Rouzaud, L., Collection Lacourt, J. *Physique*. Paris: Armand Colin, 1980.
- Bouedon, R. & Bourquard, C. *Physique*. Paris: Delagrave, 1982.
- Bourdon, R. & Bourquard, C. *Physique*. Delagrave. 1979.
- Bourdon, R. & Contestin, J. A. *Chimie*. Paris: Librairie Delagrave, 1982.
- Brady, James E. *General Chemistry, Principles & Structure*. New York: John Wiley & Sons, Fifth Edition 1990.
- Bramand, P. Faye, P. & Thomassier, G. *Physique*. Paris: Collection Eurin-Gié, Hachette, 1982.
- Bramand, P., Faye, P. & Thomassier, G. *Physique*. Collection Eurin, Paris: Classiques Hachette, 1980.
- Caratini, Roger. *L'année de la Science*. Paris: Rober Laffont, 1990.
- Champeter, Georges. *La Chimie Générale*. Paris: Presses Universitaires de France, 1958.
- Charlot, G. *Analyse Qualitative rapide*. Dunod Paris, 1966.
- Charlot, G. *Les Méthodes de la Chimie Analytique*. Paris: Masson et Cie éditeurs, 1966.
- Charlot, G. *L'Analyse Qualitative*. Paris: Masson et Cie, 1963.
- Charlot, G., Badoz, M. J., Lambling, Trémillon, B. *Les Réactions Électrochimiques*. Paris: Masson et Cie éditeurs, 1959.
- Charlot, R., Gougeon, J. & Walter, C. Collection Cros, A. *Fondements de la Physique*. Paris: Librairie Belin, 1980.
- Chatroux, S., Cotton, M. , Garcon, M. *Chimie*. Paris: Scodel, 1983.
- Chatroux, S., Cotton, M., Garcon, M. *Physique*. Paris: Scodel, 1982.
- Chatroux, S., Cotton, M., Garcon, M. *Physique*. Paris: Scodel, 1982.
- Collection Blain, Faye & Martin, Magnard. *Physique*. Paris: Magnard. 1983.
- Cunnigton, A., Genest, G., Lebrun, P., Lugan, B. & Vogel, R. *Chimie*. Paris: Hatier, 1981.
- Deschamps, P. *Exercices de Chimie*. Dunod Paris, 1968.
- Didier, R. & Vento, R. , Collection Lacourt, *Chimie*. Paris: Armand Colin, 1980.
- Didier, R. & Vento, R., Collection Lacourt, J. *Chimie*. Armand Colin, 1983.
- Dirand, B., Paul, J. C. & Legoix, J. *PHysique*. Paris: Bordas, 1981.
- Domage, L. *Precis de Chimie Générale et de Chimie Minérale*. Paris: Masson et Cie éditeurs, 1964.

- Durupthy A. et O., Gilles A. et G., Trinquier, A. *Physique*. Paris: Scodel, 1983.
- Dégurse, A., Rosenfeld-Gipch, L., Soulié, L. & Zemb, T. *Physique*. Paris: Hatier, 1983.
- Dégurse, A., Rosenfeld-Gipch, L., Soulié, L. & Zemb, T., *Physique De Newton...* . Paris: Hatier, 1980.
- Fay, Blain; Michaud, Martin & Le Moal, *Physique Chimie*. Paris: Magnard, 1981.
- Fontaine, G. & Jaubert, A. *Chimie*. Paris: Collection Eurin-Gié Editions Hachette, 1983.
- Fontaine, G. & Jaubert, A., Collection Eurin-Gié. *Chimie*. Paris: Editions Hachette, 1983.
- Fontaine, G., Tomasino, A., Gilles, F. & Gilles, A., *Chimie*. Paris: Editions Nathan, 1988.
- Garric, M. *Chimie Général*. Paris: Dunod Université, 1988.
- Gleick, James. *La théorie du Chaos*. Paris: Albin Michel, 1989.
- Guilien, R. *Les Semiconducteurs*. Paris: Presses Universitaires de France 1963.
- Harrison, Edward. *Le noir de la nuit une énigme du Cosmos*. Paris: Edition Seuil, 1990.
- Harvey, B. G. *Introduction à la physique et la Chimie Nucléaire*. Paris: Dunod , 1964.
- Harvey, K. B., Porter, G. B. *Introduction à la Chimie Physique Minérale*. Dunod Université Paris, 1967
- Hébert, Alain. Collectin Hébert, *Chimie*. Classiques 1V, 1981.
- Hébert, Alain. Collection Hébert, *Physique*. Paris: Classiques IV, 1981.
- Jacquier, R., Mamty, G., Maurin, M. Soulier, J. *Equilibres en Solution*. Dunod Université Paris, 1969.
- Keravec, R. & Le Goff, R. *Physique*. Paris: Istra, 1982.
- Kiréev, V. *Cours de Chimie Pysique*. Moscow: Editions Mir, 1968.
- Laffitte, M. *Les Bases Théoriques de la Chimie*. Gauthier-Villars Paris, 1968.
- Lee, J. D. *Précis de Chimie Minérale*. Dunod Université Paris, 1968.
- Mahan, B. H. *University Chemistry*. California: Addison-Wesley publishing Compagny, 1969, Second edition.
- Mahan, B. H. *Chimie*. Paris: Inter Editions, 1986.
- Montel, G., Lattes, A. *Introduction à la Chimie Structurale*. Dunod Université Paris, 1969.
- Moreau, C. , et, B. , Praud, L. Collection Cros, A. *Initiation a la chimie moderne*. Paris: Librairie Belin, 1980.
- Nebrosov, B. *Text-Book of General Chemistry*. Moscow: Peace publishers.
- Pannetier, G. & Souchay, P. *Chimie Générale*. Paris: Masson et Cie Éditeurs, 1964.
- Rougeot, L. *Acides et Bases*. Presses universitaires de France, 1970.
- Saison, A., Allain, G., Blumeau, M., Duroc, J., Herchen, C. Merat, R. & Niard, J. *Physique*. Paris: Fernand Nathan, 1980.
- Samuel, H. Maron Carl, F. Prutton. *Principles of Physical Chemistry*. New York: The Macmillian Compagny, 1967.
- Slabaugh Theran, Wendell, H. Parsons, D. *General Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, 1966.
- Souchay, F. *Chimie Physique, Thermodynamique Chimique*. Paris: Masson et Vie éditeurs, 1968.
- Sous la direction de Nicolas Witkowski, *L' état des sciences et des Techniques*. Paris: La Découverte, 1991.
- Tremillon, B. *Chimie Physique*. Paris: Centre de documentation universitaire, 1967.
- Wilmann, J., Pascal, Y. & Chuche, J. *Relations entre la Structure et les propriétés physiques*. Paris: Masson et Cie Éditeurs, 1965.
- Zitter, Z. & Prioleaud, J. *Agrandir noir et blanc couleur*. Paris: Publication Photo-Cinéma Paul Montel, 1973.

این کتاب نتیجه سی سال تجربه، تحقیق و تدریس در فرانسه و ایران است و براساس تفہیم قدم به قدم مفاهیم تحریر شده است. نویسنده بخصوص سعی کرده کتاب راهنمای معلمین در دوره‌های نظری باشد. مثالها و مطالب عمومی آن به نحوی انتخاب شده که کار معلم را در تدریس دروس شیمی و حتی فیزیک دبیرستان آسان کند.

ابتدا نقش جهانی شیمی و اصول و قوانین شناخته شده حاکم بر جهان بیان شده، سپس نظریه اتمی ماده از آغاز تا تدوین نظریه جامع مکانیک کوانتایی شرح داده شده و به کمک آن نظریه پیوندهای شیمیایی (باتوجه به تمایل طبیعی عناصر برای نیل به انرژی پایین تر) مورد مطالعه قرار گرفته است. تفاوت در حالات سه کانه ماده با در نظر گرفتن تمایل طبیعی عناصر و تمایل طبیعی دیگر، که نیل به آنتروپی یا بی نظمی بالا است، تشریح شده و سپس تعادلهای شیمیایی و ارتباط بین ثابت تعادل و وضعیت تعادلی ماده و نیز واکنشهای تعادلی اکسایش و کاهش، ساختار پیلها و الکترولیز در محلولها و یا در جامدات به حالت مذاب مورد بررسی قرار گرفته است. ثابت تعادل و رابطه آن با تمایل عناصر شرکت کننده در واکنشها مورد مطالعه قرار گرفته و به کمک معادلات و روابط ریاضی سعی در تفہیم هدف نهایی جهان شده است. آن گاه به سرعت یا نظریه جنبشی و ارتباط آن با مکانیسم واکنشها پرداخته شده و سپس بخش‌های نسبتاً طولانی به شیمی معدنی و شیمی آلی اختصاص یافته و در پایان شیمی و فیزیک اتمی مورد بحث قرار می‌گیرد.

نویسنده در سراسر کتاب وظیفه اصلی بشر در مقابل محیط زیست را یادآوری کرده و بخصوص به علم متکی بر بهره دهی کور و اقتصاد سرمایه داری که در حال از بین بردن محیط زیست است اشاره کرده و بر آن بوده تا وجودان علمی و مسئول نسبت به دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم در دانشجو بیدار شود.

۳۹۰۰ تومان

ISBN 964-312-389-8



9 789643 123895



نشری