

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

گروه آموزشی شیمی ناحیه ۲ روم

کلاس شیمی کنکور

(پنجمین دوره)

استاد محمدرضا مصلائی

موسسه علمی آموزشی فردا

تابستان ۹۴

مطالعه ساختار ماده تلاشی به وسعت تاریخ

تالس: ۲۵۰۰ سال پیش، تالس فیلسوف یونانی آب را تنها عنصر سازنده ی جهان هستی معرفی کرد.

ارسطو: پس از تالس، ارسطو سه عنصر دیگر یعنی **خاک**، **هوا** و **آتش** را به عنصر پیشنهادی تالس افزود و چهار عنصر یاد شده را عناصر سازنده ی کاینات تصور کرد. (عناصر اربعه)

رابرت بویل: در سال ۱۶۶۱ میلادی رابرت بویل، دانشمند انگلیسی:

- کتاب شیمی دان **شگاک** را نوشت.
- شیمی را **علم تجربی** نامید.
- عنصر را ماده ای معرفی کرد که نمی توان آن را به مواد ساده تری تبدیل کرد.
- به دانشمندان توصیه کرد که علاوه بر **مشاهده کردن**، **اندیشیدن** و **نتیجه گیری کردن** (ابزار یونانیان در مطالعه ی طبیعت) به **پژوهش های علمی** نیز اقدام کنند.



نکته: این دیدگاه که همه ی مواد از ذره های کوچک و تجزیه ناپذیری به نام اتم ساخته شده اند، **نخستین بار** ۲۵۰۰ سال پیش توسط **دموکریت** فیلسوف یونانی مطرح شده است. اتم واژه ای **یونانی** به معنای **تجزیه ناپذیر** است.

نظریه ی اتمی دالتون: در سال ۱۸۰۳ جان دالتون شیمی دان انگلیسی نظریه ی اتمی خود را بیان کرد:



۱. ماده از ذره های **تجزیه ناپذیری** به نام **اتم** ساخته شده است.
۲. همه ی **اتم** های یک عنصر **مشابه** یک دیگرند.
۳. اتم ها **نه به وجود می آیند و نه از بین می روند**.
۴. اتم های عنصرهای مختلف جرم و **خواص شیمیایی متفاوتی** دارند.
۵. اتم **عنصرهای مختلف** به هم متصل می شوند و **مولکول** ها را به وجود می آورند.
۶. در هر مولکول از یک ترکیب معین، همواره **نوع و تعداد نسبی** اتم های سازنده ی آن **یکسان** است.
۷. واکنش شیمیایی شامل **جابجایی** اتم ها یا **تغییر در شیوه ی اتصال** آن ها در مولکول هاست. در این واکنش ها اتم ها خود تغییری نمی کنند.



نکته: در هر مولکول آب، از هر راهی که به دست آمده باشد همواره دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن وجود دارد.

نارسایی های نظریه ی اتمی دالتون

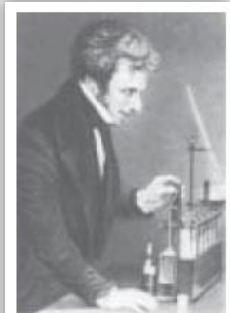
نارسایی ها یا پدیده هایی که با نظریه ی اتمی دالتون قابل توجیه نیستند به شرح زیر هستند:

۱. با کشف ذرات زیر اتمی مانند **الکترون**، **پروتون** و **نوترون** معلوم شد که **اتم تجزیه پذیر** است.
۲. با کشف **ایزوتوپ** معلوم شد که **همه ی اتم های یک عنصر جرم یکسان ندارند**.
۳. **برق کافت** یا **الکترولیز** مواد مذاب یا محلول به کمک نظریه ی اتمی دالتون **قابل توجیه نیست** زیرا در اساس به **الکترون ارتباط** دارد.
۴. نظریه ی اتمی دالتون به **ماهیت پیوندهای شیمیایی** اشاره نکرده است.



نکته: با اینکه می دانیم اتم از ذره های کوچک تری (ذره های زیر اتمی) ساخته شده است ، هنوز هم باور داریم که :

اتم کوچک ترین ذره ی یک عنصر است که خواص فیزیکی و شیمیایی عنصر مذکور به ویژگی های آن وابسته است.



مایکل فارادی
(۱۷۹۱-۱۸۶۷)

الکترون نخستین ذره ی زیر اتمی شناخته شده

اجرای آزمایش های فراوان با الکتروسیته مقدمه ای برای شناخت ساختار درونی اتم بوده است. در آغاز قرن نوزدهم با کشف الکتروسیته ی ساکن معلوم شد بارهای الکتریکی مثبت و منفی ایجاد شده هنگام مالش دو جسم به اتم های سازنده آن ها مربوط هستند. پیشرفت های اولیه درباره ماهیت الکتروسیته و ساختار الکتریکی اتم ، در سال ۱۸۳۳ بر اساس نتایج بررسی های مایکل فارادی در زمینه ی برقکافت مواد حاصل شد.

برقکافت: یک واکنش شیمیایی است که با عبور جریان برق از درون محلول یک ترکیب شیمیایی فلز دار به وقوع می پیوندد.

فیزیک دان ها برای توجیه مشاهده های مربوط به برقکافت ، برای الکتروسیته ، ذره ای بنیادی به نام **الکترون** پیشنهاد کردند اما هنوز رابطه میان اتم و الکترون معلوم نبود.



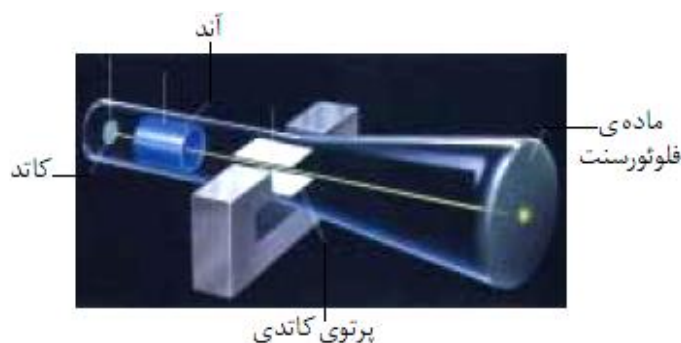
نکته: جورج استونی نخستین کسی بود که در سال ۱۸۹۱ نام **الکترون** را برای این ذره ی باردار پیشنهاد کرد. در سال ۱۸۹۷

وجود الکترون با دلایل تجربی اثبات شد.

گازها در شرایط معمولی ، جریان الکتروسیته را از خود عبور نمی دهند (نارسانا هستند) اما تحت ولتاژهای بسیار قوی تا ۱۰۰۰۰ ولت و فشارهای بسیار کم حدود $0/0001$ اتمسفر در یک لوله ی شیشه ای شروع به درخشیدن می کنند. این گونه آزمایش ها را در **لوله ی پرتوی کاتدی** انجام می دهند.

ساختمان لوله ی پرتوی کاتدی

لوله ی پرتوی کاتدی لوله ای شیشه ای است که تقریباً همه ی هوای درون آن به کمک پمپ خلأ تخلیه شده است. (هوا بسیار رقیق شده است) در دو انتهای این لوله یک قطعه فلز نصب شده است که به آن ها **الکتروود** می گویند. اگر یک ولتاژ قوی (۱۰۰۰۰ ولت) بین این دو الکتروود اعمال شود ، پرتوهایی از الکتروود منفی (**کاتد**) به سوی الکتروود مثبت (**آند**) جریان می یابد. از این رو به آن ها **پرتوی کاتدی** می گویند. چون از کاتد خارج می شوند. این پرتوها دیده نمی شوند اما در اثر برخورد با یک ماده ی **فلوئورسنت** مانند **ZnS** نور سبز رنگی تولید می کنند.



فلوئورسنت : ماده ای است که می تواند نور با طول موج معینی را جذب کند و به جای آن نور با طول موج بلندتری را منتشر سازد. تابش این نور با قطع شدن منبع نور قطع می شود. از این خاصیت در تولید لامپ تلویزیون و نمایشگر ها استفاده می شود.

فسفرسانس : ماده ای دارای خاصیت فسفرسانس نور با طول موج معینی را جذب می کند و به جای آن نور با طول موج بلندتری را منتشر می سازد و تابش این نور تا مدت کوتاهی پس از قطع شدن منبع نور ادامه می یابد. از این خاصیت در ساعت ها و برخی وسایل شب نما استفاده می کنند.

جوزف تامسون : یکی از پیش گامان مطالعه ی ساختار اتم می باشد که آزمایش های زیادی روی لوله ی پرتوی کاتدی انجام داده است.



آزمایش های تامسون روی لوله ی پرتوی کاتدی

۱. با تغییر گاز درون لوله و جنس کاتد پرتو کاتدی دوباره تولید می شود.
نتیجه : تولید پرتو کاتدی به گاز درون لوله و جنس کاتد بستگی ندارد.
(همه ی مواد دارای الکترون هستند)
۲. پرتو کاتدی در میدان مغناطیسی منحرف می شود.
نتیجه : پرتو کاتدی یک ذره ی باردار است.
۳. پرتو کاتدی در میدان الکتریکی به طرف قطب مثبت منحرف می شود.
نتیجه : پرتو کاتدی دارای بار الکتریکی منفی است.
۴. آثار نور سبز رنگ درست در نقطه مقابل کاتد روی صفحه ی فلوئورسنت ایجاد می شود.
نتیجه : پرتو کاتدی به خط راست حرکت می کند.



ا) لوله ی ملتهب دارای اندکی هوا است.



ب) لوله ی ملتهب دارای اندکی گاز هیدروژن است.



پ) کاتد از آهن به مس تغییر یافته است.



ت) میدان الکتریکی در بیرون از لوله برقرار شده است.



ث) میدان مغناطیسی در بیرون از لوله برقرار شده است.



نکته: تامسون با تغییر جنس کاتد و مشاهده ی عدم تغییر ماهیت پرتوی کاتدی چنین استدلال نمود که : پرتوهای کاتدی از ذراتی تشکیل شده اند که این ذرات در همه ی مواد وجود دارند. این ذرات باردار منفی الکترون هستند و همه ی مواد دارای الکترون می باشند. (پرتوی کاتدی از جنس الکترون است).

اندازه گیری نسبت بار به جرم الکترون : پس از انجام آزمایش های بسیار سرانجام **تامسون** موفق شد نسبت بار به جرم الکترون را اندازه گیری کند. وی این نسبت را $1/76 \times 10^{-19} \text{C/g}$ محاسبه کرد.

اندازه گیری بار الکتريکی الکترون : پس از تامسون ، **رابرت میلیکان** فیزیک دان آمریکایی در سال ۱۹۰۹ موفق شد بار الکتريکی الکترون را اندازه گیری کند. وی بار الکتريکی الکترون را $1/602 \times 10^{-19} \text{C}$ محاسبه کرد.

اندازه گیری جرم الکترون : به این ترتیب جرم الکترون نیز به کمک نسبت به دست آمده **تومسون** محاسبه شد. وی جرم الکترون را $9/109 \times 10^{-28} \text{g}$ محاسبه کرد.



هانری بکرل
(۱۸-۱۹)



فیلم عکاسی بکرل پس از ظهور

پرتوزایی

در سال ۱۸۹۶ **هانری بکرل** فیزیک دان فرانسوی که روی خاصیت فسفرسانس مواد شیمیایی کار می کرد به طور تصادفی با پدیده ی جالبی رو به رو شد. بکرل دو تکه از بلورهای ترکیب های اورانیوم دار را همراه با فیلم خام عکاسی در کشوی میز خود گذاشت. پس از چند روز وی تصمیم گرفت فیلم درون کشو را ظاهر کند اما در عین ناباوری مشاهده کرد که فیلم ها تیره شده اند. در فیلم عکاسی بکرل پس از ظهور دو تکه بلور آفتاب ندیده به وضوح دیده می شدند. بنابراین ترکیب های اورانیوم دار باید از خود پرتوهایی منتشر کرده باشند که بر فیلم عکاسی اثر گذاشته و آن ها را سیاه کنند. بکرل نتوانست علت این پدیده را توجیه کند اما فکر می کرد که پدیده ی تازه ای را کشف کرده است.

پرتوزایی : به نشر خود به خودی پرتو از اتم ، **پرتوزایی** و به مواد دارای این خاصیت **پرتوزا** می گویند.



نکته: بکرل به طور تصادفی به خاصیت مهمی پی برده بود که **ماری کوری** دانشمند معروف لهستانی آن را **پرتوزایی** و مواد دارای این خاصیت را **پرتوزا** نام نهاده است.



نکته: **ارنست رادرفورد** همکار نیوزلندی جوزف تامسون پس از سال ها تلاش فهمید ، تابشی که **بکرل نخستین بار** به وجود آن پی برده بود ، خود ترکیبی از سه نوع تابش مختلف است.

آزمایش پرتوزایی رادرفورد

پرتوهای نشر شده از مواد پرتوزا خود از سه نوع پرتو تشکیل شده اند. **ارنست رادرفورد** با عبور تابش مواد پرتوزا از میان یک میدان الکتريکی ، سه نوع پرتو با ویژگی های متفاوت را مشاهده کرد و نام های **آلفا** ، **بتا** و **گاما** را برای این سه نوع پرتو برگزید.

۱. پرتو آلفا (α):

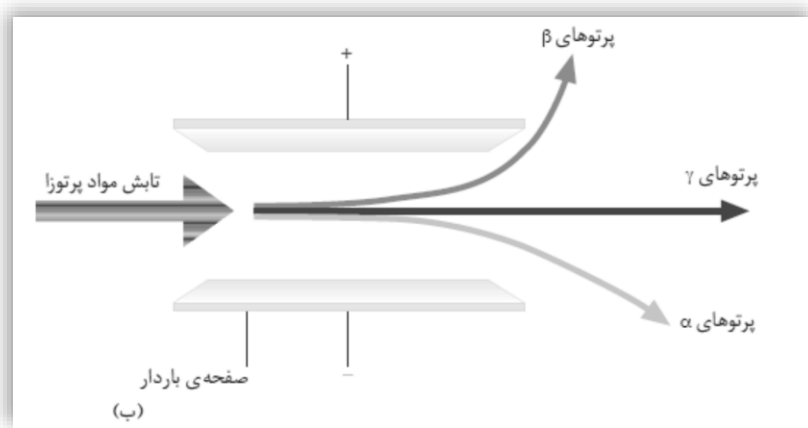
- دارای بار الکتریکی مثبت است زیرا در میدان الکتریکی به سمت صفحه ی باردار منفی منحرف می شود.
- جرم آن چهار برابر جرم اتم هیدروژن است. و سرعت آن 0.05 سرعت نور است.
- از جنس هسته ی اتم هلیوم است. (${}^4_2\text{He}^{2+}$)

۲. پرتو بتا (β):

- دارای بار الکتریکی منفی است زیرا در میدان الکتریکی به سمت صفحه ی باردار مثبت منحرف می شود.
- جرم آن بسیار اندک است.
- مانند پرتوی کاندی جریان ی از الکترون های پر انرژی است. و سرعت آن 0.4 سرعت نور است.

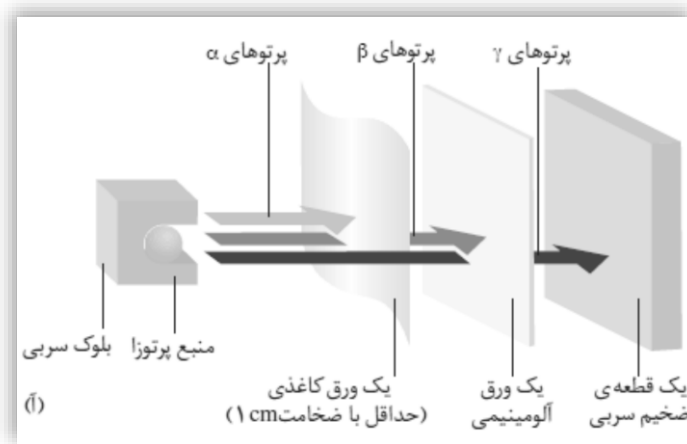
۳. پرتو گاما (γ):

- بار الکتریکی و جرم ندارد و خنثی است. زیرا در میدان الکتریکی منحرف نمی شود.
- از جنس نور با انرژی زیاد می باشد.



مقایسه ی انرژی و قدرت نفوذ پرتوهای آلفا ، بتا و گاما

رادرفورد مقداری از ماده ی پرتوزا را درون بلوک سربی دارای روزنه ی کوچک قرار داد تا باریکه ای از تابش مواد پرتوزا ایجاد کند. وی این پرتوها را به ورقه هایی از جنس کاغذ ، آلومینیوم و سرب تاباند تا قدرت نفوذ آن ها را با هم مقایسه کند :



بنابراین انرژی و قدرت نفوذ پرتو گاما بیش تر از پرتو بتا و پرتو بتا بیش تر از پرتو آلفا می باشد. ($\gamma > \beta > \alpha$)

انحراف ذره ی باردار در میدان الکتریکی

میزان انحراف یک ذره ی باردار در میدان الکتریکی به دو عامل بستگی دارد : $\frac{q}{m}$ = میزان انحراف ذره

۱. جرم ذره ی باردار (m) : هر چه جرم ذره ی باردار کم تر باشد ، در میدان الکتریکی بیش تر منحرف می شود.
 ۲. بار الکتریکی ذره ی باردار (q) : هر چه بار الکتریکی ذره ی باردار بیش تر باشد ، در میدان الکتریکی بیش تر منحرف می شود.
- بنابراین هر چه جرم ذره کم تر و بار الکتریکی آن بیشتر باشد در میدان الکتریکی بیش تر منحرف می شود.



نکته: در حل مسأله ، ابتدا باید نسبت بار به جرم ذره ی باردار را محاسبه کنید. عدد به دست آمده برای هر ذره ای بیش تر باشد میزان انحراف آن ذره در میدان الکتریکی بیش تر خواهد بود.

مثال : میزان انحراف پرتو بتا و پرتو آلفا با نوشتن دلیل با هم مقایسه کنید ؟

❖ **پاسخ :** میزان انحراف پرتو بتا بیش تر است زیرا پرتو بتا از جنس الکترون بوده و جرم آن بسیار کم تر از جرم پرتو آلفا می باشد.

مثال : میزان انحراف ذره های مقابل را در میدان الکتریکی با هم مقایسه کنید ؟ $^{23}\text{Na}^+$, $^{40}\text{Ca}^+$

❖ **پاسخ :** $^{23}\text{Na}^+$ بیش تر منحرف می شود زیرا جرم کم تری دارد. (بار الکتریکی هر دو ذره یکسان است پس جرم هر کدام کم تر باشد انحراف بیشتری دارد).

مثال : میزان انحراف ذره های مقابل را در میدان الکتریکی با هم مقایسه کنید ؟ $^{24}\text{Mg}^+$, $^{24}\text{Mg}^{2+}$

❖ **پاسخ :** $^{24}\text{Mg}^{2+}$ بیش تر منحرف می شود زیرا بار الکتریکی بیش تری دارد. (جرم هر دو یکسان است پس بار الکتریکی هر کدام بیش تر باشد انحراف بیشتری دارد).

مثال : میزان انحراف ذره های مقابل را در میدان الکتریکی با هم مقایسه کنید ؟ $^{23}\text{Na}^+$, $^{27}\text{Al}^{3+}$

❖ **پاسخ :** ابتدا نسبت بار الکتریکی به جرم را برای هر دو ذره محاسبه کنید. هر کدام عدد بیش تری باشد ، انحراف بیش تری خواهد داشت.

$$^{27}\text{Al}^{3+} : \frac{e}{m} = \frac{3}{27} = \frac{1}{9} \quad ^{23}\text{Na}^+ : \frac{e}{m} = \frac{1}{23} > \frac{1}{23}$$

پس میزان انحراف $^{27}\text{Al}^{3+}$ در میدان الکتریکی بیش تر خواهد بود.

مثال : کدام یک از پدیده های زیر به کمک نظریه ی اتمی دالتون قابل توجیه است ؟ چرا ؟

(الف) اتم اکسیژن ۸ الکترون ، ۸ پروتون و ۸ نوترون دارد.

(ب) از واکنش ۲ گرم گاز هیدروژن با ۱۶ گرم گاز اکسیژن ، ۱۸ گرم آب تولید می شود. $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

(ج) در سدیم کلرید (نمک خوراکی) پیوند بین اتم ها یونی است.

(د) در همه ی مولکول های کربن دی اکسید ، یک اتم کربن و دو اتم اکسیژن وجود دارد.

❖ **پاسخ :**

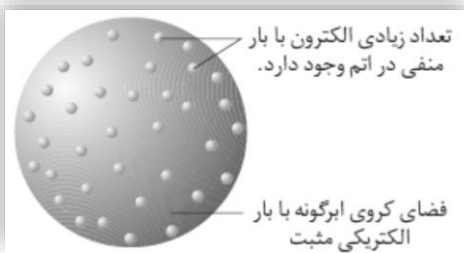
(الف) قابل توجیه نیست زیرا او اعتقاد داشت که اتم تجزیه ناپذیر است.

(ب) قابل توجیه است زیرا او اعتقاد داشت که اتم ها نه از بین می روند و نه به وجود می آیند. (قانون پایستگی جرم برقرار است).

(ج) قابل توجیه نیست زیرا او به ماهیت پیوند شیمیایی اشاره نکرده است.

(د) قابل توجیه است زیرا او بیان کرد : در هر مولکول از یک ترکیب معین همواره نوع و تعداد نسبی اتم های سازنده یکسان است.

مدل اتمی تامسون (مدل کیک کشمشي يا هندوانه اي)



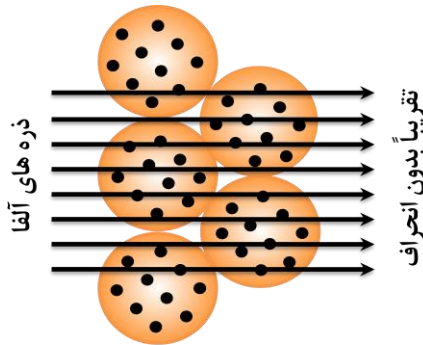
جوزف تامسون به کمک آزمایش های خود وجود ذره ای زیر اتمی به نام الکترون را در اتم اثبات کرد و مدل اتمی خود را چنین معرفی نمود :

۱. الکترون ها که ذره هایی با بار منفی هستند درون فضای کروی ابرگونه ای با بار مثبت پراکنده شده اند.
۲. اتم در مجموع خنثی است پس مقدار بار مثبت فضای کروی ابرگونه با مجموع بار منفی الکترون ها برابر است.
۳. این ابر کروی مثبت جرمی ندارد و جرم اتم به تعداد الکترون های آن بستگی دارد.
۴. جرم زیاد اتم از وجود تعداد بسیار زیادی الکترون در آن ناشی می شود.



نکته: رادرفورد نتوانست تشکیل تابش های حاصل از مواد پرتوزا را به کمک مدل اتمی تامسون توجیه کند. بنابراین در درستی این مدل تردید کرد.

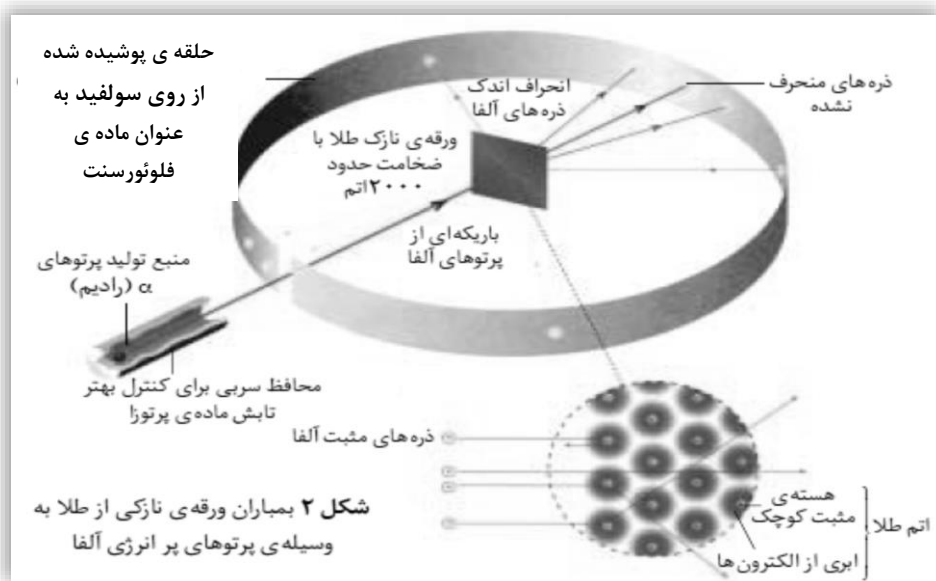
آزمایش ورقه ی طلای رادرفورد



انتظار رادرفورد (توجیه با مدل تامسون)

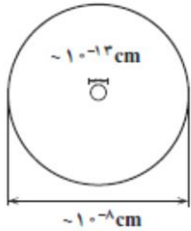
در سال ۱۹۱۰ رادرفورد ورقه ی نازکی از طلا را با ذره های آلفا بمباران کرد او انتظار داشت همه ی ذره های پرتوزا و سنگین آلفا (دارای بار مثبت) با کم ترین میزان انحراف از این ورقه ی نازک عبور کنند. زیرا طبق مدل اتمی تامسون درون اتم ابر کروی با بار مثبت وجود دارد که جرمی ندارد پس ذره های آلفا باید به راحتی بتوانند از این فضای ابرگونه عبور کنند.

اما آزمایش رادرفورد نتیجه ی دیگری داشت و مشاهدات و نتیجه گیری های زیر را در بر داشت :



مشاهده ها و نتایج آزمایش ورقه ی طلای رادرفورد

رادرفورد به کمک مشاهده های خود توانست قطر اتم طلا و قطر هسته ی آن را به طور تقریبی محاسبه کند.



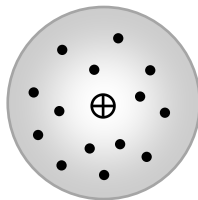
۱. بیش تر ذره های آلفا بدون انحراف و در مسیری مستقیم از ورقه ی نازک طلا عبور کردند.
❖ نتیجه: بیش تر حجم اتم را فضای خالی تشکیل می دهد.
۲. تعداد زیادی از ذره های آلفا با زاویه ی اندکی از مسیر اولیه منحرف شدند.
❖ نتیجه: در اتم یک میدان الکتریکی قوی وجود دارد.
۳. تعداد بسیار اندکی از ذره های آلفا با زاویه ای بیش از ۹۰ درجه از مسیر اولیه منحرف شدند.
❖ نتیجه: اتم طلا هسته های بسیار کوچک با جرم بسیار زیاد دارد.

نکته: از آن جا که تعداد زیادی از ذره های آلفا با زاویه اندکی منحرف شدند نشان می دهد که ذره های مثبت آلفا از مجاورت هسته عبور کرده اند که به علت دافعه بین بارهای همنام (میدان الکتریکی) از مسیر اولیه منحرف شده اند.

نکته: از آن جا که تعداد بسیار اندکی از ذره های آلفا با زاویه ی بیش تر از ۹۰ درجه منحرف شده اند نشان می دهد که ذره ی مثبت آلفا با هسته طلا که جرم زیادی دارد، برخورد کرده و به علت دافعه ی بارهای همنام ذره ی آلفا که سبک تر است منحرف شده است.



ارنست رادرفورد
(۱۸۷۱-۱۹۳۷)



مدل اتمی رادرفورد (مدل اتمی هسته دار)

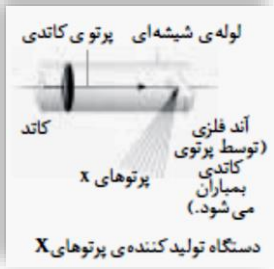
۱. بیش تر حجم اتم را فضای خالی تشکیل می دهد که در اختیار الکترون هاست.
۲. اتم هسته ای کوچک با بار مثبت و جرم بسیار زیاد در مرکز دارد.

دیگر ذره های سازنده ی اتم

پروتون (رادرفورد ، ۱۹۱۹) : الکترون در آغاز قرن ۲۰ کشف شد و آزمایش پرتو کاتدی نشان داد که بار الکتریکی آن منفی است. از آن جا که اتم در مجموع خنثی است، پس باید ذره ی دیگری در اتم وجود داشته باشد که بار الکتریکی آن مثبت است. در سال ۱۹۱۹ رادرفورد و همکارانش دومین ذره ی سازنده ی اتم را شناسایی کرده و این ذره را **پروتون** نامیدند. پروتون ذره ای با بار الکتریکی مثبت است که بار آن با بار الکتریکی الکترون برابر است و جرم آن ۱۸۳۷ بار سنگین تر از جرم الکترون است.

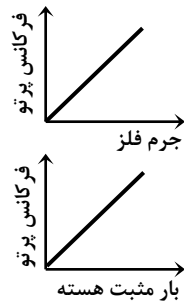
نوترون (چادویک ، ۱۹۳۲) : رادرفورد از وجود ذره ی دیگری در هسته ی اتم خبر داد که جرم آن با جرم پروتون برابر است و بار الکتریکی ندارد. اما کسی گفته ی او را بدون ارایه ی شواهد آزمایشگاهی نپذیرفت. سرانجام در سال ۱۹۳۲ یکی از شاگردان زیرک و با ذکاوت او به نام **جیمز چادویک** وجود سومین ذره ی زیر اتمی را در اتم به اثبات رساند و نام آن را **نوترون** گذاشت. نوترون ذره ای بدون بار است که جرم آن اندکی از جرم پروتون بیش تر است.

کشف عدد اتمی



پرتوهای X در سال ۱۸۹۵ توسط ویلهلم رونتگن فیزیک دان آلمانی کشف شد. این پرتوها از جنس نور هستند و قدرت نفوذ به نسبت زیادی در اجسام دارند. وی این پرتوها را با تاباندن پرتوهای کاتدی روی یک آند فلزی به دست آورد. اما چون از ماهیت این پرتوها اطلاعی نداشت آن را پرتو X نامید.

موزلی در دستگاه تولید کننده ی پرتو X فلزهایی از جنس مختلف را در آند قرار داد و فرکانس پرتوهای حاصل را اندازه گیری کرد. او مشاهده کرد که :



با افزایش جرم اتم فلز ، فرکانس پرتو تولید شده افزایش می یابد.

رادرفورد با محاسبه ی مقدار بار مثبت هسته ی اتم هر یک از این فلزها نشان داد که :

با افزایش مقدار بار مثبت هسته ، فرکانس پرتو تولید شده افزایش می یابد.

وی مقدار بار اندازه گیری شده را بر بار الکتریکی پروتون ($+1/6.02 \times 10^{-19} \text{C}$) تقسیم کرد و عددهای صحیحی به دست آورد که آن را عدد اتمی نامید.

$$\text{عدد اتمی} = \frac{\text{بار هسته یک اتم}}{\text{بار یک پروتون}} = \frac{\text{بار هسته یک اتم}}{1.602 \times 10^{-19}}$$

عدد اتمی : تعداد پروتون های موجود در هسته ی اتم را عدد اتمی گویند و آن را با نماد Z نشان می دهند.



نکته: رادرفورد می گفت که عدد اتمی همه ی اتم های یک عنصر یکسان است پس به کمک آن می توان نوع عنصر را معین کرد.

مثال : عدد اتمی گوگرد ۱۶ است. مقدار بار هسته ی اتم گوگرد را محاسبه کنید؟

$$\text{عدد اتمی} = \frac{\text{بار هسته یک اتم}}{1.602 \times 10^{-19}} \Rightarrow 16 = \frac{\text{بار هسته گوگرد}}{1.602 \times 10^{-19}} \Rightarrow \text{بار هسته گوگرد} = 16 \times 1.602 \times 10^{-19} = 2.56 \times 10^{-18} \text{ C}$$

مثال :اگر بار هسته ی پتاسیم $3.0438 \times 10^{-18} \text{ C}$ باشد تعداد پروتون های درون هسته ی اتم پتاسیم را به دست آورید؟

$$\text{عدد اتمی} = \frac{\text{بار هسته یک اتم}}{1.602 \times 10^{-19}} = \frac{3.0438 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} = 19$$



نکته: عدد اتمی را در سمت چپ پایین نماد شیمیایی عنصر نشان می دهند. مثل ${}_{19}\text{K}$ ، ${}_{26}\text{Fe}$ ، ${}_{8}\text{O}$

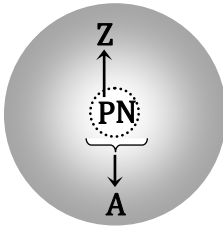
تمرین : اگر بار هسته ی اتم آهن برابر $4/165 \times 10^{-18} \text{ C}$ باشد ، عدد اتمی آن چقدر است؟

تمرین : عدد اتمی منیزیم ۱۲ است. مقدار بار هسته ی اتم منیزیم را محاسبه کنید؟



نکته: در یک اتم خنثی تعداد الکترون با تعداد پروتون برابر است پس عدد اتمی تعداد الکترون ها را نیز مشخص می کند.

عدد جرمی



از آن جا که جرم الکترون ها در مقایسه با جرم پروتون ها و نوترون ها بسیار ناچیز است بنابراین جرم یک اتم تنها به تعداد پروتون ها و نوترون های درون هسته بستگی دارد. اگر اتمی حتی بیش از ۱۰۰ الکترون داشته باشد بر جرم اتم تأثیر چندانی ندارد.

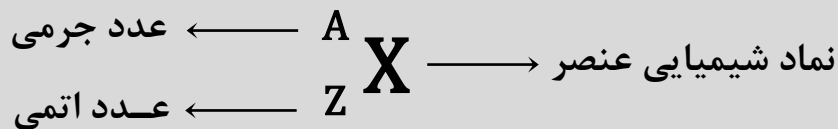
عدد جرمی: به مجموع تعداد پروتون ها و نوترون های درون هسته ی اتم ، عدد جرمی می گویند و آن را با نماد **A** نشان می دهند.

تعداد نوترون ها + تعداد پروتون ها (عدد اتمی) = عدد جرمی

$$A = Z + N$$



نکته: شیمی دان ها برای هر اتم این اطلاعات را به صورت خلاصه شده ی زیر نشان می دهند :



دانشمندان جرم اتم ها را به کمک دستگاهی به نام **طیف سنج جرمی** و با دقت بسیار زیاد اندازه گیری می کنند. این اندازه گیری ها نشان می دهد که جرم همه ی اتم های یک عنصر یکسان نیست. از آن جا که همه ی اتم های یک عنصر تعداد پروتون و در نتیجه عدد اتمی یکسان دارند پس این **اختلاف در جرم** باید به **عدد جرمی** و **تعداد نوترون** های موجود در هسته ی اتم مربوط باشد. این مطالعات به معرفی مفهوم **ایزوتوپ** (هم مکان) انجامید.

ایزوتوپ

ایزوتوپ: اتم های یک عنصر را که **عدد اتمی یکسان** ولی **عدد جرمی متفاوت** دارند ، ایزوتوپ می گویند.

مثال : اتم های $\frac{A}{Z}\text{B}$ ، $\frac{A+1}{Z}\text{B}$ ، $\frac{A-1}{Z}\text{B}$ و $\frac{A+3}{Z}\text{B}$ ایزوتوپ هستند.

مثال : اتم های $^{37}_{17}\text{Cl}$ و $^{35}_{17}\text{Cl}$ ایزوتوپ هستند.



نکته: فراوانی ایزوتوپ های یک عنصر در طبیعت یکسان نیست. برخی عناصر مانند فلور ، فسفر و آلومینیوم تنها یک ایزوتوپ پایدار دارند. در حالی که برخی از دو یا تعداد بیشتری ایزوتوپ پایدار برخوردارند برای نمونه قلع ده ایزوتوپ پایدار دارد.

مثال : اتم هیدروژن دارای سه ایزوتوپ می باشد نماد شیمیایی و مشخصات آن ها را بنویسید؟

نام ایزوتوپ	نماد ایزوتوپ	تعداد الکترون	تعداد پروتون	تعداد نوترون	ویژگی
پروتیوم	^1_1H	۱	۱	۰	هیدروژن معمولی
دوتریوم	^2_1D	۱	۱	۱	هیدروژن سنگین
تریوم	^3_1T	۱	۱	۲	ناپایدار و پرتوزا



نکته: همه ی ایزوتوپ های یک عنصر در یک خانه از جدول تناوبی قرار دارند. از آن جا که تعداد الکترون ها در ایزوتوپ های یک عنصر برابر است بنابراین خواص شیمیایی یکسان دارند. اما چون جرم متفاوت دارند بنابراین خواص فیزیکی آن ها متفاوت است.

مثال : در گونه های زیر تعداد الکترون ، پروتون و نوترون را مشخص کنید :



پاسخ الف: ${}_{11}^{23}\text{Na} : Z = P = e = 11 , N = 23 - 11 = 12$

پاسخ ب: ${}_{13}^{27}\text{Al} : Z = P = e = 13 , N = 27 - 13 = 14$

پاسخ ج: ${}_{26}^{56}\text{Fe} : Z = P = e = 26 , N = 56 - 26 = 30$

پاسخ د: ${}_{16}^{32}\text{S} : Z = P = e = 16 , N = 32 - 16 = 16$

تعداد الکترون ، پروتون و نوترون در کاتیون و آنیون

کاتیون



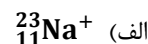
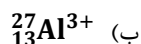
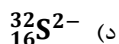
تعداد پروتون = Z
تعداد نوترون = A - Z
تعداد الکترون = Z - n

آنیون



تعداد پروتون = Z
تعداد نوترون = A - Z
تعداد الکترون = Z + n

مثال : تعداد الکترون ، پروتون و نوترون را در یون های زیر مشخص کنید :



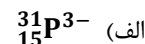
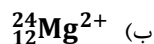
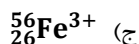
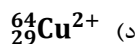
پاسخ الف: ${}_{11}^{23}\text{Na}^{+} : P = 11 , N = 23 - 11 = 12 , e = 11 - 1 = 10$

پاسخ ب: ${}_{13}^{27}\text{Al}^{3+} : P = 13 , N = 27 - 13 = 14 , e = 13 - 3 = 10$

پاسخ ج: ${}_{17}^{37}\text{Cl}^{-} : P = 17 , N = 37 - 17 = 20 , e = 17 + 1 = 18$

پاسخ د: ${}_{16}^{32}\text{S}^{2-} : P = 16 , N = 32 - 16 = 16 , e = 16 + 2 = 18$

تمرین : تعداد الکترون ، پروتون و نوترون را در یون های زیر مشخص کنید :



تمرین : نماد شیمیایی یونی را بنویسید که ۱۸ الکترون ، ۱۹ پروتون و ۲۰ نوترون دارد ؟

تمرین : نماد شیمیایی یونی را بنویسید که ۱۸ الکترون ، ۱۵ پروتون و ۱۶ نوترون دارد ؟

تمرین : نماد شیمیایی اتمی را بنویسید که ۴۸ الکترون و ۶۴ نوترون دارد ؟

تمرین : در کدام یک از گونه های زیر بیشترین تعداد نوترون وجود دارد ؟



جرم یک اتم

شیمی دان ها جرم اتم های بسیاری از عناصر شناخته شده را به طور نسبی اندازه گیری کردند. مثلاً جرم یک اتم اکسیژن $1/33$ برابر جرم یک اتم کربن و جرم یک اتم کلسیم $2/5$ برابر جرم یک اتم اکسیژن است. اما استفاده از این نسبت ها کاری دشوار است. لذا شیمی دان ها جرم خاصی را به یک عنصر معین نسبت داده و جرم سایر عناصر را نسبت به آن می سنجند.

شیمی دان ها ابتدا هیدروژن و سپس اکسیژن را به عنوان استاندارد برای اندازه گیری جرم اتم ها انتخاب کردند اما سرانجام فراوان ترین ایزوتوپ کربن - 12 (^{12}C) به عنوان استاندارد انتخاب شد.

اتم کربن در هسته ی خود 6 پروتون و 6 نوترون دارد. دانشمندان جرم این اتم را 12 در نظر گرفتند و جرم سایر عناصر را نسبت به آن به دست آوردند.

شیمی دان ها برای جرم یک اتم یا جرم اتمی ، amu را به عنوان یکای جرم اتمی معرفی کردند.

یکای جرم اتمی (amu) : $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن - 12 را واحد جرم اتمی می نامند و آن را با نماد amu نشان می دهند.

$$\frac{6p+6n+6e}{12} = \frac{6\text{amu}+6\text{amu}+0}{12} = \frac{12\text{amu}}{12} = \text{amu} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g} = 1 \text{ Dalton}$$

واحد جرم اتمی : 1 Dalton



نکته: جرم پروتون 1 amu ، جرم نوترون 1 amu و جرم الکترون $\frac{1}{1836}$ amu است.

جرم		بار الکتریکی	نماد	نام ذره
g	amu			
$9/109 \times 10^{-28}$	0/0005	-1	نماد ${}_{-1}^0\text{e}$	الکترون
$1/673 \times 10^{-24}$	1/0073	+1	نماد ${}_{+1}^1\text{p}$	پروتون
$1/675 \times 10^{-24}$	1/0087	0	نماد ${}_{0}^1\text{n}$	نوترون



نکته: می توان از روی عدد جرمی یک اتم ، جرم آن را تخمین زد. به عنوان مثال جرم اتم آهن که 26 پروتون و 30 نوترون دارد برابر 56 amu است. (${}_{26}^{56}\text{Fe}$)

مثال : جرم یک اتم اکسیژن $1/33$ برابر جرم یک اتم کربن است. جرم اتم اکسیژن را بر حسب amu محاسبه کنید؟

پاسخ: $16 \text{ amu} \times 1.33 = 12 \text{ amu}$

مثال : جرم یک اتم آهن (${}_{26}^{56}\text{Fe}$) را بر حسب amu محاسبه کنید؟

پاسخ: $26\text{p} + 30\text{n} = 26\text{amu} + 30\text{amu} = 56\text{amu}$

جرم همه ی اتم های یک عنصر یکسان نیست و فراوانی اتم های یک عنصر هم با هم تفاوت دارد. بنابراین برای گزارش جرم نمونه های طبیعی باید **جرم اتمی میانگین** را به کار ببریم.

برای به دست آوردن جرم اتمی میانگین از فرمول زیر استفاده کنید :

$$\bar{M} = \frac{M_1 F_1 + M_2 F_2 + M_3 F_3 + \dots}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots}$$

فرمول جرم اتمی میانگین

\bar{M} : جرم اتمی میانگین M_1 : جرم ایزوتوپ اول M_2 : جرم ایزوتوپ دوم M_3 : جرم ایزوتوپ سوم
 F_1 : فراوانی ایزوتوپ اول F_2 : فراوانی ایزوتوپ دوم F_3 : فراوانی ایزوتوپ سوم

مثال: کلر در طبیعت به صورت دو ایزوتوپ وجود دارد: $75/77\%$ اتم های کلر جرم $34/969 \text{ amu}$ و $24/23\%$ اتم های کلر جرم $36/966 \text{ amu}$ دارند. جرم اتمی میانگین کلر را محاسبه کنید؟

$$\bar{M} = \frac{M_1 F_1 + M_2 F_2}{F_1 + F_2} = \frac{(34.969 \text{ amu} \times 75.77) + (36.966 \text{ amu} \times 24.23)}{75.77 + 24.23} = 35.453 \text{ amu}$$

پاسخ:

مثال: جرم اتمی میانگین منیزیم را حساب کنید اگر: $78/99\%$ اتم های (^{24}Mg) جرم $23/99 \text{ amu}$ و $10/00\%$ اتم های (^{25}Mg) جرم $24/99 \text{ amu}$ و $11/01\%$ اتم های (^{26}Mg) جرم $25/98 \text{ amu}$ داشته باشند؟

$$\bar{M} = \frac{M_1 F_1 + M_2 F_2 + M_3 F_3}{F_1 + F_2 + F_3} = \frac{(23.99 \text{ amu} \times 78.99) + (24.99 \text{ amu} \times 10) + (25.98 \text{ amu} \times 11.01)}{78.99 + 10 + 11.01} = 24.31 \text{ amu}$$

پاسخ:

مثال: کربن موجود در طبیعت مخلوطی از ^{12}C و ^{13}C است. جرم اتمی ^{12}C برابر 12 amu و جرم اتمی ^{13}C برابر $13/003 \text{ amu}$ است. جرم اتمی میانگین کربن $12/011 \text{ amu}$ می باشد. فراوانی دو ایزوتوپ را به دست آورید؟

$$\bar{M} = \frac{M_1 F_1 + M_2 F_2}{F_1 + F_2} \Rightarrow 12.011 = \frac{12 F_1 + 13.003 F_2}{1.00} \Rightarrow 12.011 = 12 F_1 + 13.003 F_2$$

پاسخ:

$$F_1 + F_2 = 1.00 \Rightarrow F_2 = 1.00 - F_1$$

از طرفی:

$$12.011 = 12 F_1 + 13.003 (1.00 - F_1) \Rightarrow 12.011 = 12 F_1 + 13.003 - 13.003 F_1$$

$$12.011 = 12 F_1 + 13.003 - 13.003 F_1 \Rightarrow 12.011 - 13.003 = -1.003 F_1$$

در نتیجه:

$$12.011 - 13.003 = -1.003 F_1 \Rightarrow -99.903 = -1.003 F_1 \Rightarrow F_1 = 99.6 \Rightarrow F_2 = 0.4$$

ادامه:

تمرین: لیتیم موجود در طبیعت مخلوطی از ^6Li و ^7Li است. جرم اتمی ^6Li برابر $6/015 \text{ amu}$ و جرم اتمی ^7Li برابر $7/016 \text{ amu}$ است. جرم اتمی میانگین لیتیم $6/941 \text{ amu}$ می باشد. فراوانی دو ایزوتوپ را به دست آورید؟

تمرین: نقره موجود در طبیعت مخلوطی از ^{107}Ag و ^{109}Ag است. جرم اتمی ^{107}Ag برابر $106/906 \text{ amu}$ و جرم اتمی ^{109}Ag برابر $107/905 \text{ amu}$ است. جرم اتمی میانگین نقره $107/868 \text{ amu}$ می باشد. فراوانی دو ایزوتوپ را به دست آورید؟

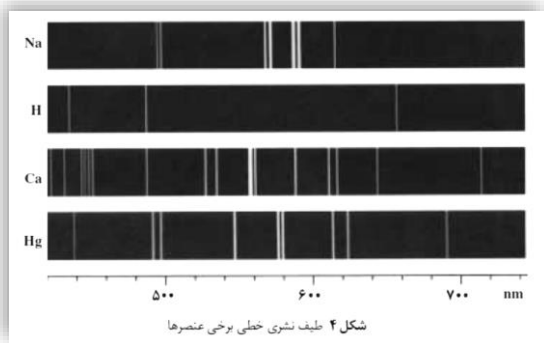
تمرین: عنصری مرکب از مخلوطی از $90/51\%$ ایزوتوپی با جرم اتمی $19/992 \text{ amu}$ و $9/49\%$ ایزوتوپی با جرم اتمی $20/994 \text{ amu}$ ایزوتوپی با جرم اتمی $21/990 \text{ amu}$ می باشد. جرم اتمی میانگین این عنصر را به دست آورید؟

چینی ها از جمله نخستین کسانی بودند که بیش از ۱۰۰۰ سال پیش **باروت سیاه** را تهیه کرده و در موارد صلح جویانه مانند حفر تونل و در معادن برای ایجاد انفجار به مصرف می رسانده اند. باروت سیاه مخلوطی از پتاسیم نیترات ، گرد زغال و گوگرد است. یکی دیگر از موارد استفاده از باروت سیاه در آتش بازی و ایجاد صداهای بلند بوده است. با اضافه کردن **براده های آهن** به باروت سیاه جرقه های آتش به رنگ **نارنجی** تولید می شود. ترکیب های مس، استرانسیم، باریم ، آلومینیوم و منیزیم نیز رنگ های زیبایی به جرقه های آتش می بخشند. اما این سؤال که این نورهای زیبا چگونه به وجود می آیند ، پرسشی بود که همواره بی پاسخ ماند.



طیف پیوسته: در سال ۱۶۶۶ نیوتون اعلام کرد که نور خورشید به هنگام عبور از یک منشور شکافته شده و طیفی پیوسته از رنگ هایی شبیه رنگین کمان به وجود می آورد. این طیف همه ی طول موج های نور مرئی را نشان می دهد و بین رنگ های تولید شده مرز مشخصی وجود ندارد و رنگ ها در هم تنیده شده اند.

رابرت بونزن شیمی دان معروف آلمانی **مخترع چراغ بونزن** موفق به کشف دستگاهی به نام **طیف بین** شد که سهم زیادی در پیشرفت شیمی داشت.



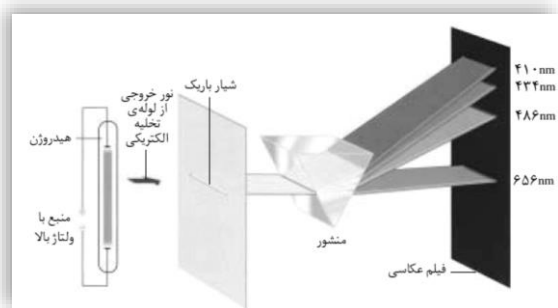
طیف نشری خطی: **رابرت بونزن** مقداری از ترکیب مس دار مانند **کات کبود** را در شعله ی چراغ خود قرار داد و مشاهده کرد که رنگ آبی شعله به سبزی می گراید. وی نور سبز رنگ حاصل را از یک منشور عبور داد و طیفی تشکیل شده از چند خط جدا از هم به دست آورد و آن را **طیف نشری خطی** مس نامید. او با تکرار آزمایش فوق با چند ترکیب فلز دار دیگر مشاهده کرد که هر فلز طیف نشری خطی متفاوتی ایجاد می کند.



نکته: هر فلز طیف نشری خطی خاص خود را داراست و مانند اثر انگشت می توان از آن برای شناسایی فلز مورد نظر بهره گرفت.



نکته: یکی دیگر از روش های تشکیل طیف نشری خطی اتم ها ، ایجاد تخلیه ی الکتریکی در آن هاست.



طیف نشری خطی هیدروژن: اگر بر یک لوله ی تخلیه الکتریکی دارای گاز هیدروژن با فشار کم ، ولتاژ بالایی اعمال شود ، گاز درون لوله با رنگ صورتی روشن به التهاب در می آید. اگر نور صورتی حاصل از یک منشور عبور داده شود ، طیف نشری خطی هیدروژن به دست می آید که شامل ۴ خط در ناحیه ی مرئی است.



آزمون شعله

آزمایش شعله: آزمایشی است که در آن جنس فلز موجود در یک ترکیب فلزدار را از روی رنگی که به شعله ی چراغ می دهد ، تعیین می کنند.

رنگ شعله: رنگی را که یک فلز یا ترکیب های آن به شعله ی چراغ می دهند ، رنگ شعله می گویند.



نکته: هر فلزی رنگ ویژه ای به شعله ی چراغ می دهد از این رو از رنگ شعله ی چراغ می توان برای شناسایی فلز موجود در یک نمونه استفاده کرد.

فلز	مس	کلسیم	باریم	استرانسیم	سدیم	پتاسیم
رنگ شعله	آبی	قرمز آجری	سبز مایل به آبی	قرمز لاکه	زرد	بنفش

مدل اتمی بور



نیلز بور
(۱۸۸۵-۱۹۶۲)

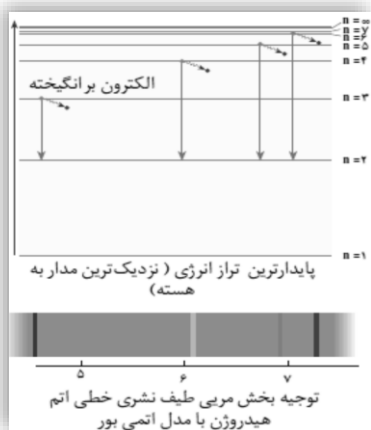
در سال ۱۹۱۳ نیلز بور دانشمند دانمارکی مدل اتمی رادرفورد را برای توجیه طیف نشری خطی هیدروژن و ساختار اتم های آن نارسا دانست و برای اتم هیدروژن مدل تازه ای با فرض های زیر ارائه داد:

۱. الکترون در اتم هیدروژن در مسیری دایره ای شکل به نام مدار به دور هسته گردش می کند.
۲. انرژی این الکترون با فاصله ی آن از هسته رابطه ای مستقیم دارد. به عبارت دیگر هر چه الکترون از هسته دورتر شود ، انرژی آن افزایش می یابد.
۳. این الکترون فقط می تواند در فاصله های معین و ثابتی پیرامون هسته گردش کند. به عبارت دیگر الکترون تنها اجازه دارد مقادیر معینی انرژی داشته باشد. به هر یک از این مقادیر انرژی ، تراز انرژی می گویند.

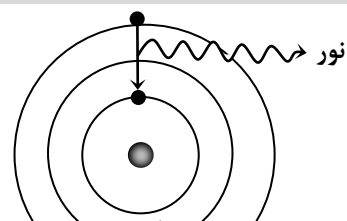
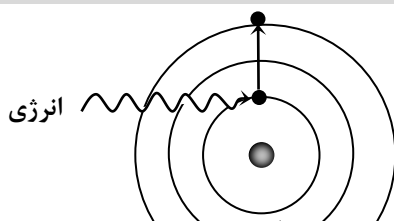
۴. این الکترون معمولاً در پایین ترین تراز انرژی ممکن (نزدیک ترین مدار به هسته) قرار دارد. به این تراز انرژی ، حالت پایه می گویند.

۵. با دادن مقدار معینی انرژی به این الکترون می توان آن را از حالت پایه (تراز با انرژی کم تر) به حالت برانگیخته (تراز با انرژی بالاتر) انتقال داد.

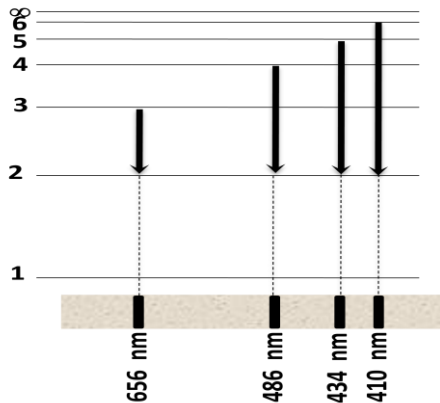
۶. الکترون در حالت برانگیخته ناپایدار است. از این رو همان مقدار انرژی گرفته شده را به صورت نوری با طول موج معین نشر و به حالت پایه باز می گردد.



نکته: بور به هر یک از ترازهای انرژی کوانتیده عدد خاصی نسبت داد و آن را عدد کوانتومی اصلی نامید و آن را با نماد n نشان داد. $n=1$ پایدارترین تراز انرژی مجاز برای الکترون است.



انرژی کوانتومی: به این گونه انرژی که به صورت یک بسته ی انرژی مبادله می شود ، انرژی کوانتومی یا پیمانه ای می گویند.



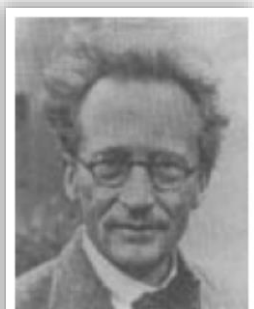
در طیف نشری خطی هیدروژن در ناحیه ی مرئی چهار خط مشاهده می شود که دلیل آن بازگشت الکترون از تراز های ۶ ، ۵ ، ۴ و ۳ به تراز الکترونی ۲ است که هر یک طول موج معینی دارد و این طول موج ها در گستره ی دید قرار دارند. مدل اتمی بور توانست طیف نشری خطی اتم هیدروژن را توجیه کند اما در توجیه طیف نشری خطی سایر عناصر (عناصری با بیش از یک الکترون) عاجز بود. اشکال دوم مدل اتمی بور آن بود که در این مدل مسیر حرکت الکترون دایره ای به مرکز هسته بود. در حالی که در مقیاس اتمی انرژی کوانتیده است و نمی توان مسیر حرکت الکترون را با دقت زیاد مشخص کرد بلکه همواره با یک احتمال رو به رو هستیم.



نکته: بور با کوانتیده در نظر گرفتن ترازهای انرژی توانست طیف نشری خطی هیدروژن را توجیه کند اما نتوانست طیف نشری خطی سایر عناصر را با مدل پیشنهادی خود توجیه کند و به نارسایی مدل خود پی برد.

رفتار موجی – ذره ای نور

رفتار ذره ای: در رفتار ذره ای ، جرم و انرژی هم زمان از جایی به جای دیگر منتقل می شوند. مانند یک توپ در حال حرکت
رفتار موجی: در رفتار موجی با انتقال انرژی از جایی به جای دیگر ، جرم جا به جا نمی شود. مانند موج آب ، پدیده ی تداخل و پراش نور مطالعه ی خواص نور نشان می دهد که نور خواص دوگانه ی موجی – ذره ای دارد و مدل کوانتومی اتم بر اساس خاصیت موجی الکترون بنا شده است.



اروین شرودینگر
(۱۸۸۷-۱۹۶۱)

مدل کوانتومی اتم

در سال ۱۹۲۶ **اروین شرودینگر** فیزیک دان مشهور اتریشی مدل کوانتومی خود را چنین معرفی کرد. او در مدل خود به جای محدود کردن الکترون روی مدارهای دایره ای شکل از حضور الکترون در فضایی سه بعدی به نام اوربیتال سخن به میان آورد.

۱. الکترون در فضایی سه بعدی در اطراف هسته ی اتم به نام **اوربیتال** حضور دارد.

۲. برای مشخص کردن هر الکترون به چهار عدد نیاز است که آن ها را **عددهای کوانتومی** نامید.

اوربیتال: فضای سه بعدی اطراف هسته ی اتم را که احتمال حضور الکترون در آن جا بیش تر است ، اوربیتال می گویند.

عدد کوانتومی اصلی (n)

۱. مقادیر آن عبارت است از : $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$
۲. عددی است که بور برای مشخص کردن ترازهای انرژی به کار برده بود.
۳. شماره ی لایه ی الکترونی را مشخص می کند.
۴. سطح انرژی الکترون را مشخص می کند.
۵. تعداد زیرلایه ها را در یک لایه ی الکترونی مشخص می کند.
۶. تعداد کل اوربیتال ها را در یک لایه الکترونی مشخص می کند. ($n^2 =$ تعداد کل اوربیتال ها)
۷. تعداد کل الکترون ها را در یک لایه الکترونی مشخص می کند. ($2n^2 =$ تعداد کل الکترون ها)
۸. با افزایش مقدار n انرژی لایه ی الکترونی افزایش می یابد.



نکته: در مدل کوانتومی به جای تراز انرژی از واژه ی **لایه ی الکترونی** استفاده میشود. در اطراف هسته ی اتم حداکثر هفت لایه ی الکترونی مشاهده شده است.

زیرلایه الکترونی: الکترون های موجود در یک لایه ی الکترونی، گروه های کوچک تری تشکیل می دهند که به آن زیر لایه می گویند.

عدد کوانتومی اوربیتالی (l)

۱. مقادیر آن عبارت است از : $l = 0, 1, 2, 3, \dots, (n - 1)$
۲. نوع زیر لایه را مشخص می کند. (s, p, d, f)
۳. شکل زیرلایه را مشخص می کند. (کروی، دمبلی،)
۴. تعداد اوربیتال ها را مشخص می کند. ($2l + 1 =$ تعداد اوربیتال)
۵. تعداد الکترون ها را در یک زیرلایه مشخص می کند. ($2(2l + 1) =$ تعداد الکترون در زیر لایه)

مقدار l	۰	۱	۲	۳
نوع زیر لایه	s	p	d	f
شکل زیرلایه	کروی	دمبلی	متفاوت	متفاوت



نکته: برای مشخص کردن هر زیرلایه از یک عدد و یک حرف لاتین استفاده می شود: $2p$ نشان می دهد که زیر لایه ی p در لایه ی الکترونی دوم قرار دارد.

مثال: در موارد زیر مقادیر l ، نوع زیر لایه و نماد آن را مشخص کنید؟

الف) $n = 3$ ب) $n = 4$

پاسخ الف: $n = 3 \Rightarrow l = 0, 1, 2 \Rightarrow 3s, 3p, 3d$

پاسخ ب: $n = 4 \Rightarrow l = 0, 1, 2, 3 \Rightarrow 4s, 4p, 4d, 4f$



تعداد اوربیتال = $2l + 1$

نکته: تعداد اوربیتال ها در هر زیرلایه از رابطه ی مقابل به دست می آید :



تعداد الکترون = $2(2l + 1)$

نکته: تعداد الکترون ها در هر زیرلایه از رابطه ی مقابل به دست می آید :

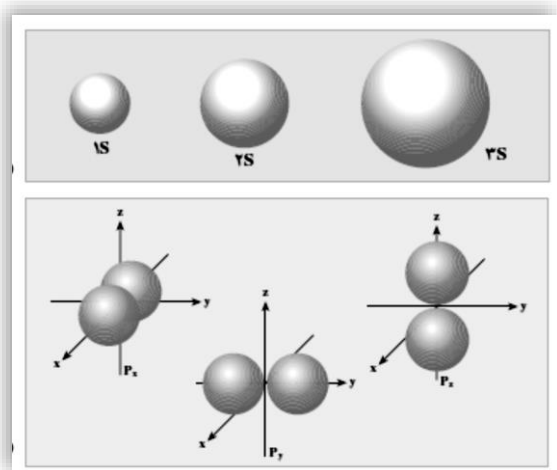
مثال : در زیرلایه ی الکترونی $l = 0$ چند اوربیتال و چند الکترون وجود دارد ؟

پاسخ: $1 = 1 + 0 = 2 \times (0) + 1 = 1$ تعداد اوربیتال

ادامه: $2 = 2(2l + 1) = 2[2 \times (0) + 1] = 2$ تعداد الکترون



نکته: هر اوربیتال حداکثر گنجایش دو الکترون را دارد.



۱. شکل اوربیتال های s کروی و شکل اوربیتال های p دمبلی است.

۲. با افزایش مقدار n اندازه ی اوربیتال بزرگ تر می شود طوری که اندازه ی اوربیتال های 1s, 2s, 3s به صورت زیر است :

$$1s < 2s < 3s$$

۳. اوربیتال های p هم انرژی بوده در امتداد محورهای x, y, z جهت گیری می کنند. به همین علت آن ها را با نمادهای زیر نشان می دهند :

$$p_x, p_y, p_z$$

۴. اندازه ی اوربیتال های p نیز با افزایش مقدار n افزایش می یابد:

$$2p < 3p < 4p$$

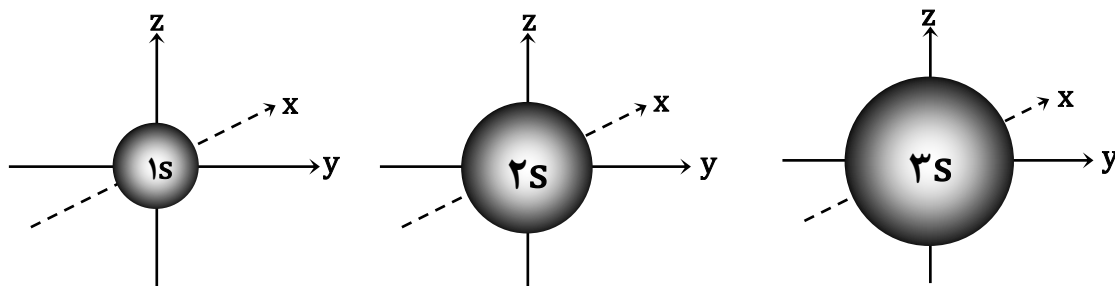
عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l)

۱. مقادیر آن عبارت است از : $m_l = -l, \dots, 0, \dots, +l$

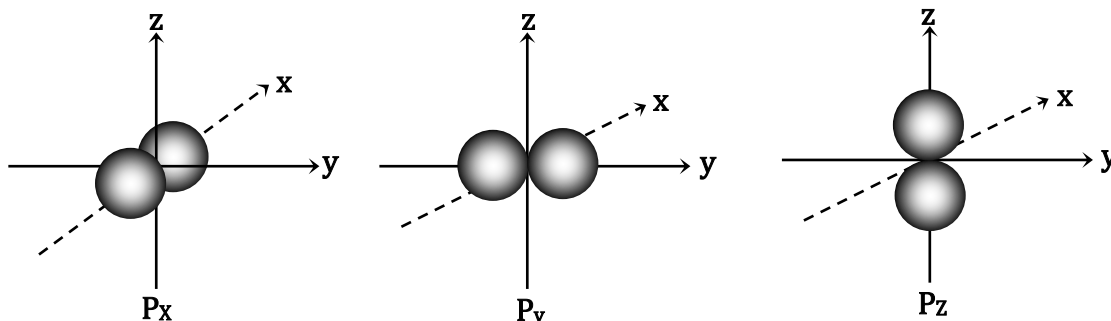
۲. جهت گیری اوربیتال ها را در فضا مشخص می کند.

مثال: در لایه ی الکترونی $n = 2$ زیرلایه ها و اوربیتال ها را مشخص کنید؟

پاسخ: $n = 2 \Rightarrow \begin{cases} l = 0 \Rightarrow m_l = 0 \Rightarrow 2s \\ l = 1 \Rightarrow m_l = -1, 0, +1 \Rightarrow 2p_x, 2p_y, 2p_z \end{cases}$



مثال: اوربیتال های $l = 1$ با p دارای سه نوع جهت گیری در امتداد محوره های x , y , z می باشند.

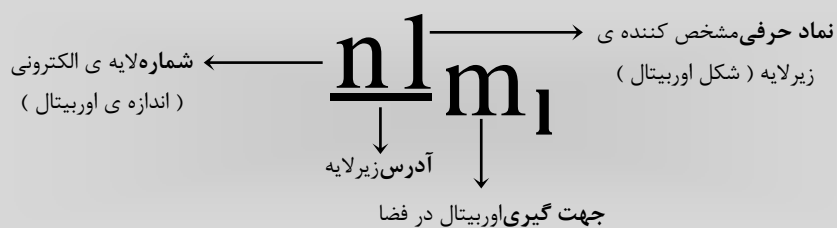


نکته: مجموعه ای از اوربیتال ها با مقدار **l** برابر ، یک زیرلایه و مجموعه ای از زیرلایه ها با **n** برابر ، یک لایه ی الکترونی را تشکیل می دهند.



n	l	نوع زیرلایه	تعداد زیرلایه	m_l	تعداد اوربیتال	تعداد کل اوربیتال	تعداد کل الکترون
1	0	1s	1	0	1	1	2
2	0	2s	1	0	1	4	8
	1	2p	3	-1, 0, +1	3		
3	0	3s	1	0	1	9	18
	1	3p	3	-1, 0, +1	3		
	2	3d	5	-2, -1, 0, +1, +2	5		

برای دادن آدرس اوربیتال ها به شیوه ی زیر عمل می شود :



مثال : اوربیتال $3p_x$ چه اطلاعاتی در اختیار قرار می دهد ؟

پاسخ : این اوربیتال دمبلی شکل در :

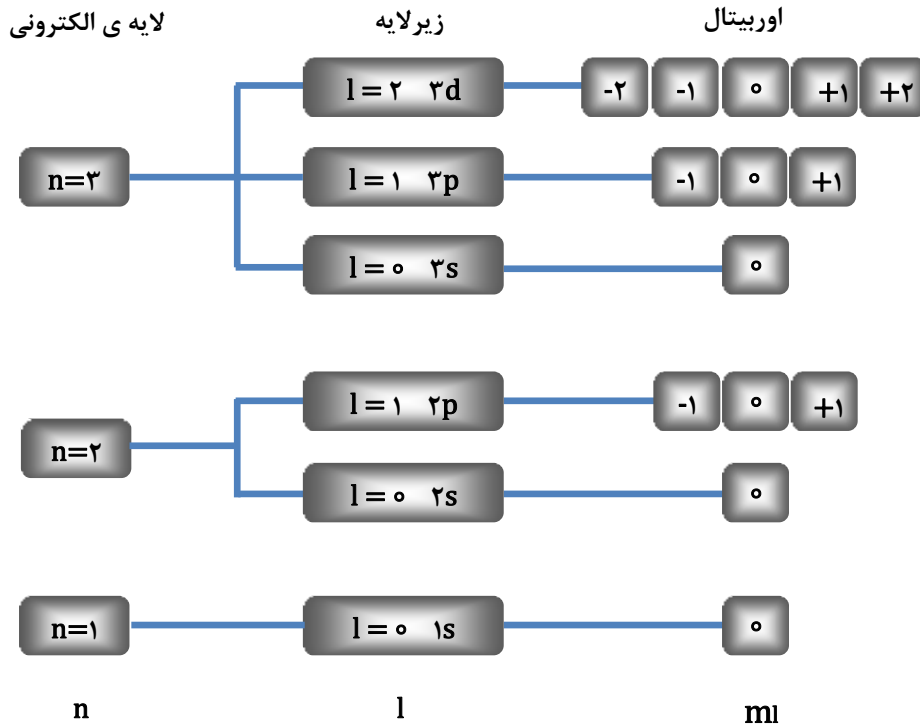
۱. در لایه ی الکترونی سوم قرار دارد.
۲. در زیر لایه ی p قرار دارد.
۳. در راستای محور x جهت گیری کرده است.

مثال : آیا زیرلایه ی $2d$ وجود دارد ؟

پاسخ: در لایه ی الکترونی دوم ، دو زیرلایه وجود دارد که عبارتند از : $2s$ ، $2p$ بنابراین این زیرلایه وجود ندارد.

دلیل: $n = 2 \Rightarrow l = 0, 1 \Rightarrow 2s, 2p$

به شکل زیر در مورد ارتباط لایه ی الکترونی ، زیرلایه و اوربیتال دقت کنید :



عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_s)

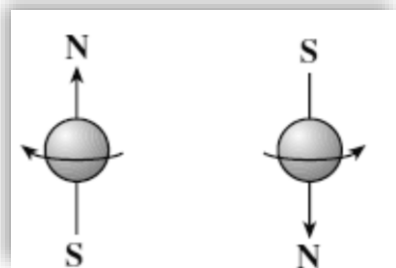
۱. مقادیر آن عبارت است از : $m_s = -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$

۲. جهت حرکت الکترون به دور محور خودش را مشخص می کند.

دانشمندان برای چگونگی قرار گرفتن دو الکترون در یک اوربیتال برای الکترون دو نوع حرکت در نظر می گیرند :

۱. حرکت اوربیتالی : حرکت الکترون به دور هسته را حرکت اوربیتالی گویند.

۲. حرکت اسپینی : حرکت الکترون به دور محور خود را حرکت اسپینی گویند.



حرکت در جهت حرکت

عقربه های ساعت

$$m_s = +\frac{1}{2}$$

حرکت در خلاف جهت

حرکت عقربه های ساعت

$$m_s = -\frac{1}{2}$$

هر الکترون با گردش حول محور خود به یک آهن ربای ریز تبدیل می شود. حال اگر این دو الکترون مجبور شوند در یک اوربیتال کنار یک دیگر قرار گیرند ، باید یک نیروی جاذبه در برابر دافعه ی بین آن ها به وجود بیاید. این جاذبه هنگامی ایجاد می شود که قطب های مغناطیسی الکترون دوم در مقابل قطب های مغناطیسی نا هم نام الکترون اول قرار گیرند. به عبارت دیگر دو الکترون در خلاف جهت یک دیگر به دور محور خود گردش نمایند.



نکته: برای مشخص کردن جهت گردش الکترون ، به هر حالت یک عدد کوانتومی نسبت می دهند که به آن عدد کوانتومی

مغناطیسی اسپین می گویند.

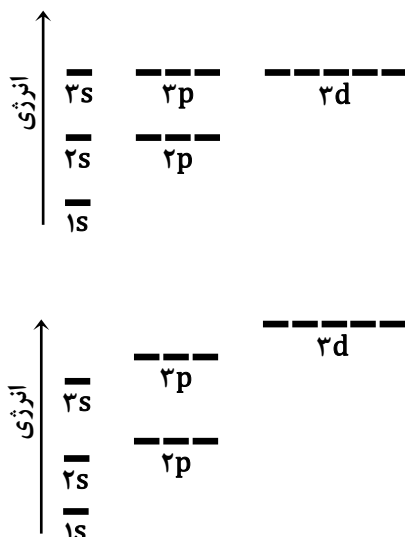
اصل طرد پائولی

در سال ۱۹۲۵ یک فیزیک دان اتریشی به نام **ولفگانگ پائولی** اصلی به نام **اصل طرد پائولی** ارائه کرد این اصل به دو صورت بیان می شود :

هیچ اوربیتالی در یک اتم نمی تواند بیش از دو الکترون در خود جای دهد.

در یک اتم هیچ دو الکترونی را نمی توان یافت که هر چهار عدد کوانتومی آن ها با هم برابر باشد.

آرایش الکترونی اتم



در مدل کوانتومی اتم **هیدروژن** انرژی زیرلایه ها فقط به عدد کوانتومی اصلی (n) بستگی دارد و با افزایش n انرژی زیرلایه ها افزایش می یابد.

بنابراین سطح انرژی $2s = 2p$ و $3s = 3p = 3d$ خواهد بود.

در اتم هایی با بیش از یک الکترون به علت ایجاد دافعه ی بین الکترونی ، انرژی زیرلایه ها علاوه بر عدد کوانتومی اصلی (n) ، به عدد کوانتومی اوربیتالی (l) هم بستگی دارد.

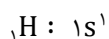
آرایش الکترونی : به چگونگی توزیع الکترون ها در اوربیتال های یک اتم چند الکترونی آرایش الکترونی می گویند.

آرایش الکترونی به دو صورت نشان داده می شود :

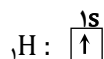
۱. آرایش الکترونی **نوشتاری** : شماره ی لایه ، نوع زیرلایه و تعداد الکترون های موجود در آن زیرلایه نشان داده می شود.

۲. آرایش الکترونی **نموداری** : شماره ی لایه، نوع زیرلایه روی مربع یا دایره ها و تعداد الکترون های موجود در آن درون مربع یا دایره ها مشخص می شود.

مثال : آرایش الکترونی نوشتاری و نموداری اتم هیدروژن را بنویسید :



آرایش الکترونی نوشتاری هیدروژن :

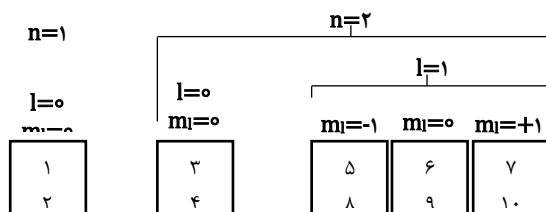


آرایش الکترونی نموداری هیدروژن :

اوربیتال های هم انرژی : اوربیتال هایی هستند که در یک تراز انرژی قرار می گیرند و انرژی یکسانی دارند.

زیرلایه ی p دارای سه اوربیتال هم انرژی ، زیرلایه d دارای پنج اوربیتال هم انرژی و زیرلایه ی f دارای هفت اوربیتال هم انرژی است.

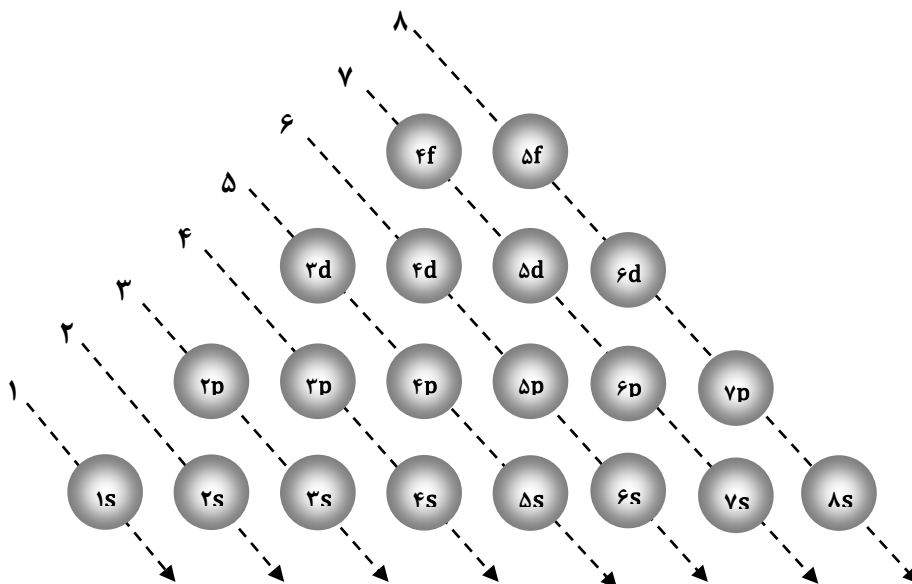
اصل یا قاعده ی هوند : در پر شدن اوربیتال های هم انرژی مانند f, d, p ، ابتدا در هر اوربیتال یک الکترون با اسپین هم سو قرار می گیرد تا اوربیتال ها نیمه پر شوند. سپس جفت شدن الکترون ها صورت می گیرد.



اصل بناگذاری آفبا

اصل بناگذاری آفبا : هنگام پر شدن زیرلایه های الکترونی ، الکترون ها ابتدا وارد اوربیتال های کم انرژی و سپس وارد اوربیتال های پر انرژی می شوند. این اصل را اصل بناگذاری آفبا می گویند.

از آن جا که الکترون ها همواره تمایل دارند تا در پایین ترین تراز انرژی قرار گیرند ، بنابراین ترتیب پر شدن زیرلایه ها به شکل زیر خواهد بود :



ترتیب پر شدن : $1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p, 8s, \dots$

نکته: هر زیرلایه که مجموع $n + l$ کوچک تری داشته باشد از سطح انرژی پایین تری برخوردار است و زودتر از الکترون پر می شود. در صورتی که مجموع $n + l$ برای دو زیرلایه برابر باشد ، زیرلایه ی دارای n کوچک تر اول از الکترون پر می شود.



جدول صفحه ی بعد آرایش الکترونی نوشتاری و نموداری عناصر شماره ۱ تا ۳۶ جدول تناوبی را نشان می دهد :

نماد شیمیایی	آرایش الکترونی نوشتاری	آرایش الکترونی نموداری							
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p
1H	1s ¹	↑							
2He	1s ²	↑↓							
3Li	1s ² 2s ¹	↑↓	↑						
4Be	1s ² 2s ²	↑↓	↑↓						
5B	1s ² 2s ² 2p ¹	↑↓	↑↓	↑					
6C	1s ² 2s ² 2p ²	↑↓	↑↓	↑↑					
7N	1s ² 2s ² 2p ³	↑↓	↑↓	↑↑↑					
8O	1s ² 2s ² 2p ⁴	↑↓	↑↓	↑↑↑↑					
9F	1s ² 2s ² 2p ⁵	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑					
10Ne	1s ² 2s ² 2p ⁶	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑					
11Na	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑				
12Mg	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓				
13Al	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑			
14Si	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑			
15P	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ³	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑			
16S	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑			
17Cl	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑			
18Ar	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑			↑
19K	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹ 4s ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑			↑↓
20Ca	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁰ 4s ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑		↑↓
21Sc	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹ 4s ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑		↑↓
22Ti	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ² 4s ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑		↑↓
23V	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ³ 4s ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑		↑↓
24Cr	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁵ 4s ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑		↑↓
25Mn	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁵ 4s ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑		↑↓
26Fe	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁶ 4s ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑↑		↑↓
27Co	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁷ 4s ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑↑↑		↑
28Ni	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁸ 4s ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑↑↑		↑↓
29Cu	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑↑↑↑		↑
30Zn	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ²	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑↑↑↑		↑↑
31Ga	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	↑↓	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↓	↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑↑↑↑	↑	↑↑

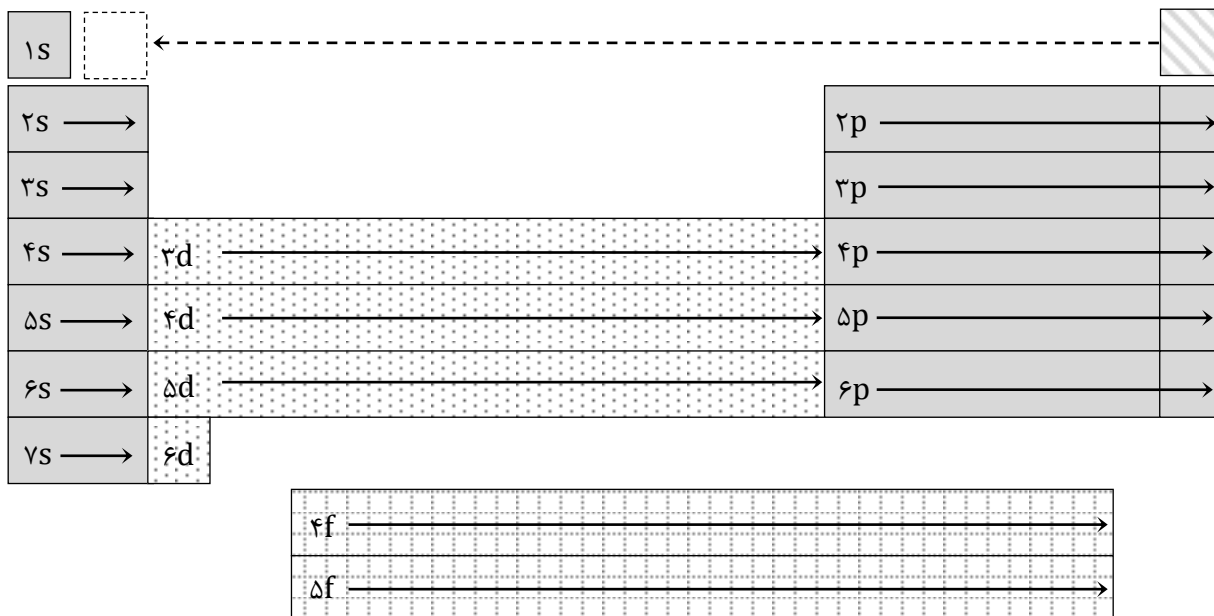
↑↓ ↑↓ ↑↑↑↑↑↑ ↑↓ ↑↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑↑↑↑↑↑ ↑↓ ↑↓↑↑↑↑
 ↑↓ ↑↓ ↑↑↑↑↑↑ ↑↓ ↑↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑↑↑↑↑↑ ↑↓ ↑↓↑↑↑↑
 ↑↓ ↑↓ ↑↑↑↑↑↑ ↑↓ ↑↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑↑↑↑↑↑ ↑↓ ↑↓↑↑↑↑

${}_{32}\text{Ge}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$	
${}_{33}\text{As}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$	
${}_{34}\text{Se}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$	
${}_{35}\text{Br}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^5$	
${}_{36}\text{Kr}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$	

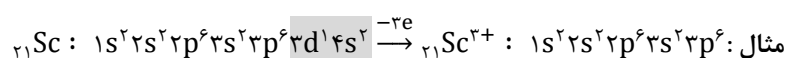
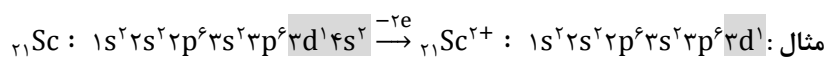
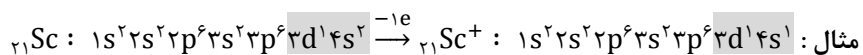
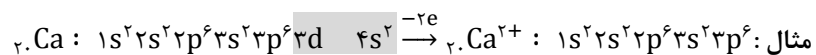
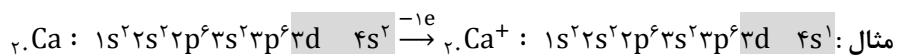
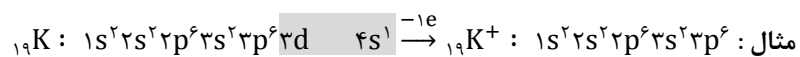


نکته: هنگام پر شدن زیرلایه های الکترونی ابتدا 4s و سپس 3d از الکترون پر می شوند. در هنگام از دست دادن الکترون نیز ابتدا 4s

سپس 3d الکترون از دست می دهد.

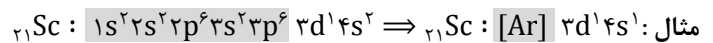
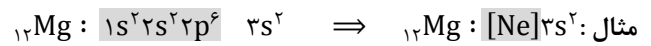
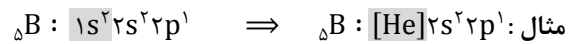
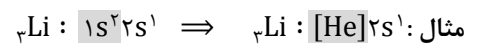


رسم آرایش الکترونی عناصر با استفاده از جدول تناوبی

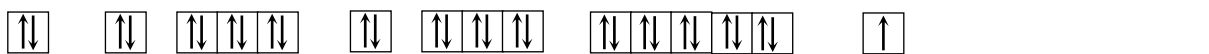
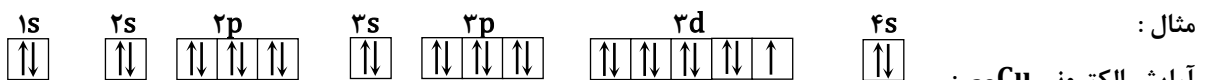
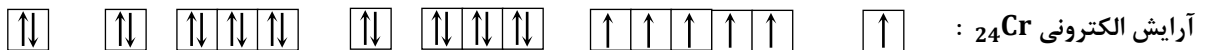


خلاصه کردن آرایش الکترونی

از آن جا که لایه های الکترونی در گازهای نجیب پر هستند معمولاً برای خلاصه تر کردن آرایش الکترونی ، به جای لایه های الکترونی پر شده ، نماد شیمیایی گاز نجیب با همان تعداد الکترون را درون یک کروشه قرار می دهند.



نکته: آرایش الکترونی زیرلایه پر - پر ، نیمه پر - نیمه پر و نیمه پر - پر از پایداری ویژه ای برخوردارند و در آرایش الکترونی برخی عناصر باید برای دستیابی به این پایداری الکترون ها را جابه جا کرد.



الکترون های ظرفیتی

الکترون های ظرفیتی : الکترون های موجود در آخرین لایه ی الکترونی هر اتم را الکترون های ظرفیتی می گویند.

عناصر موجود در جدول تناوبی به چهار دسته طبقه بندی می شوند : دسته ی **s** ، دسته ی **p** ، دسته ی **d** ، دسته ی **f**

عناصر دسته ی s : به عناصری که زیر لایه **s** آن ها در حال پر شدن است ، عنصرهای اصلی دسته ی **s** می گویند.

❖ در این دسته از عناصر ، الکترون های موجود در زیر لایه ی **s** آخرین لایه (بزرگ ترین **n**) ، الکترون های ظرفیتی هستند.

❖ شماره ی گروه برابر تعداد الکترون های موجود در زیر لایه ی **s** آخرین لایه است.

❖ شماره ی دوره برابر بزرگ ترین **n** است.

❖ این دسته شامل عناصر گروه اول (فلزهای قلیایی) ، گروه دوم (فلزهای قلیایی خاکی) ، هیدروژن و هلیوم است.

مثال : لایه ی ظرفیت **3s** دسته ی **s** : ${}_{12}\text{Mg} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

الکترون های لایه ی ظرفیت : ۲ شماره ی گروه : ۲ شماره ی دوره : ۳

عناصر دسته ی p : به عناصری که زیر لایه **p** آن ها در حال پر شدن است ، عنصرهای اصلی دسته ی **p** می گویند.

❖ در این دسته از عناصر ، الکترون های موجود در زیر لایه ی **p** ، **s** آخرین لایه (بزرگ ترین **n**) ، الکترون های ظرفیتی هستند.

❖ شماره ی گروه برابر مجموع تعداد الکترون های موجود در زیر لایه ی **p** ، **s** آخرین لایه است.

❖ شماره ی دوره برابر بزرگ ترین **n** است.

❖ این دسته شامل عناصر گروه سیزدهم تا هجدهم جدول تناوبی است.

مثال : لایه ی ظرفیت **3s 3p** دسته ی **p** : ${}_{16}\text{S} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

الکترون های لایه ی ظرفیت : ۶ شماره ی گروه : ۱۶ or ۶ شماره ی دوره : ۳

عناصر دسته ی d : به عناصری که زیر لایه **d** آن ها در حال پر شدن است ، عنصرهای واسطه دسته ی **d** می گویند.

❖ در این دسته از عناصر ، الکترون های موجود در زیر لایه ی **ns** آخرین لایه (بزرگ ترین **n**) و **d(n-1)** الکترون های ظرفیتی هستند.

❖ شماره ی گروه برابر مجموع تعداد الکترون های موجود در زیر لایه ی **d(n-1)** است.

❖ شماره ی دوره برابر بزرگ ترین **n** است.

❖ این دسته شامل عناصر گروه سه تا دوازده جدول تناوبی است.

مثال : لایه ی ظرفیت **4s 3d** دسته ی **d** : ${}_{26}\text{Fe} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$

الکترون های لایه ی ظرفیت : ۸ شماره ی گروه : ۸ شماره ی دوره : ۴

عناصر دسته ی f : به عناصری که زیر لایه **f** آن ها در حال پر شدن است ، عنصرهای واسطه داخلی دسته ی **f** می گویند.

❖ در این دسته از عناصر ، الکترون های موجود در زیر لایه ی **ns** آخرین لایه (بزرگ ترین **n**) و **f(n-2)** الکترون های ظرفیتی هستند.

❖ همه ی این عناصر در گروه سوم از جدول تناوبی قرار دارند.

❖ شماره ی دوره برابر بزرگ ترین n است.

❖ این دسته شامل عناصر لانتانیدها و آکتینیدها در پایین جدول تناوبی است.

جدول تناوبی عناصر

لانتانیدها
آکتینیدها

عناصر دسته ی s

عناصر دسته ی p

عناصر دسته ی d

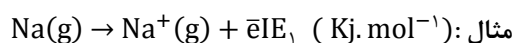
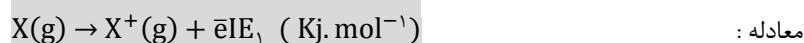
عناصر دسته ی f

انرژی یونش

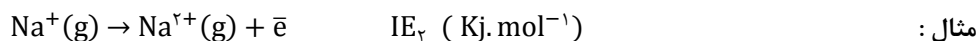
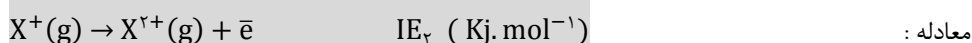
یونش: به خارج کردن یک الکترون از یک اتم و ایجاد یون با بار مثبت را یونش می گویند.

از آن جا که اندازه گیری مقدار انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از اتم دشوار است لذا دانشمندان انرژی لازم برای جدا کردن یک مول الکترون را اندازه گیری می کنند.

انرژی نخستین یونش: به انرژی لازم برای جدا کردن یک مول الکترون از یک مول اتم در حالت گازی و تولید یک مول یون یک بار مثبت در حالت گازی را انرژی نخستین یونش می گویند. و آن را با IE_1 نشان می دهند و یکای اندازه گیری آن $KJ. mol^{-1}$ است.



انرژی دومین یونش: به انرژی لازم برای جدا کردن یک مول الکترون از یک مول یون یک بار مثبت در حالت گازی و تولید یک مول یون دو بار مثبت در حالت گازی را انرژی دومین یونش می گویند. و آن را با IE_2 نشان می دهند.



همواره دومین انرژی یونش یک عنصر از انرژی نخستین یونش آن بزرگ تر است زیرا در نخستین یونش، الکترون از یک اتم خنثی جدا می شود اما در دومین یونش، الکترون از یونی با یک بار مثبت جدا می شود که دشوارتر است و انرژی بیش تری لازم دارد.



$$IE_1 < IE_2 < IE_3 < IE_4 < \dots$$

در حالت کلی داریم:

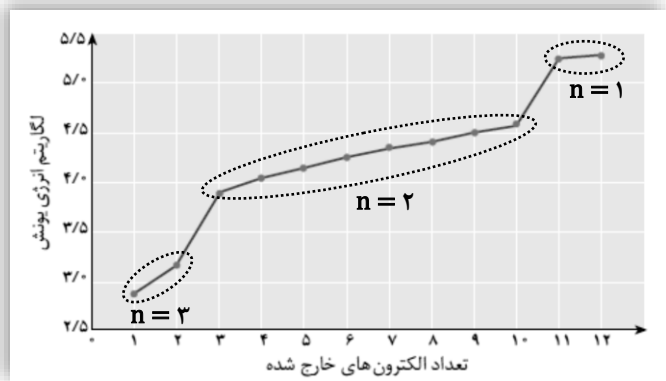


نکته: هر اتم به تعداد الکترون های خود انرژی یونش دارد. برای نمونه اتم سدیم دارای ۱۱ انرژی یونش، اتم آهن دارای ۲۶ انرژی یونش، اتم ید دارای ۵۳ انرژی یونش متوالی است.

با توجه به انرژی های یونش متوالی یک اتم می توان آرایش الکترونی آن را نوشت و با توجه به آرایش الکترونی آن می توان انرژی های یونش و نمودار آن را رسم کرد.

هنگام جدا کردن الکترون ها از یک اتم ، ابتدا الکترون هایی جدا می شوند که از هسته ی اتم دورتر هستند و سپس سایر الکترون ها به ترتیب از اتم جدا می شوند.

انرژی های یونش متوالی یک عنصر

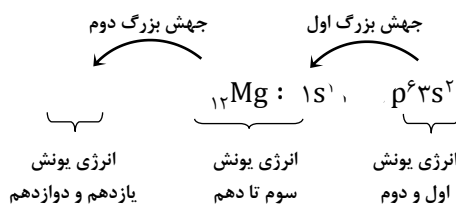
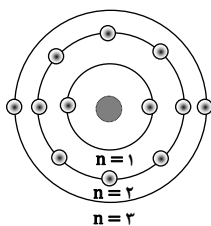


چگونه می توان به ساختار لایه لایه ی اتم ها پی برد ؟ اگر الکترون های یک اتم (مثلاً منیزیم) را یکی پس از دیگری از اتم جدا کنند طوری که جز هسته ی اتم چیزی باقی نماند ، می توان نمودار انرژی های یونش متوالی را بر حسب تعداد الکترون های جدا شده در یک مقیاس لگاریتمی رسم کرد. در این صورت می توان فهمید که اتم ساختاری لایه ای دارد. نمودار مقابل انرژی های یونش متوالی اتم منیزیم را نشان می دهد :

ابتدا الکترون از لایه ی آخر ($n=3$) جدا می شود. پس از جدا شدن دو الکترون یک تغییر بزرگ در انرژی یونش مشاهده می شود که نشان دهنده ی تغییر عدد کوانتومی اصلی (تغییر لایه) است. سپس الکترون های لایه ی میانی ($n=2$) یکی پس از دیگری از اتم جدا می شوند. پس از جدا شدن هشت الکترون یک تغییر بزرگ دیگر در انرژی یونش مشاهده می شود که نشان دهنده ی تغییر عدد کوانتومی اصلی (تغییر لایه) است. سرانجام دو الکترون باقیمانده نیز از لایه ی اصلی اول ($n=1$) جدا می شوند که انرژی یونش بیش تری نسبت به الکترون های قبل دارند. بنابراین این اتم در لایه ی اول دو الکترون ، در لایه ی دوم هشت الکترون و در لایه ی سوم دو الکترون وجود دارد.

جهش بزرگ : به تغییر ناگهانی و چشم گیر در انرژی های یونش متوالی یک عنصر ، جهش بزرگ می گویند.

جهش بزرگ نشان دهنده ی تغییر لایه ی اصلی در اتم است. منیزیم دو جهش بزرگ دارد.



آرایش الکترونی :

نکته: با توجه به انرژی های یونش متوالی یک عنصر می توان شماره ی گروه و دوره ی آن را مشخص کرد :

$1 + \text{تعداد جهش بزرگ} = \text{شماره ی دوره}$

$1 - \text{شماره ی اولین جهش بزرگ} = \text{شماره ی گروه}$

مثال : انرژی های یونش متوالی یک عنصر به صورت جدول زیر است :

IE_1	IE_2	IE_3	IE_4	IE_5	IE_6	IE_7	IE_8	IE_9	IE_{10}	IE_{11}	IE_{12}	IE_{13}
۱/۶	۳/۵	۶/۷	۳۲/۵	۳۵	۳۹	۴۵	۴۹	۵۷	۶۲	۷۱	۲۳۹	۳۵۰

جهش بزرگ اول

جهش بزرگ دوم

(ب) این عنصر چند لایه ی الکترونی و چند جهش بزرگ دارد ؟

(الف) این عنصر چند الکترون دارد ؟

پ) گروه و دوره ی آن را معین کنید؟

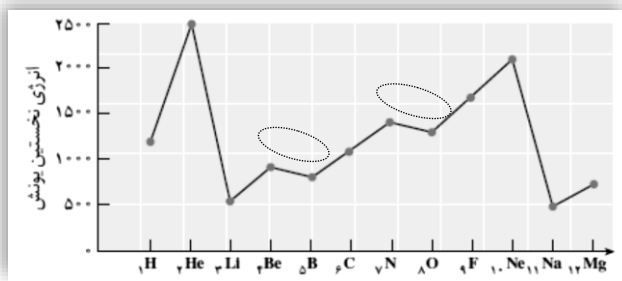
پاسخ الف : این عنصر ۱۳ الکترون دارد زیرا ۱۳ انرژی یونش متوالی دارد.

پاسخ ب : بین یونش سوم و چهارم یک جهش بزرگ و بین یونش یازده و دوازده یک جهش بزرگ دیگر دارد پس دو جهش بزرگ و سه لایه ی الکترونی دارد.

پاسخ پ : این عنصر در گروه سوم یا سیزدهم و در دوره ی سوم جدول تناوبی قرار دارد.

انرژی یونش عناصر یک دوره از جدول تناوبی

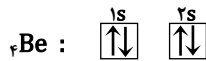
اگر انرژی نخستین یونش عناصر شماره ی ۱ تا ۱۲ جدول تناوبی را به ازای عدد اتمی هر عنصر روی یک نمودار رسم کنیم به ساختار لایه ای اتم پی می بریم. در این نمودار نکات زیر قابل مشاهده است :



- در یک گروه از بالا به پایین انرژی نخستین یونش کاهش می یابد.
- در یک دوره از چپ به راست به طور کلی انرژی نخستین یونش افزایش می یابد.
- فلزهای قلیایی دارای کمترین انرژی نخستین یونش هستند.
- گازهای نجیب دارای بیشترین انرژی نخستین یونش هستند.

سؤال : در یک دوره از چپ به راست انرژی نخستین یونش عناصر افزایش می یابد اما چرا انرژی نخستین یونش بور کم تر از بریلیم است ؟

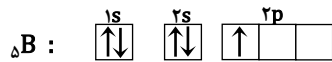
اتم بریلیم :



۱- الکترون موجود در 2s به هسته نزدیک تر و جاذبه ی هسته روی آن بیش تر است.

۲- الکترون موجود در 2s در یک زیرلایه ی پر قرار دارد که از پایداری ویژه ای برخوردار است.

اتم بور :

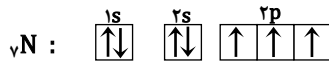


۱- الکترون موجود در 2p از هسته دورتر است و جاذبه ی هسته روی آن کم تر است.

۲- الکترون موجود در 2p در یک زیرلایه ی ناقص قرار دارد که پایدار نیست و با انرژی کمی جدا می شود.

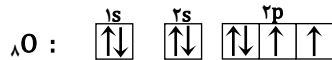
سؤال : در یک دوره از چپ به راست انرژی نخستین یونش عناصر افزایش می یابد اما چرا انرژی نخستین یونش اکسیژن کم تر از نیتروژن است ؟

اتم نیتروژن :



الکترون موجود در 2p در یک زیرلایه ی نیمه پر قرار دارد که از پایداری ویژه ای برخوردار است.

اتم اکسیژن :



الکترون موجود در 2p در یک زیرلایه ی ناقص قرار دارد که به علت دافعه ی الکترونی ناپایدار بوده و با انرژی کمی جدا می شود.

نکته: علت واکنش پذیری عناصر تمایل آن ها برای رسیدن به لایه های الکترونی پر است لذا عناصر مختلف با دادن یا گرفتن الکترون

می توانند به لایه های پر دست یابند و به پایداری برسند.





نکته: با دانستن عدد اتمی گازهای نجیب ۲، ۱۰، ۱۸، ۳۶، ۵۴، ۸۶ می توان به بسیاری از پرسش ها در مورد عناصر و جدول تناوبی

پاسخ داد از جمله :

۱- مشخص کردن تعداد عناصر در یک دوره

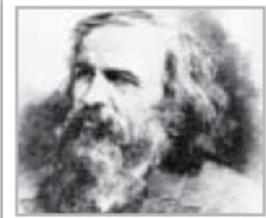
۲- مشخص کردن دوره و گروه یک عنصر

۳- تشخیص نوع یون ایجاد شده از یک عنصر (کاتیون یا آنیون)

به عنوان مثال با تفریق $2 - 0 = 2$ می توان فهمید که دوره اول شامل دو عنصر ، $10 - 2 = 8$ دوره دوم شامل هشت عنصر است.

سرگذشت جدول تناوبی عناصرها

تا پیش از سال ۱۸۷۱ تعدادی از شیمی دان ها دسته بندی های خاصی برای عناصر کشف شده تا آن زمان پیشنهاد کرده بودند. اما در همین سال یک معلم شیمی روسی به نام دیمیتری ایوانوویچ مندلیف به وجود خصلت تناوبی در میان عناصرها پی برد.



دیمیتری ایوانوویچ مندلیف
(۱۸۳۴-۱۹۰۷)

مندلیف برای طبقه بندی عناصر به دو اصل زیر توجه کرد :

۱. افزایش تدریجی جرم اتمی عناصر در ردیف های افقی

۲. تشابه خواص فیزیکی و شیمیایی عناصر در ستون های عمودی

مندلیف پس از سال ها متوجه شد که اگر عناصرها را بر حسب افزایش تدریجی جرم اتمی آن ها در کنار یک دیگر بگذارد ، خواص فیزیکی و شیمیایی آن ها به طور تناوبی تکرار می شود.



نکته : ابتکارهای مندلیف در تنظیم جدول تناوبی عبارت است از :

۱. خالی گذاشتن برخی از خانه های جدول تناوبی

۲. پیش بینی برخی خواص عناصر ناشناخته

اکا آلومینیوم (Ea) : این عنصر پس از کشف گالیوم نام گرفت. اکا در زبان روسی به معنی مشابه است. خواص پیش بینی شده برای این عنصر توسط مندلیف تا حد زیادی با خواص مشاهده شده پس از کشف مطابقت داشت.

عناصر پیش بینی شده	نام عنصر پس از کشف	خواص	پیش بینی شده	مشاهده شده
اکا آلومینیوم (Ea)	گالیوم (Ga) ۱۸۷۵	چگالی نقطه ی ذوب فرمول اکسید	۶ g/mL کم Ea ₂ O ₃	۵/۹۶ g/mL ۳۰ °C Ga ₂ O ₃

اکا بور (Eb) : این عنصر پس از کشف اسکاندیم نام گرفت. خواص پیش بینی شده برای این عنصر توسط مندلیف نیز تا حد زیادی با خواص مشاهده شده پس از کشف مطابقت داشت.

عناصر پیش بینی شده	نام عنصر پس از کشف	خواص	پیش بینی شده	مشاهده شده
اکا بور (Eb)	اسکاندیم (Sc) ۱۸۷۹	چگالی انحلال پذیری فرمول اکسید	۳/۵ g/mL در اسید حل می شود Eb ₂ O ₃	۳/۸۶ g/mL در اسید حل می شود Sc ₂ O ₃

اکا سیلیسیم (Es) : این عنصر پس از کشف ژرمانیوم نام گرفت. خواص پیش بینی شده برای این عنصر توسط مندلیف نیز تا حد زیادی با خواص مشاهده شده پس از کشف مطابقت داشت.

عناصر پیش بینی شده	نام عنصر پس از کشف	خواص	پیش بینی شده	مشاهده شده
اکا سیلیسیم (Es)	ژرمانیوم (Ge) ۱۸۸۶	چگالی نقطه ی ذوب رنگ فرمول اکسید چگالی اکسید فرمول نمک کلردار آن	۵/۵ g/mL زیاد خاکستری تیره EsO ₂	۵/۴۷ g/mL ۹۰۰ °C سفید مایل به خاکستری GeO ₂ ۴/۷ g/mL GeCl ₄

بی‌نظمی در جدول تناوبی مندلیف

۱. وجود خانه‌های خالی در جدول تناوبی
۲. عدم رعایت اصل افزایش تدریجی جرم اتمی در چند مورد



نکته: مندلیف در سه مورد مجبور بود برای قرار دادن عناصر با خواص مشابه در یک ستون، اصل افزایش تدریجی جرم اتمی را نادیده بگیرد. فرض او این بود که در اندازه‌گیری جرم اتمی این عناصر خطا روی داده است. اما بعد معلوم شد که این اندازه‌گیری‌ها درست بوده است.

39.95
18Ar آرگون

39.10
19K پتاسیم

58.93
27Co کبالت

58.71
28Ni نیکل

127.6
52Te تلوریم

126.9
53I ید

جدول تناوبی امروزی عناصرها

چهل سال پس از مندلیف، موزلی و رادرفورد کشف کردند که بار مثبت هسته یا عدد اتمی برای هر عنصر منحصر به فرد است. با کشف عدد اتمی اساس طبقه بندی جدول تناوبی به **افزایش تدریجی عدد اتمی** تغییر یافت و هنگامی که آن‌ها عناصرها را بر اساس افزایش تدریجی عدد اتمی مرتب کردند، بی‌نظمی‌های موجود در جدول تناوبی مندلیف توجیه شد.

قانون تناوبی: هر گاه عناصرها را بر حسب افزایش تدریجی عدد اتمی در کنار یک دیگر قرار دهیم، خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به طور تناوبی تکرار می‌شود.

گروه یا خانواده: هر یک از ستون‌های عمودی جدول تناوبی را که دارای عناصری با خواص مشابه هستند، گروه یا خانواده می‌نامند. جدول تناوبی عناصر شامل ۱۸ گروه است.

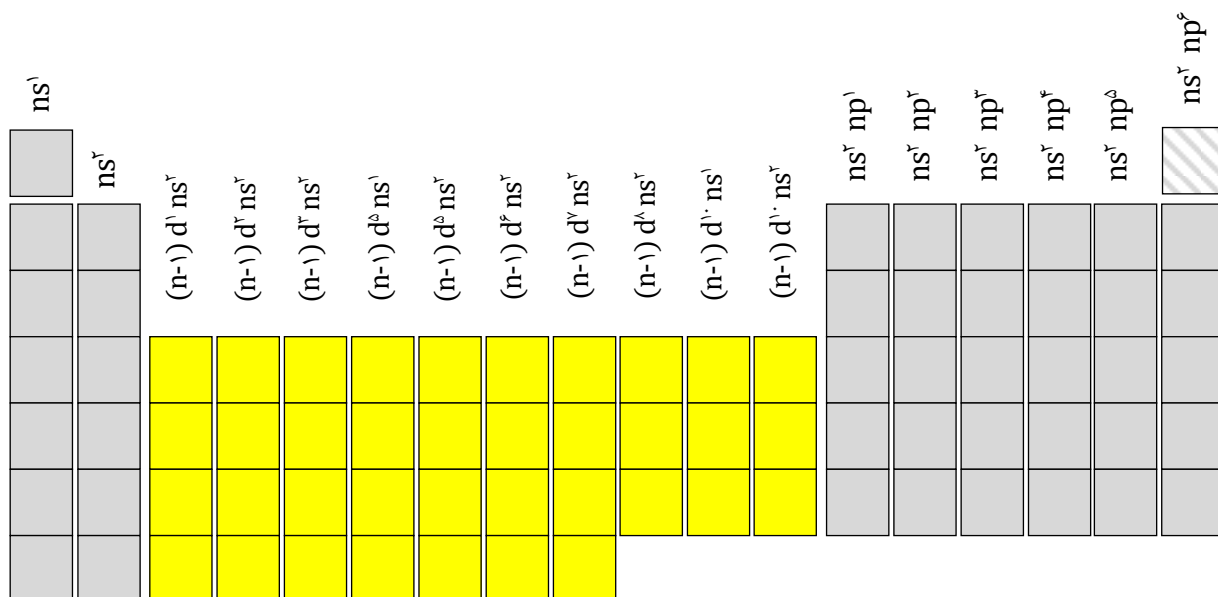
چهار گروه از جدول تناوبی دارای نام اختصاصی هستند و عبارتند از:

۱. گروه اول: فلزهای قلیایی
۲. گروه دوم: فلزهای قلیایی خاکی
۳. گروه هفدهم: هالوژن‌ها
۴. گروه هیجدهم: گازهای نجیب

دوره، تناوب یا پریود: هر یک از ردیف‌های افقی جدول تناوبی را دوره یا تناوب می‌گویند. جدول تناوبی شامل ۷ تناوب است که تناوب اول با ۲ عنصر کوتاه‌ترین و تناوب ششم با ۳۲ عنصر طولانی‌ترین تناوب است.

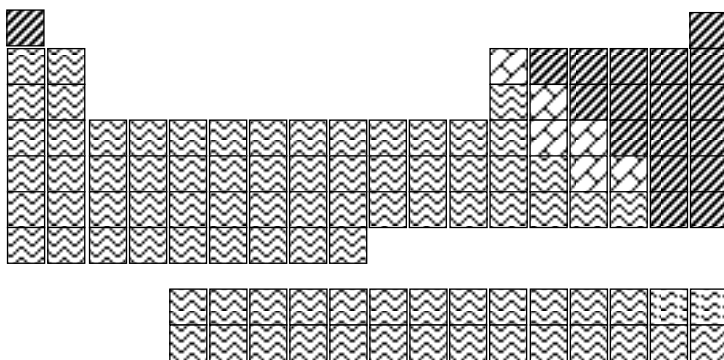


نکته: رفتار شیمیایی هر عنصر به وسیله ی آرایش الکترونی آن تعیین می شود. آرایش الکترونی لایه ی ظرفیت عناصر یک خانواده از جدول تناوبی مشابه است به همین دلیل خواص شیمیایی عناصر یک گروه مشابه یک دیگر است.



طبقه بندی عناصر جدول تناوبی

تا کنون حدود ۱۱۲ عنصر کشف شده اند که ۹۱ عنصر در طبیعت یافت می شوند و بقیه ی عناصر در آزمایشگاه ساخته شده اند. عناصر موجود در جدول تناوبی را به سه دسته طبقه بندی می کنند:



- ۱. فلزها
- ۲. نافلزها
- ۳. شبه فلزها

فلزها: بیش تر عناصر موجود در جدول تناوبی (بیش از ۸۰ درصد) فلز هستند.

- ◆ فلزهای قلیایی (گروه اول)
- ◆ فلزهای قلیایی خاکی (گروه دوم)
- ◆ فلزهای واسطه (گروه سوم تا دوازدهم)
- ◆ فلزهای واسطه داخلی (لانتانیدها و آکتینیدها) (دو ردیف پایین جدول تناوبی)
- ◆ آلومینیوم، قلع، سرب، بیسموت و ... (فلزهای اصلی)

ویژگی های عمومی فلزها

۱. رسانای خوب برق و گرما هستند.
۲. سطح براق دارند.
۳. قابلیت چکش خواری و شکل پذیری دارند.
۴. معمولاً دارای نقطه ی ذوب و جوش بالا هستند.
۵. حالت فیزیکی فلزها جامد است (غیر از جیوه که مایع است)
۶. با از دست دادن یک ، دو یا سه الکترون ، کاتیون یک ، دو یا سه بار مثبت به وجود می آورند.

نافلزها: اکثر نافلزها در سمت راست جدول تناوبی قرار دارند.

ویژگی های عمومی نافلزها

۱. نارسانای برق و گرما هستند.
۲. به حالت جامد شکننده اند.
۳. عموماً سطح براق ندارند.
۴. اکثر آن ها در فشار یک اتمسفر و دمای اتاق به صورت گاز هستند. (غیر از برم که مایع است).
۵. با گرفتن یک ، دو یا سه الکترون ، آنیون یک ، دو یا سه بار منفی به وجود می آورند.



نکته: تنها فلز مایع ، جیوه (Hg) و تنها نافلز مایع برم (Br) است. هیدروژن (H_2) ، اکسیژن (O_2) ، نیتروژن (N_2) ، فلوئور (F_2) ، کلر (Cl_2) ، برم (Br_2) و ید (I_2) به صورت مولکول دو اتمی وجود دارند و به حالت تک اتمی و آزاد یافت نمی شوند.

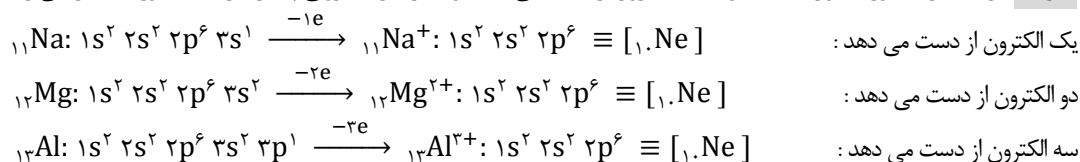
شبه فلزها: این عناصر نه جزء فلزها هستند و نه جزء نافلزها. بنابراین آن ها را در دسته ای جداگانه به نام شبه فلزها قرار می دهند. این عناصر برخی خواص فلزها و برخی خواص نافلزها را دارند.
سیلیسیم یک شبه فلز است که:

۱. عنصری درخشان (خواص فلزها)
۲. شکننده (خواص نافلزها)
۳. نیمه رسانا (حد واسط فلز و نافلز)

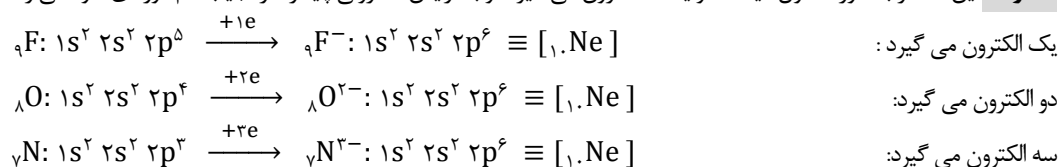
بور (B) ، سیلیسیم (Si) ، ژرمانیوم (Ge) ، آرسنیک (As) ، آنتیموان (Sb) و تلوریم (Te) شبه فلز هستند.

آرایش الکترونی فلزها و نافلزها

فلزها: این عناصر به طور معمول ، یک ، دو یا سه الکترون از دست می دهند و به آرایش الکترونی پایدار گاز نجیب دوره ی قبل می رسند:



نافلزها: این عناصر به طور معمول ، یک ، دو یا سه الکترون می گیرند و به آرایش الکترونی پایدار گاز نجیب هم دوره ی خود می رسند:



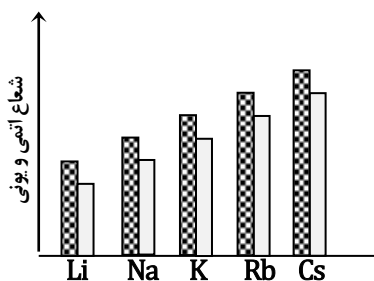
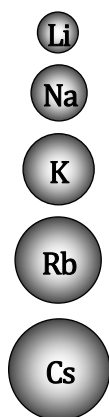
ویژگی های گروهی عناصر

ns ¹	فلزهای قلیایی	گروه اول جدول تناوبی
Li لیتیم ۳		<ul style="list-style-type: none"> ◆ یک الکترون بیش تر از گاز نجیب دوره ی قبل از خود دارند. ◆ آرایش الکترونی لایه ی ظرفیت آن ها ns¹ است. پس جزء عناصر دسته ی S هستند. ◆ آرایش الکترونی همه ی آن ها ns¹ [گاز نجیب] است. ◆ در واکنش های شیمیایی با از دست دادن تک الکترون لایه ی ظرفیت خود به پایداری گاز نجیب دوره ی قبل از خود می رسند.
Na سدیم ۱۱		<p style="text-align: center;">معادله : $M: [\text{گاز نجیب}] ns^1 \xrightarrow{-1e} M^+ : [\text{گاز نجیب}]$</p> <p style="text-align: center;">مثال : ${}_{11}\text{Na}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 \xrightarrow{-1e} {}_{11}\text{Na}^+: 1s^2 2s^2 2p^6 \equiv [{}_{10}\text{Ne}]$</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ فلزهایی نرم (با چاقو بریده می شوند) و بسیار واکنش پذیرند. ◆ سطح براق آن ها به سرعت با اکسیژن واکنش داده ، تیره می شود.
K پتاسیم ۱۹		<p style="text-align: center;">معادله : $2M(s) + O_2(g) \longrightarrow 2M_2O(s)$</p> <p style="text-align: center;">مثال : $4Li(s) + O_2(g) \longrightarrow 2Li_2O(s)$</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ در آزمایشگاه معمولاً در زیر نفت نگهداری می شوند. تا از واکنش با اکسیژن هوا و رطوبت در امان باشند. ◆ با آب سرد به شدت واکنش داده و محلولی با خاصیت قلیایی به وجود می آورند. این محلول کاغذ لیتموس را آبی رنگ می کند.
Rb روبیدیم ۳۷		<p style="text-align: center;">معادله : $2M(s) + H_2O(l) \longrightarrow 2MOH(aq) + H_2(g)$</p> <p style="text-align: center;">مثال : $2Li(s) + H_2O(l) \longrightarrow 2LiOH(aq) + H_2(g)$</p>
Cs سزیم ۵۵		
Fr فرانسییم ۸۷		



نکته: اگر خاکستر باقی مانده از سوختن چوب (M) را با آب مخلوط کنند محلولی به دست می آید (MOH) که می تواند چربی ها را در خود حل کند. (واکنش تهیه ی صابون) این محلول قلیا نام دارد. در خاکستر چوب ، برخی از ترکیب های عناصر گروه اول جدول تناوبی وجود دارد. از این رو عناصر گروه اول را فلزهای قلیایی نامیده اند.

برخی روندهای تناوبی در عناصر گروه اول جدول تناوبی



شعاع اتمی و یونی: شعاع اتمی و یونی فلزهای قلیایی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین افزایش می یابد.

در این گروه لیتیم دارای کم ترین و سزیم دارای بیش ترین شعاع می باشد.

از آن جا که فرانسییم یک عنصر ناپایدار و پرتوزاست در روند های تناوبی مورد توجه قرار نمی گیرد.

انرژی نخستین یونش: انرژی نخستین یونش فلزهای قلیایی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین کاهش می یابد. زیرا با افزایش عدد اتمی ، الکترون لایه ی ظرفیت در فاصله ی دورتری از هسته قرار می گیرد و جدا کردن آن از اتم به انرژی کم تری نیاز دارد.



نکته: انرژی نخستین یونش با شعاع اتمی رابطه ی معکوس دارد. یعنی هر چه شعاع اتم بزرگ تر باشد ، انرژی نخستین یونش کم تر خواهد بود. در این گروه لیتیم بیش ترین و سزیم کم ترین انرژی نخستین یونش را دارد.

نقطه ی ذوب و جوش: نقطه ی ذوب و جوش فلزهای قلیایی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین کاهش می یابد. فلزهای قلیایی در مقایسه با سایر فلزها نقطه ی ذوب و جوش کم تری دارند. در این گروه لیتیم بیش ترین و سزیم کم ترین نقطه ی ذوب و جوش را دارد. اگر فلز سزیم را در دستان خود نگه دارید ذوب می شود زیرا نقطه ی ذوب آن از دمای بدن (۳۷ درجه) کم تر است.

چگالی: فلزهای قلیایی سبک هستند و به طور کلی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین چگالی آن ها افزایش می یابد. سه عنصر لیتیم، سدیم و پتاسیم روی آب شناور می شوند زیرا چگالی آن ها از آب کم تر است.

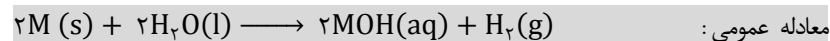
واکنش پذیری فلزهای قلیایی

♦ فلزهای قلیایی در طبیعت به حالت آزاد یافت نمی شوند. زیرا به علت تک الکترون لایه ی ظرفیت، بسیار واکنش پذیرند.

♦ فلزهای قلیایی با اکسیژن هوا ترکیب شده معمولاً اکسید فلز را به وجود می آورند:



♦ فلزهای قلیایی حتی با آب سرد واکنش داده، هیدروکسید فلز و گاز هیدروژن تولید می کنند:



نکته: واکنش پذیری فلزهای قلیایی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین افزایش می یابد.

گروه دوم جدول تناوبی فلزهای قلیایی خاکی ns²

Be
بریلیم
۴

Mg
منیزیم
۱۲

Ca
کلسیم
۲۰

Sr
استرنتیم
۳۸

Ba
باریم
۵۶

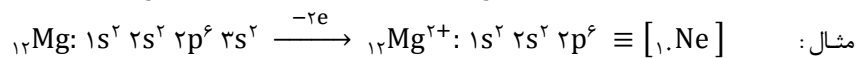
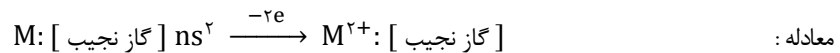
Ra
رادیوم
۸۸

♦ دو الکترون بیش تر از گاز نجیب دوره ی قبل از خود دارند.

♦ آرایش الکترونی لایه ی ظرفیت آن ها ns² است. پس جزء عناصر دسته ی S هستند.

♦ آرایش الکترونی همه ی آن ها ns² [گاز نجیب] است.

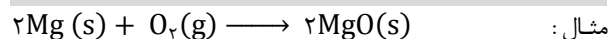
♦ در واکنش های شیمیایی با از دست دادن دو الکترون لایه ی ظرفیت خود به پایداری گاز نجیب دوره ی قبل از خود می رسند.



♦ فلزهای قلیایی خاکی نسبت به فلزهای قلیایی سخت تر و چگال تر هستند و نقطه ی ذوب بالاتری دارند.

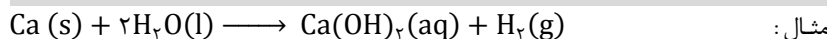
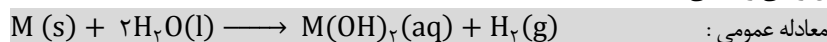
♦ واکنش پذیری فلزهای قلیایی خاکی کم تر از فلزهای قلیایی است زیرا از دست دادن دو الکترون مشکل تر از دادن یک الکترون است.

♦ در واکنش با اکسیژن هوا، اکسید فلز را به وجود می آورند:



♦ بریلیم بر آب سرد اثر نمی کند، منیزیم با آب جوش و کلسیم با آب سرد واکنش داده و محلولی با خاصیت قلیایی به وجود می آورد.

این محلول کاغذ لیتموس را آبی رنگ می کند.



نکته: از آن جا که بسیاری از این فلزها در پوسته ی زمین (خاک) یافت می شوند و در واکنش با آب محلول قلیایی تشکیل می دهند، آن ها را

فلزهای قلیایی خاکی می نامند.

برخی روندهای تناوبی در عناصر گروه دوم جدول تناوبی

شعاع اتمی و یونی: شعاع اتمی و یونی فلزهای قلیایی خاکی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین افزایش می یابد.

در این گروه بریلیم دارای کم ترین و باریم دارای بیش ترین شعاع می باشد.

از آن جا که رادیم یک عنصر ناپایدار و پرتوزاست در روند های تناوبی مورد توجه قرار نمی گیرد.

انرژی نخستین یونش: انرژی نخستین یونش فلزهای قلیایی خاکی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین کاهش می یابد. زیرا با افزایش عدد اتمی، الکترون لایه ی ظرفیت در فاصله ی دورتری از هسته قرار می گیرد و جدا کردن آن از اتم به انرژی کم تری نیاز دارد.



نکته: انرژی نخستین یونش فلزهای قلیایی خاکی از فلزهای قلیایی بیش تر است. زیرا آرایش الکترونی لایه ی ظرفیت فلز قلیایی خاکی پایدارتر بوده، جدا کردن الکترون از آن انرژی بیش تری لازم دارد.

نقطه ی ذوب و جوش: نقطه ی ذوب و جوش فلزهای قلیایی خاکی به طور کلی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین کاهش می یابد. فلزهای قلیایی خاکی در مقایسه با فلزهای قلیایی نقطه ی ذوب و جوش بالاتری دارند.

چگالی: چگالی فلزهای قلیایی خاکی به طور کلی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین افزایش می یابد. فلزهای قلیایی خاکی در مقایسه با فلزهای قلیایی چگال تر هستند و هیچ یک از آن ها روی آب شناور نمی شوند.

واکنش پذیری فلزهای قلیایی خاکی

♦ واکنش پذیری فلزهای قلیایی خاکی کم تر از فلزهای قلیایی است. زیرا برای رسیدن به آرایش الکترونی گاز نجیب باید دو الکترون از دست دهند که از دادن یک الکترون در فلزهای قلیایی مشکل تر است.

♦ از آن جا که واکنش پذیری فلزهای قلیایی خاکی با آب کم است لذا برای مقایسه ی واکنش پذیری آن ها، از واکنش آن ها با هیدروکلریک اسید استفاده می کنند:



نکته: واکنش پذیری فلزهای قلیایی خاکی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین افزایش می یابد.

📝 تمرین: چرا واکنش پذیری فلزهای قلیایی خاکی کم تر از فلزهای قلیایی است؟

📝 تمرین: معادله ی واکنش فلز کلسیم با هیدروکلریک اسید را بنویسید؟

📝 تمرین: انرژی نخستین یونش فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی را با نوشتن دلیل با هم مقایسه کنید؟

📝 تمرین: خارج کردن الکترون از کدام فلز قلیایی آسان تر است؟ چرا؟

📝 تمرین: چرا فلزهای قلیایی را در زیر نفت نگهداری می کنند؟

گروه های سوم تا دوازدهم جدول تناوبی

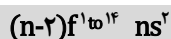
عناصر واسطه



- ◆ همه ی عناصر واسطه مانند فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی فلز هستند. اما واکنش پذیری کم تری نسبت به آن ها دارند.
- ◆ همه ی عناصر واسطه (به جز جیوه که مایع است) در دمای اتاق و فشار یک اتمسفر جامد هستند.
- ◆ نقطه ی ذوب و جوش آن ها از فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی بیش تر است.
- ◆ به جز جیوه این فلزها از فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی ، سخت تر ، چگال تر و دیر ذوب تر هستند.
- ◆ بی نظمی های متعددی در آرایش الکترونی آن ها مشاهده می شوند.
- ◆ برخی از این عناصر یک و برخی دو الکترون در زیر لایه ی S لایه ی ظرفیت خود دارند.
- ◆ اغلب ظرفیت های متغیر دارند (غیر از اسکاندیم Sc^{3+} ، روی Zn^{2+} و نقره Ag^+) و بیش تر ترکیب های آن ها رنگی هستند.
- ◆ در واکنش های شیمیایی به آرایش الکترونی گاز نجیب نمی رسند. (غیر از اسکاندیم)
- ◆ زیر لایه ی d آن ها در حال پر شدن است. پس عناصر دسته ی d نامیده می شوند.
- ◆ در زیر لایه ی S لایه ی ظرفیت کروم و مس تنها یک الکترون وجود دارد.
- ◆ در زیر لایه ی d لایه ی ظرفیت کروم و منگنز ۵ الکترون و در زیر لایه ی d لایه ی ظرفیت مس و روی ۱۰ الکترون وجود دارد.

ردیف های پایین جدول تناوبی

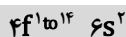
عناصر واسطه داخلی



- ◆ این عناصر دو دسته هستند :
- ◆ لانتانیدها ۱۴ عنصر (عناصر ۵۸ تا ۷۱ جدول تناوبی)
- ◆ آکتینیدها ۱۴ عنصر (عناصر ۹۰ تا ۱۰۳ جدول تناوبی)
- ◆ همه ی این عناصر در گروه سوم جدول تناوبی قرار دارند.
- ◆ زیر لایه ی f آن ها در حال پر شدن است. و عناصر دسته ی f به شمار می آیند.

عناصر واسطه ی داخلی

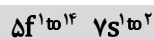
لانتانیدها



- ◆ عناصر ۵۸ تا ۷۱ جدول تناوبی را تشکیل می دهند.
- ◆ نام آن ها از فلز لانتان (La) گرفته شده است و همگی در خانه ی شماره ۵۷ قرار دارند.
- ◆ فلزهایی براق هستند که واکنش پذیری شیمیایی قابل توجهی دارند.
- ◆ فلز لانتان جزء لانتانیدها محسوب نمی شود. زیرا زیر لایه ی d آن در حال پر شدن است.
- ◆ در لانتانیدها زیر لایه ی f در حال پر شدن است پس عناصر دسته ی f به شمار می روند. (۴f در حال پر شدن است)
- ◆ لانتانیدها در گروه سوم و دوره ی ششم جدول تناوبی قرار دارند.

عناصر واسطه ی داخلی

آکتینیدها



- ◆ عناصر ۹۰ تا ۱۰۳ جدول تناوبی را تشکیل می دهند.
- ◆ نام آن ها از فلز آکتینیم (Ac) گرفته شده است و همگی در خانه ی شماره ۸۹ قرار دارند.
- ◆ ساختار هسته نسبت به آرایش الکترونی از اهمیت کاربردی بیش تری برخوردار است.
- ◆ همه ی آکتینیدها هسته ی ناپایدار دارند و از جمله عناصر پرتوزا به شمار می آیند.
- ◆ مشهورترین آکتینید ، اورانیوم است که از فروپاشی هسته ی آن، انرژی لازم برای تولید برق در نیروگاه ها، زیر دریایی ها و ناوهای هواپیمابر استفاده می شود.
- ◆ فلز آکتینیم جزء آکتینیدها محسوب نمی شود. زیرا زیر لایه ی d آن در حال پر شدن است.
- ◆ در آکتینیدها زیر لایه ی f در حال پر شدن است پس عناصر دسته ی f به شمار می روند. (۵f در حال پر شدن است)
- ◆ آکتینیدها در گروه سوم و دوره ی هفتم جدول تناوبی قرار دارند.

عناصر گروه سیزدهم تا هجدهم جدول تناوبی

ns² np⁴⁻⁶

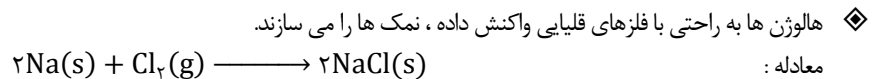
- ◆ در این عناصر زیرلایه ی p در حال پر شدن است. پس عناصر دسته ی p نامیده می شوند.
- ◆ شامل فلزها ، نافلزها و شبه فلزها هستند.
- ◆ دو عنصر سیلیسیم از گروه ۱۴ و اکسیژن از گروه ۱۶ جزء فراوان ترین عناصر موجود در پوسته ی زمین هستند.
- ◆ عناصر گروه ۱۶ را کالکوژن ها ، عناصر گروه ۱۷ را هالوژن ها و عناصر گروه ۱۸ را گازهای نجیب می گویند.

ns² np⁵

هالوژن ها

عناصر گروه ۱۷

F
فلوئور
۹



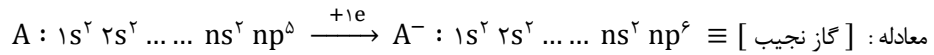
Cl
کلر
۱۷

◆ هالوژن در زبان لاتین به معنی نمک ساز است.

◆ هالوژن ها واکنش پذیرترین نافلزها هستند.

Br
برم
۳۵

◆ در لایه ی ظرفیت هالوژن ها ۷ الکترون وجود دارد و تنها یک الکترون از گاز نجیب هم دوره ی خود کم تر دارند.
◆ در واکنش های شیمیایی با گرفتن یک الکترون و تشکیل آنیون یک بار منفی به آرایش الکترونی پایدار گاز نجیب می رسند.



در معادله ی بالا : A = F , Cl , Br , I

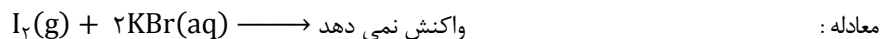
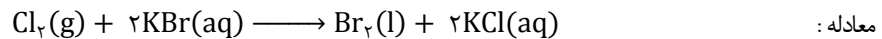
I
ید
۵۳

◆ به دلیل واکنش پذیری بسیار زیاد در طبیعت به صورت تک اتمی یافت نمی شوند.

◆ در دمای اتاق فلوئور و کلر گاز ، برم مایع و ید جامد است.

◆ واکنش پذیری هالوژن ها با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین کاهش می یابد. (F > Cl > Br > I)

هر هالوژن می تواند هالوژن های پایین تر از خود در جدول تناوبی را از ترکیب هایشان جدا کند.



ns² np⁶

گازهای نجیب ، نادر ، کم یاب ، بی اثر

عناصر گروه ۱۸

He
هلیوم
۲

◆ این عناصر در گذشته به گازهای بی اثر معروف بودند. زیرا تصور می شد که در هیچ واکنش شیمیایی شرکت نمی کنند.

◆ تا کنون هیچ ترکیب شیمیایی از هلیوم ، نئون و آرگون شناخته نشده است.

Ne
نئون
۱۰

◆ کریپتون ، زنون و رادون واکنش پذیری بسیار کمی دارند.

Ar
آرگون
۱۸

◆ به علت کشف تعدادی از ترکیب های زنون توسط **بارتلت کانادایی** این گازها به گازهای نجیب تغییر نام دادند.

◆ در لایه ی ظرفیت آن ها (به جز هلیوم) هشت الکترون وجود دارد و از پایداری ویژه ای برخوردارند.

Kr
کریپتون
۳۶

◆ در لایه ی ظرفیت هلیوم تنها دو الکترون وجود دارد و هشتایی نیست.

Xe
زنون
۵۴

◆ فلزها و نافلزها با دادن و گرفتن الکترون به آرایش الکترونی گازهای نجیب رسیده و پایدار می شوند.

◆ این عناصر در طبیعت به صورت تک اتمی یافت می شوند زیرا واکنش پذیری شیمیایی بسیار کمی دارند.

Rn
رادون
۸۶

◆ از گاز نئون در تابلوهای روشنایی تبلیغاتی و لیزرهای گازی استفاده می کنند.

◆ از گاز آرگون در لامپ های مهتابی ، برش کاری و جوش کاری استفاده می کنند.

- ◆ در هیچ یک از گروه های جدول تناوبی قرار ندارد.
- ◆ از نظر شیمیایی به عنصرهای دیگر شباهت ندارد.
- ◆ آرایش الکترونی آن شبیه آرایش الکترونی لایه ی ظرفیت فلزهای قلیایی است.
- ◆ مانند هالوژن ها با گرفتن یک الکترون و تشکیل آنیون به آرایش الکترونی گاز نجیب (هلیوم) می رسد.
- ◆ مانند فلزهای قلیایی با از دست دادن یک الکترون به کاتیون تبدیل می شود.
- ◆ به دلیل واکنش پذیری زیاد اتم هیدروژن با سایر عناصر از جمله اکسیژن به حالت آزاد در طبیعت یافت نمی شود و مولکول آن دو اتمی است.
- ◆ آب فراوان ترین ترکیب هیدروژن دار است.

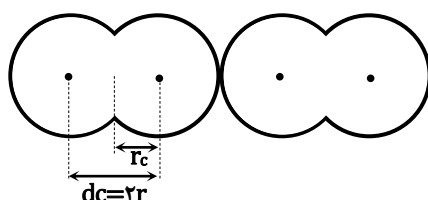
شعاع اتمی عناصر

بیش تر فضای اتم خالی است و الکترون ها در فضایی حرکت می کنند که شبیه ابر به نظر می رسد. در نتیجه اندازه گیری ابعاد اتم دشوار است. زیرا مرزهای یک توده ی ابرمانند نامشخص و متغیر است. معمولاً اندازه ی یک اتم به وسیله ی شعاع آن تعیین می شود دو نوع شعاع وجود دارد :

۱. شعاع کووالانسی (r_C)

۲. شعاع واندروالسی (r_W)

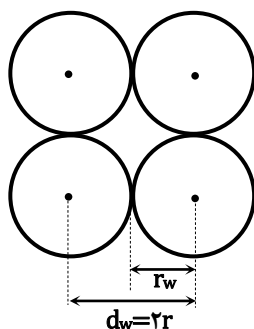
شعاع کووالانسی (r_C) : نصف فاصله ی میان هسته ی دو اتم مشابه در یک مولکول دو اتمی را شعاع کووالانسی می گویند و آن را با r_C نشان می دهند و یکای اندازه گیری آن pm است. ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$)



$$r_C = \frac{d_C}{2}$$

شعاع کووالانسی :

شعاع واندروالسی (r_W) : نصف فاصله ی میان هسته ی دو اتم مشابه در بلور یک عنصر را شعاع واندروالسی می گویند و آن را با r_W نشان می دهند و یکای اندازه گیری آن pm است. ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$)



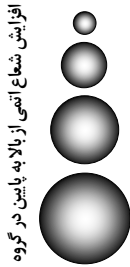
$$r_W = \frac{d_W}{2}$$

شعاع واندروالسی :

نکته : برای یک عنصر همواره شعاع واندروالسی از شعاع کووالانسی بزرگ تر است. ($r_W > r_C$)



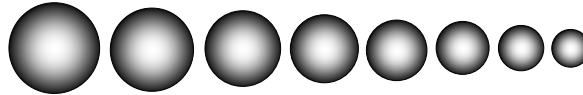
روند تغییر شعاع اتمی در جدول تناوبی عناصر



افزایش شعاع اتمی از بالا به پایین در گروه

تغییر شعاع اتمی در گروه یا خانواده: در یک گروه از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین شعاع اتمی عناصر افزایش می یابد.

تغییر شعاع اتمی در دوره یا تناوب: در یک دوره از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از چپ به راست شعاع اتمی عناصر کاهش می یابد.



کاهش شعاع اتمی با افزایش عدد اتمی عناصر از چپ به راست در دوره

اثر پوششی الکترون های درونی (اثر حایل): وجود الکترون ها در اوربیتال های درونی ، از تأثیر جاذبه ی هسته بر الکترون های موجود در لایه ی الکترونی بیرونی می کاهند. این اثر را اثر پوششی الکترون های درونی می گویند.



توجه: در این شکل نور و گرمای خورشید بدون هیچ مزاحمتی به کره ی زمین می رسد و عدم وجود اثر پوششی ابرها موجب شده است که انسان روی کره ی زمین بیش تر احساس گرما کند



توجه: در این شکل ابرها از رسیدن گرمای کامل خورشید به زمین جلوگیری کرده اند و اثر پوششی ابرها موجب شده است که انسان روی کره ی زمین کم تر احساس گرما کند.

علت افزایش شعاع اتمی در یک گروه: شعاع اتمی عناصر در یک گروه از جدول تناوبی به دو دلیل افزایش می یابد:

۱. با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین و زیاد شدن تعداد لایه های الکترونی ، شعاع اتمی نیز افزایش می یابد. به عبارت دیگر ، الکترون ها در فاصله های دورتری نسبت به هسته قرار می گیرند.
۲. با افزایش عدد اتمی در یک گروه از بالا به پایین ، تعداد اوربیتال های پر شده بین هسته و لایه ی الکترونی بیرونی (لایه ی ظرفیت) اتم افزایش می یابد. این الکترون ها از تأثیر جاذبه ی هسته بر الکترون های لایه ی ظرفیت می کاهند و این امر موجب افزایش فاصله ی الکترون های لایه ی ظرفیت از هسته و افزایش شعاع اتمی خواهد شد.

بار مؤثر هسته: به بار مثبتی که یک الکترون در فاصله ی معینی از هسته احساس می کند ، بار مؤثر هسته می گویند.

علت کاهش شعاع اتمی در یک دوره: در یک دوره از جدول تناوبی تعداد لایه های الکترونی ثابت مانده و به طور مرتب بر تعداد الکترون ها و پروتون ها افزوده می شود این امر موجب افزایش بار مؤثر هسته و کاهش شعاع اتمی می شود.

روند تغییر بار مؤثر هسته در جدول تناوبی عناصر

تغییر بار مؤثر هسته در گروه یا خانواده: در یک گروه از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین بار مؤثر هسته ی اتم افزایش می یابد.

تغییر بار مؤثر هسته در دوره یا تناوب: در یک دوره از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از چپ به راست بار مؤثر هسته ی اتم افزایش می یابد.

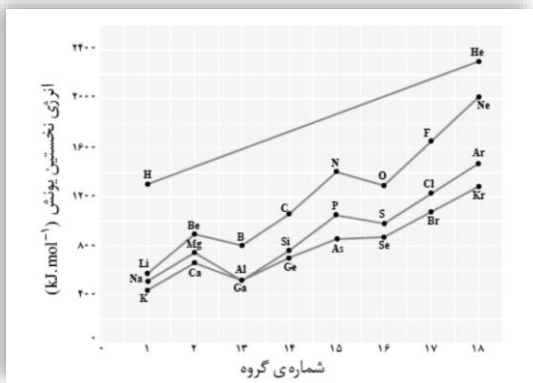


نکته: در یک دوره از جدول تناوبی تعداد لایه های الکترونی ثابت مانده و به طور مرتب بر تعداد الکترون ها و پروتون ها افزوده می شود این امر موجب افزایش بار مؤثر هسته خواهد شد.

روند تغییر انرژی نخستین یونش در جدول تناوبی عناصر

تغییر انرژی نخستین یونش در گروه یا خانواده: در یک گروه از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین انرژی نخستین یونش کاهش می یابد. زیرا الکترونی موجود در بیرونی ترین لایه ی الکترونی اتم در فاصله ی دورتری از هسته قرار گرفته است و جدا کردن آن به صرف انرژی کم تری نیاز دارد.

تغییر انرژی نخستین یونش در دوره یا تناوب: به طور کلی در یک دوره از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از چپ به راست انرژی نخستین یونش عناصر افزایش می یابد. زیرا با افزایش بار مؤثر هسته، اندازه ی اتم ها بتدریج کوچک تر شده، الکترون های لایه ی ظرفیت در فاصله ی نزدیک تری از هسته قرار گرفته و جدا کردن آن ها از اتم به صرف انرژی بیش تری نیاز دارد.



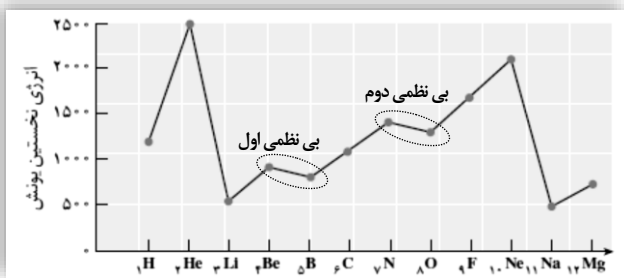
عوامل مؤثر بر انرژی یونش: عوامل زیر بر انرژی یونش تأثیر دارند:

۱. بار مؤثر هسته: هر چه مقدار بار مؤثر هسته بیش تر باشد، جدا کردن الکترون از اتم دشوار تر و انرژی یونش بیش تر خواهد بود.
۲. شعاع اتمی: هر چه مقدار شعاع اتم بزرگ تر باشد جدا کردن الکترون از اتم راحت تر و انرژی یونش کم تر خواهد بود.
۳. پایداری تراز فرعی: خارج کردن الکترون از اتم عنصری که زیر لایه ی کاملاً پر (d^{10}, p^6) یا نیمه پر (d^5, p^3) دارند، دشوارتر بوده به انرژی بیش تری نیاز دارد.



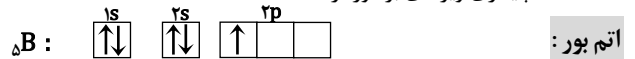
نکته: در روند افزایش انرژی یونش در یک دوره از جدول تناوبی چند مورد بی نظمی مشاهده می شود. اولین بی نظمی بین عناصر گروه ۲ و ۱۳ و جدول تناوبی و دومین مورد بین عناصر گروه ۱۵ و ۱۶ جدول تناوبی مشاهده می شود.

توجیه بی نظمی اول انرژی یونش در یک دوره از جدول تناوبی



۱- الکترون موجود در $2s$ به هسته نزدیک تر و جاذبه ی هسته روی آن بیش تر است.

۲- الکترون موجود در $2s$ در یک زیرلایه ی پر قرار دارد که از پایداری ویژه ای برخوردار است.



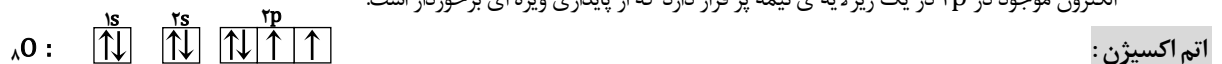
۱- الکترون موجود در $2p$ از هسته دورتر است و جاذبه ی هسته روی آن کم تر است.

۲- الکترون موجود در $2p$ در یک زیرلایه ی ناقص قرار دارد که پایدار نیست و با گرفتن انرژی کم تری جدا می شود.

توجیه بی نظمی دوم انرژی یونش در یک دوره از جدول تناوبی



الکترون موجود در $2p$ در یک زیرلایه ی نیمه پر قرار دارد که از پایداری ویژه ای برخوردار است.



الکترون موجود در $2p$ در یک زیرلایه ی ناقص قرار دارد که به علت دفعه ی الکترونی ناپایدار بوده و با انرژی کمی جدا می شود.

تمرین: انرژی دومین یونش نیتروژن و اکسیژن را با نوشتن دلیل با هم مقایسه کنید؟

روند تغییر خصلت فلزی و نافلزی در جدول تناوبی عناصر

تغییر خصلت فلزی در گروه یا خانواده: در یک گروه از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین خصلت فلزی افزایش می یابد. طوری که در گروه چهارده کربن یک نافلز، سیلیسیم و ژرمانیوم شبه فلز و قلع و سرب خصلت فلزی دارند.

تغییر خصلت فلزی در دوره یا تناوب: در یک دوره از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از چپ به راست خصلت فلزی کاهش و خصلت نافلزی افزایش می یابد. طوری که هر دوره با یک فلز قلیایی آغاز و به یک هالوژن که نافلز است، ختم می شود و سرانجام به یک گاز نجیب می رسد.

روند تغییر الکترونگاتیوی در جدول تناوبی عناصر

هنگامی که دو اتم مشابه با هم پیوند کووالانسی تشکیل می دهند جفت الکترون (های) پیوندی در فاصله ی یکسانی از دو اتم قرار می گیرند. اما هنگامی که دو اتم متفاوت با هم پیوند کووالانسی تشکیل می دهند جفت الکترون (های) پیوندی به هسته ی یکی از اتم ها نزدیک تر هستند.



نکته: به اتمی که جفت الکترون پیوندی را به سمت هسته ی خود می کشد، اتم الکترونگاتیو می گویند.

الکترونگاتیوی: به میزان تمایل نسبی یک اتم برای کشیدن الکترون های یک پیوند به سمت هسته ی خود را الکترونگاتیوی می گویند.



نکته: الکترونگاتیوی با یک مقیاس نسبی سنجیده می شود و برای جلوگیری از ظاهر شدن اعداد منفی، به اتم فلورور به عنوان الکترونگاتیوترین عنصر الکترونگاتیوی ۴/۰ نسبت داده می شود و الکترونگاتیوی سایر عناصر نسبت به آن سنجیده می شود.



نکته: از آن جا که گازهای نجیب ترکیب های شیمیایی زیادی تشکیل نمی دهند، لذا الکترونگاتیوی گازهای نجیب را در نظر نمی گیرند.



نکته: فلورور دارای بیش ترین الکترونگاتیوی و سزیم دارای کم ترین الکترونگاتیوی می باشد.

تغییر الکترونگاتیوی در گروه: در یک گروه از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از بالا به پایین، الکترونگاتیوی عناصر کاهش می یابد.

تغییر الکترونگاتیوی در دوره: در یک دوره از جدول تناوبی با افزایش عدد اتمی از چپ به راست، الکترونگاتیوی عناصر افزایش می یابد.

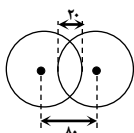
تمرین: آرایش الکترونی لایه ی ظرفیت عناصر موجود در گروه های زیر را بنویسید:

۱. گازهای نجیب
۲. فلزهای قلیایی خاکی
۳. هالوژن ها
۴. فلزهای قلیایی

تمرین: عناصر ${}_{11}\text{Na}$ ، ${}_{17}\text{Cl}$ ، ${}_{9}\text{F}$ را در نظر گرفته به پرسش های زیر پاسخ دهید:

۱. شعاع اتمی آن ها را با هم مقایسه کنید؟
۲. انرژی نخستین یونش آن ها را با هم مقایسه کنید؟
۳. الکترونگاتیوی آن ها را با هم مقایسه کنید؟

تمرین: در شکل مقابل شعاع کووالانسی و واندروالسی را به دست آورید؟



قاعده ی هشتایی ، واکنش پذیری اتم ها

اتم گازهای نجیب در لایه ی ظرفیت خود هشت الکترون دارند (اتم هلیوم دو الکترون دارد). این عناصر تک اتمی هستند و از نظر شیمیایی بی اثر هستند یا میل ترکیبی بسیار کمی دارند. علت پایداری گازهای نجیب ، وجود لایه ی ظرفیت هشتایی آن هاست.

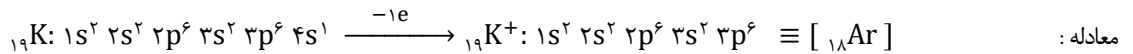
قاعده ی هشتایی یا اکتت : تمایل اتم ها برای رسیدن به آرایش الکترونی هشتایی لایه ی ظرفیت گازهای نجیب را قاعده ی هشتایی می گویند.

هشتایی شدن تعداد الکترون های موجود در لایه ی ظرفیت و دستیابی به آرایش الکترونی هشتایی لایه ی ظرفیت گازهای نجیب ، معیاری برای سنجش پایداری اتم ها به شمار می رود.

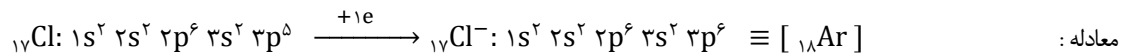


نکته: عناصر از دو راه می توانند به آرایش الکترونی هشتایی و پایدار گاز نجیب دست یابند :
 ۱) اشتراک الکترون « تشکیل پیوند کووالانسی » که در بخش چهارم مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.
 ۲) انتقال الکترون « تشکیل کاتیون و آنیون » که در بخش سوم بررسی خواهد شد.

علت واکنش پذیری فلز پتاسیم : اتم پتاسیم در لایه ی ظرفیت خود تنها یک الکترون دارد و با از دست دادن این الکترون و تشکیل کاتیون یک بار مثبت ، به آرایش الکترونی پایدار گاز نجیب دوره ی قبل (آرگون) رسیده ، واکنش پذیری آن کاهش می یابد.

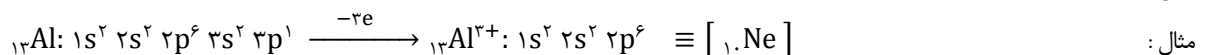
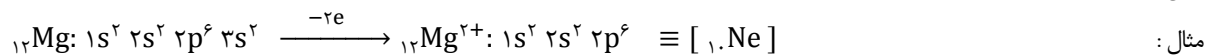


علت واکنش پذیری نافلز کلر : اتم کلر در لایه ی ظرفیت خود تنها یک الکترون از گاز نجیب هم دوره ی خود کم تر دارد و با گرفتن یک الکترون و تشکیل آنیون یک بار منفی ، به آرایش الکترونی پایدار گاز نجیب هم دوره ی خود (آرگون) رسیده ، واکنش پذیری آن کاهش می یابد.



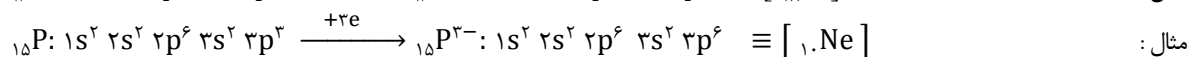
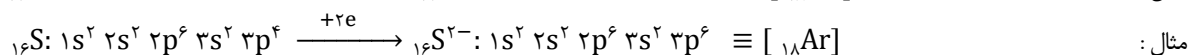
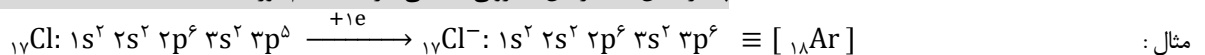
فلزها : عناصری هستند که اتم آن ها با از دست دادن الکترون های لایه ی ظرفیت خود و تشکیل کاتیون به آرایش هشتایی می رسند.

معادله : پایدار شدن \rightarrow آرایش الکترونی هشتایی گاز نجیب دوره ی قبل $\rightarrow M^{n+} \rightarrow M - ne$



نافلزها : عناصری هستند که اتم آن ها با گرفتن الکترون و تشکیل آنیون به آرایش هشتایی می رسند.

معادله : پایدار شدن \rightarrow آرایش الکترونی هشتایی گاز نجیب هم دوره $\rightarrow M^{n-} \rightarrow M + ne$



تمرین : هر یک از اتم های زیر چگونه به آرایش الکترونی هشتایی گاز نجیب می رسند؟ ذره ی حاصل از آن ها کاتیون است یا آنیون ؟

الف) ${}_{37}\text{Rb}$ ب) ${}_{20}\text{Ca}$ ج) ${}_{16}\text{S}$ د) ${}_{53}\text{I}$ ه) ${}_{7}\text{N}$ و) ${}_{87}\text{Cs}$



نکته: در مورد سؤالاتی از این دست ، باید گازهای نجیب ، عدد اتمی و موقعیت آن ها را در جدول تناوبی به خاطر داشته باشید :

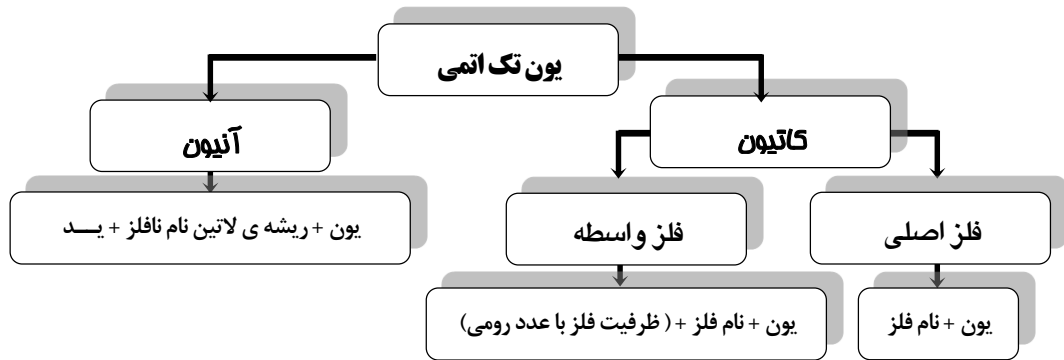
دوره	۱	۲	۳	۴	۵	۶
نماد شیمیایی	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn
عدد اتمی	۲	۱۰	۱۸	۳۶	۵۴	۸۶

یون های تک اتمی

یون تک اتمی: کاتیون یا آنیونی است که تنها از یک اتم تشکیل شده است. مانند Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , N^{3-} , O^{2-} , F^-



نکته: بار مثبت کاتیون فلز اصلی برابر شماره ی گروه آن با علامت مثبت است. بار یک آنیون برابر « تعداد الکترون های لایه ی ظرفیت - ۸ » است.



یون + نام فلز اصلی

نام گذاری کاتیون فلزهای اصلی:

نام	یون فلز	نام	یون فلز	نام	یون فلز
یون آلومینیوم	Al^{3+}	یون برلییم	Be^{2+} (نادر)	یون لیتیم	Li^+
یون گالیم	Ga^{3+}	یون منیزیم	Mg^{2+}	یون سدیم	Na^+
یون ایندیم	In^{3+}	یون کلسیم	Ca^{2+}	یون پتاسیم	K^+
یون تالییم	Tl^{3+}	یون استرانسیم	Sr^{2+}	یون روبیدیم	Rb^+
یون هیدروژن	H^+	یون باریوم	Ba^{2+}	یون سزیم	Cs^+



نکته: تعدادی از فلزهای واسطه تنها دارای یک ظرفیت هستند بنابراین کاتیون آن ها مانند کاتیون فلزهای اصلی نام گذاری می شوند:

نام	یون فلز واسطه	نام	یون فلز واسطه	نام	یون فلز واسطه
یون اسکاندیم	Sc^{3+}	یون روی	Zn^{2+}	یون نقره	Ag^+

معرفی اعداد رومی: اعداد رومی به شرح جدول زیر می باشند:

عدد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
عدد رومی	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII

تمرین: هر یک از یون های زیر را نام گذاری کنید.

د) Ag^+

ج) Li^+

ب) Al^{3+}

الف) Zn^{2+}

نام گذاری کاتیون فلزهای واسطه :

یون + نام فلز واسطه + (ظرفیت فلز با عدد رومی)

یون فلز	نام	یون فلز	نام	یون فلز	نام
Cu ⁺	یون مس (I)	V ³⁺	یون وانادیم (III)	Co ²⁺	یون کبالت (II)
Cu ²⁺	یون مس (II)	V ⁵⁺	یون وانادیم (V)	Co ³⁺	یون کبالت (III)
Fe ²⁺	یون آهن (II)	Mn ²⁺	یون منگنز (II)	Ti ²⁺	یون تیتانیوم (II)
Fe ³⁺	یون آهن (III)	Mn ³⁺	یون منگنز (III)	Ti ⁴⁺	یون تیتانیوم (IV)



نکته: دو فلز اصلی دارای ظرفیت های متغیر هستند بنابراین کاتیون آن ها مانند کاتیون فلزهای واسطه نام گذاری می شوند :

یون فلز اصلی	نام	یون فلز اصلی	نام
Sn ²⁺	یون قلع (II)	Pb ²⁺	یون سرب (II)
Sn ⁴⁺	یون قلع (IV)	Pb ⁴⁺	یون سرب (IV)

یون های تک اتمی متداول

گروه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H ⁺																H ⁻	
2	Li ⁺															N ³⁻	O ²⁻	F ⁻
3	Na ⁺	Mg ²⁺											Al ³⁺			S ²⁻	Cl ⁻	
4	K ⁺	Ca ²⁺				Cr ³⁺ Cr ²⁺	Mn ²⁺ Mn ³⁺	Fe ²⁺ Fe ³⁺	Co ²⁺ Co ³⁺	Ni ²⁺ Ni ³⁺	Cu ⁺ Cu ²⁺	Zn ²⁺						Br ⁻
5	Rb ⁺	Sr ²⁺									Ag ⁺	Cd ²⁺						I ⁻
6	Cs ⁺	Ba ²⁺										Hg ²⁺						

مثال : در کدام گزینه نام یون درست نوشته شده است ؟

(د) یون نقره (I) : Ag⁺

(ج) یون سرب : Pb²⁺

(ب) یون روی : Zn²⁺

(الف) یون منیزیم (II) : Mg²⁺

پاسخ : گزینه ی (ب) صحیح است.

رد گزینه ی الف : منیزیم فلز اصلی است عدد رومی لازم ندارد.

رد گزینه ی ج : سرب فلز اصلی است اما دو ظرفیت دارد پس عدد رومی لازم دارد.

رد گزینه ی د : نقره فلز واسطه است اما تنها یک ظرفیت دارد و عدد رومی لازم ندارد.

کله تمرین : هر یک از یون های زیر را نام گذاری کنید.

(د) Ag⁺

(ج) Mn²⁺

(ب) Co²⁺

(الف) Fe²⁺

کله تمرین : هر یک از یون های زیر را نام گذاری کنید.

(د) V⁵⁺

(ج) Cr²⁺

(ب) Ni²⁺

(الف) Fe³⁺

کله تمرین : هر یک از یون های زیر را نام گذاری کنید.

(د) Ba²⁺

(ج) Ga³⁺

(ب) Pb²⁺

(الف) Li⁺

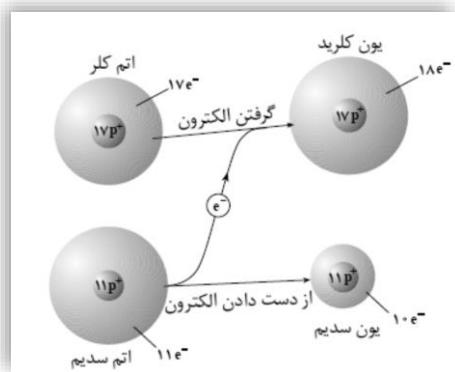
یون نافلز	نام	یون نافلز	نام	یون نافلز	نام
F^-	یون فلوئورید	O^{2-}	یون اکسید	N^{3-}	یون نیتريد
Cl^-	یون کلرید	S^{2-}	یون سولفید	P^{3-}	یون فسفید
Br^-	یون برومید	Se^{2-}	یون سلنید	As^{3-}	یون آرسنید
I^-	یون یدید	Te^{2-}	یون تلورید	H^-	یون هیدرید

ترکیب های یونی

سدیم کلرید همان نمک طعام یا نمک خوراکی است که آن را با فرمول شیمیایی NaCl نشان می دهند. و از دو عنصر سدیم و کلر تشکیل شده است. **سدیم**: فلزی نرم و بسیار واکنش پذیر است. به گروه اول جدول تناوبی یعنی فلزهای قلیایی تعلق دارد. به خاطر واکنش پذیری زیاد، در زیر نفت نگهداری می شود. **کلر**: نافلزی از گروه هالوژن ها با مولکول دو اتمی، گازی شکل، سمی، خورنده و بسیار واکنش پذیر است.

سدیم کلرید: اگر این دو عنصر در کنار یک دیگر قرار گیرند یک واکنش شدید و گرمازا بین آن ها رخ داده، ترکیب جامد سفید رنگی تشکیل می شود که نمک خوراکی است. سدیم کلرید دارای ساختار مکعبی بوده، بلورهای آن سخت و شکننده هستند. دمای ذوب آن ۸۰۱ درجه ی سلسیوس و دمای جوش آن ۱۴۱۳ درجه ی سلسیوس می باشد. در آب حل شده، در حالت مذاب یا محلول رسانای جریان برق است.

سؤال: چگونگی تشکیل سدیم کلرید را از عناصر سازنده ی آن با رسم شکل شرح دهید :



پاسخ: اتم سدیم با دادن یک الکترون لایه ی ظرفیت خود به اتم کلر و تشکیل کاتیون سدیم به آرایش الکترونی هشتایی و پایدار گاز نجیب نئون می رسد. شعاع یون سدیم در مقایسه با اتم سدیم کاهش می یابد. زیرا یکی از لایه های الکترونی آن حذف می شود. اتم کلر با گرفتن یک الکترون از اتم سدیم و تشکیل آنیون کلرید، به آرایش الکترونی هشتایی و پایدار گاز نجیب آرگون می رسد. شعاع یون کلرید در مقایسه با اتم کلر افزایش می یابد. زیرا الکترون جذب شده می تواند در فواصل دورتری از هسته حرکت کند.

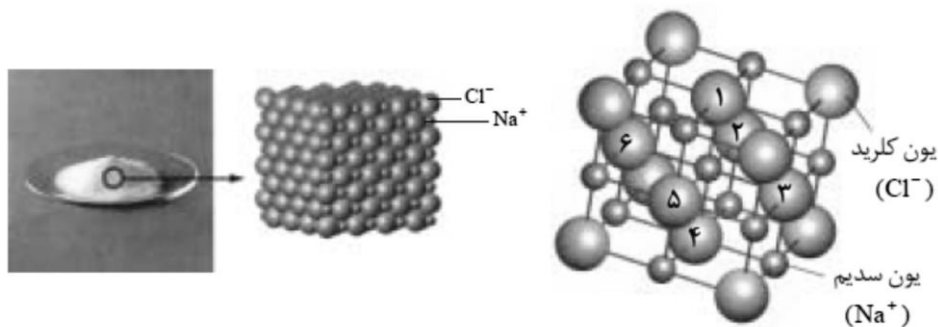


نکته: در سدیم کلرید بین یون های سدیم و یون های کلرید نیروی جاذبه ی بسیار قوی وجود دارد. که آن ها را محکم در کنار یک دیگر نگه می دارد.

پیوند یونی: نیروی جاذبه ی قوی بین یون های با بار نا هم نام را پیوند یونی می گویند. پیوند یونی یک پیوند جهت دار است و تنها محدود به یک کاتیون و آنیون نیست. بلکه در تمام جهت ها و در بین همه ی یون های نا هم نام وجود دارد. پس یون ها دارای آرایش منظمی در سه بعد فضا می باشند.

ترکیب یونی: ترکیبی است که بلور آن از گرد همایی کاتیون ها و آنیون های بسیار زیادی به وجود آمده است.

عدد کوئوردیناسیون: به تعداد نزدیک ترین یون های نا هم نام موجود پیرامون هر یون، عدد کوئوردیناسیون می گویند و آن را با نماد C.N نشان می دهند. در بلور سدیم کلرید در اطراف هر یون سدیم، شش یون کلرید و در اطراف هر یون کلرید شش یون سدیم وجود دارد. بنابراین عدد کوئوردیناسیون یون سدیم برابر شش است. یون های هم نام تا حد امکان از هم فاصله می گیرند و یون های نا هم نام در مجاورت یک دیگر قرار می گیرند.



نکته: در بلور سدیم کلرید مجموع نیروهای جاذبه بین یون های نا هم نام خیلی بیش تر از مجموع نیروهای دافعه بین یون های هم نام است. هم چنین به علت گستردگی اثر این نیروها در تمام جهات، نیروی جاذبه ی حاصل در مجموع ۱/۷۶ برابر نیروی جاذبه بین یک جفت یون سدیم و یون کلرید است.



تمرین: چرا یک ترکیب یونی در مجموع از نظر بار الکتریکی خنثی است؟

خواص ترکیب های یونی

ترکیب های یونی از یون های مثبت و منفی تشکیل شده اند. در مورد ترکیب های یونی خواص زیر را مورد بررسی قرار خواهیم داد:

- ۱) رسانایی الکتریکی
- ۲) نقطه ی ذوب و جوش
- ۳) سخت بودن و شکنندگی

رسانایی الکتریکی ترکیب های یونی: ترکیب های یونی در حالت جامد نارسا، در حالت مذاب و محلول رسانای جریان برق است.

شرایط لازم برای رسانایی الکتریکی یک جسم عبارتند از:

- ۱) ذره های باردار داشته باشد.
- ۲) ذره های باردار آزادانه بتوانند حرکت کنند.

سؤال: چرا جامدهای یونی رسانای جریان برق نیستند؟

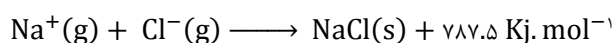
پاسخ: زیرا ذره های تشکیل دهنده ی یک جامد یونی، در جاهای به نسبت ثابتی قرار دارند و جز حرکت ارتعاشی، حرکت دیگری ندارند. لذا یون ها نمی توانند آزادانه حرکت کنند.

سؤال: چرا ترکیب های یونی در حالت مذاب و محلول رسانای جریان برق هستند؟

پاسخ: زیرا در حالت مذاب یون های موجود آزادانه می توانند حرکت کنند و جریان برق را از خود عبور دهند. در حالت محلول نیز، یون ها آزادانه حرکت کرده جریان برق را از خود عبور می دهند.

شبکه ی بلور: آرایش سه بعدی و منظم اتم ها، مولکول ها یا یون ها در یک بلور را شبکه ی بلور می گویند.

انرژی شبکه ی بلور: مقدار انرژی آزاد شده هنگام تشکیل یک مول جامد یونی از یون های گازی سازنده ی آن را انرژی شبکه ی بلور می گویند و یکای اندازه گیری آن کیلوژول بر مول است.



در مورد سدیم کلرید:



نکته: انرژی شبکه می تواند معیار خوبی برای اندازه گیری قدرت پیوند در ترکیب های یونی باشد. به عبارت دیگر هر چه قدرت پیوند یونی بیش تر باشد

انرژی شبکه ی بلوری آن ترکیب بیش تر خواهد بود.

انرژی شبکه به دو عامل بستگی دارد :



(۱) شعاع یون ها : انرژی شبکه با شعاع یون ها رابطه ی وارونه دارد.

مثال : انرژی شبکه ی LiCl و RbCl را با هم مقایسه کنید.

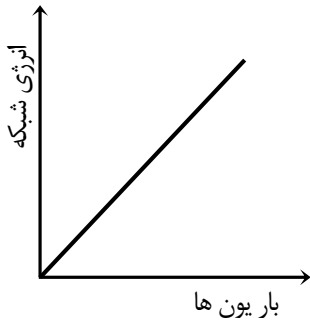
پاسخ : LiCl به صورت Li^+ و Cl^- و RbCl به صورت Rb^+ و Cl^- است. از آن جا که $r_{\text{Rb}^+} > r_{\text{Li}^+}$ پس انرژی شبکه ی LiCl بیش تر است.

مثال : انرژی شبکه ی CaO و MgO را با هم مقایسه کنید.

پاسخ : MgO به صورت Mg^{2+} و O^{2-} و CaO به صورت Ca^{2+} و O^{2-} است. از آن جا که $r_{\text{Ca}^{2+}} > r_{\text{Mg}^{2+}}$ پس انرژی شبکه ی MgO بیش تر است.

تمرین : انرژی شبکه ی LiI و LiF را با هم مقایسه کنید.

تمرین : انرژی شبکه ی Na_3N و Na_3P را با هم مقایسه کنید.



(۲) بار الکتریکی یون ها : انرژی شبکه با بار الکتریکی یون ها رابطه ی مستقیم دارد.

مثال : انرژی شبکه ی NaCl و MgCl_2 را با هم مقایسه کنید.

پاسخ : NaCl به صورت Na^+ و Cl^- و MgCl_2 به صورت Mg^{2+} و 2Cl^- است. از آن جا که $q_{\text{Mg}^{2+}} > q_{\text{Na}^+}$ پس انرژی شبکه ی MgCl_2 بیش تر است.

مثال : انرژی شبکه ی MgO و Al_2O_3 را با هم مقایسه کنید.

پاسخ : MgO به صورت Mg^{2+} و O^{2-} و Al_2O_3 به صورت 2Al^{3+} و 3O^{2-} است. از آن جا که $q_{\text{Al}^{3+}} > q_{\text{Mg}^{2+}}$ پس انرژی شبکه ی Al_2O_3 بیش تر است.

تمرین : انرژی شبکه ی MgF_2 و AlF_3 را با هم مقایسه کنید.

تمرین : انرژی شبکه ی Mg_3P_2 و Na_3N را با هم مقایسه کنید.



نکته: در حالت کلی هر چه شعاع یون ها کوچک تر و بار الکتریکی یون ها بیش تر باشد، انرژی شبکه ی ترکیب یونی بیش تر خواهد بود. هر چه انرژی شبکه ی ترکیب یونی بیش تر باشد، نقطه ی ذوب و جوش ترکیب یونی بالاتر خواهد بود.

یون هالید	F^-	Cl^-	Br^-	I^-
Li^+	۱۰۳۶	۸۵۳	۸۰۷	۷۵۷
Na^+	۹۲۳	۷۸۷	۷۴۷	۷۰۴
K^+	۸۲۱	۷۱۵	۶۸۲	۶۴۹
Rb^+	۷۸۵	۶۸۹	۶۶۰	۶۳۰
Cs^+	۷۴۰	۶۵۹	۶۳۱	۶۰۴

تمرین : انرژی شبکه ی هالید فلزهای قلیایی در جدول زیر نشان داده شده است. به پرسش ها پاسخ دهید:

ا) کم ترین انرژی شبکه مربوط به کدام ترکیب است؟ چرا؟

ب) بیش ترین انرژی شبکه مربوط به کدام ترکیب است؟ چرا؟

ج) از اطلاعات موجود در این جدول در مورد انرژی شبکه چه نتیجه ای می توان گرفت؟

آنیون	F^-	O^{2-}
Na^+	۹۲۳	۲۴۸۱
Mg^{2+}	۲۹۵۷	۳۷۹۱
Al^{3+}	۵۴۹۲	۱۵۹۱۶

تمرین : انرژی شبکه ی چند ترکیب یونی در جدول مقابل داده شده است. به پرسش ها پاسخ دهید :

ا) انرژی شبکه چه رابطه ای با شعاع یون ها دارد؟

ب) انرژی شبکه چه رابطه ای با بار الکتریکی یون ها دارد؟

ج) کم ترین انرژی شبکه مربوط به کدام ترکیب و بیش ترین انرژی شبکه مربوط به کدام ترکیب است؟ چرا؟

یون های چند اتمی

یون چند اتمی: یون هایی هستند که از بیش از یک اتم تشکیل شده اند. مانند CO_3^{2-} , NH_4^+ , SO_4^{2-} , ...

عدد اکسایش: مقدار بار الکتریکی ظاهری نسبت داده شده به یک عنصر در یک ترکیب را عدد اکسایش گویند.

برای بدست آوردن عدد اکسایش باید دو فرض زیر را در نظر گرفت:

❖ ترکیب یونی در نظر گرفته شود.

❖ انتقال الکترون کامل در نظر گرفته شود.



مثال: در منیزیم کلرید، عدد اکسایش منیزیم +۲ و عدد اکسایش کلر -۱ است.

قواعد تعیین عدد اکسایش

۱. عدد اکسایش عناصر در پایدارترین حالت برابر صفر است. مانند $H_2, Cl_2, P_4, Fe, Ag, Cu$
۲. عدد اکسایش یون تک اتمی برابر بار الکتریکی آن است. $Na^+ : +1$, $Mg^{2+} : +2$, $Cl^- : -1$, $N^{3-} : -3$
۳. عدد اکسایش فلوئور در ترکیب ها همواره برابر -۱ است. NaF, MgF_2, OF_2, CF_4
۴. عدد اکسایش هیدروژن در همه ی ترکیب ها برابر +۱ است. $HCl, HF, H_2O, CH_4, HClO_4$
- عدد اکسایش هیدروژن در هیدرید فلزها -۱ است. NaH, MgH_2, AlH_3
۵. عدد اکسایش اکسیژن در همه ی ترکیب ها برابر -۲ است. $H_2SO_4, H_2O, HNO_3, SO_2, CO_2$
- عدد اکسایش اکسیژن در ترکیب OF_2 برابر +۲ است.
- عدد اکسایش اکسیژن در پراکسیدها برابر -۱ است. H_2O_2, Na_2O_2, Li_2O_2
- عدد اکسایش اکسیژن در سوپراکسیدها برابر $-\frac{1}{2}$ است. KO_2
۶. مجموع عدد اکسایش همه ی عناصر در یک ترکیب خنثی برابر صفر است.

مثال: $MgCl_2 : (+2) + 2(-1) = 0$

مثال: $H_2SO_4 : 2(+1) + (+6) + 4(-2) = 0$

۷. مجموع عدد اکسایش همه ی عناصر در یک یون چند اتمی برابر بار الکتریکی آن یون است.

مثال: $SO_4^{2-} : S + 4(-2) = -2 \Rightarrow S - 8 = -2 \Rightarrow S = -2 + 8 \Rightarrow S = +6$

مثال: $PO_4^{3-} : P + 4(-2) = -3 \Rightarrow P - 8 = -3 \Rightarrow P = -3 + 8 \Rightarrow P = +5$

تمرین: در ترکیب ها و یون های زیر عدد اکسایش اتم زیر خط دار را مشخص کنید:

- | | |
|---|--|
| $Al(\underline{H}\underline{S}\underline{O}_4)_3$ (۲) | $Sr(\underline{N}\underline{O}_3)_2$ (۱) |
| $\underline{N}\underline{H}_4\underline{C}\underline{L}\underline{O}_4$ (۴) | $Fe_3(\underline{P}\underline{O}_4)_2$ (۳) |
| $Fe(\underline{B}\underline{r}\underline{O}_4)_3$ (۶) | $Zn(\underline{C}\underline{l}\underline{O}_4)_2$ (۵) |
| $\underline{M}\underline{n}\underline{O}_4^{2-}$ (۸) | $\underline{C}\underline{r}_2\underline{O}_7^{2-}$ (۷) |
| \underline{O}_2^- (۱۰) | $H_2\underline{P}\underline{O}_3^-$ (۹) |

تمرین: در ترکیب های زیر عدد اکسایش اکسیژن و هیدروژن را محاسبه کنید:

- | | | | |
|------------|------------|-------------|------------|
| NH_3 (۴) | KO_2 (۳) | BaH_2 (۲) | OF_2 (۱) |
|------------|------------|-------------|------------|

نام گذاری چند باز یا قلیا

بازها (قلیایا) معمولا در آخر فرمول شیمیایی خود یک یا چند گروه هیدروکسید (OH) دارند.

- | | | | |
|------------|--------------------------------|------------|------------------------------|
| KOH | پتاسیم هیدروکسید (پتاس سوزآور) | $NaOH$ | سدیم هیدروکسید (سود سوزآور) |
| $Ca(OH)_2$ | کلسیم هیدروکسید (آهک) | $Mg(OH)_2$ | منیزیم هیدروکسید (شیر منیزی) |
| $Al(OH)_3$ | آهن (III) هیدروکسید | $Al(OH)_3$ | آلومینیوم هیدروکسید |

نام گذاری چند اسید

اسیدها معمولاً در ابتدای فرمول شیمیایی خود یک یا چند اتم هیدروژن دارند.

هیدروژن فلئورید HF هیدروژن کلرید HCl هیدروژن برومید HBr هیدروژن یدید HI



نکته: نام اسیدهای فوق در حالت محلول به شکل زیر است:

هیدروفلئوریک اسید HF هیدروکلریک اسید HCl هیدروبرومیک اسید HBr هیدرویدیک اسید HI

نام گذاری اسیدهای اکسیژن دار

عدد اکسایش کوچک: ریشه لاتین نافلز مرکزی + « و » + اسید نیتر و اسید $\text{HNO}_2 : \text{N} = +3$

عدد اکسایش بزرگ: ریشه لاتین نافلز مرکزی + « یک » + اسید نیتریک اسید $\text{HNO}_3 : \text{N} = +5$

مثال: اسیدهای زیر را نام گذاری کنید:

الف) $\text{H}_2\text{SO}_3 : \text{S} = +4$ در نتیجه: سولفور و اسید

ب) $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{S} = +6$ در نتیجه: سولفوریک اسید

نام گذاری اکسی اسیدهای فسفر

عدد اکسایش کوچک تر: هیپو + ریشه لاتین نافلز مرکزی + « و » + اسید هیپو فسفر و اسید $\text{H}_3\text{PO}_2 : \text{P} = +1$

عدد اکسایش کوچک: ریشه لاتین نافلز مرکزی + « و » + اسید فسفر و اسید $\text{H}_3\text{PO}_3 : \text{P} = +3$

عدد اکسایش بزرگ: ریشه لاتین نافلز مرکزی + « یک » + اسید فسفریک اسید $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{P} = +5$

نام گذاری اکسی اسیدهای هالوژن

عدد اکسایش کوچک تر: هیپو + ریشه لاتین نافلز مرکزی + « و » + اسید هیپو کلر و اسید $\text{HClO} : \text{Cl} = +1$

عدد اکسایش کوچک: ریشه لاتین نافلز مرکزی + « و » + اسید کلر و اسید $\text{HClO}_2 : \text{Cl} = +3$

عدد اکسایش بزرگ: ریشه لاتین نافلز مرکزی + « یک » + اسید کلریک اسید $\text{HClO}_3 : \text{Cl} = +5$

عدد اکسایش بزرگ تر: پر + ریشه لاتین نافلز مرکزی + « یک » + اسید پر کلریک اسید $\text{HClO}_4 : \text{Cl} = +7$

نام گذاری یون های چند اتمی اکسیژن دار

برای نام گذاری یون های چند اتمی کافی است پسوند « و » و « یک » در نام اسید را به « یت » و « ات » تبدیل کرد. و کلمه ی اسید را حذف نموده در ابتدای نام یون چند اتمی کلمه ی « یون » را قرار داد.



نکته: تعداد بارهای منفی یک آنیون چند اتمی نشان دهنده ی تعداد اتم های هیدروژنی است که اسید اولیه از دست داده است. بنابراین ظرفیت یک

یون چند اتمی برابر بار الکتریکی آن یون است.

مثال : به نام اسیدها و یون های حاصل از آن ها توجه کنید :

نام یون	فرمول یون	نام اسید	فرمول اسید	نام یون	فرمول یون	نام اسید	فرمول اسید
یون نیتريت	NO_2^-	نیترواسید	HNO_2	یون هیپوکلریت	ClO^-	هیپوکلرواسید	HClO
یون نیترات	NO_3^-	نیتريك اسید	HNO_3	یون کلریت	ClO_2^-	کلرواسید	HClO_2
یون سولفیت	SO_3^{2-}	سولفورواسید	H_2SO_3	یون کلرات	ClO_3^-	کلریک اسید	HClO_3
یون سولفات	SO_4^{2-}	سولفوریک اسید	H_2SO_4	یون پرکلرات	ClO_4^-	پرکلریک اسید	HClO_4
یون هیپوفسفیت	PO_3^{2-}	هیپوفسفرواسید	H_3PO_3				
یون فسفیت	PO_3^{3-}	فسفرواسید	H_3PO_3	یون اگزالات	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	اگزالیک اسید	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$
یون فسفات	PO_4^{3-}	فسفریک اسید	H_3PO_4				



نکته : برای بیان تعداد اتم های هیدروژن موجود در یون چند اتمی از پیشوندهای یونانی دی ، تری و ... استفاده می شود : (مونو لازم نیست).

یون هیدروژن سولفیت (بی سولفیت)	HSO_3^-	یون هیدروژن فسفات (بی فسفات)	HPO_4^{2-}
یون هیدروژن کربنات (بی کربنات)	HCO_3^-	یون دی هیدروژن فسفات	H_2PO_4^-

یون های نیترژن		یون های گوگرد		یون های فسفر	
نام یون	فرمول یون	نام یون	فرمول یون	نام یون	فرمول یون
نیتريد	N^{3-}	سولفید	S^{2-}	فسفید	P^{3-}
آزید	N_3^-	سولفیت	SO_3^{2-}	هیپوفسفیت	PO_3^{2-}
نیتريت	NO_2^-	هیدروژن سولفیت	HSO_3^-		
نیترات	NO_3^-	سولفات	SO_4^{2-}	دی هیدروژن هیپوفسفیت	H_2PO_3^-
		هیدروژن سولفات	HSO_4^-		
		یون های کروم		یون های کربن	
کربید	C^{4-}	کرومات	CrO_4^{2-}	هیدروژن فسفیت	HPO_3^{2-}
کربنات	CO_3^{2-}	هیدروژن کرومات	HCrO_4^-	دی هیدروژن فسفات	H_2PO_4^-
هیدروژن کربنات	HCO_3^-	دی کرومات	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	دی هیدروژن فسفات	H_2PO_4^-
		یون های برم		یون های منگنز	
منگنات	MnO_4^{2-}	هیپوبرومیت	BrO^-	آمونیم	NH_4^+
پرمنگنات	MnO_4^-	برومیت	BrO_2^-	هیدرونیوم	H_3O^+
		برومات	BrO_3^-	هیدروکسید	OH^-
		پربرومات	BrO_4^-	سیانید	CN^-
				اکسید	O^{2-}
				پراکسید	O_2^{2-}
				سوپراکسید	O_2^-

روش نوشتن فرمول شیمیایی ترکیب یونی چندتایی

۱. نماد شیمیایی کاتیون (تک اتمی یا چند اتمی) را در سمت چپ قرار دهید.
۲. فرمول آنیون چند اتمی را در سمت راست قرار دهید.
۳. ظرفیت کاتیون را زیروند آنیون و ظرفیت آنیون را زیروند کاتیون قرار دهید.
۴. زیروندها را در صورت ساده شدن ، ساده کنید.



نکته : اگر تعداد آنیون یا کاتیون چند اتمی بیش از یک باشد آن را داخل پرانتز قرار می دهند.

مثال : فرمول شیمیایی ترکیب های حاصل از یون های زیر را بنویسید :



تمرین : فرمول شیمیایی ترکیب های حاصل از یون های زیر را بنویسید :



روش نام گذاری ترکیب یونی چندتایی

۱. نام کاتیون فلز اصلی را بنویسید. (اگر کاتیون فلز واسطه است ظرفیت آن را با عدد رومی داخل پرانتز بنویسید).
۲. نام آنیون چند اتمی را بنویسید.

مثال : ترکیب های یونی زیر را نام گذاری کنید :



تمرین : ترکیب های یونی زیر را نام گذاری کنید :



برخی نمک ها آب تبلور دارند

نمک آب پوشیده : برخی از ترکیبات در ساختار خود دارای یک یا چند مولکول آب می باشند که از طریق پیوند شیمیایی به یون مرکزی متصل است که این ترکیبات را نمک آب پوشیده می گویند و با حرارت دادن به نمک بی آب تبدیل می شود.
آب تبلور : مولکول های آب را که درون شبکه ی بلوری نمک های آب پوشیده قرار دارند ، آب تبلور می گویند.



نکته : فرمول عمومی نمک آب پوشیده به صورت $M.XH_2O$ است که X تعداد مولکول های آب تبلور را نشان می دهد.

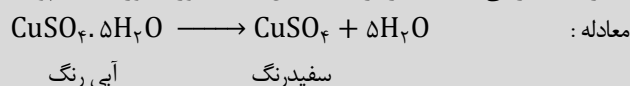


نکته: از این نمک ها به عنوان شناساگر رطوبت که جاذب رطوبت هستند استفاده می کنند که اغلب در دستگاه های الکترونیکی یا در قوطی داروهای پزشکی مشاهده می شوند.

$\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	زاج سرخ	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	سنگ گچ
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	زاج سبز	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	نمک اپسوم



نکته: مس (II) سولفات بی آب گرد سفید رنگی است که در اثر اضافه شدن آب به صورت بلورهای آب پوشیده و آبی رنگ در می آید.



روش نام گذاری نمک های آب پوشیده

برای نام گذاری ترکیب یونی آب دار ابتدا نام ترکیب یونی مورد نظر را نوشته سپس تعداد مولکول های آب را ذکر کرده ، کلمه ی **آبه** را به نام نمک اضافه می کنیم:

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	مینیزیم سولفات هفت آبه	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	کلسیم سولفات دو آبه
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	آهن (II) سولفات هفت آبه	$\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	کبالت (II) سولفات شش آبه
$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	باریم کلرید دو آبه	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	مس (II) سولفات پنج آبه

روش محاسبه ی تعداد مولکول های آب تبلور نمک های آب پوشیده

۱. جرم آب بخار شده را حساب کنید :
۲. تعداد مول های آب بخار شده را حساب کنید :
۳. تعداد مول نمک بی آب (خشک) را حساب کنید :
۴. خارج قسمت تعداد مول های آب بخار شده به تعداد مول های نمک بی آب ، تعداد مولکول های آب تبلور را نشان می دهد :

$$n = \frac{(a-b)M}{18b}$$

برای محاسبه ی تعداد مولکول آب تبلور می توان از رابطه ی مقابل هم استفاده کرد :

M : جرم مولی نمک بی آب (خشک) a : جرم نمک آب پوشیده (آبدار)
 b : جرم نمک بی آب (خشک) n : تعداد مولکول آب تبلور

مثال: از حرارت دادن به $2/5$ g از نمک آبدار $1/6$ g نمک بی آب حاصل می شود. تعداد مولکول های آب را محاسبه کنید؟ ($M = 160$ g/mol)

مرحله ی ۱) $2.5 - 1.6 = 0.9$ g جرم نمک بی آب - جرم نمک آبدار = جرم آب بخار شده

مرحله ی ۲) 0.05 mol $= \frac{0.9 \text{ g}}{18 \text{ g}} = \frac{\text{جرم آب بخار شده}}{\text{جرم مولی آب}}$ = مول آب بخار شده

مرحله ی ۳) 0.01 mol $= \frac{1.6 \text{ g}}{160 \text{ g}} = \frac{\text{جرم نمک بی آب}}{\text{جرم مولی نمک بی آب}}$ = مول نمک بی آب

مرحله ی ۴) 5 $= \frac{0.05 \text{ mol}}{0.01 \text{ mol}} = \frac{\text{مول آب بخار شده}}{\text{مول نمک بی آب}}$ = تعداد مول آب تبلور

روش دوم: $n = \frac{(a-b)M}{18b} = \frac{(2.5-1.6) \times 160}{18 \times 1.6} = 5$

واکنش شیمیایی و استوکیومتری

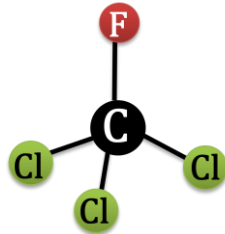
عامل اصلی تخریب لایه ی اوزون ، واکنش هایی است که در وقوع آن ها کلروفلوئوروکربن ها یا CFC ها مشارکت دارند. این واکنش ها به دلیل حضور اتم های کلر به وقوع می پیوندد که در اثر شکسته شدن مولکول های CFC در لایه ی استراتوسفر توسط پرتوهای فرابنفش به وجود می آیند.

CFC ها مشتقات کلروفلوئوروکربن ها یا فریونها می باشند که به عنوان گاز سرما زا در یخچال ها و کولرهای گازی استفاده می شود. دو نوع فریون زیر به این صورت شماره گذاری می شوند :

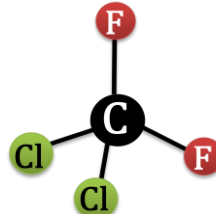


بیشتر بدانید : فریون ۱۱ و فریون ۱۲ به روش زیر شماره گذاری می شوند :

فریون ۰۱۱ :	تعداد فلورین = ۱	+ ۱ = ۱	تعداد هیدروژن
فریون ۰۱۲ :	تعداد فلورین = ۲	+ ۱ = ۱	تعداد هیدروژن
		- ۱ = ۰	تعداد کربن
		- ۱ = ۰	تعداد کربن



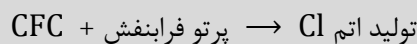
فریون ۱۱ $CFCl_3$



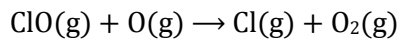
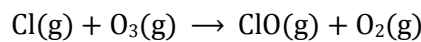
فریون ۱۲ CF_2Cl_2



توجه: CFC با ورود به استراتوسفر هوا و در معرض نور فرابنفش خورشید اتمهای کلر ایجاد کرده و باعث نابودی اوزون می شود.



واکنش های نابودی اوزون توسط کلر:



اولاً اتم کلر تخریب کننده ی اوزون مرتباً تولید می شود و هزارها مولکول اوزون را از بین می برد. ثانیاً مولکول اوزون مرتباً به مولکول اکسیژن تبدیل می شود و باعث نابودی اوزون می گردد.

واکنش شیمیایی و شیوه ی نمایش آن

تغییر فیزیکی: در آن ساختار ذره های تشکیل دهنده ی ماده تغییر نمی کند و تنها حالت فیزیکی ماده تغییر می کند.

مانند: ذوب شدن و تبخیر شدن و میعان

تغییر شیمیایی: طی آن یک یا چند ماده ی شیمیایی (عنصر یا ترکیب) بر هم اثر می گذارند و ماده ی شیمیایی تازه ای ایجاد می کنند و ماهیت ذره های تشکیل دهنده ی مواد تغییر می کند. مانند: پختن غذا، سوختن نفت زنگ زدن آهن

معادله ی شیمیایی: آن چه را در یک واکنش شیمیایی روی می دهد، به طور خلاصه بیان می کند. معادله ی شیمیایی به دو صورت بیان می شود.

معادله ی نوشتاری: نام فارسی واکنش دهنده ها در سمت چپ و نام فارسی فراورده هادر سمت راست نوشته می شود و اطلاعات دیگری را در اختیار ما قرار نمی دهد.

مثال: انرژی + آب + کربن دی اکسید → اکسیژن + متان : معادله ی نوشتاری سوختن متان

معادله ی نمادی: از نمادها و فرمول های شیمیایی مواد شرکت کننده در واکنش استفاده می شود و حالت فیزیکی مواد نیز مشخص می گردد.

مثال: معادله ی نمادی سوختن متان : $CH_4(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g) + q$



نکته: حالت فیزیکی هر ماده را درون یک پرانتز و بعد از فرمول شیمیایی آن در معادله ی نمادی می نویسند.

g: حالت گاز l: حالت مایع s: حالت جامد aq: محلول در آب (آب پوشیده) cr: کریستالی یا بلوری

معادله ی شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی و حالت فیزیکی واکنش دهنده ها و فرآورده ها اطلاعاتی درباره ی شرایط انجام واکنش در اختیار می گذارد. در حالی که اطلاعاتی چون چگونگی و ترتیب اختلاط واکنش دهنده ها و نکات ایمنی را در بر ندارد.

معنای برخی نمادهای شیمیایی مورد استفاده در واکنش شیمیایی

→	می دهد یا تولید می شود
Δ	انجام واکنش در اثر حرارت
$120^\circ C$	انجام واکنش در اثر حرارت مورد نظر
atm	انجام واکنش تحت فشار
2atm	انجام واکنش تحت فشارمورد نظر
cat	انجام واکنش در حضور کاتالیزگر
Pd	انجام واکنش در حضور کاتالیزگر مورد نظر



نکته: هر فرمولی که روی پیکان (فلش) نوشته شود نشانه ی کاتالیزگر است.

موازنه کردن معادله ی یک واکنش شیمیایی

در واکنش های شیمیایی نه اتمی به وجود می آید و نه از بین می رود بلکه پس از انجام واکنش ، همان اتم ها به شیوه های دیگری به هم دیگر متصل می شوند. همه ی واکنش های شیمیایی به **جز واکنش های هسته ای** از قانون پایستگی جرم پیروی می کنند.

معادله ی شیمیایی موازنه شده: در معادله ی موازنه شده تعداد اتم های هر عنصر در دو طرف معادله برابر و یکسان است.

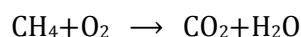
برای موازنه کردن معادله ی یک واکنش شیمیایی به روش زیر عمل می کنند :

۱. معادله ی موازنه نشده را نوشته و تعداد اتم ها را در دو طرف شمارش می کنند.
۲. تعداد اتم های عناصری را که در دو طرف معادله تنها در یک ساختار وجود دارند با وارد کردن ضرایب غیرکسری برابر می کنند.
۳. تعداد اتم های سایر عناصر (هیدروژن و اکسیژن) را با وارد کردن ضرایب غیر کسری مناسب برابر می کنند.
۴. در صورت مشاهده ی ضرایب کسری ، همه ی آن ها را در کوچک ترین عدد ممکن ضرب کرده و دوباره تعداد اتم ها را در دو طرف معادله شمارش می کنند تا از برابری آن ها اطمینان حاصل نمایند.



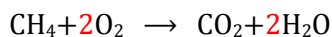
نکته: در موازنه کردن موارد زیر غیر مجاز و اکیداً ممنوع است :

۱. تغییر زیروندها
۲. تغییر نماد و فرمول شیمیایی مواد
۳. ظاهر شدن ضرایب کسری

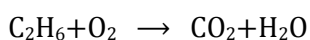


مثال: معادله ی مقابل راموازنه کنید.

	CH ₄	+	O ₂	→	CO ₂	+	H ₂ O
C	۱		۰	✓	۱		۰
H	۴		۰	✓	۰		۲×۲
O	۰		۲×۲	✓	۲		۱×۲

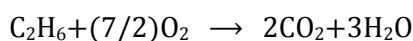


بنابراین معادله موازنه شده به صورت مقابل است :



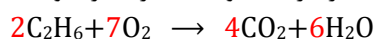
مثال: معادله ی مقابل راموازنه کنید.

	C ₂ H ₆	+	O ₂	→	CO ₂	+	H ₂ O
C	۲		۰	✓	۱×۲		۰
H	۶		۰	✓	۰		۲×۳
O	۰		۲×(۷/۲)	✓	۲×۲		۱×۳



بنابراین معادله ی موازنه شده به صورت مقابل است :

اما از آن جا که ضریب کسری ظاهر شده ، تمام ضرایب را در عدد دو (۲) ضرب کرده و معادله را بازنویسی می نمایند.



نکته : در موازنه به روش معمولی معمولاً به ترتیب زیر عمل می کنیم :

۴. اکسیژن

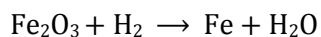
۳. هیدروژن

۲. نافلزها

۱. فلزها

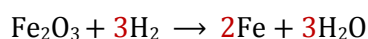
موازنه کردن معادله ی واکنش های شیمیایی به روش واری

- از ترکیبی شروع می کنیم که تعداد اتمهای آن از همه بیشتر باشد(واکنش دهنده یا فرآورده به جز اتم های هیدروژن و اکسیژن)
- از اتم یا یونی در ترکیب مورد نظر شروع می کنیم که تعداد آن از همه بیشتر باشد. (به جز اتم های هیدروژن و اکسیژن)
- اتمهای دیگر را موازنه کرده و در مرحله ی آخر هیدروژن و سپس اکسیژن راموازنه می کنیم.



مثال: معادله ی روبه رو را به روش واری موازنه کنید.

	Fe ₂ O ₃	+	H ₂	→	Fe	+	H ₂ O
Fe	۲		۰	✓	۱×۲		۰
H	۰		۲×۳	✓	۰		۲×۳
O	۳		۰	✓	۰		۱×۳



بنابراین معادله ی موازنه شده به صورت مقابل است :



نکته : در موازنه به روش واری ، یون های چند اتمی به صورت یک گونه یا واحد شیمیایی جداگانه و مستقل در نظر گرفته می شوند. و از محاسبه ی دوباره اتم های اکسیژن ، هیدروژن و ... موجود در آن ها خودداری می شود.

مثال: معادله ی روبه رو را به روش واری موازنه کنید. $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O}$

	$\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_3\text{PO}_4$		\longrightarrow	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O}$	
Ca	1×2	0	✓	3	0
H	2×2	3×2	✓	0	2×6
O	2×2	0	✓	0	1×6
PO_4^{3-}	0	1×2	✓	2	0

بنابراین معادله ی موازنه شده به صورت مقابل است: $3\text{Ca(OH)}_2 + 2\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

مثال: معادله ی رو به رو را به روش واری موازنه کنید. $\text{NaOH} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Fe(OH)}_3$

	$\text{NaOH} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$		\longrightarrow	$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Fe(OH)}_3$	
Fe	0	2	✓	0	1×2
Na	1×6	0	✓	2×3	0
OH	1×6	0	✓	0	3×2
SO_4^{2-}	0	3	✓	1×3	0

بنابراین معادله ی موازنه شده به صورت مقابل است: $6\text{NaOH} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow 3\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{Fe(OH)}_3$

انواع واکنشهای شیمیایی

به منظور مطالعه بهتر واکنش های شیمیایی آن ها را در دسته های کوچک تری طبقه بندی می کنند و دسته بندی زیر رایج ترین شیوه ی طبقه بندی واکنش های شیمیایی است.

تجزیه

سنتز یا ترکیب

انواع واکنش شیمیایی

سوختن یا احتراق

جا به جایی دوگانه

جا به جایی یگانه

واکنش سوختن: واکنشی است که در آن یک ماده به سرعت و شدت با اکسیژن ترکیب می شود و علاوه بر آزاد کردن مقدار زیادی انرژی (نور و گرما) اغلب ترکیب های اکسیژن دار به وجود می آورد.



نکته: ماده ی مورد نظر می تواند یک ترکیب آلی مانند استیلن ، یک نافلز مانند گوگرد یا یک فلز بسیار واکنش پذیر مانند منیزیم باشد.

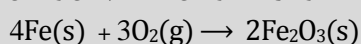
$2\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{نور و گرما}$ ترکیب آلی:

$\text{S}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g}) + \text{نور}$ نافلز:

$2\text{Mg}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{MgO}(\text{s}) + \text{نور}$ فلز واکنش پذیر:

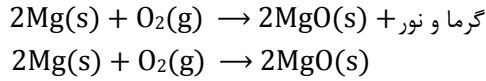


نکته: واکنش همه ی مواد با اکسیژن به شدت و سرعت سوختن نیست چنین واکنش هایی را **اکسایش** می گویند.



سختن	همراه با تولید انرژی به صورت نور ، صوت و گرما	سریع	واکنش عنصر با اکسیژن
اکسایش	بدون تولید انرژی	آهسته	

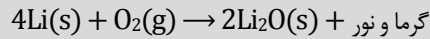
مثال : منیزیم با اکسیژن هوا به دو صورت واکنش نشان می دهد :



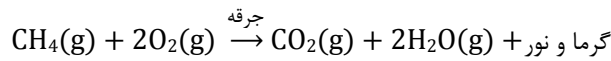
نوع واکنش : سوختن
نوع واکنش : اکسایش



نکته : واکنش فلزهای قلیایی با اکسیژن هوا از نوع سوختن است. اگر همراه با تولید نور و گرما باشد.



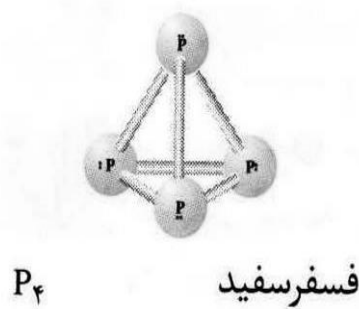
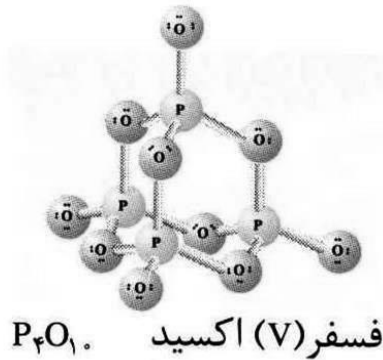
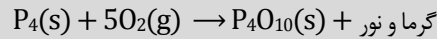
انرژی فعال سازی : به حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی انرژی فعال سازی می گویند.



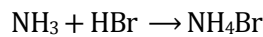
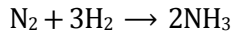
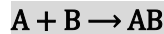
انواع انرژی فعال سازی: ۱- دادن گرما ۲- تابش نور ۳- ایجاد جرجه ۴- تخلیه ی الکتریکی ۵- وارد آوردن شوک



نکته : واکنش برخی نافلزها (P و S ، C) با اکسیژن هوا از نوع واکنش سوختن است.

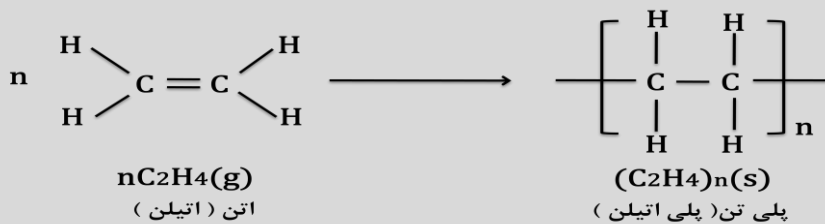


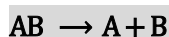
واکنش سنتز یا ترکیب : واکنشی است که در آن چند ماده بر هم اثر کرده و فرآورده های تازه ای با ساختار پیچیده تر به وجود می آیند.



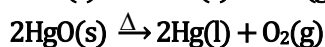
نکته : واکنش پلیمر شدن (بسپارش) مجموعه ای از واکنش های سنتزی است که در آن مولکول های کوچک با یک دیگر ترکیب شده ،

درشت مولکول هایی به نام پلیمر (بسپار) تولید می شود.



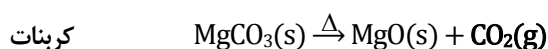
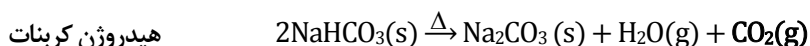


واکنش تجزیه: واکنشی است که در آن یک ماده به مواد ساده تری تبدیل می شود.

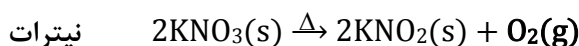
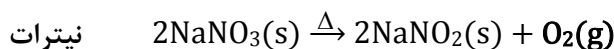
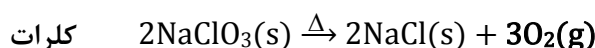
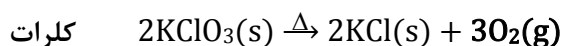


نکته: معمولاً واکنش های تجزیه در اثر دادن حرارت به ماده ی مورد نظر انجام می شوند و در معادله ی شیمیایی آن ها روی پیکان علامت (Δ) قرار می دهند.

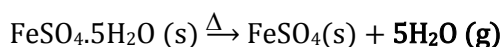
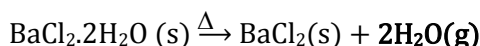
① تجزیه ی کربنات ها و هیدروژن کربنات ها (بی کربنات ها): از تجزیه ی این مواد بر اثر گرما گاز کربن دی اکسید (CO₂) آزاد می شود.



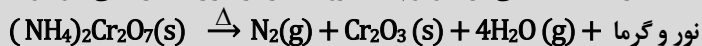
② تجزیه ی نیترات ها و کلرات ها: از تجزیه ی این مواد بر اثر گرما گاز اکسیژن (O₂) آزاد می شود.



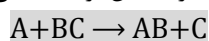
③ واکنش از دست دادن آب تبلور نمک ها: نمک های متبلور بر اثر گرما، مولکول های آب خود را از دست می دهند که جزء واکنش تجزیه است.



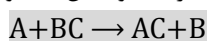
نکته: واکنش کوه آتشفشان جزء واکنش های تجزیه است که طی آن آمونیوم دی کرومات در اثر حرارت تجزیه می شود. و نباید این واکنش را با سوختن اشتباه گرفت.



واکنش جا به جایی یگانه: واکنشی است که در آن یک عنصر با یک ترکیب واکنش داده و جایگزین یکی از عنصرهای آن ترکیب می شود.

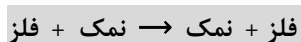


یا

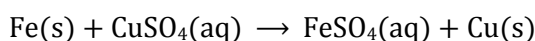
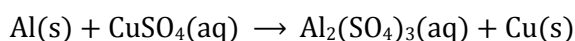


واکنش جا به جایی را جانشینی یا جایگزینی هم می نامند.

واکنش های زیر جزء واکنش جا به جایی یگانه هستند:

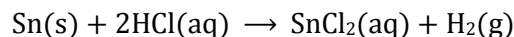
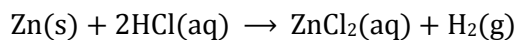


①



گاز هیدروژن + نمک → اسید + فلز

2



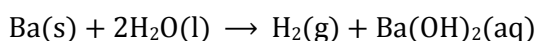
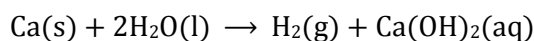
نکته: واکنش پذیری این فلزها با آب کم تر از فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی است ولی با اسیدها واکنش داده گاز هیدروژن تولید

می کنند.

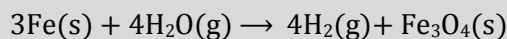
فلزهای قلیایی ، Ca , Sr , Ba

هیدروکسید فلز یا اکسید فلز + گاز هیدروژن → آب + فلز

3



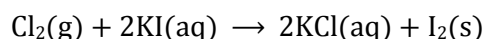
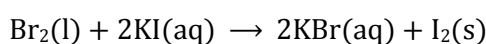
نکته: فلز منیزیم (Mg) با آب جوش ، آلومینیوم (Al) و آهن (Fe) با بخار آب واکنش داده و علاوه بر گاز هیدروژن ، اکسید فلز



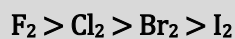
را تولید می کنند.

هالوژن ضعیف تر + نمک هالوژن فعال تر → نمک هالوژن ضعیف تر + هالوژن فعال تر

4

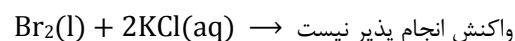
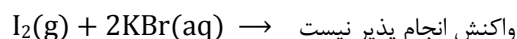
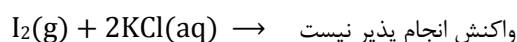


نکته: در گروه هالوژن ها ، هالوژن (های) بالا می توانند هالوژن (های) پایین تر از خود را از ترکیب هایشان جدا کنند. و

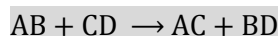


ترتیب واکنش پذیری هالوژن ها به شکل مقابل است:

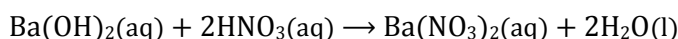
به عنوان مثال ید نمی تواند عناصر بالای خود را در جدول تناوبی از ترکیب هایشان جدا کند زیرا فعالیت ید از فلوئور ، کلر و برم کم تر است.



واکنش جا به جایی دوگانه: در این واکنش ها ، جای دو یون یا دو عنصر در دو ترکیب عوض می شود.

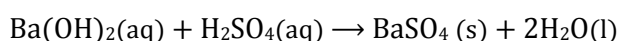


واکنش های زیر جزء واکنش های جا به جایی دوگانه هستند:



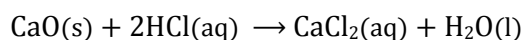
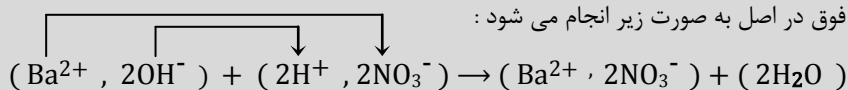
واکنش اسید - باز

1

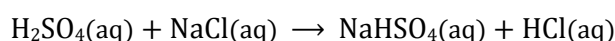
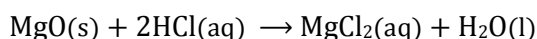




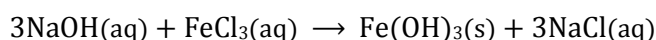
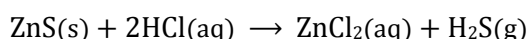
نکته : واکنش فوق در اصل به صورت زیر انجام می شود :



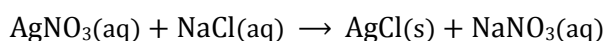
2 واکنش اکسید فلز با اسید



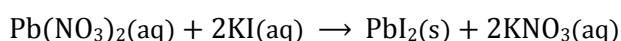
3 واکنش اسید با نمک



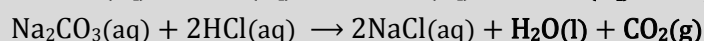
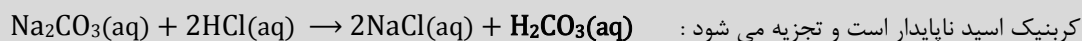
4 واکنش باز با نمک



5 واکنش تشکیل رسوب

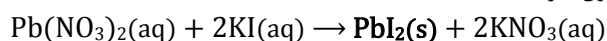


نکته : در برخی واکنش های شیمیایی از نوع جا به جایی دوگانه فرآورده ی حاصل خود تجزیه شده و تولید گاز می کند:



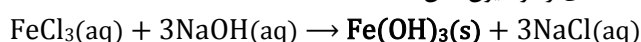
شناسایی یون های Ag^{+} ، Ba^{2+} ، Fe^{3+} ، Pb^{2+}

شناسایی یون Pb^{2+} : برای شناسایی این یون، محلول سرب (II) نیترات را با محلول پتاسیم یدید وارد واکنش می کنند که رسوب زرد رنگ سرب (II) یدید نشان دهنده ی وجود یون سرب (II) است.



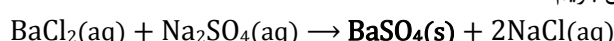
رسوب زرد

شناسایی یون Fe^{3+} : برای شناسایی این یون، محلول آهن (III) کلرید را با محلول سدیم هیدروکسید وارد واکنش می کنند که رسوب قرمز آجری آهن (III) هیدروکسید نشان دهنده ی وجود یون آهن (III) است.



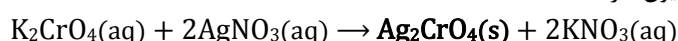
رسوب قرمز آجری

شناسایی یون Ba^{2+} : برای شناسایی این یون، محلول باریم کلرید را با محلول سدیم سولفات وارد واکنش می کنند که رسوب سفید رنگ باریم سولفات نشان دهنده ی وجود یون باریم است.



رسوب سفید

شناسایی یون Ag^{+} : برای شناسایی این یون، محلول نقره نیترات را با محلول پتاسیم کرومات وارد واکنش می کنند که رسوب نارنجی رنگ نقره کرومات نشان دهنده ی وجود یون نقره است.



رسوب نارنجی

استوکیومتری ، روابط کمی در واکنش های شیمیایی

استوکیومتری : بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عنصرها در ترکیب ها و نیز ارتباط کمی میان مقادیر مواد شرکت کننده در واکنش های شیمیایی سر و کار دارد.



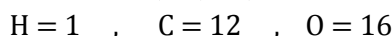
نکته : استوکیومتری از ترکیب دو واژه ی **استوکیون** به معنای **عنصر** و **مترون** به معنای **سنجش** گرفته شده است. و در محاسبه های استوکیومتری تنها از **معادله ی موازنه شده** استفاده می شود.

مول : به تعداد 6.022×10^{23} ذره (اتم ، مولکول یا یون) از هر ماده مول می گویند. و آن را با نماد **mol** نشان می دهند.

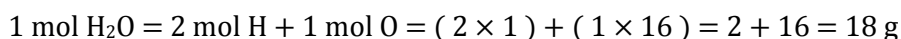
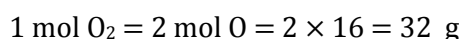
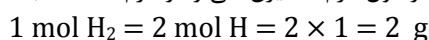


نکته : عدد 6.022×10^{23} را عدد **آووگادرو** (دانشمند ایتالیایی) می نامند و آن را با نماد **NA** نشان می دهند.

اتم گرم : به جرم یک مول اتم یا جرم 6.022×10^{23} اتم از هر ماده **اتم گرم** می گویند و یکای آن گرم (g) است.
اتم گرم هیدروژن یک گرم ، اتم گرم کربن دوازده گرم و اتم گرم اکسیژن شانزده گرم است که به صورت زیر نشان داده می شود:

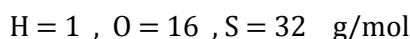


مولکول گرم : به جرم یک مول مولکول یا جرم 6.022×10^{23} مولکول از هر ماده **مولکول گرم** می گویند و یکای آن گرم (g) است.
مولکول گرم هیدروژن دو گرم ، مولکول گرم اکسیژن سی و دو گرم است که به صورت زیر محاسبه می شود :

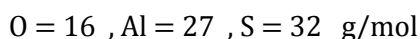
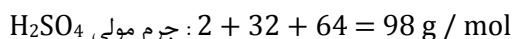
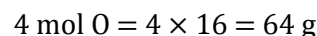
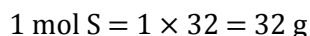
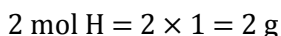


نکته : برای محاسبه ی مولکول گرم و جرم مولی مواد از اتم گرم عناصر استفاده می شود که در هنگام طرح سؤال به صورت اطلاعات لازم ، اتم گرم عناصر مختلف داده می شود. به عبارت دیگر لازم نیست اتم گرم عناصر را حفظ کرد.

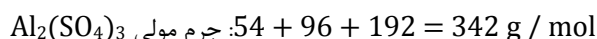
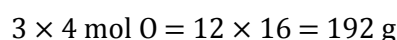
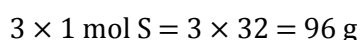
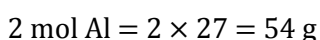
جرم مولی : به جرم یک مول (اتم یا مولکول) از هر ماده **جرم مولی** می گویند و یکای آن گرم بر مول (g/mol) است.



مثال : جرم مولی سولفوریک اسید (H_2SO_4) را حساب کنید ؟

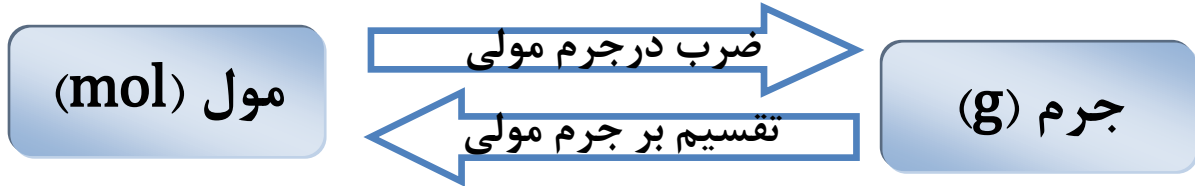


مثال : جرم مولی آلومینیوم سولفات [$Al_2(SO_4)_3$] را حساب کنید؟



تبدیل تعداد مول به جرم و بر عکس

از آن جا که مول یک کمیت قابل سنجش در آزمایشگاه نیست بنابراین لازم است آن را به کمیتی قابل سنجش مانند جرم تبدیل کنید :



نکته: برای تبدیل تعداد مول به جرم باید عدد مورد نظر را در جرم مولی ضرب و برای تبدیل جرم به تعداد مول ، عدد مورد نظر را بر جرم مولی تقسیم کرد.

$$C = 12 , O = 16 \text{ g/mol}$$

مثال: ۰/۵ مول کربن دی اکسید (CO₂) چند گرم جرم دارد؟

$$CO_2 = (1 \times 12) + (2 \times 16) = 44 \text{ g/mol}$$

$$? \text{ g } CO_2 = 0.5 \text{ mol } CO_2 \times \frac{44 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} = 22 \text{ g } CO_2$$

$$H = 1 , O = 16 \text{ g/mol}$$

مثال: ۱/۵ مول آب (H₂O) چند گرم جرم دارد؟

$$H_2O = (2 \times 1) + (1 \times 16) = 18 \text{ g/mol}$$

$$? \text{ g } H_2O = 1.5 \text{ mol } H_2O \times \frac{18 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O} = 27 \text{ g } H_2O$$

$$C = 12 , O = 16 \text{ g/mol}$$

مثال: ۰/۱۱ گرم کربن دی اکسید (CO₂) چند مول از آن ماده است؟

$$CO_2 = (1 \times 12) + (2 \times 16) = 44 \text{ g/mol}$$

$$? \text{ mol } CO_2 = 0.11 \text{ g } CO_2 \times \frac{1 \text{ mol } CO_2}{44 \text{ g } CO_2} = 0.0025 \text{ mol } CO_2$$

$$H = 1 , O = 16 \text{ g/mol}$$

مثال: ۹۰ گرم آب (H₂O) چند مول از این ماده است؟

$$H_2O = (2 \times 1) + (1 \times 16) = 18 \text{ g/mol}$$

$$? \text{ mol } H_2O = 90 \text{ g } H_2O \times \frac{1 \text{ mol } H_2O}{18 \text{ g } H_2O} = 5 \text{ mol } H_2O$$

نکته: در هنگام حل این مسائل باید جرم مولی ماده ی مورد نظر را با توجه به اتم گرم عناصر داده شده محاسبه کرد.

استوکیومتری فرمولی

فرمول مولکولی: فرمول مولکولی هر ترکیب، نشان دهنده ی نوع عناصر سازنده و تعداد اتم های هر عنصر است. فرمول مولکولی گوگرد دی اکسید (SO₂) نشان می دهد که هر مولکول آن از یک اتم گوگرد و دو اتم اکسیژن تشکیل شده است. به عبارت دیگر هر مول SO₂ شامل یک مول اتم گوگرد و دو مول اتم اکسیژن است.

$$\frac{\text{تعداد مول های S در یک مول SO}_2}{\text{تعداد مول های O در یک مول SO}_2} = \frac{\text{تعداد اتم های S در یک مولکول SO}_2}{\text{تعداد اتم های O در یک مولکول SO}_2} = \frac{1}{2}$$

مثال: نسبت عنصرهای تشکیل دهنده ی آمونیاک (NH₃) را به دست آورید؟

$$\frac{\text{تعداد مول های N در یک مول NH}_3}{\text{تعداد مول های H در یک مول NH}_3} = \frac{\text{تعداد اتم های N در یک مولکول NH}_3}{\text{تعداد اتم های H در یک مولکول NH}_3} = \frac{1}{3}$$

فرمول تجربی: فرمول تجربی افزون بر نوع و تعداد عناصر سازنده ی مولکول، ساده ترین نسبت اتم های موجود در آن را مشخص می کند.



نکته: فرمول تجربی هر ترکیب از طریق تجزیه ی عنصری آن ترکیب در آزمایشگاه به دست می آید. تجزیه ی عنصری روشی است که طی آن نوع عناصر تشکیل دهنده و درصد جرمی هر یک از آن ها در ترکیب شیمیایی مذکور معین می شود.

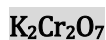
روش تعیین فرمول تجربی

۱. ابتدا جرم هر عنصر را با تقسیم بر جرم مولی آن به مول عنصر تبدیل کنید:
۲. اعداد به دست آمده را بر کوچک ترین عدد در بین آن ها تقسیم کنید:
۳. اعداد به دست آمده را گرد کنید: به عنوان مثال ۲/۹ را ۳ یا ۲/۴ را ۲/۵ در نظر بگیرید:
۴. در صورت ظاهر شدن اعدادی مثل ۱/۵، ۲/۵ و ... همه ی اعداد به دست آمده را در عدد دو ضرب کنید:
۵. نماد شیمیایی عناصر را نوشته و اعداد به دست آمده را به عنوان زیروند هر عنصر قرار دهید:

مثال: فرمول تجربی ترکیبی را به دست آورید که شامل ۲۶/۵۶٪ پتاسیم، ۳۵/۴۱٪ کروم و ۳۸/۰۳٪ اکسیژن است؟

$$O = 16, K = 39, Cr = 52 \quad \text{g/mol}$$

$$\begin{aligned} O: 38.03 \div 16 = 2.37 & \quad (0.68) \quad \text{تقسیم بر کوچک ترین عدد} = 3.48 \approx 3.5 \quad (2) \quad = 7 \quad \text{ضرب در عدد دو} \\ K: 26.56 \div 39 = 0.68 & \quad (0.68) \quad \text{تقسیم بر کوچک ترین عدد} = 1 = 1 \quad (2) \quad = 2 \quad \text{ضرب در عدد دو} \\ Cr: 35.41 \div 52 = 0.68 & \quad (0.68) \quad \text{تقسیم بر کوچک ترین عدد} = 1 = 1 \quad (2) \quad = 2 \quad \text{ضرب در عدد دو} \end{aligned}$$



حال نماد شیمیایی عناصر را نوشته و اعداد به دست آمده را در زیروند هر عنصر قرار دهید: فرمول تجربی مورد نظر



نکته: فرمول تجربی و فرمول مولکولی یک ترکیب را با استفاده از فرمول زیر می توان به یک دیگر تبدیل نمود:

$$\text{جرم فرمول تجربی} \times n = \text{جرم فرمول مولکولی}$$

مثال : فرمول مولکولی ترکیبی را به دست آورید که جرم مولی آن 92 g/mol است و دارای 0.61 گرم نیتروژن و 1.39 گرم اکسیژن است ؟

$$N = 14 , O = 16 \text{ g/mol}$$

$$N : 0.61 \div 14 = 0.043 \div 0.043 = 1$$

$$O : 1.39 \div 16 = 0.0868 \div 0.043 = 2$$

فرمول تجربی : NO_2

$$\text{NO}_2 = (1 \times 14) + (2 \times 16) = 46 \text{ g/mol}$$

ابتدا جرم NO_2 را محاسبه کنید :

$$\text{جرم فرمول تجربی} = n \times \text{جرم فرمول مولکولی}$$

$$92 = n \times 46 \Rightarrow n = 2$$

حال زیروند های NO_2 را در عدد دو ضرب کنید تا فرمول مولکولی ماده ی مورد نظر به دست آید :

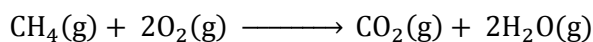
فرمول مولکولی : N_2O_4



نکته : ترکیب های یونی فرمول مولکولی ندارند زیرا ترکیب های یونی مولکول ندارند و دارای شبکه ی بلور سه بعدی میباشند. اگر تمام زیروندهای یک ماده بر عدد معینی بخش پذیر باشند آن فرمول ، مولکولی است ولی اگر تنها یکی از زیروندها بر عدد مورد نظر بخش پذیر نباشد فرمول ، تجربی است. به موارد زیر توجه کنید :

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	HNO_3	AgNO_3	KClO_3	H_2O	NH_3	NO_2	N_2O_3	فرمول تجربی :
P_4O_{10}	N_2O_4	N_2H_4	C_6H_6	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$	C_2H_2			فرمول مولکولی :

استوکیومتری واکنش



واکنش سوختن کامل متان را در نظر بگیرید :

این معادله نشان می دهد که برای سوختن یک مول گاز متان ، دو مول گاز اکسیژن لازم است و یک مول گاز کربن دی اکسید و دو مول بخار آب تولید می شود. حال نسبت های مولی مواد شرکت کننده در واکنش را در زیر می نویسیم :

$$\text{نسبت مولی اکسیژن به متان} = \frac{2 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol CH}_4} = \frac{2}{1} = 2$$

$$\text{نسبت مولی کربن دی اکسید به متان} = \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol CH}_4} = \frac{1}{1} = 1$$

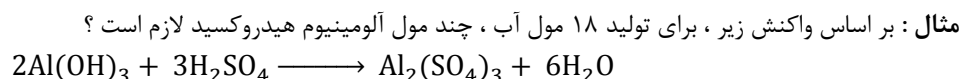
$$\text{نسبت مولی آب به کربن دی اکسید} = \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{1 \text{ mol CO}_2} = \frac{2}{1} = 2$$

$$\text{نسبت مولی متان به آب} = \frac{1 \text{ mol CH}_4}{1 \text{ mol H}_2\text{O}} = \frac{1}{2}$$

با استفاده از نسبت های مولی ، می توان تعداد مول فرآورده های به دست آمده از واکنش یا تعداد مول واکنش دهنده های مورد نیاز را به دست آورد.

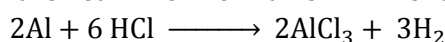
روابط مولی - مولی در محاسبه های استوکیومتری

در این موارد تعداد مول های یک ماده داده شده و تعداد مول های ماده ی دیگری خواسته می شود که با یک نسبت مولی ساده قابل حل است :



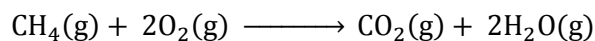
$$? \text{ mol Al}(\text{OH})_3 = 18 \text{ mol H}_2\text{O} \times \frac{2 \text{ mol Al}(\text{OH})_3}{6 \text{ mol H}_2\text{O}} = 6 \text{ mol Al}(\text{OH})_3$$

مثال : طبق معادله واکنش زیر ، چند مول هیدروکلریک اسید برای واکنش کامل با ۳ مول فلز آلومینیوم لازم است ؟



$$? \text{ mol HCl} = 3 \text{ mol Al} \times \frac{6 \text{ mol HCl}}{2 \text{ mol Al}} = 9 \text{ mol HCl}$$

مثال : در واکنش سوختن متان به ازای سوختن ۱۰ مول گاز متان :
 الف) چند مول اکسیژن مصرف می شود؟
 ب) چند مول کربن دی اکسید تولید می شود؟



$$? \text{ mol O}_2 = 10 \text{ mol CH}_4 \times \frac{2 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol CH}_4} = 20 \text{ mol O}_2$$

$$? \text{ mol CO}_2 = 10 \text{ mol CH}_4 \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol CH}_4} = 10 \text{ mol CO}_2$$

روابط جرمی - مولی در محاسبه های استوکیومتری

در این موارد ، جرم ماده ای را می دهند و تعداد مول ماده ی دیگری را می خواهند یا برعکس. در این حالت به روش زیر عمل کنید :

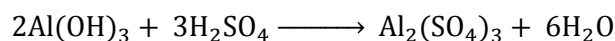
۱. جرم ماده ی داده شده را با تقسیم بر جرم مولی ، به مول آن تبدیل کنید.

۲. نسبت مولی ماده ی خواسته شده به ماده ی داده شده را بنویسید.

مول خواسته شده → نسبت مولی خواسته شده به داده شده → مول ماده ی داده شده → جرم داده شده تقسیم بر جرم مولی

مثال : بر اساس واکنش زیر ، برای تولید ۲۱۶ گرم آب ، چند مول آلومینیوم هیدروکسید لازم است ؟

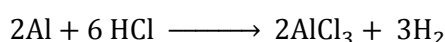
$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}$$



$$? \text{ mol Al}(\text{OH})_3 = 216 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18 \text{ g H}_2\text{O}} \times \frac{2 \text{ mol Al}(\text{OH})_3}{6 \text{ mol H}_2\text{O}} = 4 \text{ mol Al}(\text{OH})_3$$

مثال : طبق واکنش زیر ، چند گرم هیدروکلریک اسید برای واکنش کامل با ۳ مول فلز آلومینیوم لازم است ؟

$$M_{\text{HCl}} = 36.5 \text{ g/mol}$$

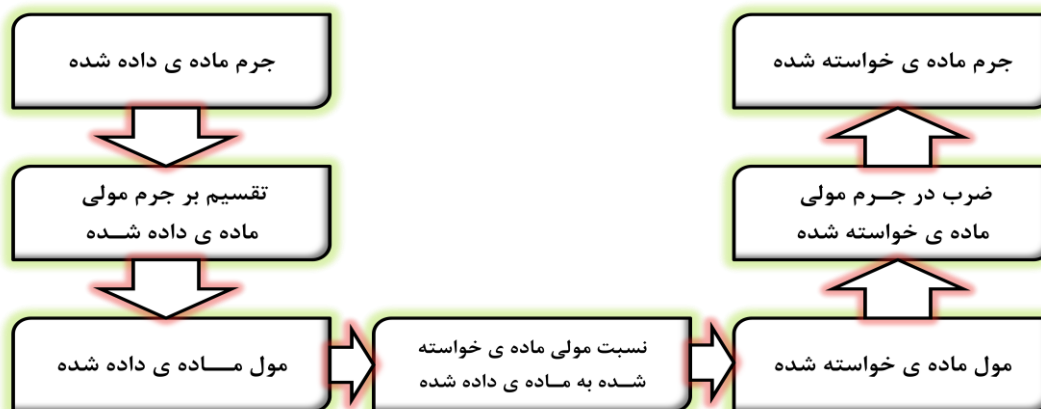


$$? \text{ g HCl} = 3 \text{ mol Al} \times \frac{6 \text{ mol HCl}}{2 \text{ mol Al}} \times \frac{36.5 \text{ g HCl}}{1 \text{ mol HCl}} = 328.5 \text{ g HCl}$$

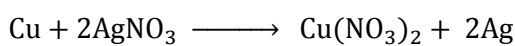
روابط جرمی - جرمی در محاسبه های استوکیومتری

در این موارد جرم یک ماده داده می شود و جرم ماده ی دیگری خواسته می شود که برای حل این گونه مسائل به روش زیر عمل کنید :

۱. جرم ماده ی داده شده را با تقسیم بر جرم مولی آن ، به مول ماده ی داده شده تبدیل کنید.
۲. نسبت مولی ماده ی خواسته شده به ماده ی داده شده را بنویسید.
۳. مول ماده ی خواسته شده را با ضرب در جرم مولی آن ، به جرم ماده ی خواسته شده تبدیل کنید.

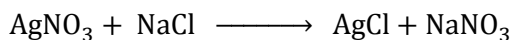


مثال : در واکنش فلز مس با نقره نیترات ، به ازای آزاد شدن ۱/۰۸ گرم نقره ، چند گرم مس مصرف می شود ؟ $Cu = 63.5$, $Ag = 108$



$$? \text{ g Cu} = 1.08 \text{ g Ag} \times \frac{1 \text{ mol Ag}}{108 \text{ g Ag}} \times \frac{1 \text{ mol Cu}}{2 \text{ mol Ag}} \times \frac{63.5 \text{ g Cu}}{1 \text{ mol Cu}} = 0.3175 \text{ g Cu}$$

مثال : از واکنش ۱/۷ گرم نقره نیترات با مقدار اضافی محلول سدیم کلرید طبق واکنش زیر :



الف) چند گرم نقره کلرید تولید می شود ؟
ب) چند گرم سدیم نیترات به دست می آید ؟

$$Na = 23 , Ag = 108 , N = 14 , O = 16 , Cl = 35.5 \text{ g/mol}$$

$$? \text{ g AgCl} = 1.7 \text{ g AgNO}_3 \times \frac{1 \text{ mol AgNO}_3}{170 \text{ g AgNO}_3} \times \frac{1 \text{ mol AgCl}}{1 \text{ mol AgNO}_3} \times \frac{143.5 \text{ g AgCl}}{1 \text{ mol AgCl}} = 1.435 \text{ g AgCl}$$

$$? \text{ g NaNO}_3 = 1.7 \text{ g AgNO}_3 \times \frac{1 \text{ mol AgNO}_3}{170 \text{ g AgNO}_3} \times \frac{1 \text{ mol NaNO}_3}{1 \text{ mol AgNO}_3} \times \frac{85 \text{ g NaNO}_3}{1 \text{ mol NaNO}_3} = 0.85 \text{ g NaNO}_3$$

درصد خلوص مواد

مواد مورد استفاده در آزمایشگاه یا صنعت کاملاً خالص نیستند و معمولاً مقادیر مختلفی ناخالصی به همراه دارند. خلوص مواد معمولاً به صورت درصد بیان می شود. برای مثال سدیم کلرید ۹۹ درصد. یعنی هر ۱۰۰ گرم سدیم کلرید مورد نظر شامل ۹۹ گرم سدیم کلرید خالص و ۱ گرم ناخالصی است.

درصد خلوص : مقدار گرم ماده ی خالص موجود در ۱۰۰ گرم ماده ی ناخالص را درصد خلوص می گویند.



نکته : در آزمایشگاه و به ویژه در صنعت ، برای تأمین مقدار معینی از یک ماده ی خالص همواره باید مقدار بیشتری از ماده ی ناخالص موجود را به کار برد.

$$\text{درصد خلوص ماده} = \frac{\text{جرم ماده ی خالص}}{\text{جرم ماده ی ناخالص}} \times 100$$



نکته : در محاسبه های استوکیومتری همواره جرم ماده ی خالص به کار می رود و ناخالصی ها در واکنش تأثیری ندارند. بنابراین با استفاده از فرمول بالا جرم ماده ی خالص را محاسبه می کنند و جرم فرآورده ها را با توجه به آن تعیین می نمایند.

مثال : یکی از روش های تولید گاز کلر در آزمایشگاه ، واکنش دادن هیدروکلریک اسید با منگنز (IV) اکسید طبق معادله ی زیر است :



برای تهیه ی ۲۰ گرم گاز کلر ، به چند گرم نمونه ی ناخالص منگنز دی اکسید با خلوص ۹۰٪ نیاز است ؟

$$\text{Mn} = 55, \text{H} = 1, \text{Cl} = 35.5, \text{O} = 16 \text{ g/mol}$$

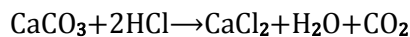
حل : ابتدا از روی مقدار ۲۰ گرم کلر داده شده جرم منگنز دی اکسید خالص را محاسبه می کنیم و آن را در فرمول قرار داده ، جرم منگنز دی اکسید ناخالص را به دست می آوریم.

$$? \text{ g MnO}_2(\text{pure}) = 20 \text{ g Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{71 \text{ g Cl}_2} \times \frac{1 \text{ mol MnO}_2}{1 \text{ mol Cl}_2} \times \frac{87 \text{ g MnO}_2}{1 \text{ mol MnO}_2} = 24.5 \text{ g MnO}_2$$

بنابراین انتظار داریم که جرم منگنز دی اکسید ناخالص از ۲۴/۵ گرم بیشتر باشد :

$$\text{جرم ماده ی خالص} = \frac{\text{جرم ماده ی ناخالص}}{\text{جرم ماده ی خالص}} \times 100 \Rightarrow 90 = \frac{24.5}{\text{MnO}_2} \times 100 \Rightarrow \text{MnO}_2 = 27.2 \text{ g}$$

مثال : طبق معادله ی زیر ۱۲/۵ گرم از نمونه ی ناخالص کلسیم کربنات را با مقدار اضافی هیدروکلریک اسید واکنش داده اند. اگر جرم گاز کربن دی اکسید تولید شده ۴/۴ گرم باشد، درصد خلوص کلسیم کربنات را محاسبه کنید؟ $\text{H} = 1, \text{C} = 12, \text{Cl} = 35.5, \text{Ca} = 40, \text{O} = 16 \text{ g/mol}$



حل : ابتدا از جرم کربن دی اکسید تولید شده (۴/۴ گرم) جرم کلسیم کربنات خالص را حساب می کنیم و سپس آن را در فرمول درصد خلوص قرار داده و درصد خلوص آن را با توجه به مقدار خالص و ناخالص آن به دست می آوریم.

خالص = Pure

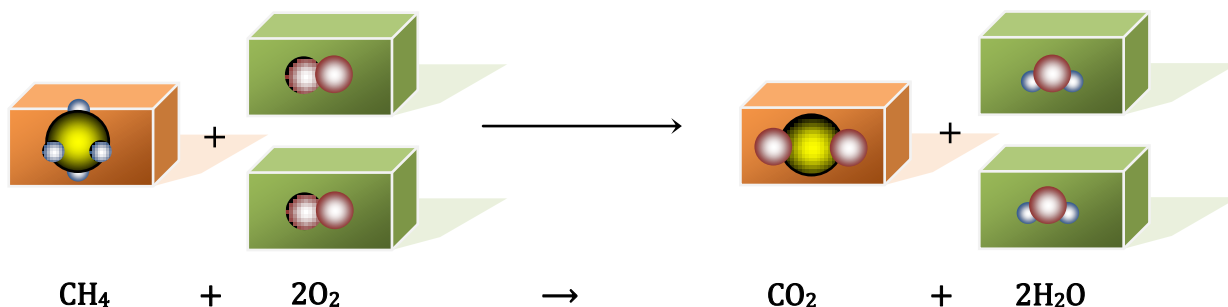
$$? \text{ g CaCO}_3(\text{pure}) = 4.4 \text{ g CO}_2 \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{44 \text{ g CO}_2} \times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} = 10 \text{ g CaCO}_3(\text{pure})$$

$$\text{جرم ماده ی خالص} = \frac{\text{جرم ماده ی ناخالص}}{\text{جرم ماده ی خالص}} \times 100 \Rightarrow \text{درصد خلوص ماده} = \frac{10}{12.5} \times 100 = 80$$

روابط حجمی گازها در محاسبه های استوکیومتری

محاسبه های حجمی در گازها بر پایه ی کارهای ژوزف لویی گی لوساک شیمی - فیزیک دان فرانسوی استوار است :

قانون نسبت های ترکیبی (گی لوساک) : در دما و فشار ثابت ، گازها در نسبت های حجمی معینی با هم واکنش می دهند.



اگر همه ی مواد شرکت کننده در واکنش در حالت گازی و در فشار و دمای یکسانی قرار داشته باشند ، می توان گفت که یک حجم گاز متان با دو حجم گاز اکسیژن واکنش می دهد و یک حجم گاز کربن دی اکسید و دو حجم بخار آب تشکیل می شود.

قانون آووگادرو : در دما و فشار ثابت ، یک مول از گازهای مختلف ، حجم ثابت و برابری دارند. که این مقدار ۲۲/۴ لیتر است.



نکته : حجم گازها تابعی از دما و فشار آن ها است. از این رو معمولاً حجم گازها را در دمای °C (۲۷۳ °K) و فشار یک اتمسفر (۱ atm) بیان می کنند.

دما : °C	شرایط استاندارد یا شرایط STP
فشار : ۱ atm	



نکته : حجم مولی گازها در شرایط استاندارد یا STP برابر ۲۲/۴ لیتر یا ۲۲۴۰۰ میلی لیتر است. $1 \text{ mol Gas} = 22.4 \text{ L}$

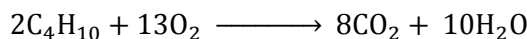


نکته : در شرایط غیر استاندارد ، حجم یا جرم گازها را می توان با استفاده از چگالی گاز به یک دیگر تبدیل کرد. $d = \frac{m}{v}$



نکته : در مسائل حجمی ، یا شرایط استاندارد (STP) ذکر می گردد یا چگالی گاز مورد نظر داده می شود که با توجه به این موارد می توان روابط جرمی را به روابط حجمی تبدیل کرد.

مثال : حجم گاز اکسیژن مورد نیاز ، گاز کربن دی اکسید و بخار آب تولید شده هنگام سوختن کامل ۵ لیتر گاز بوتان را محاسبه کنید؟



$$? \text{ L O}_2 = 5 \text{ L C}_4\text{H}_{10} \times \frac{13 \text{ L O}_2}{2 \text{ L C}_4\text{H}_{10}} = 32.5 \text{ L O}_2$$

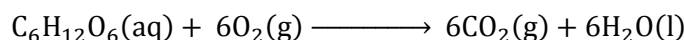
$$? \text{ L CO}_2 = 5 \text{ L C}_4\text{H}_{10} \times \frac{8 \text{ L CO}_2}{2 \text{ L C}_4\text{H}_{10}} = 20 \text{ L CO}_2$$

$$? \text{ L H}_2\text{O} = 5 \text{ L C}_4\text{H}_{10} \times \frac{10 \text{ L H}_2\text{O}}{2 \text{ L C}_4\text{H}_{10}} = 25 \text{ L H}_2\text{O}$$

چون تمام مواد در حالت گازی هستند بنابراین نسبت های مولی با نسبت های حجمی برابرند و لازم نیست از شرایط استاندارد استفاده شود.

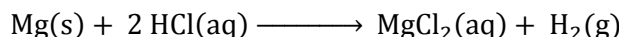
مثال : بدن انسان در هر شبانه روز به طور متوسط ۴۴۵ گرم گلوکز مصرف می کند. در این مدت هر انسان به طور متوسط در شرایط استاندارد به چند لیتر گاز اکسیژن برای اکسایش گلوکز نیاز دارد ؟

$$M_{C_6H_{12}O_6} = 180 \text{ g/mol}$$



$$? \text{ L } O_2 = 445 \text{ g } G \times \frac{1 \text{ mol } G}{180 \text{ g } G} \times \frac{6 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } G} \times \frac{22.4 \text{ L } O_2(STP)}{1 \text{ mol } O_2(STP)} = 332.25 \text{ L } O_2$$

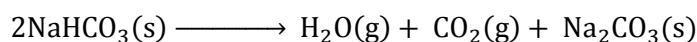
مثال : در شرایط استاندارد ، چند لیتر گاز هیدروژن از واکنش ۲/۴۰ گرم منیزیم با مقدار اضافی هیدروکلریک اسید تولید می شود ؟ $Mg = 24$



$$? \text{ L } H_2 = 2.40 \text{ g } Mg \times \frac{1 \text{ mol } Mg}{24 \text{ g } Mg} \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{1 \text{ mol } Mg} \times \frac{22.4 \text{ L } H_2(STP)}{1 \text{ mol } H_2(STP)} = 2.24 \text{ L } H_2$$

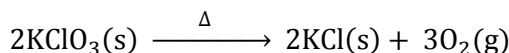
مثال : از گرم کردن ۲۱ گرم سدیم هیدروژن کربنات ، چند میلی لیتر گاز کربن دی اکسید آزاد می شود ؟ در دمای واکنش ، چگالی کربن دی اکسید 1.10 g/L است.

$$CO_2 = 44 \text{ , } NaHCO_3 = 84 \text{ g/mol}$$



$$? \text{ mL } CO_2 = 21 \text{ g } NaHCO_3 \times \frac{1 \text{ mol } NaHCO_3}{84 \text{ g } NaHCO_3} \times \frac{1 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } NaHCO_3} \times \frac{44 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} \times \frac{1000 \text{ mL } CO_2}{1.10 \text{ g } CO_2} = 5000 \text{ mL } CO_2$$

مثال : بر اثر تجزیه ی 0.5 مول پتاسیم کلرات ، چند لیتر گاز اکسیژن آزاد می شود ؟ چگالی گاز اکسیژن 1.20 g/L است.



$$? \text{ L } O_2 = 0.5 \text{ mol } KClO_3 \times \frac{3 \text{ mol } O_2}{2 \text{ mol } KClO_3} \times \frac{32 \text{ g } O_2}{1 \text{ mol } O_2} \times \frac{1 \text{ L } O_2}{1.20 \text{ g } O_2} = 20 \text{ L } O_2$$

استوکیومتری در محلول ها

بیشتر واکنش های شیمیایی در حالت محلول انجام می شوند. در صنعت و آزمایشگاه نیز معمولاً ابتدا واکنش دهنده ها را در یک حلال مناسب حل می کنند و سپس محلول های به دست آمده را به هم اضافه می کنند.

محلول آبی : محلول هایی را که در آن ها ، آب به عنوان حلال به کار می رود ، محلول آبی می گویند. بسیاری از واکنش های شیمیایی در محلول های آبی انجام می شوند.

محلول غیر آبی : محلول هایی را که در آن ها ، حلال ماده ی دیگری غیر از آب است ، محلول غیر آبی می گویند. مثلاً حلال ، اتانول ، استون یا هگزان باشد.



نکته : مقدار هر واکنش دهنده در حالت محلول به دو عامل بستگی دارد :

۲. غلظت ماده در محلول

۱. حجم بکار رفته

غلظت مولی یا مولار : تعداد مول های حل شده از یک ماده در یک لیتر محلول است و با نماد M نشان داده می شود و یکای آن mol/L است.

$$\text{غلظت مولی} = \frac{\text{تعداد مول ماده حل شده (مول)}}{\text{حجم محلول (لیتر)}}$$

$$M = \frac{n}{V}$$

V : حجم محلول

n : تعداد مول حل شده

M : غلظت مولی

مثال : غلظت مولی محلولی را که دارای ۴ مول سدیم کلرید در ۱۰ لیتر محلول است ، به دست آورید ؟

$$M = \frac{n}{V} = \frac{4 \text{ mol NaCl}}{10 \text{ L NaCl}} = 0.4 \text{ mol/L}$$

$$\text{NaCl} = 58.5 \text{ g/mol}$$

مثال : برای تهیه ی ۲ لیتر محلول سدیم کلرید ۰/۱ مول در لیتر ، چقدر سدیم کلرید خالص نیاز است ؟

ابتدا با توجه به فرمول غلظت مولی ، تعداد مول های سدیم کلرید را محاسبه و سپس تعداد مول را به جرم سدیم کلرید مورد نیاز تبدیل می کنیم.

روش اول :

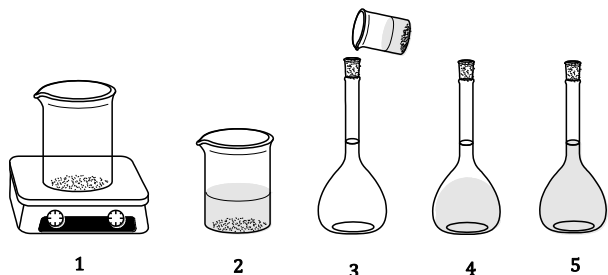
$$M = \frac{n}{V} \Rightarrow n = M \times V = 0.1 \text{ mol. L}^{-1} \times 2 \text{ L} = 0.2 \text{ mol NaCl}$$

$$? \text{ g NaCl} = 0.2 \text{ mol NaCl} \times \frac{58.5 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} = 11.7 \text{ g NaCl}$$

روش دوم :

$$? \text{ g NaCl} = 2 \text{ L NaCl} \times \frac{0.1 \text{ mol NaCl}}{1 \text{ L NaCl}} \times \frac{58.5 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} = 11.7 \text{ g NaCl}$$

روش تهیه ی محلولی با غلظت معین



برای تهیه ی محلولی با غلظت مشخص به روش زیر عمل کنید :

۱. اندازه گیری جرم حل شونده
۲. حل کردن حل شونده در آب
۳. انتقال محلول به درون بالون حجمی و افزایش آب به آن
۴. افزودن آب بیش تر و تکان دادن بالون به منظور همگن کردن محلول
۵. افزودن آب به درون بالون تا رسیدن آب به خط نشانه (به حجم رساندن)

$$\text{NaCl} = 58.5 \text{ g/mol}$$

مثال : ۱۰۰ میلی لیتر محلول سدیم کلرید ۲ مول در لیتر را در آزمایشگاه تهیه کنید ؟

حل : بالون حجمی ۱۰۰ میلی لیتری انتخاب کنید و ابتدا جرم سدیم کلرید مورد نیاز را محاسبه کنید و سپس مراحل بالا را انجام دهید :

$$? \text{ g NaCl} = 100 \text{ ml NaCl} \times \frac{2 \text{ mol NaCl}}{1000 \text{ ml NaCl}} \times \frac{58.5 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} = 11.7 \text{ g NaCl}$$

مراحل عملی تهیه ی محلول بالا

۱. مقدار ۱۱/۷ گرم سدیم کلرید را با ترازو توزین کنید.
۲. آن را داخل یک بشر در آب حل کنید.
۳. محلول حاصل را به درون بالون حجمی ۱۰۰ میلی لیتری انتقال داده و به آن آب اضافه کنید.
۴. آب بیش تری را به بالون اضافه کرده و محلول را خوب به هم بزنید تا همگن شود.
۵. به بالون حجمی مورد نظر آن قدر آب اضافه کنید تا به خط نشانه برسد. حال محلول مورد نظر تهیه شده است.

$$\text{CuSO}_4 = 160 \text{ g/mol}$$

مثال : ۲۵۰ میلی لیتر محلول مس (II) سولفات ۰/۵ مول در لیتر را در آزمایشگاه تهیه کنید ؟

حل : بالون حجمی ۲۵۰ میلی لیتری انتخاب کنید و ابتدا جرم مس (II) سولفات مورد نیاز را محاسبه کنید و سپس مراحل بالا را انجام دهید :

$$? \text{ g CuSO}_4 = 250 \text{ ml CuSO}_4 \times \frac{0.5 \text{ mol CuSO}_4}{1000 \text{ ml CuSO}_4} \times \frac{160 \text{ g CuSO}_4}{1 \text{ mol CuSO}_4} = 20 \text{ g CuSO}_4$$

مراحل عملی تهیه ی محلول بالا

۱. مقدار ۲۰ گرم مس (II) سولفات را با ترازو توزین کنید.
۲. آن را داخل یک بشر در آب حل کنید.
۳. محلول حاصل را به درون بالون حجمی ۲۵۰ میلی لیتری انتقال داده و به آن آب اضافه کنید.
۴. آب بیش تری را به بالون اضافه کرده و محلول را خوب به هم بزنید تا همگن شود.
۵. به بالون حجمی مورد نظر آن قدر آب اضافه کنید تا به خط نشانه برسد. حال محلول مورد نظر تهیه شده است.

روش تهیه ی محلول رقیق از محلول غلیظ

برای تهیه ی محلول های رقیق ، می توان از رقیق کردن محلول های غلیظ تر استفاده کرد. برای اینکه بدانید کدام محلول غلیظ تر است کافی است به غلظت مولی محلول ها توجه کنید هر محلولی که غلظت مولی بیش تری داشته باشد ، غلیظ تر است.



نکته : برای رقیق کردن محلول های غلیظ معمولاً از آب استفاده می شود طوری که همراه با هم زدن محلول غلیظ به آرامی آب را به آن اضافه می کنند. باید توجه داشت که هنگام رقیق کردن اسیدها باید اسید را به آرامی و به تدریج به آب اضافه کرد و محلول را به طور مرتب به هم زد. هیچ گاه نباید روی اسید آب اضافه شود.

برای تهیه ی محلول رقیق از محلول غلیظ به روش زیر عمل کنید :

۱. برداشتن حجم معینی از محلول غلیظ با انجام محاسبه ی لازم
۲. انتقال آن به درون بالون حجمی مناسب
۳. افزایش آب تا خط نشانه و تکان دادن بالون برای همگن کردن محلول
۴. انتقال محلول تهیه شده به ظرف مناسب جهت نگهداری



نکته : تعداد مول های ماده ی حل شده در محلول غلیظ و رقیق برابر است بنابراین می توان نوشت :

$$n_g = n_r$$

$$M_g \times V_g = M_r \times V_r$$

در محاسبات مربوط به رقیق کردن محلول غلیظ از روش خطی یا از فرمول زیر استفاده می شود :

$$M_g \times V_g = M_r \times V_r$$

M_g : غلظت مولی محلول غلیظ V_g : حجم محلول غلیظ M_r : غلظت مولی محلول رقیق V_r : حجم محلول رقیق

مثال : ۲۵۰ میلی لیتر محلول ۰/۰۴ مول بر لیتر پتاسیم دی کرومات را از محلول ۰/۲ مول بر لیتر آن تهیه کنید ؟

$$M_g \times V_g = M_r \times V_r \Rightarrow 0.2 \times V_g = 0.04 \times 250 \Rightarrow V_g = 50 \text{ ml}$$

پس ۵۰ میلی لیتر محلول غلیظ پتاسیم دی کرومات را داخل یک بالون ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و با آب مقطر (۲۰۰ میلی لیتر آب) حجم محلول را به خط نشان می رسانیم.

$$? \text{ ml } K_2Cr_2O_7 \text{ g} = 250 \text{ ml } K_2Cr_2O_7 \text{ r} \times \frac{0.04 \text{ mol } K_2Cr_2O_7 \text{ r}}{1000 \text{ ml } K_2Cr_2O_7 \text{ r}} \times \frac{1000 \text{ ml } K_2Cr_2O_7 \text{ g}}{0.2 \text{ mol } K_2Cr_2O_7 \text{ g}} = 50 \text{ ml } K_2Cr_2O_7 \text{ g}$$

مثال : ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۱ مول بر لیتر سدیم کلرید را از محلول ۲ مول بر لیتر آن تهیه کنید ؟

$$M_g \times V_g = M_r \times V_r \Rightarrow 2 \times V_g = 0.1 \times 100 \Rightarrow V_g = 5 \text{ ml}$$

پس ۵ میلی لیتر محلول غلیظ سدیم کلرید را داخل یک بالون ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و با آب مقطر (۹۵ میلی لیتر آب) حجم محلول را به خط نشان می رسانیم.

$$? \text{ ml } NaCl \text{ g} = 100 \text{ ml } NaCl \text{ r} \times \frac{0.1 \text{ mol } NaCl \text{ r}}{1000 \text{ ml } NaCl \text{ r}} \times \frac{1000 \text{ ml } NaCl \text{ g}}{2 \text{ mol } NaCl \text{ g}} = 5 \text{ ml } NaCl \text{ g}$$



نکته : حجم آب مقطر اضافه شده هنگام رقیق کردن محلول غلیظ را می توان از فرمول زیر محاسبه کرد :

$$M_g \times V_g = M_r \times (V_g + V_w)$$

M_g : مولاریته غلیظ V_g : حجم غلیظ M_r : مولاریته رقیق V_w : حجم آب

مثال : به ۲۰ میلی لیتر از محلول ۰/۲۵ مول بر لیتر نقره نیترات، چند میلی لیتر آب مقطر افزوده شود تا به محلول ۰/۱ مول بر لیتر آن تبدیل شود ؟

$$M_g \times V_g = M_r \times (V_g + V_w) \Rightarrow 0.25 \times 20 = 0.1 \times (20 + V_w) \Rightarrow (20 + V_w) = 50$$

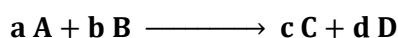
$$V_w = 50 - 20 = 30$$

مثال : ۱۰۰ میلی لیتر محلول سولفوریک اسید ۰/۴ مول بر لیتر موجود است. به این محلول ۷۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه می شود. غلظت مولی محلول جدید را محاسبه کنید؟

$$M_g \times V_g = M_r \times (V_g + V_w) \Rightarrow 0.4 \times 100 = M_r \times (100 + 700) \Rightarrow M_r = 0.05 \text{ mol.L}^{-1}$$

محاسبه های استوکیومتری در حالت محلول

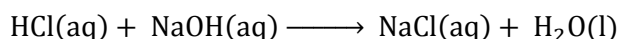
در مسائل استوکیومتری در حالت محلول غلظت مولی و حجم یک واکنش دهنده را می دهند و حجم یا غلظت مولی یا جرم واکنش دهنده ی دیگر یا فرآورده ها را می خواهند. در این موارد کافی است که با ضرب غلظت مولی در حجم ماده ی داده شده ، تعداد مول های آن را به دست آورده و ادامه محاسبه ها را مانند محاسبه های قبل انجام دهیم. در حل این مسائل نیز از روش خطی یا فرمول زیر می توان بهره گرفت :



با توجه به فرم کلی واکنش شیمیایی فوق در حل مسائل استوکیومتری در حالت محلول می توان از فرمول زیر استفاده کرد :

$$\frac{1}{a} M_A V_A = \frac{1}{b} M_B V_B = \frac{1}{c} M_C V_C = \frac{1}{d} M_D V_D$$

مثال : چند میلی لیتر محلول هیدروکلریک اسید ۰/۵۵۶ مول بر لیتر برای واکنش کامل با ۲۵ میلی لیتر از محلول سدیم هیدروکسید ۰/۴۵۸ مول بر لیتر طبق واکنش زیر لازم است ؟



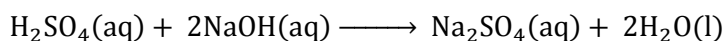
روش اول :

$$? \text{ mL HCl} = 25 \text{ mL NaOH} \times \frac{0.458 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH}} \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol NaOH}} \times \frac{1000 \text{ mL HCl}}{0.556 \text{ mol HCl}} = 20.6 \text{ mL HCl}$$

روش دوم :

$$\frac{1}{1} M_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = \frac{1}{1} M_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = 0.556 \times V_{\text{HCl}} = 0.458 \times 25 \Rightarrow V_{\text{HCl}} = 20.6 \text{ mL HCl}$$

مثال : چند میلی لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱۲۴ مولار برای واکنش کامل با ۱۵/۴ میلی لیتر از محلول سولفوریک اسید ۰/۱۰۸ مولار طبق واکنش زیر لازم است ؟



روش اول :

$$? \text{ mL NaOH} = 15.4 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \times \frac{0.108 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1000 \text{ mL H}_2\text{SO}_4} \times \frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4} \times \frac{1000 \text{ mL NaOH}}{0.124 \text{ mol NaOH}} = 26.8 \text{ mL NaOH}$$

روش دوم :

$$\frac{1}{1} M_{\text{H}_2\text{SO}_4} V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} M_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = 0.108 \times 15.4 = \frac{1}{2} \times 0.124 \times V_{\text{NaOH}} \Rightarrow V_{\text{NaOH}} = 26.8 \text{ mL NaOH}$$

واکنش دهنده ی محدود کننده و اضافی

در هنگام اجرای واکنش های شیمیایی در صنعت یا طبیعت، معمولاً واکنش دهنده ها درست به اندازه ی نسبت های استوکیومتری مصرف نمی شوند. معمولاً یکی از واکنش دهنده ها به مقداری کم تر از مقدار استوکیومتری وجود دارد. بنابراین واکنش دهنده ی مورد نظر در جریان واکنش زودتر از سایر واکنش دهنده ها به مصرف رسیده و تمام می شود و مقدار پیشرفت واکنش و فرآورده ها را با محدودیت مواجه می کند. چنین واکنش دهنده ای را **محدود کننده** می گویند.

واکنش دهنده ی محدود کننده : واکنش دهنده ای است که در جریان واکنش ، زودتر از سایر واکنش دهنده ها مصرف شده و پیشرفت واکنش و مقدار فرآورده ها را محدود می کند.

واکنش دهنده ی اضافی : واکنش دهنده ای است که به مقدار بیش تری در ظرف واکنش وجود دارد و پس از پایان واکنش نیز مقداری از آن در ظرف واکنش باقی می ماند.



نکته : قیمت مواد شیمیایی یکی از عوامل مهم در انتخاب واکنش دهنده ی محدود کننده است. در صنعت ، واکنش دهنده ی **گران قیمت** را به عنوان واکنش دهنده ی **محدود کننده** به کار می برند و واکنش دهنده ی ارزان قیمت را به عنوان واکنش دهنده ی اضافی استفاده می کنند.

مثال : در یک کنفرانس بین المللی تعداد ۱۴۰ صندلی ، ۱۴۰ نفر و ۸۵ هدفون برای ترجمه ی مطالب ارائه شده از طرف سخنران وجود دارد.
الف) به نظر شما چند نفر می توانند مطالب ارائه دهنده ی کنفرانس را درک کنند ؟
ب) چه عاملی کنفرانس مورد نظر را محدود کرده است ؟
جواب الف) ۸۵ نفر
جواب ب) هدفون زیرا ۸۵ هدفون وجود دارد و تنها ۸۵ نفر می توانند مطالب سخنران را درک کنند و هدفون محدود کننده است.

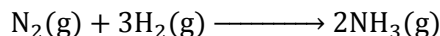
در مسایل چگونه واکنش دهنده ی محدود کننده را تشخیص می دهند ؟

۱. جرم ، حجم یا غلظت مولی واکنش دهنده ها را به تعداد مول آن ها تبدیل کنید.
۲. تعداد مول های به دست آمده در مرحله ی قبل را بر ضریب استوکیومتری هر یک از آن ها تقسیم کنید.
۳. مقادیر به دست آمده در مرحله ی قبل را با هم مقایسه کنید. مقدار کم تر مربوط به واکنش دهنده ی محدود کننده است.



نکته : اگر در مسأله ای مقدار هر دو واکنش دهنده داده شود باید حتماً واکنش دهنده ی محدود کننده را مشخص کنید. زیرا مقدار فرآورده ها با توجه به مقدار واکنش دهنده ی محدود کننده تعیین می شوند.

مثال : برای تولید آمونیاک ، ۲۵ کیلوگرم نیتروژن و ۵ کیلوگرم هیدروژن با یک دیگر مخلوط شده ، واکنش می دهند.



الف) واکنش دهنده ی محدود کننده کدام است ؟

$$\text{H} = 1 , \text{N} = 14 \text{ g/mol}$$

ب) چه مقدار آمونیاک به دست می آید ؟

جواب الف)

$$? \text{ mol N}_2 = 25 \text{ Kg N}_2 \times \frac{1000 \text{ g N}_2}{1 \text{ Kg N}_2} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28 \text{ g N}_2} = 892.85 \div 1 = 892.85 \text{ mol N}_2$$

$$? \text{ mol H}_2 = 5 \text{ Kg H}_2 \times \frac{1000 \text{ g H}_2}{1 \text{ Kg H}_2} \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2 \text{ g H}_2} = 2500 \div 3 = 833.33 \text{ mol H}_2$$

$$833.33 : \text{H}_2 < \text{N}_2 : 892.85$$

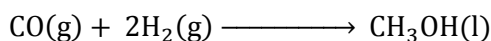
گاز **هیدروژن محدود کننده** است زیرا تعداد مول های هیدروژن از نیتروژن کم تر است.

جواب ب) برای محاسبه ی مقدار آمونیاک تولید شده از مقدار گاز هیدروژن که محدود کننده است ، آغاز کنید :

$$? \text{ Kg NH}_3 = 5 \text{ Kg H}_2 \times \frac{1000 \text{ g H}_2}{1 \text{ Kg H}_2} \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2 \text{ g H}_2} \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2} \times \frac{17 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} \times \frac{1 \text{ Kg NH}_3}{1000 \text{ g NH}_3}$$

$$= 28.3 \text{ Kg NH}_3$$

مثال : متانول را می توان از واکنش کربن مونوکسید و هیدروژن به دست آورد :



از واکنش کامل ۳۵۶ گرم کربن مونوکسید با ۶۵ گرم هیدروژن چند گرم متانول به دست می آید ؟ $\text{H} = 1, \text{C} = 12, \text{O} = 16 \text{ g/mol}$

حل : ابتدا باید واکنش دهنده ی محدود کننده را معین کنید :

$$? \text{ mol CO} = 356 \text{ g CO} \times \frac{1 \text{ mol CO}}{28 \text{ g CO}} = 12.7 \div 1 = 12.7 \text{ mol CO}$$

$$? \text{ mol H}_2 = 65 \text{ g H}_2 \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2 \text{ g H}_2} = 32.5 \div 2 = 16.25 \text{ mol H}_2$$

بنابراین کربن مونوکسید محدود کننده است زیرا تعداد مول های کربن مونوکسید کم تر از هیدروژن است.

$$? \text{ g CH}_3\text{OH} = 356 \text{ g CO} \times \frac{1 \text{ mol CO}}{28 \text{ g CO}} \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{1 \text{ mol CO}} \times \frac{32 \text{ g CH}_3\text{OH}}{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}} = 406.8 \text{ g CH}_3\text{OH}$$

بازده واکنش های شیمیایی

در بسیاری از واکنش های شیمیایی که برای تهیه ی مواد شیمیایی به کار می روند ، مقدار فرآورده های به دست آمده کم تر از مقدار محاسبه شده است. این امر به علت وجود خطاهای انسانی و ابزاری در کارخانه ها و مراحل تولید یک محصول می باشد.

مقدار نظری : مقدار فرآورده های مورد انتظار از محاسبه های استوکیومتری را مقدار نظری می گویند.

مقدار عملی : مقدار فرآورده ای است که در عمل تولید می شود. و همواره از مقدار نظری کم تر است.

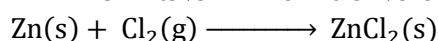
نکته : مقدار عملی یک واکنش همواره از مقدار نظری آن واکنش کم تر است به همین دلیل بازده اغلب واکنش های شیمیایی کم تر از صد در صد است.

نکته : مقدار نظری در یک واکنش همواره از محاسبه های استوکیومتری به دست می آید.

بازده درصدی : خارج قسمت مقدار عملی بر مقدار نظری است که به صورت درصد بیان می شود. و دارای فرمول زیر است :

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100$$

مثال : ۳۵/۵ گرم از گرد فلز روی خالص با مقدار اضافی گاز کلر واکنش می دهد. پس از پایان واکنش ۶۵/۲ گرم روی کلرید به دست می آید. بازده درصدی واکنش را حساب کنید؟



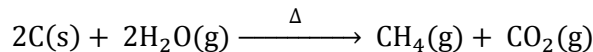
حل : ۶۵/۲ گرم مقدار عملی است.

با توجه به ۳۵/۵ گرم فلز روی نیز مقدار نظری روی کلرید را محاسبه کنید و سپس در رابطه ی بازده درصدی جاگذاری کرده پاسخ را بیابید:

$$? \text{ g ZnCl}_2 = 35.5 \text{ g Zn} \times \frac{1 \text{ mol Zn}}{65 \text{ g Zn}} \times \frac{1 \text{ mol ZnCl}_2}{1 \text{ mol Zn}} \times \frac{136 \text{ g ZnCl}_2}{1 \text{ mol ZnCl}_2} = 74.27 \text{ g ZnCl}_2$$

$$\text{بازده درصدی} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow \text{بازده درصدی} = \frac{65.2}{74.27} \times 100 = 87.8 \quad \%$$

مثال: گاز متان را می توان از واکنش زغال سنگ با بخار آب بسیار داغ تهیه کرد:



در صورتی که بازده درصدی واکنش ۸۵٪ باشد، چند کیلوگرم متان از واکنش ۲ کیلوگرم زغال سنگ با مقدار اضافی بخار آب به وجود می آید:
حل: با توجه به ۲ کیلوگرم زغال سنگ، مقدار نظری متان را از محاسبه های استوکیومتری به دست آورید و در رابطه ی بازده درصدی قرار دهید:

$$? \text{ g CH}_4 = 2 \text{ Kg C} \times \frac{1000 \text{ g C}}{1 \text{ Kg C}} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} \times \frac{1 \text{ mol CH}_4}{2 \text{ mol C}} \times \frac{16 \text{ g CH}_4}{1 \text{ mol CH}_4} \times \frac{1 \text{ Kg CH}_4}{1000 \text{ g CH}_4} = 1.33 \text{ Kg CH}_4$$

$$\text{بازده درصدی} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow 85 = \frac{\text{مقدار عملی}}{1.33} \times 100 \Rightarrow \text{مقدار عملی} = 1.13 \text{ Kg CH}_4$$

استوکیومتری و زندگی

صنایع خودرو: طراحان خودرو از استوکیومتری برای موارد زیر استفاده می کنند:

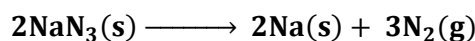
۱. افزایش ایمنی
۲. افزایش بازده موتورها
۳. کاهش آلودگی محیط زیست

کیسه های هوا: در واقع افزایش ایمنی ناشی از کاربرد کیسه های هوا در خودروها است و بازده بالای ناشی از بهسوزی سوخت، به رعایت اصول استوکیومتری وابسته است.

هنگام برخورد شدید خودرو، کیسه هایی که در قسمت جلوی خودرو قرار دارند به سرعت از گاز پر می شود و از برخورد سرنشینان به شیشه و قسمت جلویی اتاق جلوگیری به عمل می آورد. کارایی این مجموعه به تولید گاز کافی در کم ترین زمان ممکن بستگی دارد.

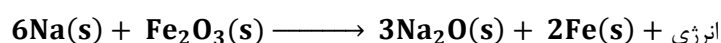
تولید گاز در کیسه های هوا و مراحل آن: تولید گاز در این کیسه ها به علت انجام سریع یک واکنش شیمیایی است. حسگرهایی در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده است که هنگام برخورد شدید، فعال شده موجب انفجار یک کلاهک انفجاری کوچک می شود. این انفجار، انرژی مورد نیاز برای آغاز واکنشی را فراهم می آورد که **مولد گاز** نام دارد.

مرحله اول: گازی که به سرعت کیسه ها را پر می کند، **گاز نیتروژن (N₂)** است. این گاز از واکنش تجزیه ای زیر فراهم می شود:



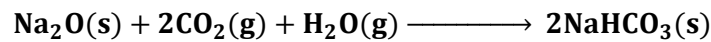
نکته: این واکنش به تنهایی نمی تواند باعث پر شدن ناگهانی کیسه ها شود. در این واکنش، سدیم فلزی نیز تولید می شود که ماده ای واکنش پذیر و خطرناک است.

مرحله دوم: برای مهار سدیم فلزی از واکنش زیر استفاده می کنند:



این واکنش **دما** را به طور ناگهانی تا **بیش از یک صد درجه** بالا می برد و باعث **انبساط سریع** گاز درون کیسه ها می شود.

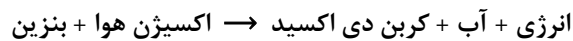
مرحله سوم: سدیم اکسید حاصل بر اثر مجاورت با کربن دی اکسید و رطوبت هوا به سدیم هیدروژن کربنات (جوش شیرین) تبدیل می شود که ماده ای بی خطر است :



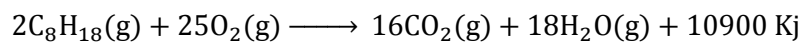
حجم گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه ی هوا با حجم مشخص ، به چگالی گاز وابسته است که آن هم به دما بستگی دارد.

افزایش کارایی موتورها

بهسوزی موتور خودرو به رعایت اصول استوکیومتری بستگی دارد. معادله ی نوشتاری زیر تولید انرژی در سوختن کامل بنزین را نشان می دهد :



این معادله واکنش دهنده ها را به خوبی مشخص نمی کند زیرا بنزین یک ماده ی شیمیایی ساده نیست و مخلوطی از چند هیدروکربن متفاوت با ۵ تا ۱۲ اتم کربن است. به طور میانگین می توان بنزین مورد استفاده در خودروها را ایزواکتان خالص در نظر گرفت و معادله ی نمادی سوختن آن را به شکل زیر در نظر گرفت :



دو واکنش دهنده باید در یک نسبت نزدیک به نسبت های مولی معادله ی موازنه شده واکنش با هم مخلوط شوند.



نکته : راه مناسب بهسوزی موتور ، **تنظیم عملی نسبت هوا به سوخت** است. کارکرد نادرست موتور خودرو که به علت

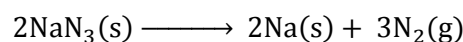
سوختن ناقص بنزین به وجود می آید موجب موارد زیر خواهد شد :

۱. کاهش توان خودرو

۲. بالابردن مصرف سوخت

۳. افزایش آلودگی هوا

مثال : فرض کنید برای پر شدن مناسب یک کیسه ی هوا به ۶۵/۱ لیتر گاز نیتروژن نیاز است. برای تولید این مقدار گاز نیتروژن ، دستگاه مولد گاز به چند گرم سدیم آزید (NaN_3) نیاز دارد؟ چگالی گاز نیتروژن در دمای واکنش به طور تقریبی 0.916 g/L است.



حل :

$$? \text{ g NaN}_3 = 65.1 \text{ L N}_2 \times \frac{0.916 \text{ g N}_2}{1 \text{ L N}_2} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28 \text{ g N}_2} \times \frac{2 \text{ mol NaN}_3}{3 \text{ mol N}_2} \times \frac{65 \text{ g NaN}_3}{1 \text{ mol NaN}_3} = 92.3 \text{ g NaN}_3$$

ترمودینامیک (ترموشیمی یا گرما شیمی)

انرژی توانایی انجام کار است و برای انجام هر کاری به یک منبع انرژی نیاز داریم. در همه ی واکنش های شیمیایی یا فرآیندهای فیزیکی مبادله ی انرژی بین مواد وجود دارد.

ترمودینامیک: شاخه ای از علم است که به مطالعه ی گرما و انتقال آن می پردازد.

ترموشیمی یا گرماشیمی: شاخه ای از ترمودینامیک است که انرژی گرمایی مبادله شده در واکنش های شیمیایی، تغییر آن و تأثیری را که بر حالت ماده دارد، مورد مطالعه قرار می دهد.

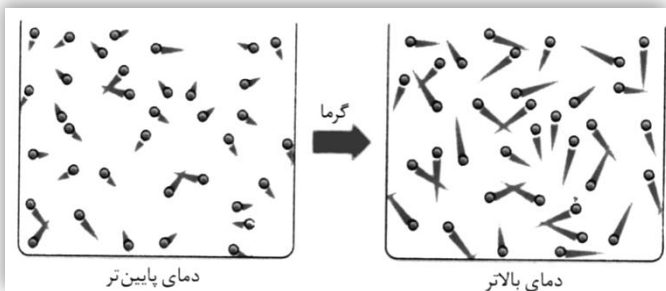
انرژی و ذره های سازنده ی آن

هر جسم در حال حرکت دارای انرژی جنبشی است. همه ی ذره های سازنده ی ماده نیز پیوسته در حال حرکت هستند بنابراین دارای انرژی جنبشی هستند. به عبارت دیگر همه ی مواد دارای انرژی هستند.

گرما: به مجموع انرژی جنبشی ذره های سازنده ی یک ماده، گرما یا انرژی گرمایی می گویند.



نکته: انرژی گرمایی یک ماده به تعداد ذره های سازنده (جرم یا حجم) آن ماده بستگی دارد و هر چه تعداد ذره ها بیشتر باشد انرژی گرمایی آن نیز بیش تر است.

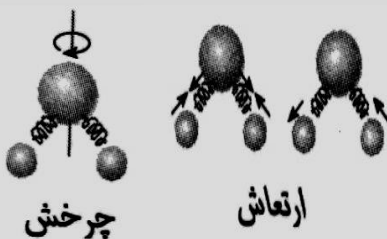


هنگامی که یک جسم گرم می شود ذره های سازنده ی آن با سرعتی بیش تر از قبل به حرکت خود ادامه می دهند و گرمای جذب شده بین ذره های سازنده ی آن پخش می شود.

در شکل مقابل دنباله ی ذره ها نشان دهنده ی میزان سرعت آن هاست و مشاهده می شود که در دمای بالاتر انرژی جنبشی و سرعت حرکت ذره های سازنده ی ماده افزایش می یابد.



بیشتر بدانید: حرکت های نامنظم ذره های سازنده ی یک ماده را حرکت گرمایی می گویند و عبارتند از:



۱. حرکت انتقالی: انتقال ذره ها از جایی به جای دیگر
۲. حرکت چرخشی: چرخش ذره ها به دور محور خود
۳. حرکت ارتعاشی: ارتعاش ذره ها در امتداد محور پیوند

دما: به میانگین انرژی جنبشی ذره های سازنده ی یک ماده، دما می گویند.

هر چه میانگین انرژی جنبشی ذره های سازنده ی ماده بیش تر باشد ، تعداد برخورد ذره ها با دماسنج بیش تر خواهد بود و دماسنج ، دمای بالاتری را نشان خواهد داد.

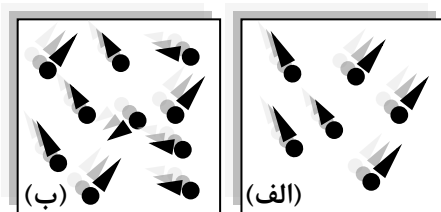
دما معیاری از میزان گرمی یک جسم است و با گرم شدن جسم ، دمای آن نیز افزایش می یابد. دمای یک جسم اطلاعات سودمندی درباره ی انرژی جنبشی و سرعت حرکت ذره های سازنده ی آن جسم در اختیار می گذارد.



نکته : دمای یک ماده به مقدار آن ماده بستگی ندارد و تنها معیاری از گرمی یا سردی آن ماده است.

مثال : یک لیوان آب با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و یک استخر آب با دمای ۴۰ درجه ی سلسیوس را در نظر بگیرید. انرژی گرمایی و دمای آن ها را با دلیل با هم مقایسه کنید؟

دما : دمای آب لیوان بیش تر است زیرا انرژی جنبشی و سرعت حرکت ذره های سازنده آن بیش تر است. و دما به مقدار ماده بستگی ندارد.
گرما : انرژی گرمایی آب استخر بیش تر است زیرا هر چه مقدار ماده بیش تر باشد انرژی گرمایی آن هم بیش تر خواهد بود.



مثال : شکل های مقابل ذره های یک ماده را نشان می دهد. انرژی گرمایی و دمای آن ها را با هم مقایسه کنید؟

مجموع انرژی جنبشی ذره ها (انرژی گرمایی) در حالت (ب) بیش تر است زیرا تعداد ذره ها در آن بیش تر است. بنابراین در حالت (ب) انرژی گرمایی بیش تر است.

میانگین انرژی جنبشی ذره ها (دما) در حالت (الف) بیش تر است. بنابراین دما در حالت (الف) بیش تر است.

یکاهای اندازه گیری انرژی

$$1 \text{ cal} = 4.185 \text{ J}$$

یکاهای اندازه گیری انرژی کالری (cal) و ژول (J) هستند :

یکای دیگری برای اندازه گیری انرژی وجود دارد که کالری رژیم غذایی نام دارد و حرف C در آن با نماد بزرگ نشان داده می شود :

$$1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal} = 1 \text{ Kcal}$$

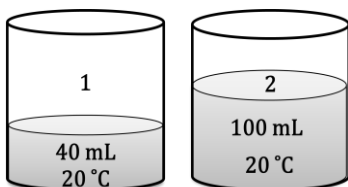
آیا انرژی ماده به مقدار آن بستگی دارد؟

ظرفیت گرمایی : مقدار گرمایی است که دمای یک جسم را به اندازه ی یک درجه ی سلسیوس افزایش می دهد.

$$\text{ظرفیت گرمایی} = \frac{\text{مقدار گرمای مبادله شده}}{\text{تغییر دما}} = \frac{q}{\Delta T}$$



نکته : ظرفیت گرمایی ماده به مقدار ماده بستگی دارد و هر چه مقدار ماده بیشتر باشد ، گرمای بیشتر برای افزایش دمای آن لازم است.



مثال : با توجه به شکل مقابل به پرسش ها ، پاسخ دهید :

الف) می خواهیم دمای آب هر دو ظرف را ۱۰ درجه ی سلسیوس بالا ببریم.

آیا انرژی لازم برای آب هر دو ظرف یکسان است ؟ چرا ؟

ب) ظرفیت گرمایی آب دو ظرف را با هم مقایسه کنید ؟

پاسخ الف) خیر زیرا مقدار ماده در ظرف (۲) بیشتر تر است .

پاسخ ب) ظرفیت گرمایی ظرف (۲) بیشتر تر است زیرا ظرفیت گرمایی به مقدار ماده بستگی دارد و در ظرف (۲) مقدار ماده بیشتر تر است.

ظرفیت گرمایی ویژه : مقدار گرمایی است که دمای یک گرم از جسم را به اندازه ی یک درجه ی سلسیوس افزایش می دهد.

$$c = \frac{q}{m\Delta T} = \frac{\text{مقدار گرمای مبادله شده}}{\text{تغییر دما} \times \text{جرم جسم}} = \frac{\text{ظرفیت گرمایی}}{\text{جرم جسم}} = \text{ظرفیت گرمایی ویژه}$$

q : گرمای مبادله شده **m :** جرم جسم **q :** گرمای مبادله شده **c :** ظرفیت گرمایی ویژه **ΔT :** اختلاف دما



نکته : ظرفیت گرمایی ویژه ی ماده به مقدار ماده بستگی ندارد. و یکای اندازه گیری آن $^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ است. اگر دما بر حسب درجه ی کلون باشد یکای آن $^{\circ}\text{K}^{-1} \cdot \text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ خواهد شد.

ظرفیت گرمایی مولی : مقدار گرمایی است که دمای یک مول از جسم را به اندازه ی یک درجه ی سلسیوس افزایش می دهد. و یکای آن $^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ است.



نکته : برای تبدیل ظرفیت گرمایی ویژه ی یک جسم به ظرفیت گرمایی مولی آن جسم ، کافی است ظرفیت گرمایی ویژه را در جرم مولی آن ضرب کنید.

$$C_M = c \times M$$

M : جرم مولی جسم **c :** ظرفیت گرمایی ویژه **C_M :** ظرفیت گرمایی مولی

مثال : ۵۳ گرم آلومینیوم به ۲۳۹ ژول انرژی نیاز دارد تا دمای آن به اندازه ی ۵ درجه ی سلسیوس افزایش یابد ، ظرفیت گرمایی ویژه ی این فلز را محاسبه کنید ؟

$$c = \frac{q}{m\Delta T} = \frac{239\text{J}}{53\text{g} \times 5^{\circ}\text{C}} = 0.902 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \text{پاسخ :}$$

مثال : اگر افزایش دمای ۷۵ گرم سرب به مقدار ۱۰ درجه ی سلسیوس به ۹۶ ژول گرما نیاز داشته باشد ، ظرفیت گرمایی ویژه و ظرفیت گرمایی مولی سرب را محاسبه کنید؟

$$Pb = 207.2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$c = \frac{q}{m\Delta T} = \frac{96\text{J}}{75\text{g} \times 10^{\circ}\text{C}} = 0.128 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \text{پاسخ :}$$

$$C_M = c \times M = 0.128 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \times 207.2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 26.52 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

مثال : برای کاهش دمای ۲۵۰ گرم اتانول از دمای ۲۵ درجه به ۳ درجه ی سلسیوس چه مقدار گرما باید از آن گرفته شود ؟

$$c_{\text{اتانول}} = 2.460 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \text{ظرفیت گرمایی ویژه ی اتانول :}$$

$$q = mc\Delta T = mc(T_2 - T_1) = 250 \text{ g} \times 2.46 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \times (3 - 25)^{\circ}\text{C} = 13530 \text{ J} \quad \text{پاسخ :}$$

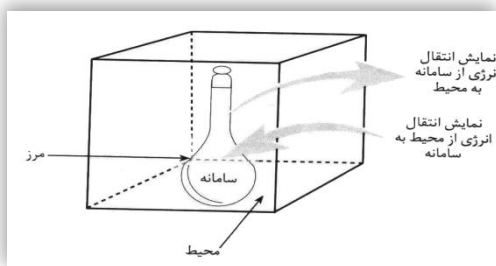


نکته : هر چه تعداد راه هایی که ذره های تشکیل دهنده ی یک ماده بتوانند انرژی کسب کنند (درجه آزادی) بیش تر باشد ، ظرفیت گرمایی ویژه بیش تر خواهد بود. چون مولکول های آب در حالت جامد (یخ) تنها حرکت ارتعاشی دارند و اتم های هیدروژن و اکسیژن توسط پیوند کووالانسی به هم اتصال دارند و بین مولکول ها پیوند هیدروژنی وجود دارد ، ظرفیت گرمایی یخ کم تر از آب در حالت مایع است. زیرا در حالت مایع علاوه بر حرکت انتقالی ، چرخشی و ارتعاشی ، پیوند کووالانسی و پیوند هیدروژنی هم وجود دارد که هر کدام یک درجه ی آزادی به شمار می رود. چون در بین مولکول های بخار آب پیوند هیدروژنی وجود ندارد ، ظرفیت گرمایی ویژه ی بخار آب از آب کم تر است.

ترمودینامیک چیست ؟

ترمودینامیک : دانش مطالعه ی تبدیل شکل های مختلف انرژی و راه های انتقال آن را ترمودینامیک می گویند.

سامانه و محیط پیرامون آن



سامانه یا سیستم : در ترمودینامیک ، بخشی از جهان را انتخاب و تغییر انرژی آن را مطالعه می کنند. این بخش را سامانه یا سیستم می گویند.

محیط : هر چیز دیگری که در پیرامون سامانه باشد ، محیط نامیده می شود.

مرز سامانه : هر سامانه به وسیله ی یک دیواره از محیط پیرامون خود جدا می شود که آن را مرز سامانه می نامند. که ممکن است حقیقی یا مجازی باشد.



نکته : همواره نوع مطالعه و شخص مطالعه کننده سامانه و محیط را تعیین می کنند و در مطالعه کافی است تنها بخشی از جهان را که در ارتباط نزدیک با سامانه است و با آن تبادل انرژی دارد ، محیط در نظر گرفت.

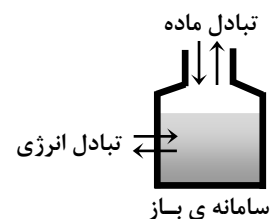
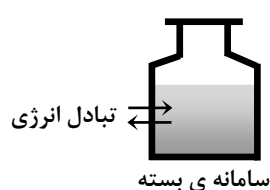
انواع سامانه یا سیستم

سامانه ها را بر اساس نوع مبادله ای که با محیط پیرامون خود دارد به سه دسته طبقه بندی می کنند :

سامانه ی باز : سامانه ای است که با محیط پیرامون خود ، تبادل ماده و انرژی دارد. استکان پر از چای داغ ، بطری آب سرباز

سامانه ی بسته : سامانه ای است که با محیط پیرامون خود فقط تبادل انرژی دارد. یک بطری نوشابه در بسته ، بادکنک پر از هوا ، زودپز

سامانه ی منزوی یا ایزوله : سامانه ای است که با محیط پیرامون خود تبادل ماده و انرژی ندارد. فلاسک چای (مدت زمان اندک)



خواص سامانه

خواص ترمودینامیکی: برخی از خواص قابل اندازه گیری سامانه را گویند که به کمک آن می توان سامانه را توصیف کرد. مانند فشار، حجم، دما
خواص ترمودینامیکی سامانه عبارتند از:

- ❖ خواص مقداری
- ❖ خواص شدتی

خواص مقداری: خواصی از ماده را که به مقدار ماده بستگی دارند، خواص مقداری می گویند. جرم، حجم، تعداد مول، ظرفیت گرمایی، ...

خواص شدتی: خواصی از ماده را که به مقدار ماده بستگی ندارند، خواص شدتی می گویند. فشار، چگالی، بو، طعم، ظرفیت گرمایی ویژه، دما

مثال: یک لیوان را که محتوی ۴۰۰ میلی لیتر آب با دمای ۴۰ درجه ی سلسیوس است، در نظر بگیرید. حال ۱۰۰ میلی لیتر از آن را به ظرف دیگری منتقل کنید:

- (الف) آیا جرم آب تغییر کرده است؟ بلی
- (ب) آیا حجم آب تغییر کرده است؟ بلی
- (ج) آیا چگالی آب تغییر کرده است؟ خیر
- (د) آیا دمای آب تغییر کرده است؟ خیر

جرم و حجم با تغییر مقدار ماده تغییر کرده اند پس جرم و حجم خواص مقداری هستند. چگالی و دما با تغییر ماده تغییر نکرده اند پس چگالی و دما خواص شدتی هستند.



نکته: کمیت های مولی مانند جرم مولی، حجم مولی، ظرفیت گرمایی مولی و جزء خواص شدتی هستند. اغلب از تقسیم دو خاصیت مقداری بر هم، یک خاصیت شدتی به دست می آید. مثل چگالی (شدتی) که از تقسیم جرم (مقداری) بر حجم (مقداری)، ظرفیت گرمایی ویژه (شدتی) که از تقسیم ظرفیت گرمایی (مقداری) بر جرم (مقداری)، ظرفیت گرمایی مولی (شدتی) که از تقسیم ظرفیت گرمایی (مقداری) بر مول (مقداری) به دست می آید.

جاری شدن انرژی در سامانه

در یک سامانه همه ی ذره های موجود دارای انرژی جنبشی و پتانسیل هستند. مجموع انرژی برای همه ی ذره های تشکیل دهنده ی سامانه را انرژی درونی می گویند.

انرژی درونی: مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل همه ی ذره های تشکیل دهنده ی سامانه را انرژی درونی می گویند.



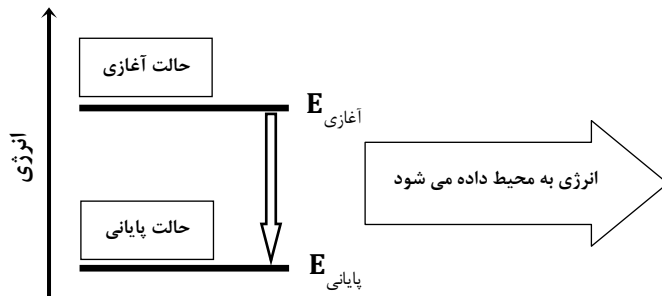
نکته: در هنگام تبدیل واکنش دهنده ها به فرآورده ها، انرژی درونی سامانه تغییر می کند اما انرژی درونی به صورت مطلق اندازه گیری نمی شود بلکه اختلاف انرژی درونی قبل و بعد از تغییر قابل اندازه گیری است.

$$\Delta E = E_{\text{پایانی}} - E_{\text{آغازی}} = E_{\text{فرآورده ها}} - E_{\text{واکنش دهنده ها}}$$

معمولاً تغییر انرژی درونی سامانه را با نموداری نشان می دهند که در آن پایانی E و آغازی E خطوط افقی هستند و انرژی روی محور عمودی قرار دارد. سامانه از نظر تغییر انرژی درونی دو گونه است:

۱. **انرژی درونی سامانه افزایش می یابد.** (سطح انرژی فرآورده ها از سطح انرژی واکنش دهنده ها بالاتر است و $\Delta E > 0$ است).
۲. **انرژی درونی سامانه کاهش می یابد.** (سطح انرژی فرآورده ها از سطح انرژی واکنش دهنده ها پایین تر است و $\Delta E < 0$ است).

نمودار یک لیوان آب داغ درون یک ظرف سر بسته که با محیط پیرامون خود تنها مبادله ی انرژی دارد و به محیط گرما می دهد :



$$\Delta E = E_{\text{پایانی}} - E_{\text{آغازی}}$$

$$E_{\text{پایانی}} < E_{\text{آغازی}}$$

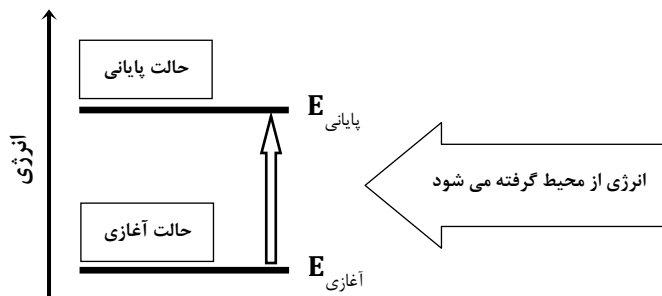
$$\Delta E < 0$$

سامانه به محیط انرژی می دهد
انرژی درونی سامانه کاهش می یابد



نکته : در سامانه ی لیوان آب داغ درون ظرف سر بسته ، آب به محیط گرما می دهد و انرژی سامانه کاهش می یابد. تغییر انرژی درونی سامانه تنها ناشی از مبادله ی گرما است. و این مبادله تا زمانی ادامه می یابد که دمای سامانه با دمای محیط برابر شود. در این حالت علامت تغییر انرژی درونی منفی است.

نمودار یک تکه یخ که با محیط پیرامون خود تنها مبادله ی انرژی دارد و از محیط پیرامون گرما می گیرد :



$$\Delta E = E_{\text{پایانی}} - E_{\text{آغازی}}$$

$$E_{\text{پایانی}} > E_{\text{آغازی}}$$

$$\Delta E > 0$$

محیط به سامانه انرژی می دهد
انرژی درونی سامانه افزایش می یابد



نکته : در سامانه ی یخ درون لیوان ، یخ از محیط گرما می گیرد و انرژی سامانه افزایش می یابد. تغییر انرژی درونی سامانه تنها ناشی از مبادله ی گرما است. و این مبادله تا زمانی ادامه می یابد که دمای سامانه با دمای محیط برابر شود. در این حالت علامت تغییر انرژی درونی مثبت است.



نکته : اگر گرمای سامانه کاهش یابد علامت گرما منفی و اگر گرمای سامانه افزایش یابد علامت آن مثبت خواهد بود. اگر انرژی درونی سامانه کاهش یابد ، علامت آن منفی و اگر انرژی درونی سامانه افزایش یابد ، علامت آن مثبت خواهد بود.

تابع حالت : توابعی را که تنها به حالت آغازی و پایانی سامانه وابسته بوده ، به مسیر انجام فرآیند بستگی ندارند ، تابع حالت می گویند.

دما ، حجم ، فشار ، انرژی درونی ، آنتالپی ، آنتروپی ، انرژی آزاد گیبس و

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad \Delta T = T_2 - T_1 \quad \Delta V = V_2 - V_1 \quad \Delta E = E_2 - E_1 \quad \Delta H = H_2 - H_1$$

تابع مسیر : توابعی را که به مسیر انجام فرآیند بستگی دارند ، تابع مسیر می گویند.

کار ، گرما و

انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

قانون اول ترمودینامیک: در واکنش های شیمیایی انرژی نه به وجود می آید و نه از بین می رود بلکه از شکلی به شکل دیگر در می آید. قانون اول ترمودینامیک همان قانون پایستگی انرژی است.

$$\Delta E = q + w$$

ΔE : تغییر انرژی درونی

q : گرمای مبادله شده

w : کار ناشی از تغییر حجم



نکته: کار ناشی از تغییر حجم از رابطه ی مقابل به دست می آید:

$$w = -P\Delta V = -P(V_2 - V_1)$$

اگر $\Delta V > 0$ باشد، $w < 0$ خواهد شد. یعنی سامانه روی محیط کار انجام می دهد.

اگر $\Delta V < 0$ باشد، $w > 0$ خواهد شد. یعنی محیط روی سامانه کار انجام می دهد.

مبادله ی انرژی بین سامانه و محیط به سه صورت زیر انجام می شود:

❖ **تنها با انتقال گرما:** اگر واکنش در یک ظرف سر بسته یا در ظرفی با حجم ثابت انجام شود، تغییر حجمی صورت نمی گیرد ($\Delta V = 0$) در نتیجه کار انجام نمی شود ($w = 0$) و تغییر انرژی درونی سامانه تنها ناشی از مبادله گرما بین سامانه و محیط است.

$$\Delta E = q + w = q + 0 \Rightarrow \Delta E = q$$

❖ **تنها با انجام کار:** اگر واکنش در یک ظرف عایق بندی شده انجام شود، مبادله ی گرما صورت نمی گیرد ($q = 0$) و تغییر انرژی درونی سامانه تنها ناشی از کار انجام شده است.

$$\Delta E = q + w = 0 + w \Rightarrow \Delta E = w$$

❖ **با انتقال گرما و انجام کار:** تغییر انرژی درونی سامانه به گرما و کار بستگی دارد.

$$\Delta E = q + w$$

ΔE	q	w
+	+	+
-	-	-
	+	-
	-	+

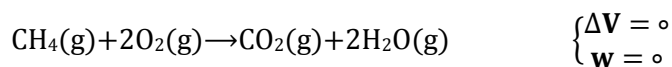


نکته: برای واکنش هایی که تنها از مواد جامد و مایع تشکیل شده اند تغییر حجم بسیار ناچیز و در حد صفر است.

برای محاسبه ی تغییر حجم از رابطه ی مقابل استفاده می کنند:

$$\Delta V = V_{\text{فراورده}} - V_{\text{واکنش دهنده}}$$

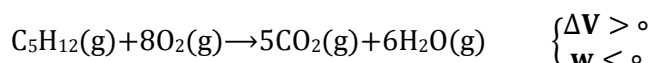
مثال : واکنش سوختن متان را در یک ظرف با **حجم ثابت** در نظر بگیرید و تغییر انرژی درونی آن را بررسی کنید ؟



$$V_{\text{واکنش دهنده}} = 3, V_{\text{فرآورده}} = 3 \Rightarrow \Delta V = 3 - 3 = 0 \Rightarrow w = 0 \Rightarrow \Delta E = q$$

بنابراین تغییر انرژی درونی سامانه تنها ناشی از مبادله ی گرما است. چون سامانه به محیط گرما داده است پس علامت گرما و انرژی درونی منفی است. تغییرات حجم صفر است بنابراین کار انجام نمی شود.

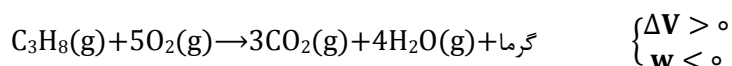
مثال : واکنش زیر را که در یک **ظرف عایق بندی شده** انجام شده در نظر بگیرید و تغییر انرژی درونی آن را بررسی کنید ؟



$$V_{\text{واکنش دهنده}} = 9, V_{\text{فرآورده}} = 11 \Rightarrow \Delta V = 11 - 9 = 2 \Rightarrow w < 0 \Rightarrow \Delta E < 0$$

تغییر انرژی درونی تنها ناشی از کار انجام شده است. سامانه روی محیط کار انجام داده و علامت آن منفی است پس انرژی درونی سامانه کاهش یافته است. چون واکنش در ظرف عایق بندی شده انجام شده بنابراین مبادله ی گرما صورت نمی گیرد. $q = 0$

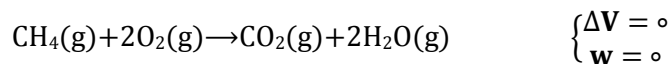
مثال : واکنش زیر را که در **سیلندری با یک پیستون متحرک** انجام می شود ، در نظر بگیرید و تغییر انرژی درونی آن را بررسی کنید ؟



۶ مول واکنش دهنده ی گازی و ۷ مول فرآورده ی گازی در معادله وجود دارد پس حجم افزایش یافته ($\Delta V > 0$) و سامانه روی محیط کار انجام داده ($w < 0$) و انرژی درونی سامانه کاهش یافته است. واکنش گرمازاست بنابراین سامانه به محیط گرما داده است و علامت گرما نیز منفی است. ($q < 0$) و انرژی درونی سامانه کاهش یافته است. در این واکنش هم علامت کار انجام شده و هم علامت گرمای مبادله شده منفی است ، بنابراین علامت تغییر انرژی درونی هم منفی خواهد بود.

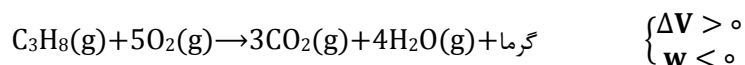
واکنش های شیمیایی به دو روش انجام می شوند

واکنش در حجم ثابت ($\Delta V = 0$) : در این حالت واکنش در ظرفی با حجم ثابت انجام شده و تغییر حجم صورت نمی گیرد و تغییر انرژی درونی فقط ناشی از مبادله ی گرماست.



$$\Delta E = q + w = q + 0 \Rightarrow \mathbf{q_V = \Delta E}$$

واکنش در فشار ثابت ($\Delta V \neq 0$) : در این حالت واکنش در ظرفی سرباز یا هر ظرف دیگری که فشار را ثابت نگه می دارد ، انجام شده و با تغییر حجم ، کار انجام می شود. تغییر انرژی درونی مبادله ی گرما و کار انجام شده است.



$$\Delta E = q + w \Rightarrow q = \Delta E - w \Rightarrow \mathbf{q_P = \Delta E - w} \Rightarrow \mathbf{q_P = \Delta H}$$

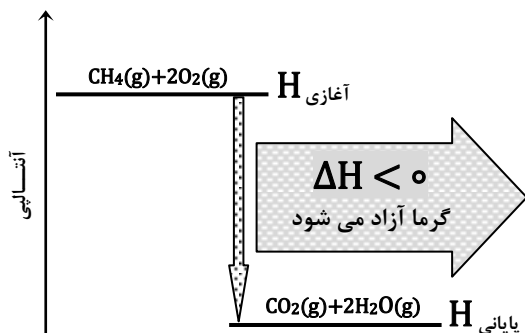
آنتالپی : گرمای مبادله شده در فشار ثابت را آنتالپی واکنش یا گرمای واکنش می گویند و آن را با ΔH نشان می دهند.



نکته : اغلب واکنش های شیمیایی در فشار ثابت انجام می شوند و میزان تغییر آنتالپی با تغییر انرژی درونی تفاوت داشته ، کم تر یا بیش تر از آن است :

$$\Delta H = \Delta E - w$$

برای واکنش هایی که تنها از مواد جامد و مایع تشکیل شده اند تغییر حجم بسیار ناچیز و $\Delta H = \Delta E$ خواهد بود.



آنتالپی واکنش گرماده ($\Delta H < 0$) : در یک واکنش گرماده ، آنتالپی فرآورده هاکم تر از آنتالپی واکنش دهنده هاست. بنابراین تغییر آنتالپی منفی خواهد بود و آنتالپی سامانه کاهش می یابد.

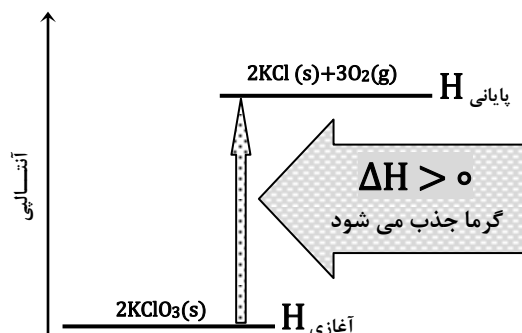
در یک واکنش گرماده ، گرما آزاد می شود و آنتالپی سامانه کاهش می یابد.

$$\Delta H = H_{\text{پایانی}} - H_{\text{آغازی}}$$

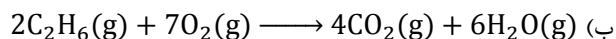
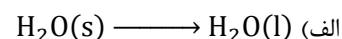
آنتالپی واکنش گرماگیر ($\Delta H > 0$) : در یک واکنش گرماگیر ، آنتالپی فرآورده ها بیش تر از آنتالپی واکنش دهنده هاست. بنابراین تغییر آنتالپی مثبت خواهد بود و آنتالپی سامانه افزایش می یابد.

در یک واکنش گرماگیر ، گرما جذب می شود و آنتالپی سامانه افزایش می یابد.

$$\Delta H = H_{\text{پایانی}} - H_{\text{آغازی}}$$



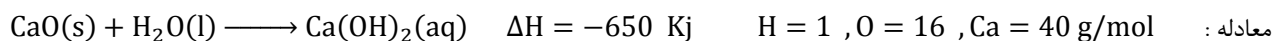
مثال : هر یک از فرآیندهای زیر گرماده است یا گرماگیر ؟ علامت ΔH را تعیین کنید.



پاسخ الف) ذوب شدن یخ گرماگیر است و $\Delta H > 0$ است.

پاسخ ب) سوختن گاز اتان گرماده است و $\Delta H < 0$ است.

مثال : کلسیم اکسید (آهک) بر اثر واکنش با آب ، کلسیم هیدروکسید (آهک مرده) تولید می کند. اگر در یک واکنش ۰/۲۸ کیلوگرم کلسیم اکسید با مقدار کافی آب واکنش دهد ، چند کیلو ژول گرما آزاد می شود؟



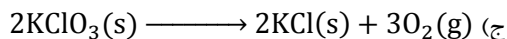
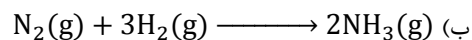
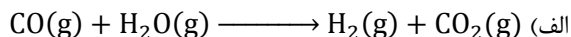
$$\text{پاسخ : } \text{KJ} = 0.28 \text{ Kg CaO} \times \frac{1000 \text{ g CaO}}{1 \text{ Kg CaO}} \times \frac{1 \text{ mol CaO}}{56 \text{ g CaO}} \times \frac{-650 \text{ KJ}}{1 \text{ mol CaO}} = -3250 \text{ KJ}$$

مثال : در یک واکنش گرماده ، ۹۰ کیلوژول گرما آزاد و ۱۰ کیلو ژول کار روی محیط انجام می شود. تغییر انرژی درونی سامانه را محاسبه کنید؟

پاسخ : چون گرماده است پس علامت گرما منفی ($q = -90$) و چون سامانه روی محیط کار انجام داده علامت کار نیز منفی ($w = -90$)

$$\Delta E = q + w = -90 - 10 = -100 \text{ KJ} \quad \text{خواهد بود. بنابراین :}$$

مثال : واکنش های زیر در فشار ثابت در یک ظرف با پیستون متحرک انجام شده است. علامت کار انجام شده را مشخص کنید؟



پاسخ الف) $\Delta V = 0 \Rightarrow w = 0$ کاری انجام نمی شود.

پاسخ ب) $\Delta V < 0 \Rightarrow w > 0$ محیط روی سامانه کار انجام می دهد و انرژی درونی سامانه افزایش می یابد.

پاسخ ج) $\Delta V > 0 \Rightarrow w < 0$ سامانه روی محیط کار انجام می دهد و انرژی درونی سامانه کاهش می یابد.

پاسخ د) $\Delta V > 0 \Rightarrow w < 0$ سامانه روی محیط کار انجام می دهد و انرژی درونی سامانه کاهش می یابد.

حالت استاندارد

برای آن که اندازه گیری تغییر آنتالپی همه ی واکنش های شیمیایی در شرایط یکسانی انجام شود ، شرایط ویژه ای به نام حالت استاندارد ترمودینامیکی تعریف می کنند.

حالت استاندارد ترمودینامیکی : پایدارترین شکل ماده ی خالص در فشار **1 atm** و دمایی مشخص (معمولاً دمای اتاق 25°C) را حالت

استاندارد ترمودینامیکی می گویند.

حالت استاندارد چند ماده : $\text{H}_2\text{O(l)} , \text{CO}_2\text{(g)} , \text{Mg(s)} , \text{O}_2\text{(g)} , \text{Hg(l)} , \text{Cl}_2\text{(g)} , \text{C (graphit)} , \text{Br}_2\text{(l)} , \text{I}_2\text{(s)}$



نکته : مواد در حالت های زیر دارای شرایط استاندارد هستند :

۱. مواد جامد یا مایع باید خالص باشند.

۲. مواد گازی باید خالص و دارای فشار **1 atm** باشند.

۳. مواد محلول باید دارای غلظت 1 mol. L^{-1} باشند.



نکته : برای مشخص کردن شرایط استاندارد علامت $(^\circ)$ را بالای نماد کمیتی قرار می دهند که در آن شرایط اندازه گیری می شود به عنوان مثال ΔH° نشان دهنده ی آنتالپی استاندارد است یعنی همه ی مواد شرکت کننده در واکنش در حالت استاندارد هستند.



نکته : از میان دگر شکل های مختلف یک عنصر ، پایدارترین دگر شکل به عنوان استاندارد انتخاب می شود. از میان دگر شکل های کربن (الماس و گرافیت) گرافیت به عنوان حالت استاندارد پذیرفته شده است.



نکته : در هنگام محاسبه ی آنتالپی ، علاوه بر مشخص بودن دما و فشار ، باید حالت فیزیکی واکنش دهنده ها و فرآورده ها نیز مشخص باشد.

مثال : علت اختلاف آنتالپی دو واکنش زیر را بیان کنید ؟



پاسخ : زیرا در واکنش (۱) آب به حالت گاز و در واکنش (۲) آب به حالت مایع تولید شده است و مقداری از گرمای تولید شده در واکنش (۱) صرف بخار کردن مولکول های آب شده است.

تغییر آنتالپی های مهم

۱. آنتالپی استاندارد تشکیل ($\Delta H_{\text{تشکیل}}^\circ$) : اغلب منفی است.
۲. آنتالپی استاندارد سوختن ($\Delta H_{\text{سوختن}}^\circ$) : همواره منفی است.
۳. آنتالپی استاندارد تبخیر ($\Delta H_{\text{تبخیر}}^\circ$) : همواره مثبت است.
۴. آنتالپی استاندارد ذوب ($\Delta H_{\text{ذوب}}^\circ$) : همواره مثبت است.
۵. آنتالپی استاندارد تصعید ($\Delta H_{\text{تصعید}}^\circ$) : همواره مثبت است.
۶. آنتالپی استاندارد پیوند ($\Delta H_{\text{پیوند}}^\circ$) : همواره مثبت است.

آنتالپی استاندارد تشکیل ($\Delta H_{\text{تشکیل}}^\circ$) : تغییر آنتالپی واکنشی که در آن یک مول ماده در حالت استاندارد از عناصر سازنده اش در حالت

استاندارد تشکیل می شود ، آنتالپی استاندارد تشکیل آن ماده می گویند.



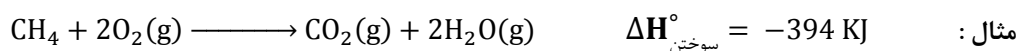
نکته : آنتالپی استاندارد تشکیل عنصرها صفر در نظر گرفته می شود. از میان دگر شکل های یک عنصر نیز آنتالپی استاندارد تشکیل دگر شکل پایدارتر صفر در نظر گرفته می شود. $Na(s), Cl_2(g), Br_2(l), O_2(g), Fe(s), Hg(l), C(\text{graphit})$

مثال : چرا آنتالپی استاندارد تشکیل بسیاری از مواد منفی است ؟

زیرا بیش تر مواد از عناصر سازنده ی خود پایدارتر هستند.

آنتالپی استاندارد سوختن ($\Delta H_{\text{سوختن}}^\circ$) : تغییر آنتالپی واکنشی که در آن یک مول از ماده در مقدار کافی اکسیژن خالص بسوزد ، آنتالپی

استاندارد سوختن آن ماده می گویند.



نکته : آنتالپی استاندارد سوختن مواد همواره منفی است. زیرا واکنش سوختن همواره گرماده است. و در میان هیدروکربن های یک خانواده ، با افزایش تعداد اتم های کربن ، آنتالپی سوختن افزایش می یابد.

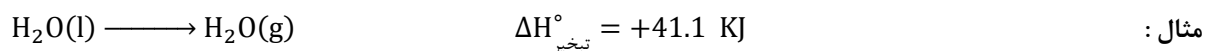
مثال : با توجه به آنتالپی استاندارد سوختن اتان ، اتن و اتین ، انتظار دارید شعله ی حاصل از سوختن کدام یک داغ تر باشد ؟ چرا ؟



پاسخ : اگر چه گرمای حاصل از سوختن اتین کم تر از اتان و اتن است اما دمای شعله ی آن بیش تر است. زیرا تعداد مول های فرآورده ی گازی در اتین (۳مول) کم تر از اتن (۴ مول) و اتان (۵ مول) است. لذا در اتین مقدار گرمای لازم برای رساندن دمای این گازها به دمای شعله کم تر از دو گاز دیگر است و به همین علت دمای شعله ی اتین بیش تر است.

آنتالپی استاندارد تبخیر ($\Delta H_{\text{تبخیر}}^{\circ}$) : تغییر آنتالپی فرآیندی که در آن یک مول از ماده در دمای جوش خود تبخیر شود ، آنتالپی استاندارد

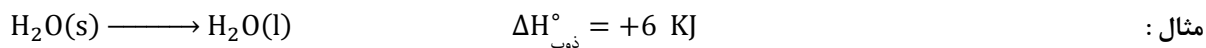
تبخیر آن ماده می گویند.



نکته : آنتالپی استاندارد تبخیر همه ی مواد مثبت است به عبارت دیگر فرآیند تبخیر گرماگیر است. هر چه نیروی جاذبه ی بین ذره های تشکیل دهنده ی ماده قوی تر باشد ، آنتالپی تبخیر آن ماده بیش تر خواهد بود.

آنتالپی استاندارد ذوب ($\Delta H_{\text{ذوب}}^{\circ}$) : تغییر آنتالپی فرآیندی که در آن یک مول از ماده جامد در دمای ذوب خود به مایع تبدیل شود ، آنتالپی

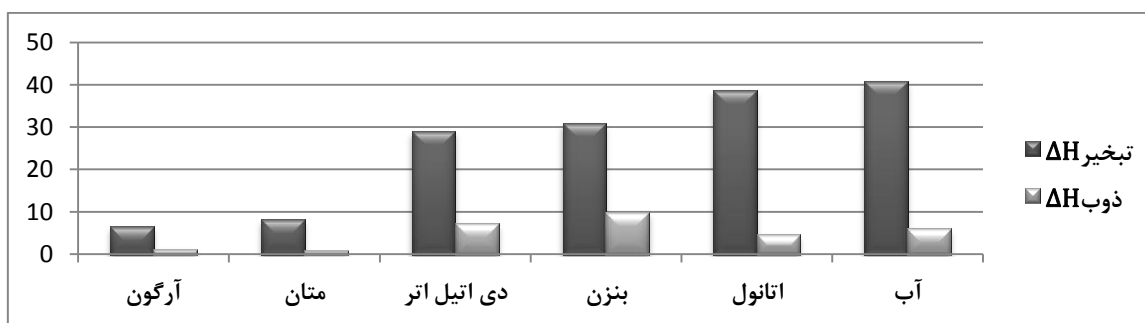
استاندارد ذوب آن ماده می گویند.



نکته : آنتالپی استاندارد ذوب همه ی مواد مثبت است به عبارت دیگر فرآیند ذوب گرماگیر است.

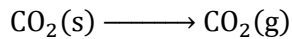
مثال : چرا همواره آنتالپی استاندارد تبخیر یک ماده از آنتالپی استاندارد ذوب آن ماده بیش تر است ؟

پاسخ : زیرا در هنگام تبخیر گرمای لازم به مایع داده می شود و چون ذره های مایع دارای حرکت های ارتعاشی ، چرخشی و انتقالی هستند لذا گرمای بیش تری برای افزایش جنب و جوش ذره ها لازم است. اما در هنگام ذوب گرمای لازم به جامد داده می شود و در حالت جامد ذره ها تنها حرکت ارتعاشی دارند بنابراین برای افزایش این حرکت گرمای کم تری لازم است.



آنتالپی استاندارد تصعید ($\Delta H_{\text{تصعید}}^{\circ}$): تغییر آنتالپی فرآیندی که در آن یک مول از ماده تصعید شود، آنتالپی استاندارد تصعید آن ماده می

گویند.



$$\Delta H_{\text{تصعید}}^{\circ} = +25 \text{ KJ}$$

مثال:

نکته: آنتالپی استاندارد تصعید همه ی مواد مثبت است به عبارت دیگر فرآیند تصعید گرماگیر است. و می توان آنتالپی استاندارد

$$\Delta H_{\text{تصعید}}^{\circ} = \Delta H_{\text{ذوب}}^{\circ} + \Delta H_{\text{تبخیر}}^{\circ}$$

تصعید را حاصل جمع آنتالپی استاندارد ذوب و تبخیر در نظر گرفت:



آنتالپی استاندارد پیوند ($\Delta H_{\text{پیوند}}^{\circ}$): تغییر آنتالپی فرآیندی است که در آن یک مول پیوند به اتم های سازنده ی خود به حالت گازی شکسته

می شود. به آن آنتالپی تفکیک پیوند یا آنتالپی پیوند نیز می گویند.



مثال:

از آن جا که انرژی لازم برای شکستن همه ی پیوندها در مولکولی مانند CH_4 یکسان نیست، از این رو متوسط آنتالپی پیوند را در نظر می گیرند.

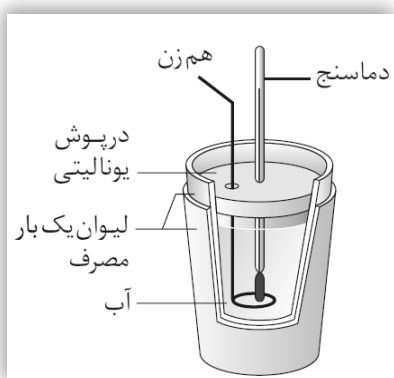
گرماسنجی روش مستقیم اندازه گیری گرمای یک واکنش

در روش مستقیم مقداری از واکنش دهنده ها را در شرایط مناسب بر هم اثر می دهند و گرمای واکنش را به طور مستقیم به وسیله ی دستگاهی به نام گرماسنج اندازه گیری می کنند.

گرماسنج: دستگاهی است که برای اندازه گیری گرمای مبادله شده در یک واکنش شیمیایی به کار برده می شود. دو نوع گرماسنج وجود دارد:

۱. گرماسنج لیوانی

۲. گرماسنج بمبی



گرماسنج لیوانی: این گرماسنج شامل مقدار معینی آب یا محلول یک واکنش

دهنده در یک ظرف عایق بندی شده است. در این گرماسنج یک دماسنج و یک هم

زن قرار دارد. پیش از انجام واکنش دمای اولیه ی آب یا محلول و پس از انجام واکنش

نیز دمای نهایی آب را اندازه گیری می کنند و با استفاده از اختلاف دمای پیش و پس

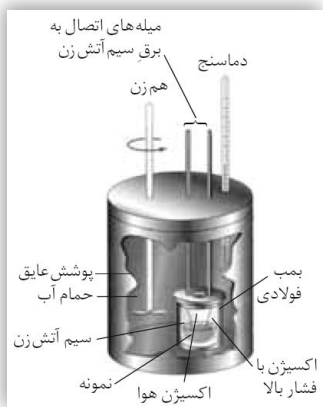
از آزمایش گرمای واکنش را محاسبه می کنند.

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1)$$

فرمول:

نکته: گرماسنج لیوانی برای اندازه گیری گرمای واکنش در فشار ثابت به کار برده می شود. (ΔH را اندازه گیری می کند).





گرماسنج بمبی: در گرماسنج بمبی محفظه‌ی انجام واکنش درون یک حمام آب قرار دارد. گرمای آزاد شده حاصل از انجام واکنش سبب گرم شدن بمب، گرم شدن آب و افزایش دمای حمام آب می‌شود. با استفاده از اندازه‌گیری دمای این مجموعه و محاسبه‌ی ساده می‌توان گرمای واکنش را محاسبه کرد.

نکته: گرماسنج بمبی برای اندازه‌گیری گرمای واکنش در حجم ثابت به کار برده می‌شود. (ΔE را اندازه‌گیری می‌کند). از این نوع گرماسنج برای اندازه‌گیری گرمای سوختن یک ماده استفاده می‌کنند.



روش های غیر مستقیم تعیین گرمای واکنش های شیمیایی

گرمای بسیاری از واکنش‌های شیمیایی را نمی‌توان به طور مستقیم اندازه‌گیری زیرا بسیاری از واکنش‌ها در شرایط بسیار سختی انجام می‌شوند. گرمای چنین واکنش‌هایی را به روش غیر مستقیم محاسبه می‌کنند:

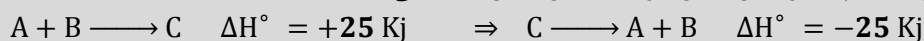
۱. استفاده از قانون هس
۲. استفاده از آنتالپی استاندارد تشکیل مواد
۳. استفاده از آنتالپی پیوند

محاسبه‌ی گرمای واکنش با استفاده از قانون هس: از آن جا که تغییر آنتالپی یک واکنش تابع حالت است و تنها به حالت آغازی و پایانی واکنش وابسته است، بنابراین مقدار آن در همه‌ی مسیرها یکسان است.

قانون هس: اگر یک واکنش، جمع دو یا چند واکنش دیگر باشد، ΔH واکنش کلی مجموع مقادیر ΔH همه‌ی واکنش‌های تشکیل دهنده‌ی آن است.



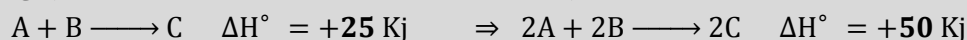
نکته: اگر جهت انجام یک واکنش عکس شود، ΔH آن تغییر علامت می‌دهد.



مثال:

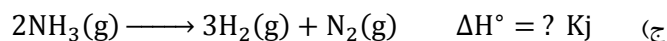
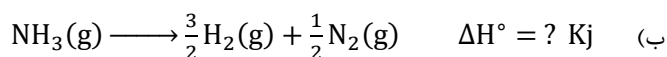


نکته: اگر واکنش در عددی ضرب یا بر عددی تقسیم شود، ΔH آن در همان عدد ضرب یا بر همان عدد تقسیم می‌شود.

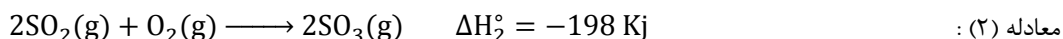
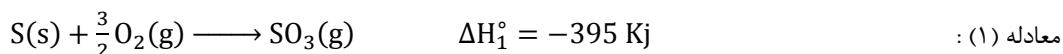
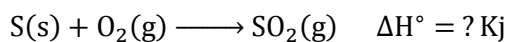


مثال:

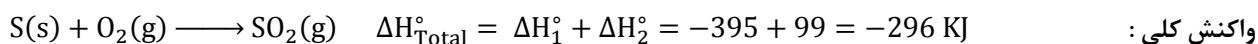
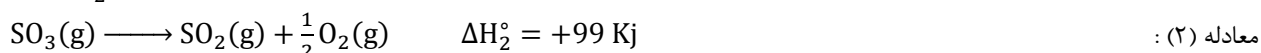
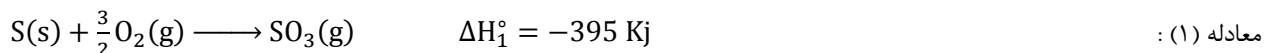
تمرین: با توجه به واکنش مقابل ΔH واکنش‌های زیر را به دست آورید: $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H^\circ = -92 \text{ KJ}$



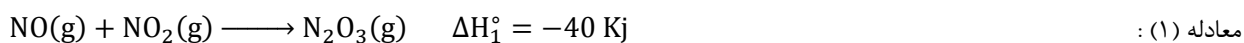
مثال : با توجه به معادله های زیر مقدار ΔH واکنش مقابل را به دست آورید :



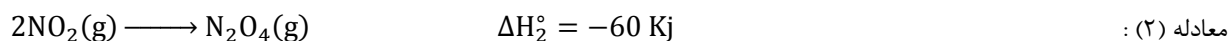
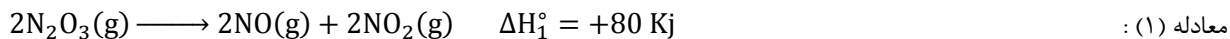
پاسخ : ابتدا باید معادله ها را طوری تغییر دهیم که $SO_2(g)$ در طرف راست ، $S(s)$ و $O_2(g)$ در سمت چپ ظاهر شوند. بنابراین واکنش (۲) را عکس کرده و بر عدد ۲ تقسیم می کنیم :



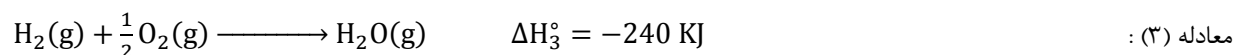
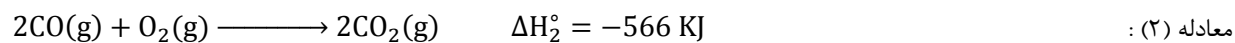
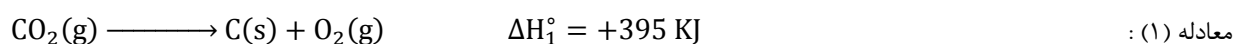
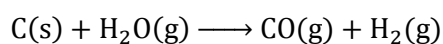
مثال : با استفاده از قانون هس و معادله های زیر ، آنتالپی واکنش : $2N_2O_3(g) \longrightarrow 2NO(g) + N_2O_4(g)$ را حساب کنید:



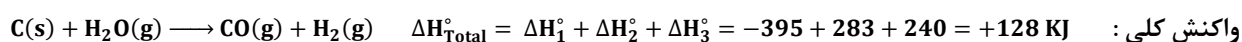
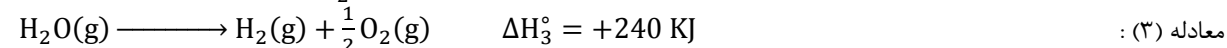
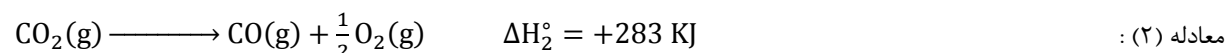
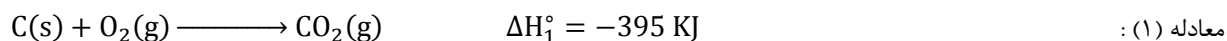
پاسخ : باید معادله (۱) را عکس و در عدد ۲ ضرب و معادله (۲) را عکس کنیم :



مثال : با استفاده از معادله های زیر آنتالپی واکنش مقابل را حساب کنید :



پاسخ : باید معادله (۱) را عکس ، معادله (۲) را عکس و بر ۲ تقسیم و معادله (۳) را عکس کرد:



محاسبه ی گرمای واکنش با استفاده از آنتالپی استاندارد تشکیل مواد : گرمای یک واکنش شیمیایی در دما و فشار ثابت را می توان با استفاده از آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده ها و فرآورده ها به صورت زیر محاسبه کرد :

[مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده ها] - [مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فرآورده ها] = گرمای واکنش



نکته : آنتالپی استاندارد تشکیل عناصر در پایدارترین حالت برابر صفر در نظر گرفته می شود.



آنتالپی استاندارد سوختن اتانول را با توجه به اطلاعات زیر محاسبه کنید؟

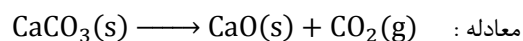
اطلاعات : $\Delta H_{\text{تشکیل}}^\circ(C_2H_5OH(l)) = -278$, $\Delta H_{\text{تشکیل}}^\circ(CO_2(g)) = -394$, $\Delta H_{\text{تشکیل}}^\circ(H_2O(l)) = -286$ KJ/mol

پاسخ : $\Delta H_r^\circ = [2\Delta H_f^\circ(CO_2) + 3\Delta H_f^\circ(H_2O)] - [\Delta H_f^\circ(C_2H_5OH) + 3\Delta H_f^\circ(O_2)]$

ادامه : $\Delta H_r^\circ = [2 \times (-394) + 3 \times (-286)] - [(-278) + 3 \times (0)] = -1368$ KJ

$\Delta H_{\text{تشکیل}}^\circ$ (Kj. mol ⁻¹)	ماده
-۱۲۰۷	CaCO ₃ (s)
-۶۳۵	CaO(s)
-۳۹۴	CO ₂ (g)

مثال : آنتالپی واکنش زیر را با توجه به اطلاعات داده شده در جدول محاسبه کنید:

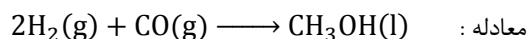


پاسخ : $\Delta H_r^\circ = [\Delta H_f^\circ(CaO) + \Delta H_f^\circ(CO_2)] - [\Delta H_f^\circ(CaCO_3)]$

ادامه : $\Delta H_r^\circ = [(-635) + (-394)] - [(-1207)] = +178$ KJ

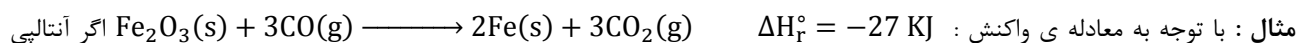
$\Delta H_{\text{تشکیل}}^\circ$ (Kj. mol ⁻¹)	ماده
-۱۱۱	CO(g)
-۲۳۹	CH ₃ OH(l)

مثال : آنتالپی واکنش زیر را با توجه به اطلاعات داده شده در جدول محاسبه کنید:



پاسخ : $\Delta H_r^\circ = [\Delta H_f^\circ(CH_3OH)] - [2\Delta H_f^\circ(H_2) + \Delta H_f^\circ(CO)]$

ادامه : $\Delta H_r^\circ = [(-239)] - [2(0) + (-111)] = -128$ KJ



استاندارد تشکیل $Fe_2O_3(s)$ و $CO(g)$ به ترتیب برابر -۸۲۲ و -۱۱۰ کیلوژول بر مول باشد ، آنتالپی استاندارد تشکیل $CO_2(g)$ چقدر است؟

پاسخ : $\Delta H_r^\circ = [2\Delta H_f^\circ(Fe) + 3\Delta H_f^\circ(CO_2)] - [\Delta H_f^\circ(Fe_2O_3) + 3\Delta H_f^\circ(CO)]$

ادامه : $-27 = [2(0) + 3\Delta H_f^\circ(CO_2)] - [(-822) + 3(-110)]$

ادامه : $-27 = 3\Delta H_f^\circ(CO_2) + 1152 \Rightarrow 3\Delta H_f^\circ(CO_2) = -1179 \Rightarrow \Delta H_f^\circ(CO_2) = 393$ KJ

محاسبه ی گرمای واکنش با استفاده از آنتالپی متوسط پیوند : در یک واکنش شیمیایی برخی پیوندها در واکنش دهنده ها شکسته شده و پیوندهای جدیدی در فرآورده ها تشکیل می شوند. گرمای یک واکنش به تغییرات انرژی پیوندها وابسته است. اگر همه ی مواد شرکت کننده در واکنش را به صورت گاز در نظر بگیریم ، می توان از رابطه ی زیر برای محاسبه ی گرمای واکنش استفاده کرد :

$$[\text{مجموع آنتالپی استاندارد پیوندهای تشکیل شده}] - [\text{مجموع آنتالپی پیوندهای شکسته شده}] = \text{گرمای واکنش}$$

از آن جا که در واکنش دهنده ها ، پیوندها شکسته شده و در فرآورده ها پیوندهای جدید تشکیل می شوند پس می توان نوشت :

$$[\text{مجموع آنتالپی استاندارد پیوندهای فرآورده ها}] - [\text{مجموع آنتالپی پیوندهای واکنش دهنده ها}] = \text{گرمای واکنش}$$



نکته : در این روش، متوسط آنتالپی پیوند، مبنای محاسبه است بنابراین مقدار گرمای واکنش حاصل از روش مستقیم (گرماسنجی) با مقدار حاصل از روش آنتالپی پیوند تفاوت دارد.

پیوند	C-H	H-Cl	C-Cl	Cl-Cl
آنتالپی (Kj/mol)	412	431	331	242

مثال : آنتالپی واکنش زیر را با استفاده از آنتالپی پیوندهای داده شده در جدول محاسبه کنید :

$$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CCl}_4(\text{g}) + 4\text{HCl}(\text{g})$$

واکنش :

$$\Delta H_r^\circ = [4\Delta H_{\text{C-H}}^\circ + 2\Delta H_{\text{Cl-Cl}}^\circ] - [4\Delta H_{\text{C-Cl}}^\circ + 4\Delta H_{\text{H-Cl}}^\circ] \quad \text{پاسخ :}$$

$$\Delta H_r^\circ = [4(412) + 2(242)] - [4(331) + 4(431)] = -432 \text{ Kj} \quad \text{ادامه :}$$

پیوند	N≡N	H-Cl	N-H	Cl-Cl
آنتالپی (Kj/mol)	412	431	389	242

مثال : آنتالپی واکنش زیر را با استفاده از آنتالپی پیوندهای داده شده در جدول محاسبه کنید :

$$2\text{NH}_3(\text{g}) + 3\text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 6\text{HCl}(\text{g})$$

واکنش :

$$\Delta H_r^\circ = [6\Delta H_{\text{N-H}}^\circ + 3\Delta H_{\text{Cl-Cl}}^\circ] - [\Delta H_{\text{N}\equiv\text{N}}^\circ + 6\Delta H_{\text{H-Cl}}^\circ] \quad \text{پاسخ :}$$

$$\Delta H_r^\circ = [6(389) + 3(242)] - [(412) + 6(431)] = +62 \text{ Kj} \quad \text{ادامه :}$$

پیوند	H-Cl	H-H	Cl-Cl
آنتالپی (Kj/mol)	?	435	242

مثال : آنتالپی واکنش زیر برابر -187 Kj است. با توجه به آنتالپی پیوندهای داده شده در جدول مقدار آنتالپی پیوند H-Cl محاسبه کنید :

$$\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$$

واکنش :

$$\Delta H_r^\circ = [\Delta H_{\text{H-H}}^\circ + \Delta H_{\text{Cl-Cl}}^\circ] - [2\Delta H_{\text{H-Cl}}^\circ] \quad \text{پاسخ :}$$

$$-187 = [(435) + (242)] - [2\Delta H_{\text{H-Cl}}^\circ] \Rightarrow \Delta H_{\text{H-Cl}}^\circ = 432 \text{ Kj/mol} \quad \text{ادامه :}$$

مثال : اگر آنتالپی پیوندهای موجود در NO ، O_2 ، N_2 به ترتیب 150 Kj/mol ، 120 و 225 در نظر بگیریم :



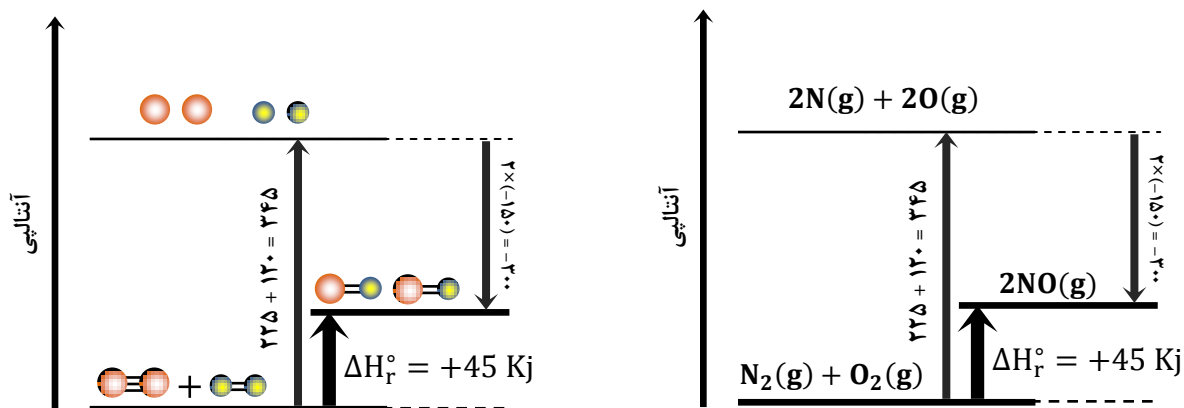
الف) واکنش مقابل گرماگیر است یا گرماده ؟
ب) مقدار آنتالپی واکنش را محاسبه کنید ؟
ج) نمودار تغییر آنتالپی واکنش را رسم کنید ؟

پاسخ الف : واکنش گرماگیر است.

$$\Delta H_r^\circ = [\Delta H_{\text{N}\equiv\text{N}}^\circ + \Delta H_{\text{O}=\text{O}}^\circ] - [2\Delta H_{\text{N-O}}^\circ] \quad \text{پاسخ ب :}$$

$$\Delta H_r^\circ = [(225) + (120)] - [2(150)] = +45 \text{ Kj} \quad \text{ادامه :}$$

پاسخ ج :



آنتروپی و تعیین جهت پیشرفت واکنش های شیمیایی

یکی از هدف های ترمودینامیک تعیین جهت پیشرفت واکنش های شیمیایی است. این که واکنش در کدام جهت خود به خود پیش می رود.

فرآیند خود به خود : فرآیندی است که در شرایط معین بدون نیاز به انرژی به طور خود به خود انجام می شود.

- ❖ یخ زدن آب در فشار یک اتمسفر و دمای ۵ درجه ی سلسیوس
- ❖ بخار شدن آب در دما و فشار معمولی
- ❖ تصعید ید در دما و فشار معمولی



نکته : یکی از عواملی که بر پیشرفت خود بخودی فرآیندها مؤثر است ، **عامل انرژی** می باشد. و فرآیندهایی که با **کاهش انرژی** سامانه همراه هستند ، به طور خود به خود انجام می شوند. مانند یخ زدن آب یا سوختن یک هیدروکربن که فرآیندهایی گرماده هستند. ($\Delta H < 0$)

اما فرآیندهای گرماگیری هم وجود دارند که خود به خود انجام می شوند. به عنوان مثال ، آب در دما و فشار معمولی به طور خود به خود و طی یک فرآیند گرماگیر به بخار آب تبدیل می شود :



برخی از نمک ها نیز طی یک فرآیند گرماگیر به طور خود به خود در آب حل می شوند :



برخی از واکنش های شیمیایی گرماگیر نیز به طور خود به خود انجام می شوند :



بنابراین نمی توان گفت که هر فرآیند گرماده ، خود به خود و هر فرآیند گرماگیر غیر خود به خود انجام می شود. پس باید غیر از عامل انرژی عامل دیگری نیز در تعیین جهت پیشرفت واکنش نقش داشته باشد و آن **عامل بی نظمی** یا **آنتروپی** است.

آنتروپی یا بی نظمی : مقدار بی نظمی سامانه یا بی نظمی مولکولی را آنتروپی می گویند و آن را با نماد S نشان می دهند. تغییرات بی نظمی یک تابع حالت است و تنها به حالت آغازی و پایانی واکنش بستگی دارد.

$$\Delta S = S_{\text{پایانی}} - S_{\text{آغازی}}$$



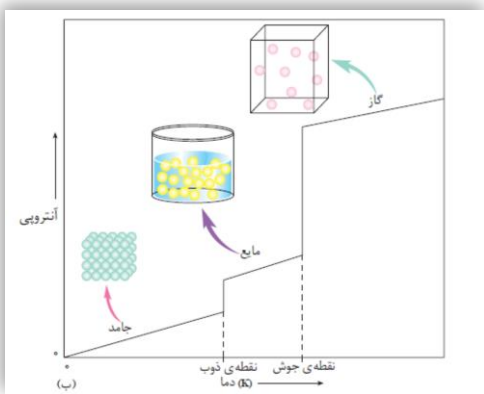
نکته : عامل دیگری که در تعیین جهت پیشرفت واکنش مؤثر است ، عامل **آنتروپی یا بی نظمی** است. واکنش های شیمیایی تمایل دارند در جهتی پیشرفت کنند که با **افزایش بی نظمی** سامانه همراه است. ($\Delta S > 0$)

بنابراین جهت تعیین جهت پیشرفت واکنش های شیمیایی دو عامل مهم نقش دارند :

۱. **عامل انرژی** ($\Delta H < 0$) : فرآیندهایی که با کاهش انرژی سامانه همراه هستند به طور خود به خود انجام می شوند.
۲. **عامل آنتروپی** ($\Delta S > 0$) : فرآیندهایی که با افزایش آنتروپی سامانه همراه هستند به طور خود به خود انجام می شوند.



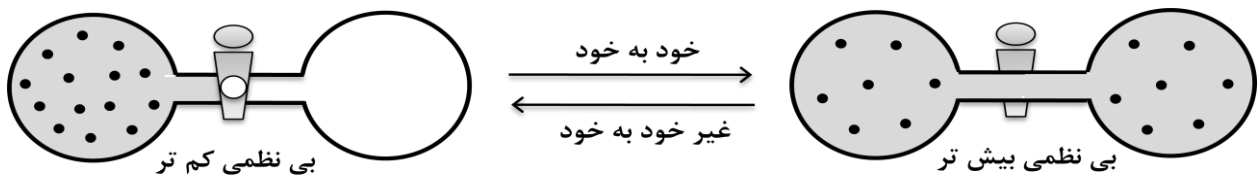
نکته : واکنش های شیمیایی و فرآیندهای فیزیکی در جهتی پیشرفت می کنند که با کاهش انرژی و افزایش آنتروپی همراه باشند.



در مورد **آنتروپی یا بی نظمی** به نکات زیر توجه کنید :

۱. آنتروپی ماده ی خالص با افزایش دما ، افزایش می یابد.
 - ❖ آنتروپی سدیم کلرید خالص در دمای ۴۵ درجه بیش تر از دمای ۳۰ درجه ی سلسیوس است.
۲. آنتروپی مواد خالص در صفر مطلق ، صفر در نظر گرفته می شود. زیرا در این دما ذره های سازنده ی ماده هیچ حرکتی ندارند.
۳. میزان افزایش آنتروپی تبخیر خیلی بیش تر از افزایش آنتروپی ذوب است.
۴. انحلال جامد در مایع با افزایش آنتروپی سامانه همراه است.
 - ❖ حل شدن سدیم کلرید در آب
 - ❖ حل شدن شکر در آب
۵. انحلال مایع در مایع با افزایش آنتروپی سامانه همراه است.
 - ❖ حل شدن الکل در آب
۶. انحلال گاز در مایع با کاهش آنتروپی سامانه همراه است.
 - ❖ حل شدن گاز کربن دی اکسید در آب
۷. در واکنش شیمیایی اگر تعداد مول فرآورده های گازی بیش تر از واکنش دهنده های گازی باشد ، آنتروپی افزایش یافته است.
 - ❖ در واکنش مقابل :
$$2C_2H_6(g) + 7O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 6H_2O(g)$$

۹ مول واکنش دهنده ی گازی و ۱۰ مول فرآورده مشاهده می شود. بنابراین آنتروپی سامانه افزایش یافته است.
۸. اگر گازی را به ظرفی با حجم بزرگ تر انتقال دهیم آنتروپی آن افزایش می یابد و بالعکس.



۹. آنتروپی یک سامانه ی منزوی طی یک فرآیند خود به خودی افزایش می یابد.

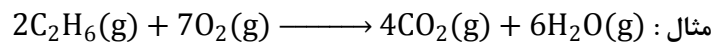
پیش گویی جهت انجام واکنش های شیمیایی

در بیش تر واکنش های شیمیایی هر دو عامل آنتالپی و آنترپی تغییر می کنند بنابراین به کمک این دو عامل می توان جهت انجام برخی از واکنش های شیمیایی را تعیین نمود :

ΔS	ΔH	پیش گویی جهت انجام واکنش
+	-	همواره خود به خود
مساعد	مساعد	
-	+	همواره غیر خود به خود
نامساعد	نامساعد	
-	-	بستگی به ΔS و ΔH دارد
نامساعد	مساعد	
+	+	بستگی به ΔS و ΔH دارد
مساعد	نامساعد	



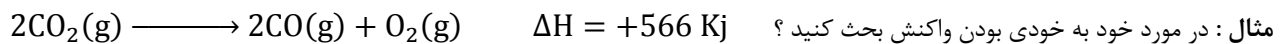
نکته : با استفاده از آنترپی و آنتالپی تنها جهت برخی از واکنش های شیمیایی را می توان تعیین نمود اما اگر یکی از عوامل ، نامساعد باشد نمی توان جهت انجام واکنش را تعیین نمود.



آنتالپی : مساعد چون سوختن گرمازا است. $\Delta H < 0$

آنترپی : مساعد چون افزایش حجم داریم. $\Delta S > 0$

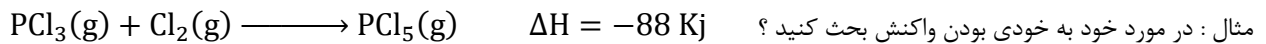
بنابراین واکنش خود به خودی است.



آنتالپی : نامساعد چون گرماگیر است. $\Delta H > 0$

آنترپی : نامساعد چون کاهش حجم داریم. $\Delta S < 0$

بنابراین واکنش غیر خود به خودی است.



آنتالپی : مساعد چون گرمازا است. $\Delta H < 0$

آنترپی : نامساعد چون کاهش حجم داریم. $\Delta S < 0$

بنابراین نمی توان جهت انجام واکنش را تعیین نمود زیرا آنتالپی مساعد ولی آنترپی نامساعد است.

انرژی آزاد گیبس

در بیش تر واکنش های شیمیایی آنتالپی و آنترپی تغییر می کنند و همان طور که در مثال های بالا ملاحظه کردید تعیین خود به خودی یا غیر خود به خودی انجام واکنش تنها با توجه به این دو پارامتر امکان پذیر نیست و نیاز به پارامتر دیگری دارد که این دو پارامتر را به هم ربط دهد. این پارامتر جدید **انرژی آزاد** نام دارد که **ویلارد گیبس** فیزیک دان آمریکایی برای انرژی آزاد معادله ای به دست آورد و این انرژی به افتخار او ، انرژی آزاد گیبس نام دارد :

انرژی آزاد : مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرآیند را انرژی آزاد می گویند و آن را با **G** نشان می دهند. انرژی آزاد یک تابع حالت است و از رابطه ی زیر به دست می آید :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

معادله :

در معادله ی فوق ، انرژی آزاد به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. آنتالپی

۲. آنترپی

۳. دمای کلون

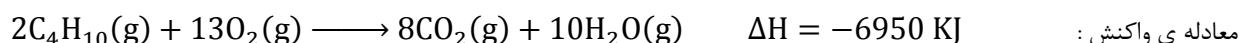
با توجه به علامت ΔG می توان گفت که یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی می تواند خود به خود انجام شود یا نه.

۱. اگر تغییرات انرژی آزاد منفی باشد ($\Delta G < 0$) ، فرآیند خود به خودی است.
۲. اگر تغییرات انرژی آزاد مثبت باشد ($\Delta G > 0$) ، فرآیند غیر خود به خودی است.
۳. اگر تغییرات انرژی آزاد صفر باشد ($\Delta G = 0$) ، فرآیند تعادلی است.

در حالت کلی برای تعیین انجام خود به خودی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی به جدول زیر توجه نمایید :

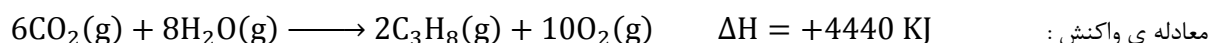
ΔS	ΔH	ΔG	نحوه ی انجام واکنش
+	-	-	در همه ی دماها خود به خود
-	+	+	در همه ی دماها غیر خود به خود
+	+	-	در دماهای بالا خود به خود
+	+	+	در دماهای پایین غیر خود به خود
-	-	-	در دماهای پایین خود به خود
-	-	+	در دماهای بالا غیر خود به خود

مثال : در مورد انجام خود به خود یا غیر خود به خودی واکنش زیر بحث کنید :



پاسخ : آنتالپی منفی ($\Delta H < 0$) و مساعد ، آنتروپی مثبت ($\Delta S > 0$) و مساعد است بنابراین واکنش در همه ی دماها خود به خود انجام می شود.

مثال : آیا واکنش زیر خود به خود انجام می شود ؟ اگر خود به خودی است در چه شرایطی و اگر غیر خود به خودی است در چه شرایطی ؟



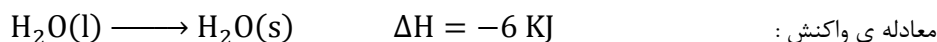
پاسخ : آنتالپی مثبت ($\Delta H > 0$) و نامساعد ، آنتروپی منفی ($\Delta S < 0$) و نامساعد است بنابراین واکنش در همه ی دماها غیر خود به خود انجام می شود.

مثال : آیا واکنش زیر خود به خود انجام می شود ؟ اگر خود به خودی است در چه شرایطی و اگر غیر خود به خودی است در چه شرایطی ؟



پاسخ : آنتالپی مثبت ($\Delta H > 0$) و نامساعد ، آنتروپی مثبت ($\Delta S > 0$) و مساعد است بنابراین واکنش در دماهای بالا خود به خود و در دماهای پایین غیر خود به خود انجام می شود.

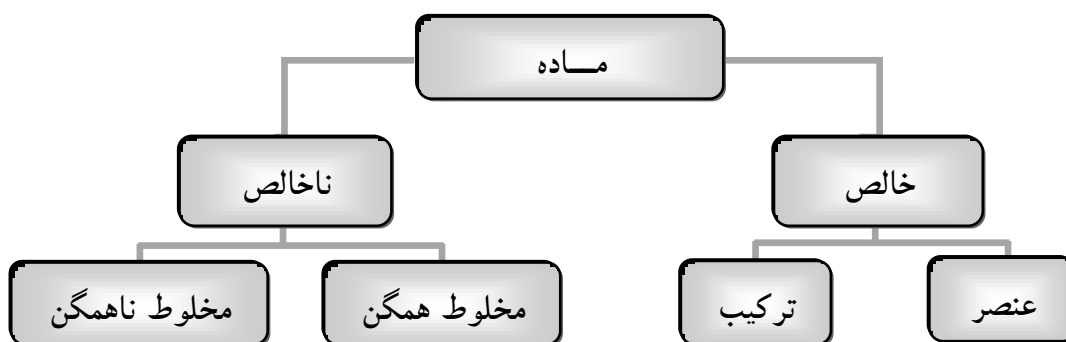
مثال : آیا واکنش زیر خود به خود انجام می شود ؟ اگر خود به خودی است در چه شرایطی و اگر غیر خود به خودی است در چه شرایطی ؟



پاسخ : آنتالپی منفی ($\Delta H < 0$) و مساعد ، آنتروپی منفی ($\Delta S < 0$) و نامساعد است بنابراین واکنش در دماهای پایین خود به خود و در دماهای بالا غیر خود به خود انجام می شود.

محللول ها نمونه ای از مواد ناخالص

در زندگی روزانه با محللول های زیادی از جمله هوا ، آب مشروب ، انواع سکه ها ، نفت ، بنزین ، پاک کننده ها و غیره سر و کار داریم. لذا لازم است با خواص و کاربرد محللول ها آشنا شویم.



محللول: به مخلوط های همگن ، محللول می گویند. مانند سکه ی طلا ، هوا ، آب نمک و

فاز چیست ؟

فاز: بخشی از یک سامانه است که خواص شدتی در همه جای آن یکسان است. به عبارت دیگر بخشی از سامانه را که تمام آن از نظر ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی یکسان است ، فاز می گویند.

مثال: در محللول شکر در آب رنگ ، بو ، طعم و حالت فیزیکی در همه جای محللول یکسان است پس این محللول یک فاز است.

نکته: رنگ ، بو ، طعم ، چگالی ، ضریب شکست نور ، ظرفیت گرمایی ویژه ، نقطه ی جوش در همه جای یک محللول یکسان است.



هر یک از حالت های فیزیکی ماده یک فاز را تشکیل می دهند و تغییر حالت های فیزیکی ، تغییر فاز به شمار می آیند. و تغییر فاز یک تغییر فیزیکی است.

مثال: یک لیوان آب که یک قطعه یخ در آن شناور شده است تشکیل چند فاز می دهد ؟

پاسخ: دو فاز : آب یک فاز ، قطعه یخ یک فاز

مثال: یک لیوان که در آن مقداری روغن وجود دارد و تکه ای یخ در آن شناور است چند فاز را تشکیل می دهد ؟

پاسخ: سه فاز ، آب یک فاز ، روغن یک فاز ، یخ یک فاز

محللول های مایع و اجزای آن ها

هر محللول حداقل از دو جزء تشکیل شده است :

۱. **حلال:** جزئی از محللول است که حل شونده را در خود حل کرده و معمولاً درصد بیش تری از محللول را تشکیل می دهد.

۲. **حل شونده:** جزئی از محللول است که در حلال حل شده و درصد کم تری از محللول را تشکیل می دهد.

به عنوان مثال در محللول آب نمک ، آب حلال و نمک حل شونده است.



نکته: در محلول های جامد در مایع ، جزئی که درصد بیش تری از محلول را تشکیل می دهد ، حلال و جزئی که تغییر حالت می دهد ، حل شونده است. در محلول های مایع در مایع جزئی با درصد بیش تر حلال و بقیه حل شونده هستند.

مثال : آب دریا محلولی است که در آن آب حلال و نمک های مختلف ، حل شونده ها هستند.



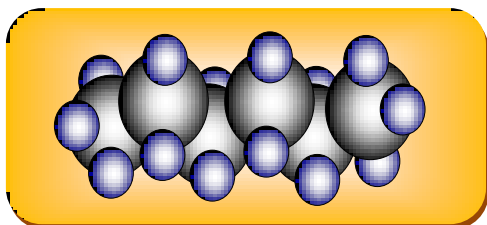
نکته: آب، فراوان ترین و رایج ترین حلال شناخته شده است که می تواند ترکیب های یونی و کووالانسی زیادی را در خود حل کند.

محلول آبی : محلولی است که حلال آن آب است.

محلول غیر آبی (آلی) : محلولی که حلال آن آلی است (غیر آبی) محلول غیر آبی یا محلول آلی نامیده می شود.

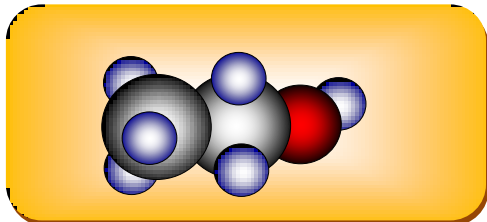
مهم ترین حلال های آلی عبارتند از : هگزان ، اتانول ، استون

هگزان



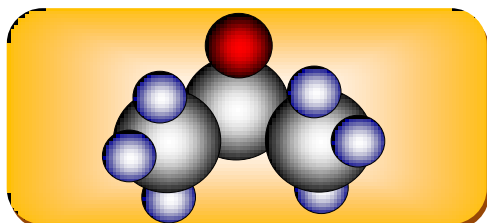
۱. آلکانی ۶ کربنی و فرمول مولکولی آن C_6H_{12} است.
۲. مولکول آن ناقطبی است.
۳. مایعی بی رنگ و فرار است که از نفت خام به دست می آید.
۴. حلال مناسبی برای ترکیب های ناقطبی است.
۵. به عنوان رقیق کننده (تینر) در رنگ های پوششی مورد استفاده قرار می گیرد.

اتانول



۱. پس از آب ، مهم ترین حلال صنعتی است.
۲. فرمول مولکولی آن C_2H_5OH است.
۳. مایع بی رنگ و فراری است که به هر نسبتی در آب حل می شود.
۴. با مولکول های آب پیوند هیدروژنی تشکیل می دهد.
۵. برای ضد عفونی کردن زخم ها و تولید مواد دارویی ، آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد.

استون



۱. فرمول مولکولی آن C_3H_6O است.
۲. مایع بی رنگ و فراری است که به هر نسبتی در آب حل می شود.
۳. حلال مناسبی برای چربی ها ، رنگ ها و انواع لاک هاست.

انحلال پذیری مواد جامد در آب

انحلال پذیری یا قابلیت حل شدن : بیشترین مقدار ماده ای است که در دمای معین در ۱۰۰ گرم آب حل می شود.



محلول سیرنشده: محلولی است که هنوز می تواند مقدار مشخصی حل شونده را در خود حل کند و جایگاه آن زیر منحنی انحلال پذیری است.

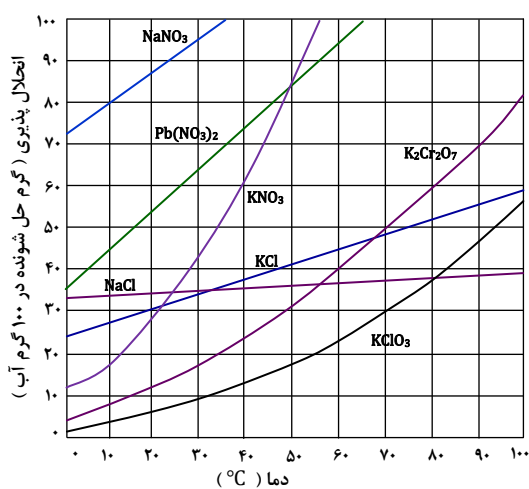
محلول سیرشده: محلولی است که دیگر نمی تواند حل شونده را در خود حل کند و جایگاه آن روی منحنی انحلال پذیری است.

محلول فراسیرشده: محلولی است که بیش از اندازه ی لازم حل شونده را در خود حل کرده و جایگاه آن بالای منحنی انحلال پذیری است.



نکته: اندکی تکان دادن، ضربه زدن یا افزودن بلور کوچکی از ماده ی حل شونده به محلول فراسیرشده، موجب هوشیار شدن محلول و جدا شدن حل شده ی اضافی خواهد شد.

منحنی انحلال پذیری: رابطه ی انحلال پذیری یک ماده به دما را به کمک نموداری نشان می دهند که منحنی انحلال پذیری نامیده می شود.



مثال: اگر بخواهید محلول سیرشده ای از پتاسیم کلرید در دماهای ۰، ۴۰، و ۸۰ درجه ی سلسیوس تهیه کنید، در هر مورد چند گرم KCl را باید در ۱۰۰ گرم آب حل کرد؟

پاسخ: در دمای ۰ درجه: ۲۵ گرم

در دمای ۴۰ درجه: ۳۷ گرم

در دمای ۸۰ درجه: ۵۳ گرم

مثال: تأثیر دما بر انحلال پذیری KCl و KNO₃ را با هم مقایسه کنید؟

پاسخ: در مورد KCl: با افزایش دما، انحلال پذیری افزایش می یابد.

در مورد KNO₃: با افزایش دما، انحلال پذیری با شدت بیش تری

افزایش می یابد.

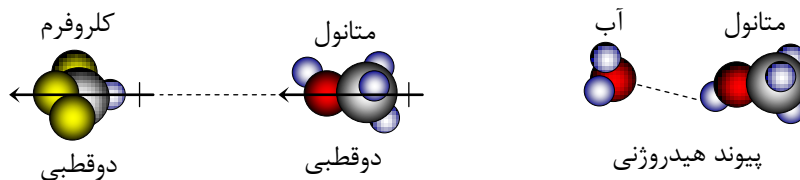
مثال: محلول سیرشده ای از پتاسیم کلرات (KClO₃) در دمای ۸۰ درجه ی

سلسیوس در اختیار دارید. اگر این محلول تا دمای ۰°C سرد شود، چه اتفاقی می افتد؟ آیا در این دما نیز محلول سیر شده است؟

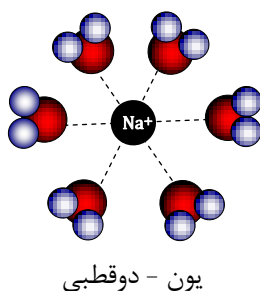
پاسخ: محلول فراسیر شده ای از پتاسیم کلرات در دمای ۰°C به دست می آید.

انواع برهم کنش های بین ذره ای

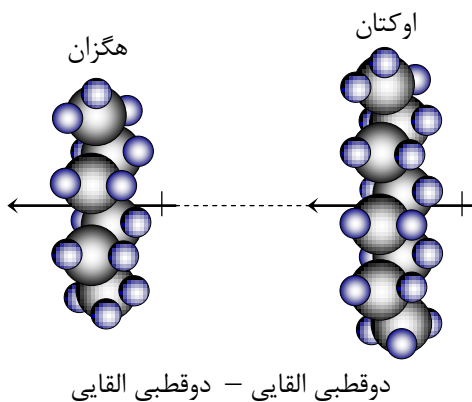
۱. **دوقطبی - دوقطبی:** نیروی بین دو مولکول قطبی از نوع دوقطبی - دوقطبی است.



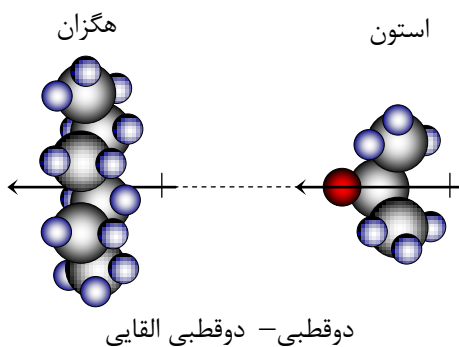
۲. **یون - دوقطبی:** نیروی بین یک یون و یک مولکول دوقطبی از نوع یون - دوقطبی است.



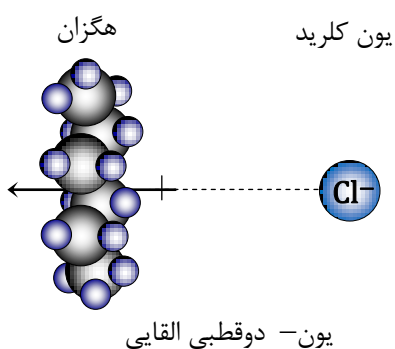
۳. **دوقطبی القایی - دوقطبی القایی** : نیروی بین دو مولکول ناقطبی از نوع دوقطبی القایی - دوقطبی القایی است. این نیرو ، همان نیروی ضعیف واندروالس یا نیروی نشری لاندون می باشد.



۴. **دوقطبی - دوقطبی القایی** : نیروی بین یک مولکول قطبی و یک مولکول ناقطبی از نوع دوقطبی - دوقطبی القایی است.



۵. **یون - دوقطبی القایی** : نیروی بین یک یون و یک مولکول ناقطبی از نوع یون - دوقطبی القایی است.



نکته:

یون - یون < یون - دوقطبی < دوقطبی - دوقطبی (پیوند هیدروژنی)

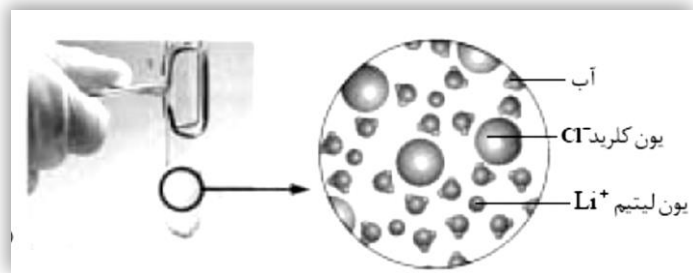
چرا محلول ها به وجود می آیند؟

اغلب با آگاهی از نوع نیروهای جاذبه بین مولکول های حل شونده و حلال می توان انحلال پذیر بودن یا نبودن حل شونده در حلال را پیش بینی کرد. در مورد انحلال باید به این نکته توجه داشت که :

شبيهه ، شبيهه را در خود حل می کند.

با توجه به این نکته ی مهم انحلال مواد زیر را مورد بررسی قرار خواهیم داد :

انحلال لیتیم کلرید (LiCl) در آب



حل شونده: لیتیم کلرید (LiCl) یک ترکیب یونی است و یون های Li^+ و Cl^- در یک شبکه ی بلوری با پیوند یونی به هم ارتباط دارند.

حلال: آب دارای مولکول های قطبی است که در یک سر، جزئی بار مثبت (اتم های H) و در سر دیگر جزئی بار منفی (اتم O) دارد.

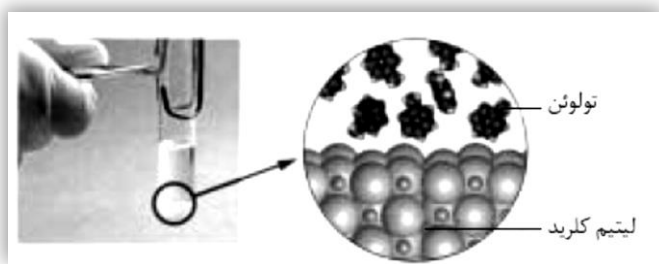
انحلال: هنگام انحلال LiCl در آب جاذبه ای قوی بین یون Cl^- و سر مثبت مولکول های آب ($\text{Cl}^- \dots \text{H}_2\text{O}$) و یون Li^+ با سر منفی مولکول های آب ($\text{H}_2\text{O} \dots \text{Li}^+$) به وجود می آید. این جاذبه ی یون - دوقطبی، انرژی لازم را برای جدا کردن یون های Li^+ و Cl^- از شبکه ی بلور فراهم کرده موجب انحلال لیتیم کلرید در آب می شود.



نکته: ترکیب های یونی و مواد قطبی در یک دیگر حل می شوند. میزان انحلال پذیری ترکیب های یونی به دو عامل بستگی دارد:

۱- نوع یون های سازنده - ۲- ساختار بلوری آن ها

انحلال ناپذیری لیتیم کلرید (LiCl) در تولوئن



حل شونده: لیتیم کلرید (LiCl) یک ترکیب یونی است و یون های Li^+ و Cl^- در یک شبکه ی بلوری با پیوند یونی به هم ارتباط دارند.

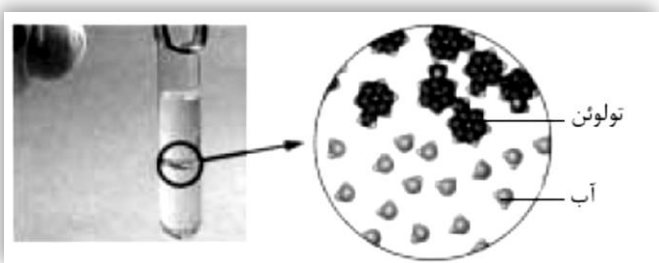
حلال: تولوئن دارای مولکول های ناقطبی است و نوع نیروها، جاذبه ی ضعیف و اندروالسی است که از جمله نیروهای بین مولکولی ضعیف به شمار می آیند.

انحلال ناپذیری: هنگام اختلاط LiCl در تولوئن نیروی جاذبه ای ضعیف بین یون های نمک و مولکول های تولوئن به وجود می آید که قادر به غلبه بر پیوندهای یونی قوی در شبکه ی بلوری LiCl نیست. بنابراین لیتیم کلرید در تولوئن حل نمی شود.



نکته: ترکیب های یونی در مواد ناقطبی حل نمی شوند.

انحلال ناپذیری تولوئن در آب



حل شونده: تولوئن دارای مولکول های ناقطبی است و نوع نیروها، جاذبه ی ضعیف و اندروالسی است که از جمله نیروهای بین مولکولی ضعیف به شمار می آیند.

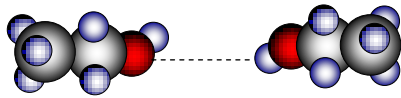
حلال: آب دارای مولکول های قطبی است که در یک سر، جزئی بار مثبت (اتم های H) و در سر دیگر جزئی بار منفی (اتم O) دارد.

انحلال ناپذیری: هنگام اختلاط تولوئن در آب نیروی جاذبه ای ضعیف بین مولکول های آب و مولکول های تولوئن به وجود می آید که قادر به غلبه بر پیوندهای هیدروژنی قوی بین مولکول های آب نیست. بنابراین تولوئن در آب حل نمی شود.

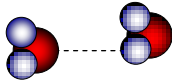


نکته: ترکیب های ناقطبی در مواد قطبی حل نمی شوند.

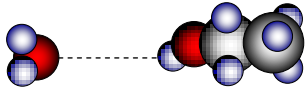
انحلال اتانول در آب



پیوند هیدروژنی در اتانول



پیوند هیدروژنی در آب



پیوند هیدروژنی در اتانول و آب

حل شونده: در اتانول نیروهای بین مولکولی از نوع پیوند هیدروژنی است

که از جمله برهم کنش های دوقطبی - دوقطبی می باشد.

حلال: آب دارای مولکول های قطبی است و نیروهای بین مولکولی در آن

از نوع پیوند هیدروژنی می باشد.

انحلال: هنگام انحلال اتانول در آب پیوندهای هیدروژنی جدیدی بین

مولکول های آب و مولکول های اتانول به وجود می آید که از پیوند

هیدروژنی بین مولکول های آب و پیوند هیدروژنی بین مولکول های اتانول

قوی تر است. و بر پیوندهای هیدروژنی اولیه غلبه کرده و سبب انحلال

اتانول در آب می شود.

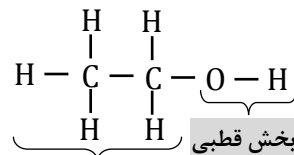


نکته: برخی مولکول ها در ساختار خود یک بخش قطبی و یک بخش ناقطبی دارند و بسته به غلبه ی بخش قطبی یا ناقطبی می

توانند در حلال های قطبی یا ناقطبی حل شوند.

اتانول: در اتانول بر هم کنش های بین مولکولی از سمت بخش قطبی بر بخش ناقطبی غلبه دارد. به همین علت اتانول در آب که مولکول های

قطبی دارد، حل می شود.

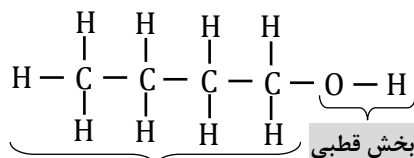


بخش قطبی

بخش ناقطبی

۱- بوتانول: در ۱- بوتانول بر هم کنش های بین مولکولی از سمت بخش ناقطبی بر بخش قطبی غلبه دارد. به همین علت به مقدار کم تری در

آب حل می شود.



بخش قطبی

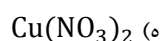
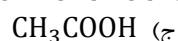
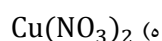
بخش ناقطبی



نکته: در الکل های راست زنجیر هر چه بر طول زنجیر هیدروکربنی افزوده شود، انحلال پذیری آن در آب کم تر می شود. زیرا بخش

ناقطبی بر بخش قطبی غلبه کرده و در حلال های ناقطبی بهتر حل می شود.

مثال: کدام یک از ترکیب های زیر در آب و کدام یک در کربن تتراکلرید حل می شود؟



پاسخ الف) این ترکیب ناقطبی است و در کربن تتراکلرید که ناقطبی است حل می شود.

پاسخ ب) این ترکیب دوقطبی است و در آب که قطبی است حل می شود.

پاسخ ج) این ترکیب دوبخشی بوده و بخش قطبی آن بر بخش ناقطبی غالب است و در مولکول آب که قطبی است حل می شود.

پاسخ د) این ترکیب ناقطبی است و در کربن تتراکلرید که ناقطبی است حل می شود.

پاسخ ه) این ترکیب یونی است و در مولکول آب که قطبی است حل می شود.

تمرین: کدام یک از ترکیب های زیر در آب و کدام یک در هگزان حل می شود؟

الف) $C_6H_{13}OH$ ب) $CH_3 - O - CH_3$ ج) $NaHCO_3$ د) I_2

تمرین: در هر مورد انحلال پذیری کدام ماده در آب بیش تر است؟

الف) بوتانول (C_4H_9OH) یا اتانول (C_2H_5OH) ب) کرین تتراکلرید (CCl_4) یا کلسیم کلرید ($CaCl_2$)
 ج) متان (CH_4) یا آمونیاک (NH_3) د) هگزان (C_6H_{14}) یا هگزانول ($C_6H_{13}OH$)
 ه) هگزان (C_6H_{14}) یا استون ($CH_3 - CO - CH_3$) ز) اتانول (C_2H_5OH) یا اتان تیول (C_2H_5SH)

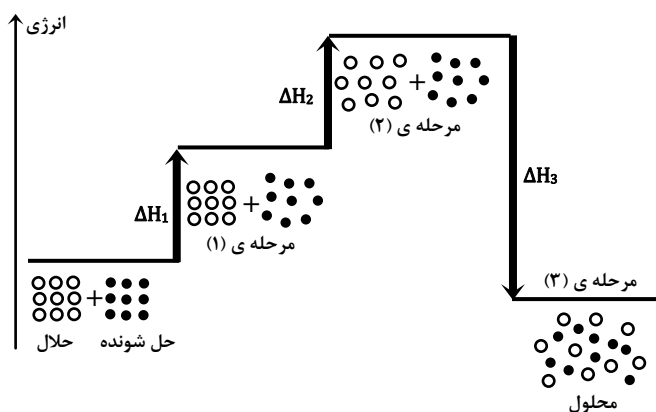
آنتالپی انحلال

فرآیند انحلال با مبادله ی انرژی همراه است. انحلال حل شونده می تواند گرماده یا گرماگیر باشد.

آنتالپی انحلال ($\Delta H_{\text{انحلال}}$): مقدار گرمای مبادله شده هنگام حل شدن یک مول حل شونده در مقدار زیادی حلال را گرمای انحلال یا آنتالپی انحلال می گویند.

انحلال یک ترکیب کووالانسی (مولکولی) در آب

انحلال ترکیب مولکولیز دید مولکولی شامل سه مرحله است که به طور هم زمان روی می دهند:



مرحله ی اول: جدا شدن مولکول های حل شونده از یک دیگر

❖ در این مرحله نیروهای جاذبه میان ذره های ماده ی حل شونده از بین می رود. از این رو مرحله ی اول گرماگیر است.

❖ معادله: $\Delta H_1 > 0$ ماده حل شده \rightarrow ماده حل شونده

مرحله ی دوم: جدا شدن مولکول های حلال (آب) از یک دیگر

❖ در این مرحله نیروهای جاذبه میان ذره های حلال از بین می رود. از این رو مرحله ی دوم نیز گرماگیر است.

❖ معادله: $\Delta H_2 > 0$ حلال (پراکنده شده) \rightarrow حلال + q

مرحله ی سوم: پراکنده شدن همگن مولکول های حل شونده در بین مولکول های آب

❖ در این مرحله میان ذره های ماده ی حل شونده و حلال نیروهای جاذبه به وجود می آید. از این رو مرحله ی سوم گرماده است.

❖ معادله: $\Delta H_3 < 0$ محلول + q \rightarrow حل شونده + حلال

نکته: آنتالپی انحلال با مجموع انرژی های مبادله شده در این سه مرحله برابر است: $\Delta H_{\text{انحلال}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$

انحلال گرماده ($\Delta H_{\text{انحلال}} < 0$): اگر $\Delta H_1 + \Delta H_2 < \Delta H_3$ باشد، آنتالپی انحلال منفی و انحلال گرماده خواهد بود.

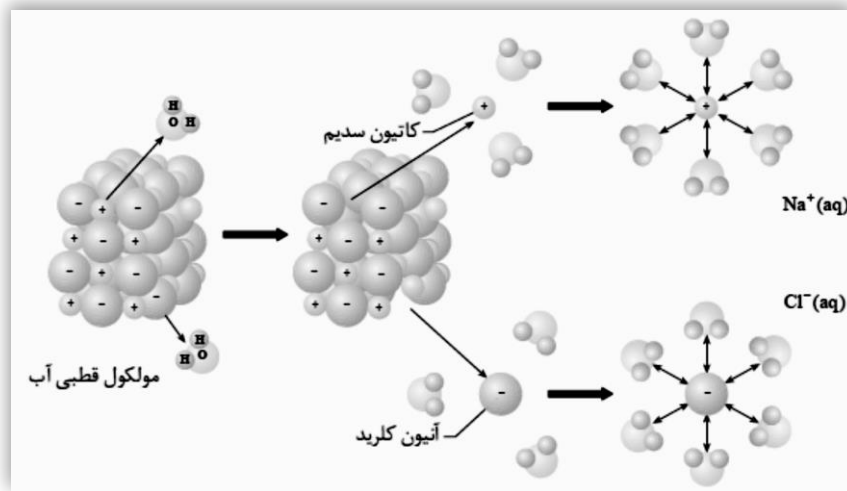
انحلال گرماگیر ($\Delta H_{\text{انحلال}} > 0$) : اگر $\Delta H_1 + \Delta H_2 > \Delta H_3$ باشد ، آنتالپی انحلال مثبت و انحلال گرماگیر خواهد بود.



نکته: در انحلال گرماده، با افزایش دما ، انحلال پذیری کاهش و در انحلال گرماگیر، با افزایش دما، انحلال پذیری افزایش می یابد.

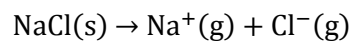
انحلال یک ترکیب یونی (NaCl) در آب

انحلال ترکیب یونی (مانند سدیم کلرید) شامل سه مرحله است که به طور هم زمان روی می دهند :



مرحله ی اول : فروپاشی شبکه ی بلوری NaCl

❖ این مرحله با صرف انرژی همراه است بنابراین گرماگیر است.



❖ معادله : $\Delta H_1 = +786 \text{ KJ. mol}^{-1}$

مرحله ی دوم : جدا شدن مولکول های آب از یک دیگر

❖ این مرحله هم با صرف انرژی همراه است پس گرماگیر است.

مرحله ی سوم : برقراری جاذبه ی قوی بین یون ها (Na^+ , Cl^-) و مولکول های آب

❖ این مرحله گرماده است و طی آن انرژی زیادی آزاد می شود.

مرحله ی آب پوشی : جدا شدن مولکول های آب از یک دیگر و برقراری جاذبه ی قوی با یون های Na^+ , Cl^- را مرحله ی آب پوشی می گویند.

مرحله ی آب پوشی در مجموع گرماده است.



نکته: آنتالپی انحلال با مجموع انرژی شبکه بلوری و انرژی آب پوشی برابر است. $\Delta H_{\text{انحلال}} = \Delta H_{\text{شبكة}} + \Delta H_{\text{آب پوشی}}$



نکته: هر چه بار یک یون بیش تر و شعاع (حجم) آن کوچک تر باشد ، انرژی آب پوشی آن یون بیش تر خواهد بود.

شعاع یونی : $r_{\text{Li}^+} < r_{\text{Na}^+} < r_{\text{K}^+} < r_{\text{Rb}^+} < r_{\text{Cs}^+}$

انرژی آب پوشی : $E_{\text{Li}^+} > E_{\text{Na}^+} > E_{\text{K}^+} > E_{\text{Rb}^+} > E_{\text{Cs}^+}$

در مورد انحلال سدیم کلرید : $\Delta H_{\text{شبكة}} = +786 \text{ KJ. mol}^{-1}$ ، $\Delta H_{\text{آب پوشی}} = -783 \text{ KJ. mol}^{-1}$

پس : $\Delta H_{\text{انحلال}} = \Delta H_{\text{شبكة}} + \Delta H_{\text{آب پوشی}} = +786 + (-783) = +3 \text{ KJ. mol}^{-1}$

آنتروپی انحلال

انحلال سدیم کلرید در آب با وجود گرماگیر بودن به طور خود به خود انجام می شود یعنی عامل انرژی نامساعد است بنابراین باید عامل دیگری بر این انحلال مؤثر باشد که همان عامل آنتروپی یا بی نظمی است.
با به کار بردن قواعد زیر تا حدودی می توان فرآیند انحلال یک ماده را پیش بینی کرد :

۱. حل شدن جامد در مایع با افزایش آنتروپی همراه است:

❖ ذره های جامد آرایش بسیار منظمی دارند و در اثر حل شدن این نظم از بین رفته و با افزایش تحرک ، آزادی عمل بیش تری پیدا می کنند.

۲. حل شدن مایع در مایع با افزایش آنتروپی همراه است :

❖ دو مایع با حل شدن در یک دیگر ، حجم بیش تری پیدا می کنند و در فضای بزرگ تر آزادی عمل و تحرک بیش تری پیدا می کنند.

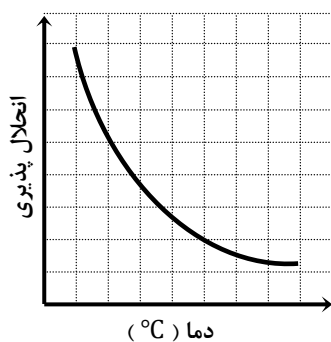
۳. حل شدن گاز در مایع با کاهش آنتروپی همراه است :

❖ در بین ذره های گاز نیروی جاذبه ی ضعیفی وجود دارد و آزادی عمل بیش تری دارند. با حل شدن گاز در مایع ، نیروهای جاذبه ی قوی به وجود آمده ، آزادی عمل و تحرک ذره ها کاهش می یابد.

انحلال	ΔH	ΔS	چگونگی انجام	مثال
گرماده	منفی	مثبت	همواره خود به خود	الکل در آب
گرماده	منفی	منفی	در دمای پایین خود به خود	گاز آمونیاک در آب
گرماگیر	مثبت	مثبت	در دمای بالا خود به خود	آمونیم کلرید در آب
گرماگیر	مثبت	منفی	هرگز	

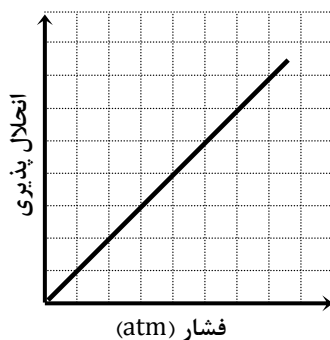
انحلال پذیری گازها در آب

انحلال پذیری گازها در آب به عواملی چون دما ، فشار و نوع گاز بستگی دارد که به بررسی اثر دما و فشار بر انحلال گازها می پردازیم :



اثر دما بر انحلال پذیری گازها در آب: در فشار ثابت انحلال پذیری گازها در آب با دما رابطه ی عکس دارد. یعنی انحلال پذیری گازها با افزایش دما ، کم و با کاهش دما ، افزایش پیدا می کند.

مثال: انحلال پذیری گاز اکسیژن را در آب سرد و گرم با هم مقایسه کنید؟
پاسخ: در آب سرد اکسیژن بیش تری حل می شود زیرا هر چه دما کم تر باشد ، انحلال پذیری گازها در آب بیش تر خواهد بود.



اثر فشار بر انحلال پذیری گازها در آب: در دمای ثابت انحلال پذیری گازها در آب با فشار رابطه ی مستقیم دارد. یعنی انحلال پذیری گازها با افزایش فشار ، افزایش و با کاهش فشار ، کاهش پیدا می کند. این نتیجه گیری را **قانون هنری** می گویند.

مثال: انحلال پذیری گاز اکسیژن را در فشارهای ۱ و ۱۰ اتمسفر با هم مقایسه کنید؟
پاسخ: در فشار ۱۰ اتمسفر اکسیژن بیش تری حل می شود زیرا با افزایش فشار انحلال پذیری گازها در آب افزایش می یابد.

برای پیش بینی انحلال پذیری گازها در آب به نکات زیر توجه کنید :

- گازهایی که قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی با آب باشند به خوبی در آب حل می شوند. مانند گاز آمونیاک (NH_3)
- گازهایی که دارای مولکول قطبی باشند به خوبی در آب حل می شوند. مانند گاز هیدروژن کلرید (HCl)
- برخی گازها با وجود این که مولکول ناقطبی دارند اما با مولکول های آب واکنش داده و در آب حل می شوند. مانند گاز کربن دی اکسید (CO_2)

$$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$$
- گازهایی که مولکول ناقطبی دارند بسیار کم در آب حل می شوند. مانند گاز اکسیژن ، گاز نیتروژن ، گاز هلیوم و ...

پیش بینی انحلال پذیری ترکیب های یونی در آب

با دسته بندی ترکیب های یونی به محلول و نامحلول می توان به طور کیفی و به کمک چند قاعده ی ساده انحلال پذیری نمک های جامد را در آب پیش بینی کرد :

عمدتاً در آب محلول هستند	گونه ها
تمام نیترات ها محلول هستند.	نیترات ها (NO_3^-)
تمام استات ها محلول هستند.	استات ها ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$)
تمام کلرات ها محلول هستند.	کلرات ها (ClO_3^-)
تمام کلریدها محلول هستند به جز PbCl_2 , Hg_2Cl_2 , AgCl .	کلریدها (Cl^-)
تمام برومیدها محلول هستند به جز Hg_2Br_2 , PbBr_2 , AgBr .	برومیدها (Br^-)
تمام یدیدها محلول هستند به جز Hg_2I_2 , PbI_2 , AgI .	یدیدها (I^-)
تمام سولفات ها محلول هستند به جز Ag_2SO_4 , Hg_2SO_4 , PbSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 .	سولفات ها (SO_4^{2-})
عمدتاً در آب نامحلول هستند	گونه ها
تمام سولفیدها نامحلول هستند به جز سولفید عناصر گروه IIA, IA و نیز $(\text{NH}_4)_2\text{S}$.	سولفیدها (S^{2-})
تمام اکسیدها نامحلول هستند به جز اکسید فلزهای گروه IA و CaO , BaO , SrO .	اکسیدها (O^{2-})
تمام کربنات ها نامحلول هستند به جز کربنات عناصر گروه IA و نیز $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.	کربنات ها (CO_3^{2-})
تمام سولفیت ها نامحلول هستند به جز سولفیت عناصر گروه IA و نیز $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$.	سولفیت ها (SO_3^{2-})
تمام فسفات ها نامحلول هستند به جز فسفات عناصر گروه IA و نیز $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$.	فسفات ها (PO_4^{3-})
تمام هیدروکسیدها نامحلول هستند به جز هیدروکسید عناصر گروه IA و $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Sr}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$.	هیدروکسیدها (OH^-)

مثال : ترکیب های یونی زیر را در دو دسته ی محلول و نامحلول قرار دهید :

ترکیب ها : PbS , BaCl_2 , $\text{Cr}(\text{OH})_3$, CuBr , Na_2S , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, PbI_2 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, Ag_2SO_4 , CuO , K_2CO_3 , HgCl_2

محلول : BaCl_2 , CuBr , Na_2S , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2CO_3 , HgCl_2

نامحلول : PbS , $\text{Cr}(\text{OH})_3$, PbI_2 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, Ag_2SO_4 , CuO

غلظت و روش های بیان آن

غلظت یک محلول به صورت مقدار ماده ی حل شونده در مقدار معینی حلال تعریف می شود. از آن جا که بسیاری از واکنش های شیمیایی در حالت محلول انجام می شوند و مبنای محاسبات کمی در محلول ها ، غلظت آن هاست لذا لازم است با غلظت و روش های دیگر آن آشنا شویم. برای بیان غلظت محلول ها روش های گوناگونی وجود دارد که در زیر به شرح آن ها می پردازیم :

۳- درصد حجمی

۲- غلظت ppm

۱- درصد جرمی

۶- غلظت مولال

۵- غلظت مولار

۴- غلظت معمولی

درصد جرمی : مقدار گرم ماده ی حل شونده در صد گرم محلول را درصد جرمی می گویند



نکته: برای محاسبه ی درصد جرمی از رابطه ی زیر استفاده می کنند : $\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100$

در این رابطه : $\text{جرم حل شونده} + \text{جرم حلال} = \text{جرم محلول}$

مثال : مفهوم عبارت « سدیم کلرید ۰/۹ درصد » را بیان کنید؟

پاسخ : در هر ۱۰۰ گرم از این محلول ۰/۹ گرم سدیم کلرید وجود دارد و ۹۹/۱ گرم آن آب است.

مثال : ۱/۴۵ گرم نقره نیترات در ۴/۵۵ گرم آب حل شده است. درصد جرمی نقره نیترات را در این محلول حساب کنید؟

پاسخ : $1.45 \text{ g} + 4.55 \text{ g} = 6 \text{ g}$ = جرم محلول

ادامه : $\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم حلال}} \times 100 = \frac{1.45 \text{ g}}{6 \text{ g}} \times 100 = 24.16 \%$

مثال : محلول ۸۰ درصد جرمی استیک اسید موجود است. در ۲۵ گرم از این محلول چند گرم استیک اسید حل شده است؟

پاسخ : $20 \text{ g} = \text{جرم استیک اسید} \Rightarrow \frac{\text{جرم استیک اسید}}{25 \text{ g}} \times 100 = 80 \Rightarrow \text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم حلال}} \times 100$

مثال : در ۸۰ گرم از محلول ۸ درصد جرمی پتاسیم نیترات چند گرم پتاسیم نیترات وجود دارد؟

پاسخ : $6.4 \text{ g} = \text{جرم پتاسیم نیترات} \Rightarrow \frac{\text{جرم پتاسیم نیترات}}{80 \text{ g}} \times 100 = 8 \Rightarrow \text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم حلال}} \times 100$

مثال : محلول ۵٪ جرمی سدیم نیترات تهیه شده است. در ۲۰ گرم از این محلول چند گرم سدیم نیترات وجود دارد؟

پاسخ : $1 \text{ g} = \text{جرم سدیم نیترات} \Rightarrow \frac{\text{جرم سدیم نیترات}}{20 \text{ g}} \times 100 = 5 \Rightarrow \text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم حلال}} \times 100$

تمرین : در ۲۵ گرم از محلول ۹۰ درصد جرمی پتاسیم کلرید ، چند گرم KCl وجود دارد ؟

تمرین : ۲/۸۸ گرم سدیم کلرات در ۷/۱۲ گرم آب حل شده است. درصد جرمی سدیم کلرات را در این محلول حساب کنید؟

تمرین : در چند گرم از محلول ۸۰ درصد جرمی پتاسیم کلرید ، ۶/۴ گرم KCl وجود دارد ؟

غلظت بر حسب ppm : برای محلول های بسیار رقیق ، جرم ماده ی حل شونده آن قدر ناچیز است که معمولاً به جای درصد ، غلظت بر حسب

قسمت در میلیون (ppm) بیان می شود :

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6$$

موارد کاربرد غلظت ppm :

۱. تعیین مقادیر بسیار کم کاتیون ها و آنیون ها در آب دریا ، بدن جانداران ، بافت های گیاهی

۲. تعیین میزان آلاینده های هوا



نکته: بین درصد جرمی و ppm رابطه ی مقابل وجود دارد : $\text{ppm} = \text{درصد جرمی} \times 10^4$

مثال : اگر در ۲۰۰۰ گرم از محلولی ۰/۰۱ گرم یون منیزیم وجود داشته باشد ، غلظت آن را بر حسب ppm حساب کنید ؟

پاسخ : $\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6 = \frac{0.01 \text{ g}}{2000 \text{ g}} \times 10^6 = 5 \text{ ppm}$

مثال : مقدار جیوه ی موجود در آب آشامیدنی نباید بیش تر از 4×10^{-7} گرم در هر گرم آب باشد، غلظت آن را بر حسب ppm حساب کنید ؟

پاسخ : $\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6 = \frac{4 \times 10^{-7} \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 10^6 = 0.4 \text{ ppm}$

درصد حجمی: مقدار حجم ماده ی حل شونده در صد لیتر محلول را درصد حجمی می گویند.



$$\text{درصد حجمی} = \frac{\text{حجم حل شونده}}{\text{حجم محلول}} \times 100$$

نکته: برای محاسبه ی درصد جرمی از رابطه ی مقابل استفاده می کنند:

در این رابطه: $\text{حجم حل شونده} + \text{حجم حلال} = \text{حجم محلول}$

مثال: در ۸۴ میلی لیتر محلول ۲۰ درصد حجمی متانول چند میلی لیتر آب وجود دارد؟

$$\text{پاسخ: } 16.8 \text{ mL} = \text{حجم متانول} \Rightarrow 20 = \frac{\text{حجم متانول}}{84} \times 100 \Rightarrow 20 = \frac{\text{حجم متانول}}{\text{حجم محلول}} \times 100$$

ادامه: $67.2 \text{ mL} = \text{حجم آب} \Rightarrow 84 = 16.8 + \text{حجم آب} \Rightarrow \text{حجم آب} = 67.2 \text{ mL}$

مثال: محلول ۲۵ درصد حجمی اتانول - آب در اختیار دارید. اگر در این محلول ۱۶ گرم اتانول وجود داشته باشد، حجم محلول چقدر است؟
($d_{\text{Etanol}} = 0.8 \text{ g/mL}$)

$$\text{پاسخ: } 20 \text{ mL Et} = 16 \text{ g Et} \times \frac{1 \text{ mL Et}}{0.8 \text{ g Et}}$$

$$\text{ادامه: } 80 \text{ mL} = \text{حجم محلول} \Rightarrow 25 = \frac{20}{\text{حجم محلول}} \times 100 \Rightarrow 25 = \frac{\text{حجم اتانول}}{\text{حجم محلول}} \times 100$$

مثال: درصد حجمی استون در محلولی شامل ۲۵ میلی لیتر استون و ۷۵ میلی لیتر آب را محاسبه کنید؟

$$\text{پاسخ: } 25 \% = \frac{25}{75+25} \times 100 = \frac{\text{حجم استون}}{\text{حجم محلول}} \times 100 = \text{درصد حجمی}$$

تمرین: درصد حجمی اتانول را در محلولی شامل ۱۲۵ میلی لیتر اتانول و ۷۵ میلی لیتر آب مشخص کنید؟

تمرین: در ۶۰ میلی لیتر محلول ۷۵ درصد حجمی متانول در آب چند میلی لیتر متانول و چند میلی لیتر آب وجود دارد؟

تمرین: در محلول ۹۰ درصد حجمی استون در آب، چند میلی لیتر استون در ۶۰ میلی لیتر محلول وجود دارد؟

غلظت معمولی: جرم ماده ی حل شونده بر حسب گرم در یک لیتر محلول را غلظت معمولی می گویند و یکای آن g/L است.



$$\text{غلظت معمولی} = \frac{\text{جرم حل شونده بر حسب گرم}}{\text{حجم محلول بر حسب لیتر}}$$

نکته: برای محاسبه ی غلظت معمولی از رابطه ی مقابل استفاده می کنند:

در این رابطه: $\text{حجم حل شونده} + \text{حجم حلال} = \text{حجم محلول}$

مثال: در ۲۰ میلی لیتر محلول سدیم هیدروکسید، ۰/۲ گرم NaOH وجود دارد. غلظت معمولی این محلول را حساب کنید؟

$$\text{پاسخ: } 0.02 \text{ L} = 20 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = \text{L Mah NaOH}$$

$$\text{ادامه: } 10 \text{ g/L} = \frac{0.2 \text{ g NaOH}}{0.02 \text{ L NaOH}} = \frac{\text{جرم حل شونده بر حسب گرم}}{\text{حجم محلول بر حسب لیتر}} = \text{غلظت معمولی}$$

مثال: در ۱۰۰ میلی لیتر محلول نقره نیترات، ۰/۸ گرم AgNO₃ وجود دارد. غلظت معمولی این محلول را حساب کنید؟

$$\text{پاسخ: } 0.1 \text{ L} = 100 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = \text{L Mah AgNO}_3$$

$$\text{ادامه: } 8 \text{ g/L} = \frac{0.8 \text{ gAgNO}_3}{0.1 \text{ LAgNO}_3} = \frac{\text{جرم حل شونده بر حسب گرم}}{\text{حجم محلول بر حسب لیتر}} = \text{غلظت معمولی}$$

تمرین: غلظت معمولی محلولی از پتاسیم نیترات ۸/۴ گرم بر لیتر است. ۴۲ گرم پتاسیم نیترات در چند میلی لیتر از این محلول وجود دارد؟

تمرین: ۳۰ گرم پتاسیم کلرید در محلول ۵ گرم بر لیتر آن وجود دارد. حجم محلول بر حسب لیتر چقدر است؟

تمرین: غلظت معمولی محلولی از سدیم کلرید را به دست آورید که ۴/۵ گرم سدیم کلرید در ۱۸۰ میلی لیتر محلول حل شده است؟

غلظت مولار (غلظت مولی یا مولاریته) : تعداد مول های ماده ی حل شونده در یک لیتر محلول را غلظت مولار می گویند و آن را با نماد M نشان می دهند و یکای آن mol/L است.



نکته: برای محاسبه ی غلظت مولار از رابطه ی مقابل استفاده می کنند :

$$\text{غلظت مولار (M)} = \frac{\text{مول حل شونده (n)}}{\text{حجم محلول بر حسب لیتر (V)}}$$

در این رابطه : $\text{حجم حل شونده} + \text{حجم حلال} = \text{حجم محلول}$

مثال : در ۲۰ میلی لیتر محلول سدیم هیدروکسید ، ۰/۴ گرم NaOH وجود دارد. غلظت مولار محلول را حساب کنید؟
 $H=1, O=16, Na=23$

پاسخ : حجم محلول را به لیتر و جرم حل شونده را به مول تبدیل کرده در رابطه جاگذاری کنید:

$$? \text{ L Mah NaOH} = 20 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 0.02 \text{ L} \quad \text{ادامه :}$$

$$? \text{ mol NaOH} = 0.4 \text{ g NaOH} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40 \text{ g NaOH}} = 0.01 \text{ mol NaOH} \quad \text{ادامه :}$$

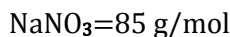
$$M = \frac{n}{V} = \frac{0.01 \text{ mol NaOH}}{0.02 \text{ L NaOH}} = 0.5 \text{ mol/L} \quad \text{ادامه :}$$

مثال : در ۲۰ لیتر محلول نقره نیترات ، ۳/۴ گرم $AgNO_3$ وجود دارد. غلظت مولار محلول را حساب کنید؟
 $AgNO_3=170 \text{ g/mol}$

$$? \text{ mol } AgNO_3 = 3.4 \text{ g } AgNO_3 \times \frac{1 \text{ mol } AgNO_3}{170 \text{ g } AgNO_3} = 0.02 \text{ mol } AgNO_3 \quad \text{پاسخ :}$$

$$M = \frac{n}{V} = \frac{0.02 \text{ mol } AgNO_3}{20 \text{ L } AgNO_3} = 0.001 \text{ mol/L} \quad \text{ادامه :}$$

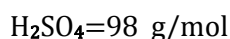
مثال : ۴۲/۵ گرم سدیم نیترات در ۸۰ میلی لیتر محلول سدیم نیترات حل شده است. مولاریته ی محلول را حساب کنید؟



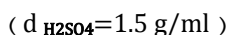
$$? \text{ mol } NaNO_3 = 42.5 \text{ g } NaNO_3 \times \frac{1 \text{ mol } NaNO_3}{85 \text{ g } NaNO_3} = 0.5 \text{ mol } NaNO_3 \quad \text{پاسخ :}$$

$$M = \frac{n}{V} = \frac{0.5 \text{ mol } NaNO_3}{0.08 \text{ L } NaNO_3} = 6.25 \text{ mol/L} \quad \text{ادامه :}$$

مثال : برای تهیه ی ۱۵۰ میلی لیتر محلول سولفوریک اسید ۲ مولار :



(الف) چند گرم سولفوریک اسید غلیظ ۸۰ درصد جرمی لازم است؟



(ب) چند میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ لازم است؟

$$M = \frac{n}{V} \Rightarrow 2 = \frac{n \text{ mol } H_2SO_4}{0.15 \text{ L } H_2SO_4} \Rightarrow n \text{ mol } H_2SO_4 = 0.3 \text{ mol } H_2SO_4 \quad \text{پاسخ (الف) روش اول :}$$

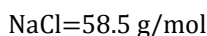
$$? \text{ g } H_2SO_4 = 0.3 \text{ mol } H_2SO_4 \times \frac{98 \text{ g } H_2SO_4}{1 \text{ mol } H_2SO_4} = 29.4 \text{ g } H_2SO_4 \quad \text{ادامه :}$$

$$\text{ادامه : } H_2SO_4 = 36.75 \text{ g } H_2SO_4 = \frac{29.4}{80} \times 100 \Rightarrow 80 = \frac{29.4}{\text{جرم سولفوریک اسید ناخالص}} \times 100 \Rightarrow \text{جرم سولفوریک اسید خالص} = \text{درصد خلوص}$$

$$? \text{ g } H_2SO_4 = 150 \text{ mL } H_2SO_4 \times \frac{2 \text{ mol } H_2SO_4}{1000 \text{ mL } H_2SO_4} \times \frac{98 \text{ g } H_2SO_4}{1 \text{ mol } H_2SO_4} \times \frac{100 \text{ g } H_2SO_4}{80 \text{ g } H_2SO_4} = 36.75 \text{ g } H_2SO_4 \quad \text{پاسخ (الف) روش دوم :}$$

$$? \text{ mL } H_2SO_4 = 36.75 \text{ g } H_2SO_4 \times \frac{1 \text{ mL } H_2SO_4}{1.5 \text{ g } H_2SO_4} = 24.5 \text{ mL } H_2SO_4 \quad \text{پاسخ (ب)}$$

تمرین : در ۵۰۰ میلی لیتر محلول سدیم کلرید، ۵/۸۵ گرم سدیم کلرید وجود دارد. مولاریته ی محلول را حساب کنید؟



تمرین : در ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۲۵ مولار سدیم سولفات ، چند گرم سدیم سولفات وجود دارد؟
 $Na_2SO_4=142 \text{ g/mol}$

تمرین : در ۴۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۲ مولار نقره نیترات ، چند گرم از این ماده وجود دارد؟
 $AgNO_3=170 \text{ g/mol}$

غلظت مولال (مولالیتة) : تعداد مول های ماده ی حل شونده در یک کیلوگرم حلال را غلظت مولال می گویند و یکای آن mol/Kg است.



نکته: برای محاسبه ی غلظت مولال از رابطه ی مقابل استفاده می کنند :

$$\text{غلظت مولال} = \frac{\text{مول حل شونده (n)}}{\text{جرم حلال بر حسب کیلوگرم (m)}}$$

مثال : مقدار ۸۰ گرم سدیم هیدروکسید را در ۲۰۰ گرم آب حل کرده اند. مولالیتة ی محلول را محاسبه کنید؟ $\text{NaOH} = 40 \text{ g/mol}$
 پاسخ: $2 \text{ mol NaOH} = 80 \text{ g NaOH} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40 \text{ g NaOH}}$

ادامه : $0.2 \text{ Kg H}_2\text{O} = 200 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ Kg H}_2\text{O}}{1000 \text{ g H}_2\text{O}}$

ادامه: $10 \text{ molal} = \frac{n}{m} = \frac{2 \text{ mol NaOH}}{0.2 \text{ Kg H}_2\text{O}} = 10 \frac{\text{mol}}{\text{Kg}}$ or 10 molal

مثال : در ۲۰ گرم آب ، ۰/۴ گرم NaOH حل شده است. غلظت مولال محلول را حساب کنید؟ $\text{NaOH} = 40 \text{ g/mol}$
 پاسخ : $0.01 \text{ mol NaOH} = 0.4 \text{ g NaOH} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40 \text{ g NaOH}}$

ادامه : $0.02 \text{ Kg H}_2\text{O} = 20 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ Kg H}_2\text{O}}{1000 \text{ g H}_2\text{O}}$

ادامه : $0.5 \text{ mol/Kg} = \frac{n}{m} = \frac{0.01 \text{ mol NaOH}}{0.02 \text{ Kg H}_2\text{O}} = 0.5 \text{ mol/Kg}$ or 0.5 molal



نکته: تغییر دما بر مقدار غلظت معمولی و غلظت مولال محلول ها مؤثر است اما بر درصد جرمی و غلظت مولال اثری ندارد. زیرا تغییر دما موجب تغییر حجم می شود در حالی که بر جرم تأثیری ندارد. و درصد جرمی و غلظت مولال مستقل از حجم هستند.

تمرین : در ۸۰ گرم آب ، ۸ گرم NaOH حل شده است. غلظت مولال محلول را حساب کنید؟

تمرین : اگر درصد جرمی محلولی از سولفوریک اسید برابر ۴۹ باشد ، مولالیتة ی محلول را حساب کنید؟ $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98 \text{ g/mol}$

محلول های الکترولیت و غیر الکترولیت

محلول های آبی دارای یون ، جریان برق را از خود عبور می دهند. آب خالص به مقدار بسیار کم به یون تفکیک می شود و رسانایی الکتریکی ضعیفی دارد. محلول ها را از نظر تفکیک یا عدم تفکیک به یون به دو دسته طبقه بندی می کنند :

۱. الکترولیت
۲. غیر الکترولیت

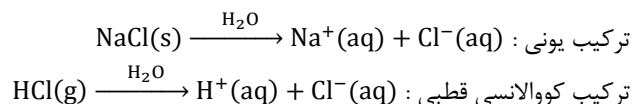
الکترولیت ها : موادی هستند که در آب به طور کامل یا به مقدار کم به یون تفکیک می شوند.

مانند $\text{HCl}, \text{NaCl}, \text{KCl}, \text{NaOH}, \dots$

محلول الکترولیت : محلول آبی مواد الکترولیت را محلول الکترولیت می گویند که کم و بیش رسانای جریان برق هستند.



نکته: بیش تر محلول هایی که از حل کردن ترکیب های یونی یا کووالانسی قطبی در آب به دست می آیند ، الکترولیت هستند.



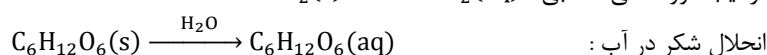
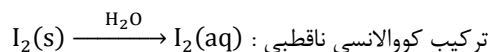
غیر الکترولیت ها : موادی هستند که در آب به صورت مولکولی حل می شوند و بر اثر انحلال یون تولید نمی کنند.

مانند CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, CH_4 , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, I_2 , ...

محلول غیر الکترولیت : محلول آبی مواد غیر الکترولیت را محلول غیر الکترولیت می گویند که رسانای جریان برق نیست.



نکته: محلول هایی که از حل کردن ترکیب های کووالانسی ناقطبی در آب یا حلال های ناقطبی حاصل می شوند ، غیر الکترولیت هستند...



الکترولیت ها از نظر رسانایی الکتریکی به دو دسته تقسیم می شوند :

۱. **الکترولیت ضعیف:** الکترولیت هایی هستند که هنگام انحلال در آب به طور عمده به صورت مولکولی حل شده ، تعداد کمی از مولکول های حل شده

آن ها یونیده می شوند.

- اسیدهای ضعیف مانند ... CH_3COOH , HF , HCN
- بازهای ضعیف مانند ... NH_3

۲. **الکترولیت قوی:** الکترولیت هایی هستند که هنگام انحلال در آب به طور کامل تفکیک یا یونیده می شوند.

- اسیدهای قوی مانند ... HCl , H_2SO_4 , HNO_3
- بازهای قوی مانند ... NaOH , KOH , $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- نمک ها مانند ... NaCl , KCl , KNO_3

مثال : از میان ترکیب های آمونیاک ، هیدروژن فلئوئورید ، کلسیم سولفات ، کروم (III) نیترات ، پتاسیم نیترات ، گلوکز ، ید :

(الف) کدام الکترولیت و کدام غیر الکترولیت است؟

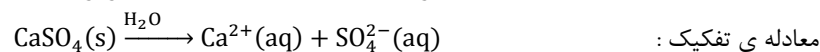
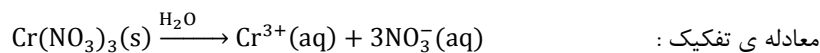
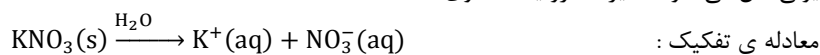
(ب) کدام الکترولیت قوی و کدام الکترولیت ضعیف است؟

(پ) در میان الکترولیت های قوی کدام یک رسانای خوب جریان برق است؟

پاسخ (الف) ید و گلوکز غیر الکترولیت هستند. زیرا در آب به صورت مولکولی حل شده و یون تولید نمی کنند.

آمونیاک ، پتاسیم نیترات ، هیدروژن فلئوئورید ، کروم (III) نیترات ، کلسیم سولفات الکترولیت هستند. زیرا موقع انحلال در آب به طور کامل یا کم به یون تفکیک می شوند.

پاسخ (ب) در میان الکترولیت ها آمونیاک و هیدروژن فلئوئورید الکترولیت ضعیف هستند زیرا به طور عمده به صورت مولکولی و کمی به صورت یونی حل می شوند. سایر الکترولیت ها قوی هستند.



پاسخ (پ) محلول پتاسیم نیترات و کروم (III) نیترات رسانای خوب جریان برق هستند زیرا این ترکیب ها در آب محلول هستند. اگر چه کلسیم سولفات یک الکترولیت قوی است ، اما چون انحلال پذیری کمی در آب دارد ، محلول آن رسانای خوب جریان برق نیست.



نکته: رسانایی الکتریکی کروم (III) نیترات بهتر از پتاسیم نیترات است زیرا از حل شدن آن چهار مول یون تولید می شود.

تمرین : معادله ی تفکیک یونی هر یک از ترکیب های یونی زیر را در آب بنویسید:

- | | | | |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| (الف) KBr | (ب) $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ | (ج) Na_2CO_3 | (د) $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ |
| (و) KNO_3 | (ز) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | (ح) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ | (ط) NaClO_3 |

درصد تفکیک یونی

برای مقایسه ی تمایل تفکیک الکترولیت ها به یون ، هنگام حل شدن در آب یا حلال های قطبی دیگر از مفهوم درصد تفکیک یونی استفاده می شود :

$$\text{درصد تفکیک یونی} = \frac{\text{تعداد مول های تفکیک شده}}{\text{تعداد کل مول های حل شونده}} \times 100$$



نکته: درصد تفکیک یونی غیر الکترولیت ها صفر و درصد تفکیک یونی الکترولیت های قوی ۱۰۰ می باشد. در حالی که درصد تفکیک یونی الکترولیت های ضعیف بین صفر و ۱۰۰ است.



نکته: درصد تفکیک یونی به دما و غلظت بستگی دارد و با افزایش دما و کاهش غلظت ، افزایش می یابد.



نکته: میزان رسانایی الکتریکی الکترولیت ها به دو عامل بستگی دارد :

۱. درصد تفکیک یونی

۲. میزان انحلال پذیری

مثال : در دمای ۲۰ درجه ی سلسیوس غلظت یون H^+ محلول 0.1 mol.L^{-1} فرمیک اسید ($HCOOH$) برابر $4.21 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ است. درصد تفکیک یونی این اسید را محاسبه کنید؟

$$\text{درصد تفکیک یونی} = \frac{\text{تعداد مول های تفکیک شده}}{\text{تعداد کل مول های حل شونده}} \times 100$$

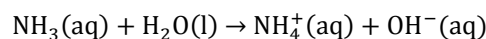
$$\text{درصد تفکیک یونی} = \frac{4.21 \times 10^{-3}}{0.1} \times 100 = 4.21\%$$

مثال : اگر در دمای ۲۰ درجه ی سلسیوس درصد تفکیک یونی محلول 0.2 mol.L^{-1} استیک اسید (CH_3COOH) برابر 93.5% باشد ، غلظت مولی H^+ را در این محلول محاسبه کنید؟

$$\text{درصد تفکیک یونی} = \frac{\text{تعداد مول های تفکیک شده}}{\text{تعداد کل مول های حل شونده}} \times 100$$

$$0.935 = \frac{H^+}{0.2} \times 100 \Rightarrow H^+ = \frac{0.935 \times 0.2}{100} = 1.87 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

تمرین : آمونیاک یک الکترولیت ضعیف است و طبق معادله ی زیر در آب تفکیک می شود :



معادله ی تفکیک :

در دمای ۲۵ درجه ، غلظت یون OH^- در محلول 0.1 mol.L^{-1} آمونیاک برابر $4.2 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ است. درصد تفکیک یونی الکترولیت را حساب کنید؟

تمرین : در محلولی از هیدروفلوئوریک اسید ، از هر 1000 مولکول HF تعداد 80 مولکول به صورت یون تفکیک می شود. درصد تفکیک یونی HF را حساب کنید؟

خواص کولیگاتیو محلول ها

حل شونده ی غیر فرار : ماده ای است که در دمای اتاق فشار بخار بسیار ناچیزی داشته باشد. شامل جامدها یا مایع های با دمای جوش بالا هستند.



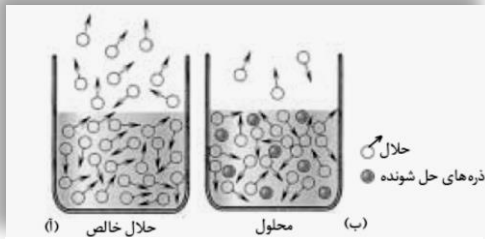
نکته: مایع فرار ، مایعی است که دمای جوش آن کم تر از 100°C باشد.

خواص کولیگاتیو : خواصی از ماده را که به تعداد ذره های حل شونده ی غیر فرار موجود در محلول بستگی دارند ، خواص کولیگاتیو می گویند. فشار بخار ، نقطه ی جوش ، نقطه ی انجماد ، فشار اسمزی و ... خواص کولیگاتیو هستند.



نکته: خواص کولیگاتیو ، به نوع و خواص شیمیایی ذره ها بستگی ندارد و تنها به تعداد ذره های موجود در محلول وابسته است.

فشار بخار محلول ها



حلال خالص (ا) ، محلول (ب) . محلول دارای ماده ی حل شونده ی غیر فرار

اگر در یک بشر مقداری آب بریزید ، آب به تدریج بخار شده سطح آب درون بشر پایین می آید. سرعت تبخیر سطحی هر مایع به تعداد مولکول های موجود در سطح مایع بستگی دارد و با آن متناسب است. در شکل (آ) تعداد مولکول های حلال در سطح مایع بیشتر و سرعت تبخیر سطحی بیشتر است. مولکول های بخار شده به دیواره های ظرف ، مولکول های هوا و سطح مایع برخورد کرده ، فشاری به اطراف خود وارد می کند. به فشار ایجاد شده ، **فشار بخار مایع** می گویند. در این حالت فشار بخار

زیاد است. در حالی که در شکل (ب) تعدادی از ذره های حل شونده ی غیر فرار جای مولکول های حلال را در سطح می گیرند ، تعداد مولکول های موجود در سطح مایع کاهش یافته ، سرعت تبخیر سطحی کم می شود. در این حالت فشار بخار ایجاد شده کم تر خواهد بود. **فشار بخار :** فشار ناشی از حضور مولکول های بخار در بالای سطح مایع را فشار بخار مایع می گویند.



نکته: مایع ها در هر دمایی تبخیر می شوند. اما در دماهای بالاتر سرعت تبخیر سطحی بیشتر تر از دماهای پایین تر است.

سرعت تبخیر هر مایع به دو عامل بستگی دارد :

- ۱) **دما :** هر چه دما بالاتر باشد ، انرژی جنبشی مولکول ها بیشتر تر شده ، سرعت تبخیر نیز افزایش می یابد.
- ۲) **نیروی جاذبه ی بین مولکولی :** هر چه نیروی بین مولکولی مایع کم تر باشد ، سرعت تبخیر سطحی در دمای معین بیشتر تر خواهد بود.



نکته: در دمای ثابت ، حل شدن یک حل شونده ی غیر فرار در یک مایع موجب کاهش فشار بخار محلول در مقایسه با حلال خالص

می شود.

مثال : فشار بخار آب خالص ، محلول دو مولال و چهار مولال شکر را مقایسه کنید؟

پاسخ : فشار بخار آب خالص بیشتر تر از محلول دو مولال و آن هم بیشتر تر از محلول چهار مولال شکر است. زیرا فشار بخار تنها به تعداد ذره ها بستگی دارد. با افزایش تعداد ذره های حل شونده ی غیر فرار ، فشار بخار کاهش می یابد.

تمرین ۱ : فشار بخار محلول یک مولال شکر و محلول یک مولال نمک طعام را مقایسه کنید؟

تمرین ۲ : فشار بخار محلول یک مولال سدیم کلرید و کلسیم کلرید را با هم مقایسه کنید؟

نقطه ی جوش محلول ها

جوشیدن زمانی روی می دهد که فشار بخار مایع با فشار هوای روی سطح مایع (فشار محیط) برابر شود. آب خالص در فشار یک اتمسفر در 100°C به جوش می آید.

سؤال : چرا نقطه ی جوش محلول شکر در آب یا محلول نمک در آب بیش تر از آب خالص است؟

پاسخ : از آن جا که فشار بخار محلول شکر در آب کم تر از آب خالص است ، بنابراین برای رساندن فشار بخار این محلول به فشار یک اتمسفر، مولکول های آب باید از قسمت های زیرین به سطح بیایند و به مولکول های موجود در سطح محلول ملحق شوند. از آن جا که این مولکول ها درون محلول قرار دارند لذا تحرک کم تری دارند و برای تبخیر آن ها انرژی بیش تری لازم است. به همین دلیل نقطه ی جوش محلول نسبت به حلال خالص ، افزایش می یابد.



نکته: حل شدن یک حل شونده ی غیر فرار در مایع موجب افزایش نقطه ی جوش محلول در مقایسه با حلال خالص می شود.



نکته: نقطه ی جوش یک محلول بر خلاف حلال خالصی جوشیدن ثابت نمی ماند و افزایش می یابد. زیرا با گذشت زمان حلال به تدریج بخار شده ، بر غلظت حل شونده (افزایش تعداد ذره های حل شونده) افزوده می شود.

نقطه ی انجماد محلول ها

آب خالص در دمای صفر درجه ی سلسیوس یخ می زند. در حالی که محلول آب نمک نقطه ی انجماد پایین تری دارد. از این خاصیت در زمستان برای تسریع در ذوب شدن یخ در پیاده روها و سطح پوشیده از برف جاده ها استفاده می کنند.

آنتروپی یخ > آنتروپی آب > آنتروپی آب نمک

هنگامی که آب خالص یخ می زند تغییر آنتروپی کم تر است. اما هنگامی که آب نمک یخ می زند ، تغییر آنتروپی بیش تر است بنابراین تمایل آب نمک برای یخ زدن کم تر از آب خالص است و آب نمک در دمای پایین تری یخ می زند.



نکته: حل شدن یک حل شونده ی غیر فرار در مایع موجب کاهش نقطه ی انجماد محلول در مقایسه با حلال خالص می شود.

تمرین : چرا در رادیاتور خودروها به جای استفاده از آب خالص، از مخلوط آب و ضد یخ استفاده می کنند؟

تمرین : چرا نقطه ی جوش محلول بر خلاف حلال خالص ثابت نیست و با گذشت زمان افزایش می یابد؟

تمرین : آنتروپی آب ، یخ و یک محلول آبی را با هم مقایسه کنید؟

تمرین : آب خالص یا محلول آب نمک تمایل بیش تری برای انجماد دارد؟ چرا ؟



نکته: حل شدن یک حل شونده ی غیر فرار در مایع موجب کاهش فشار بخار ، افزایش نقطه ی جوش و کاهش نقطه ی انجماد محلول خواهد شد.

سؤال : چرا برای مقایسه ی تعداد ذره های حل شونده در محلول های متفاوت از غلظت مولال استفاده می کنند؟

(۱) مقدار عددی مولالیته ی یک محلول با تغییر دما تغییر نمی کند. در حالی که مولالیته متغیر است.

(۲) در محلول های با مولالیته ی متفاوت ، جرم حلال یکسان است. یعنی در این گونه محلول ها تنها تعداد ذره های حل شونده متفاوت است.

روش تعیین تعداد ذره های حل شونده در محلول ها

◇ **حل شونده غیر الکترولیت** : تعداد ذره های حل شونده با مولالیتیه ی محلول برابر است.

- تعداد ذره ها در محلول دو مولال شکر = دو مول ذره
- تعداد ذره ها در محلول سه مولال اتانول = سه مول ذره

◇ **حل شونده الکترولیت قوی با انحلال پذیری زیاد** : تعداد ذره های حل شونده برابر حاصل ضرب مولالیتیه در تعداد یون های تفکیک شده است.

تعداد یون های تفکیک شده × مولالیتیه ی محلول = تعداد ذره های حل شونده

- محلول ۳ مولال سدیم کلرید : مول $3 \times 2 = 6$ = تعداد ذره های حل شونده $\text{NaCl(s)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
- محلول ۲ مولال منیزیم کلرید : مول $2 \times 3 = 6$ = تعداد ذره های حل شونده $\text{MgCl}_2(\text{s}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$

نتیجه : اگر تعداد ذره های حل شونده برای دو محلول برابر باشد مقدار خواص کولیگاتیو برای دو محلول یکسان خواهد بود. به عنوان مثال فشار بخار ، نقطه ی جوش و نقطه ی انجماد محلول ۳ مولال سدیم کلرید و محلول ۲ مولال منیزیم کلرید برابر است.



نکته: یک مول از هر ماده ی غیر الکترولیت، دمای انجماد آب را $1/185^\circ\text{C}$ کاهش و دمای جوش آن را $0/52^\circ\text{C}$ افزایش می دهد.

$1 \times (-1/185)^\circ\text{C} = -1/185^\circ\text{C}$	محلول یک مولال شکر (یک مول ذره)	شروع انجماد
$2 \times (-1/185)^\circ\text{C} = -3/71^\circ\text{C}$	محلول یک مولال آب نمک (دو مول ذره)	
$3 \times (-1/185)^\circ\text{C} = -5/55^\circ\text{C}$	محلول یک مولال کلسیم کلرید (سه مول ذره)	
$100 + (0/52)^\circ\text{C} = 100/52^\circ\text{C}$	محلول یک مولال شکر (یک مول ذره)	شروع جوش
$100 + 2(0/52)^\circ\text{C} = 101/04^\circ\text{C}$	محلول یک مولال آب نمک (دو مول ذره)	
$100 + 3(0/52)^\circ\text{C} = 101/56^\circ\text{C}$	محلول یک مولال کلسیم کلرید (سه مول ذره)	

تمرین : جدول زیر را کامل کنید؟

ماده ی حل شونده	ساکاروز	پتاسیم برومید	منیزیم کلرید
غلظت مولال محلول آبی			۱
تعداد مول های ذره ی حل شونده		۴	
شروع نقطه ی انجماد (°C)	-1/185		-5/55
شروع نقطه ی جوش (°C)		102/08	

کلوئیدها

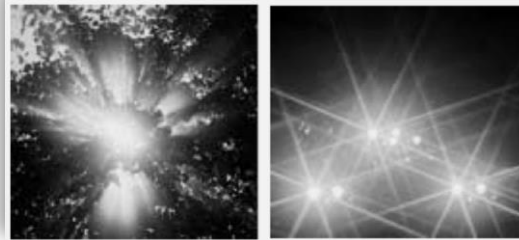
در سال ۱۸۶۱ توماس گراهام واژه ی کلوئید را برای دسته ای از مخلوط ها پیشنهاد کرد. کلوئید از واژه ی یونانی Kolla به معنی چسب گرفته شده است. رنگ های پوششی ، سرامیک ها ، مواد آرایشی ، پاک کننده ها ، مواد غذایی و بسیاری از مواد ضروری زندگی اهمیت کلوئید را در زندگی انسان نشان می دهد.

خواص کلوئیدها

- ۱) مخلوط هایی ناهمگن هستند.
- ۲) ظاهری کدر و مات دارند.
- ۳) ذره های تشکیل دهنده ی آن ها درشت هستند.
- ۴) ذره های سازنده ی کلوئید پس از مدتی ماندگاری ته نشین نمی شوند.
- ۵) ذره های سازنده ی کلوئید را نمی توان با صافی جدا کرد.

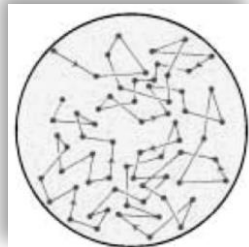
ویژگی های کلوئیدها

- ◆ **ذره های کلوئید نور مرئی را پخش می کنند:** ذره های تشکیل دهنده ی کلوئید به اندازه ی کافی درشت هستند که بتوانند نور را پخش کنند. **اثر تیندال:** پخش نور به وسیله ی ذره های کلوئید را اثر تیندال می گویند.



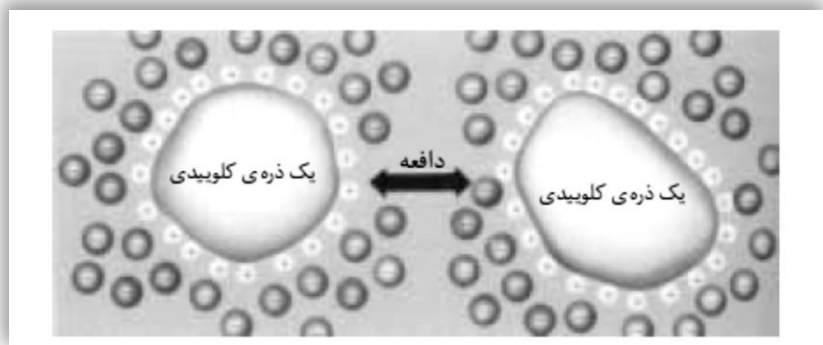
(اثر تیندال) پخش پرتوهای خورشید در هوای مه آلود یا آلوده به غبار

- ◆ **ذره های کلوئید پیوسته در جنب و جوش هستند:** هنگامی که ذره های کلوئید به هم می رسند در برخورد با یک دیگر تغییر جهت می دهند. **حرکت براونی:** به حرکت دائمی و نامنظم ذره های کلوئید، حرکت براونی می گویند.



حرکت براونی ذره های کلوئید

- ◆ **ذره های کلوئید بار الکتریکی دارند:** ذره های کلوئید می توانند ذره های باردار مانند یون ها را در سطح خود جذب کنند و به نوعی بار الکتریکی دست یابند. این بار الکتریکی می تواند مثبت یا منفی باشد. علت پایداری کلوئیدها (ته نشین نشدن فاز پخش شونده) وجود بار الکتریکی در آن هاست. **لخته شدن:** با افزایش کنترولیت به یک کلوئید، ذره های کلوئید ته نشین می شوند. این فرآیند را لخته شدن می گویند.



نوع مخلوط	حداقل اجزای تشکیل دهنده	تعداد فازها	ذره های سازنده	اندازه ی ذره ها (nm)	نمونه
محلول	حلال حل شونده	۱	یون ها یا مولکول ها	< ۱	حلال : آب حل شونده : نمک خوراکی
کلوئید	فاز پخش کننده پخش شونده	≥ 2	مولکول های بزرگ یا توده های مولکولی	۱-۱۰۰	فاز پخش کننده : آب فاز پخش شونده : قطره های چربی
سوسپانسیون	فاز پخش کننده پخش شونده	≥ 2	توده های مولکولی بزرگ یا ذره های بسیار کوچک	> ۱۰۰	فاز پخش کننده : آب فاز پخش شونده : دانه های خاکشیر

کلوئیدها نیز مانند محلول ها به سه حالت جامد ، مایع و گاز یافت می شوند :

فاز پخش شونده	فاز پخش کننده	نام	نمونه ها
گاز	مایع	کف	کف صابون
	جامد	کف جامد	سنگ پا ، یونالیت
مایع	گاز	آیروسول مایع	مه
	مایع	امولسیون	شیر ، کره ، مایونز
	جامد	ژل	ژله ، ژل موی سر
جامد	گاز	آیروسول جامد	دود ، غبار
	مایع	سول	رنگ های روغنی
	جامد	سول جامد	سنگ های گران بها ، یاقوت ، لعل ، فیروزه

سوسپانسیون

سوسپانسیون : ذره های بسیار ریز جامد معلق در یک مایع را سوسپانسیون گویند.

- ◆ هرگاه یک ماده ی نامحلول مانند ماسه ی نرم یا پودر سنگ آهک را در آب بریزید و خوب به هم بزنید ، سوسپانسیون تشکیل می شود.
- ◆ عبارت « پیش از مصرف ، شیشه را خوب تکان دهید » نشان دهنده ی سوسپانسیون بودن محتویات آن است.

ویژگی های سوسپانسیون

- ۱) نور را از خود عبور نمی دهند.
- ۲) ذره های سازنده ی آن به تدریج ته نشین می شوند.
- ۳) ذره های سازنده ی آن از صافی عبور نمی کند.
- ۴) ذره های سازنده ی آن با کاغذ صافی قابل جداسازی هستند.

امولسیون

امولسیون : ذره های معلق یک مایع در مایع دیگر را امولسیون گویند.

- ◆ امولسیون ها حالت ناپایدار دارند و با گذشت زمان دو مایع از یک دیگر جدا شده ، دو فاز را تشکیل می دهند.
- ◆ برای جلوگیری از ناپایداری امولسیون به آن **عامل امولسیون کننده** اضافه می کنند.
- ◆ عامل امولسیون کننده یک سر آب گریز دارد که در چربی ها حل می شود و یک سر آب دوست دارد که در آب حل می شود و موجب پایداری امولسیون ها می شود.
- ◆ **مایونز** امولسیونی است که در آن روغن مایع ، فاز پخش کننده و سرکه فاز پخش شونده است. زرده ی تخم مرغ که حاوی لسیترین است عامل امولسیون کننده است.
- ◆ شیر امولسیونی طبیعی و پایدار است که آب فاز پخش کننده ، قطره های چربی فاز پخش شونده و کازئین عامل امولسیون کننده است.



نکته: امولسیون ها نیز مانند سوسپانسیون ها کدر هستند و حالت ناپایدار دارند. به عنوان مثال ذره های چربی موجود در شیر را با عمل سانتریفوژ یا تکان دادن شدید جداسازی می کنند. (گرفتن کره از شیر)

صابون و نقش امولسیون کنندگی آن

چرک لباس و پوست بدن بیش تر از جنس چربی است. آب و چربی در یک دیگر حل نمی شوند و دو فاز جدا از هم را تشکیل می دهند. به همین دلیل آب نمی تواند چرک ها را از لباس یا بدن جدا کند. برای جدا کردن چرک ها باید امولسیون پایداری از چرک ها در آب ایجاد کرد. برای این کار از پاک کننده ها (صابون) استفاده می کنند.



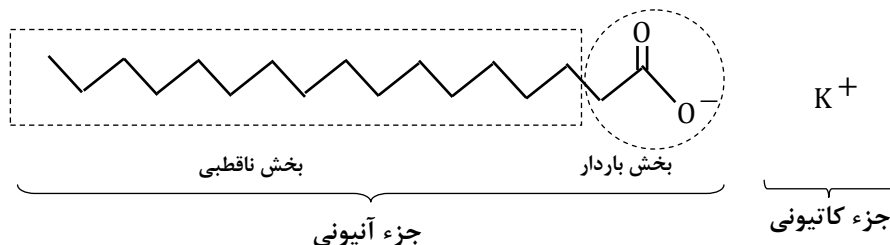
نکته: صابون نمک سدیم ، پتاسیم یا آمونیوم اسیدهای چرب دراز زنجیر است.

صابون دارای دو جزء است :

- ۱) **جزء کاتیونی :** شامل کاتیون سدیم (Na^+) ، پتاسیم (K^+) یا آمونیوم (NH_4^+) است.
- ۲) **جزء آنیونی :** شامل دو بخش آب گریز و آب دوست است.

بخش آب گریز : یک بخش زنجیر هیدروکربنی است و سر ناقطبی صابون را تشکیل می دهد. این بخش مولکول در حلال های ناقطبی حل می شود.

بخش آب دوست : بخش دیگر صابون سر قطبی و آب دوست است. این بخش مولکول در حلال های قطبی مانند آب حل می شود.

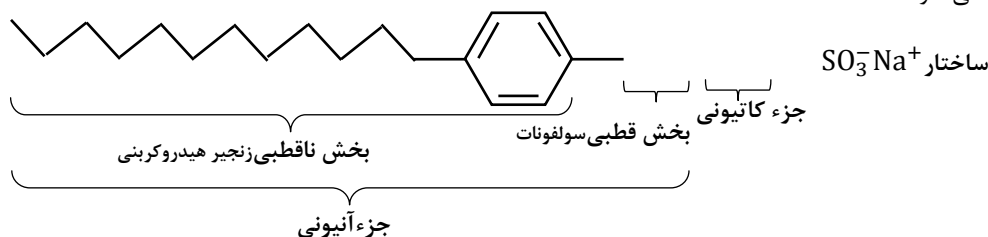


نکته: صابون جامد ، نمک سدیم اسید چرب و صابون مایع نمک پتاسیم یا آمونیوم اسید چرب است.

پاک کننده های غیرصابونی

در سال ۱۹۳۰ با پیشرفت علم شیمی ، پاک کننده های غیر صابونی به بازار عرضه شدند. در این پاک کننده ها به جای گروه کربوکسیلات صابون ($-CO_2^-$) گروه های دیگری از جمله گروه سولفونات ($-SO_3^-$) قرار گرفته است. سدیم دودسیل بنزن سولفونات نمونه ای از پاک کننده های غیر صابونی است.

در این پاک کننده ها ، چربی ها به زنجیر آلکیل می چسبند و گروه سولفونات که انتهای باردار پاک کننده را تشکیل می دهد ، سبب پخش شدن چربی ها در آب می شود.



ترمودینامیک شیمیایی: شاخه ای از علم شیمی است که به :

- ◆ مقایسه‌ی سطح انرژی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها (بررسی تغییر آنتالپی واکنش ΔH)
- ◆ بررسی تغییر آنتروپی واکنش ΔS
- ◆ تعیین خود به خودی بودن واکنش (پیش پینی امکان وقوع واکنش ΔG)

سینتیک شیمیایی: شاخه ای از علم شیمی است که به :

- ◆ بررسی سرعت واکنش
- ◆ عوامل مؤثر بر سرعت واکنش
- ◆ چگونگی انجام واکنش های شیمیایی می پردازد.



نکته: واکنش سوختن پتازین در سیلندر یک خودرو بسیار سریع، رنگ زردن وسایل آهنی آهسته و پوسیده شدن و خرد شدن ورقه های یک کتاب بسیار آهسته تر انجام می شوند.

سرعت واکنش: آهنگ تغییر ویژگی های قابل اندازه گیری (جرم، حجم، فشار، غلظت یا رنگ) نسبت به زمان را سرعت می گویند.



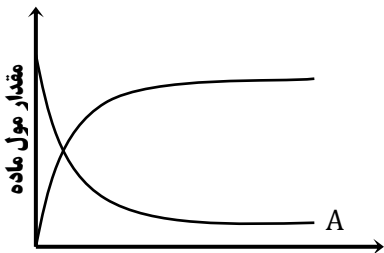
نکته: یكاهای سرعت واکنش شیمیایی مول بر ثانیه، مول بر دقیقه، مول بر لیتر بر ثانیه، لیتر بر ثانیه و ... می باشند.

پیشرفت واکنش: منظور از پیشرفت واکنش :

- ◆ کاهش مقدار واکنش دهنده‌ها
- ◆ افزایش مقدار فراورده‌هاست.

مثال: واکنش فرضی $A \longrightarrow B$ را در نظر بگیرید :

فرض کنید ابتدا ۱۰ مول ماده‌ی A در ظرف موجود بوده و ماده‌ی B وجود نداشته است. پس از گذشت زمان مشخصی، ۴ مول ماده‌ی A مصرف و تبدیل به ماده‌ی B شده است. در پایان واکنش ۶ مول ماده‌ی A و ۴ مول ماده‌ی B در ظرف موجود است :



	واکنش دهنده (A)	فراورده (B)
تعداد مول اولیه (n_1)	۱۰	۰
تعداد مول نهایی (n_2)	۶	۴
تغییرات تعداد مول ($\Delta n = n_2 - n_1$)	$۶ - ۱۰ = -۴$	$۴ - ۰ = +۴$



نکته: از آن جا که واکنش دهنده‌ها مصرف می شوند، لذا تغییرات مول آن‌ها منفی (-) و چون فراورده‌ها تولید می شوند، تغییرات مول آن‌ها مثبت (+) است.

سرعت متوسط واکنش (\bar{R}): تغییر غلظت یک واکنش دهنده یا فراورده‌ی خاص نسبت به زمان را سرعت متوسط واکنش می گویند.

چرا سرعت متوسط واکنش !!!

زیرا در ابتدای واکنش، غلظت واکنش دهنده‌ها بسیار بالا، تعداد برخورد مؤثر بیشتر و سرعت زیاد است و به مرور زمان غلظت واکنش دهنده‌ها کاهش یافته، سرعت کم می شود. پس، از متوسط سرعت در یک بازه‌ی زمانی معین استفاده می‌شود.

روابط سرعت متوسط واکنش

	A → B	
t ₁	n ₁ (A)	n ₁ (B)
t ₂	n ₂ (A)	n ₂ (B)

واکنش فرضی A → B را در نظر بگیرید :

در زمان t₁ غلظت ماده‌ی A برابر n₁ و در زمان t₂ غلظت ماده‌ی A برابر n₂ است.

در زمان t₁ غلظت ماده‌ی B برابر n₁ و در زمان t₂ غلظت ماده‌ی B برابر n₂ است.

بنابراین روابط سرعت واکنش به صورت زیر است :

$$\bar{R}_A = -\frac{\Delta n_A}{\Delta t} = -\frac{n_2(A) - n_1(A)}{\Delta t}$$

سرعت متوسط مصرف ماده‌ی A :

$$\bar{R}_B = +\frac{\Delta n_B}{\Delta t} = +\frac{n_2(B) - n_1(B)}{\Delta t}$$

سرعت متوسط تولید ماده‌ی B :

مثال: در واکنش $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ پس از گذشت ۹۰ ثانیه، تعداد مول های گاز نیتروژن دی اکسید از ۳/۵ مول به ۲/۶

مول کاهش یافته است. سرعت واکنش را نسبت به مصرف گاز نیتروژن دی اکسید بر حسب مول بر ثانیه محاسبه کنید ؟

پاسخ: ابتدا اطلاعات مسأله را نوشته، در رابطه جاگذاری و آن را حل کنید :

$$\Delta t = 90 \text{ s}, \quad n_1 = 3.5, \quad n_2 = 2.6$$

$$\Delta n = n_2 - n_1 = 2.6 - 3.5 = -0.9 \text{ mol}$$

ادامه :

$$\bar{R}_{\text{NO}_2} = -\frac{\Delta n_{\text{NO}_2}}{\Delta t} = -\frac{-0.9 \text{ mol}}{90 \text{ s}} = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$$

ادامه :

مثال: در واکنش فرضی $A(\text{g}) \rightarrow B(\text{g})$ ، در ثانیه های ۲۰ و ۱۴۰ پس از آغاز واکنش، تعداد مول های ماده‌ی B به ترتیب برابر

۱/۶ و ۲/۲ مول ثبت شده است. سرعت تولید ماده‌ی B در این بازه‌ی زمانی بر حسب مول بر دقیقه چه قدر است؟

پاسخ: ابتدا اطلاعات مسأله را نوشته، در رابطه جاگذاری و آن را حل کنید :

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 140 - 20 = 120 \text{ s} \equiv 2 \text{ min}$$

$$\Delta n = n_2 - n_1 = 2.2 - 1.6 = +0.6 \text{ mol}$$

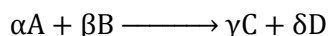
ادامه :

$$\bar{R}_B = +\frac{\Delta n_B}{\Delta t} = +\frac{0.6 \text{ mol}}{2 \text{ min}} = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

ادامه :

سرعت واکنش بدون در نظر گرفتن ماده ای خاص

به تعداد مول های مصرف شده یا تولید شده‌ی یک ماده‌ی شرکت کننده در واکنش در واحد زمان تقسیم بر ضریب استوکیومتری آن ماده می گویند.



واکنش فرضی مقابل را در نظر بگیرید و روابط سرعت واکنش را بنویسید :

$$\bar{R}_r = -\frac{1}{\alpha} \frac{\Delta n_A}{\Delta t} = -\frac{1}{\beta} \frac{\Delta n_B}{\Delta t} = +\frac{1}{\gamma} \frac{\Delta n_C}{\Delta t} = +\frac{1}{\delta} \frac{\Delta n_D}{\Delta t}$$

روابط سرعت :

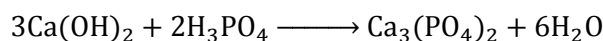
$$\bar{R}_r = \frac{\bar{R}_A}{\alpha} = \frac{\bar{R}_B}{\beta} = \frac{\bar{R}_C}{\gamma} = \frac{\bar{R}_D}{\delta}$$

روابط سرعت :

نکته: سرعت واکنش نسبت به ماده ای پیش تر است که ضریب استوکیومتری آن بزرگ تر باشد.



مثال: در واکنش زیر، سرعت واکنش نسبت به کدام ماده از همه بیش تر و نسبت به کدام ماده از همه کم تر است ؟



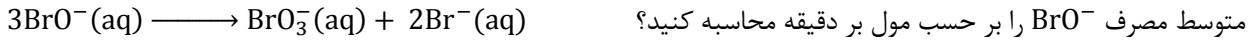
معادله‌ی واکنش :

پاسخ: سرعت واکنش نسبت به تولید آب از همه بیش تر و نسبت به تولید کلسیم فسفات از همه کم تر است.

نکته: نسبت سرعت واکنش بر حسب دو ماده‌ی متفاوت، برابر نسبت ضرایب استوکیومتری آن ها در واکنش است.



مثال: در واکنش مقابل، پس از ۶ ثانیه از آغاز واکنش ۰/۷ مول BrO^- ناپدید می‌شود، سرعت متوسط تشکیل BrO_3^- و سرعت



پاسخ: اطلاعات مسأله: $\Delta t = 6\text{s} \div 60 = 0.1\text{ min}$, $\Delta n = -0.7\text{ mol}$

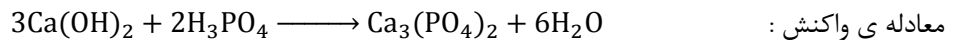
سرعت متوسط مصرف هیپوبرومیت:

$$\bar{R}_{\text{BrO}^-} = -\frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{-0.7\text{ mol}}{0.1\text{ min}} = 7\text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

سرعت متوسط تولید برومات:

$$\frac{\bar{R}_{\text{BrO}_3^-}}{\bar{R}_{\text{BrO}^-}} = \frac{1}{3} \Rightarrow \frac{\bar{R}_{\text{BrO}_3^-}}{7\text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}} = \frac{1}{3} \Rightarrow \bar{R}_{\text{BrO}_3^-} = \frac{1}{3} \times 7\text{ mol} \cdot \text{min}^{-1} = 2.33\text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

مثال: اگر سرعت واکنش زیر $0.06\text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ باشد، سرعت مصرف کلسیم هیدروکسید را بر حسب $\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$ تعیین کنید؟



پاسخ:

$$\bar{R}_r = \frac{\bar{R}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{3} \Rightarrow 0.06 = \frac{\bar{R}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{3} \Rightarrow \bar{R}_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 0.18\text{ mol} \cdot \text{s}^{-1} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 10.8\text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

سرعت واکنش بر حسب تغییرات غلظت مولی مواد

در واکنش هایی که مواد در فاز گازی یا محلول هستند می‌توان سرعت واکنش را بر حسب تغییر غلظت مولی مواد بیان کرد.

غلظت مولی یا مولار: تعداد مول های ماده‌ی حل شده در یک لیتر محلول را غلظت مولی یا غلظت مولار گویند و آن را با نماد M

نشان می‌دهند و یکای اندازه‌گیری آن $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ یا مولار است.

$$M = \frac{n}{V}$$



نکته: غلظت مولی یک ماده را با قرار دادن فرمول شیمیایی آن در داخل کروشه نشان می‌دهند. به عنوان مثال غلظت مولی ماده‌ی A را به صورت $[A]$ نشان می‌دهند.

در واکنش فرضی $A \longrightarrow B$ سرعت واکنش بر حسب تغییر غلظت مولی مواد به شکل زیر محاسبه می‌گردد:

روابط سرعت واکنش:

$$\bar{R}_A = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{[A]_2 - [A]_1}{\Delta t} \qquad \bar{R}_B = +\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = +\frac{[B]_2 - [B]_1}{\Delta t}$$



نکته: اگر سرعت واکنش را بر حسب تغییر غلظت مواد بیان کنید یکای اندازه‌گیری سرعت واکنش عبارت خواهد بود از:

مول بر لیتر بر ثانیه (مولار بر ثانیه، $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
 مول بر لیتر بر دقیقه (مولار بر دقیقه، $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)



نکته: از آن جا که با افزایش تعداد مول های مواد جامد یا مایع خالص، حجم آن ها نیز افزایش می‌یابد، بنابراین غلظت آن ها همواره ثابت می‌ماند. در نتیجه نمی‌توان سرعت مصرف یا تولید آن ها را بر حسب تغییر غلظت بیان کرد.



نکته: اگر سرعت واکنش بر حسب تغییر غلظت مواد خواسته شود و حجم ظرف یک لیتر نباشد، ابتدا تعداد مول های داده شده در مسأله را بر حسب ظرف تقسیم کرده و غلظت مولی آن ها را به دست خواهیم آورد.

مثال: اگر در واکنش $2\text{Al}(\text{s}) + 6\text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{AlCl}_3(\text{aq}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ غلظت هیدروکلریک اسید در دقیقه های سوم و

هشتم پس از آغاز واکنش به ترتیب برابر ۰/۹ و ۰/۴ مول بر لیتر باشد، سرعت متوسط تولید گاز هیدروژن را در این بازه‌ی زمانی بر حسب $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ به دست آورید.

$$t_1 = 3 \text{ min} , t_2 = 8 \text{ min} , M_1 = 0.9 \text{ mol.L}^{-1} , M_2 = 0.4 \text{ mol.L}^{-1}$$

پاسخ:

$$\bar{R}_{\text{HCl}} = -\frac{\Delta[\text{HCl}]}{\Delta t} = -\frac{[\text{HCl}]_2 - [\text{HCl}]_1}{t_2 - t_1} = -\frac{0.4 - 0.9}{8 - 3} = -\frac{-0.5}{5} = 0.1 \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

ادامه:

$$\frac{\bar{R}_{\text{HCl}}}{\bar{R}_{\text{H}_2}} = \frac{6}{3} \Rightarrow \frac{0.1}{\bar{R}_{\text{H}_2}} = \frac{6}{3} \Rightarrow \bar{R}_{\text{H}_2} = \frac{3 \times 0.1}{6} = 0.05 \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

ادامه:

مثال: در واکنش $2\text{NO}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ مقدار 0.32 مول NO_2 در یک ظرف 2 لیتری و در دمای معین در حال

تجزیه است. پس از یک دقیقه از آغاز واکنش، تعداد مول های NO_2 برابر 0.16 مول خواهد شد. سرعت متوسط تولید گاز اکسیژن را بر حسب مول بر لیتر بر ثانیه به دست آورید.

$$\Delta t = 1 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 60 \text{ s} , n_1 = 0.32 \text{ mol} , n_2 = 0.16 \text{ mol}$$

پاسخ:

$$\Delta n = n_2 - n_1 = 0.16 - 0.32 = -0.16 , \Delta[\text{NO}_2] = \frac{\Delta n}{V} = \frac{-0.16 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = -0.08 \text{ mol.L}^{-1}$$

ادامه:

$$\bar{R}_{\text{NO}_2} = -\frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = -\frac{-0.08}{60} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

ادامه:

$$\frac{\bar{R}_{\text{NO}_2}}{\bar{R}_{\text{O}_2}} = \frac{2}{1} \Rightarrow \frac{1.3 \times 10^{-3}}{\bar{R}_{\text{O}_2}} = \frac{2}{1} \Rightarrow \bar{R}_{\text{O}_2} = \frac{1.3 \times 10^{-3}}{2} = 6.5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

ادامه:

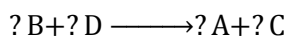
نکته: نسبت ضرایب استوکیومتری در یک واکنش شیمیایی، نشان دهنده ی تغییر غلظت مولی مواد (ΔM) است.



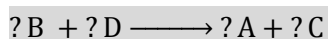
مثال: با توجه به داده های جدول مقابل، معادله ی واکنش را بنویسید.

زمان (min)	۱	۲	۳
[A]	۰/۸	۱	۱/۱
[B]	۳/۱	۲/۵	۲/۲
[C]	۱/۴	۱/۸	۲
[D]	۱/۹	۱/۵	۱/۳

پاسخ: از آن جا که غلظت A, C در حال افزایش است، پس این دو ماده فرآورده هستند و چون غلظت B, D در حال کاهش است، این دو ماده



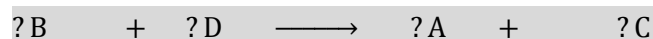
نیز واکنش دهنده هستند. پس معادله به صورت:



حال در یکی از بازه های زمانی تغییر غلظت مواد را محاسبه می کنیم:

$$-0.6 \quad -0.4 \quad +0.2 \quad +0.4 \quad : \quad 2 \quad \text{و} \quad 1 \quad \text{دقایق}$$

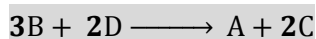
در این مرحله تمام تغییر غلظت ها را بر کوچک ترین تغییر غلظت (0.2) تقسیم کرده، ضرایب استوکیومتری را به دست می آوریم:



معادله:

$$\frac{-0.6}{0.2} = -3 \quad \frac{-0.4}{0.2} = -2 \quad \frac{+0.2}{0.2} = +1 \quad \frac{+0.4}{0.2} = +2$$

ضرایب:



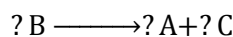
معادله ی کامل شده:

زمان (s)	۱۰	۲۰	۳۰
[A]	۰	۰/۷۵	۱/۱۲۵
[B]	۲	۱/۵	۱/۲۵
[C]	۰	۰/۲۵	۰/۳۷۵

مثال: با توجه به داده های جدول مقابل، معادله ی واکنش را بنویسید.

پاسخ: از آن جا که در آغاز واکنش، غلظت A, C برابر صفر است، پس

این دو فرآورده هستند و B واکنش دهنده است و معادله ی واکنش به

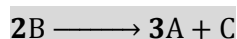


صورت مقابل است:

حال در بازه ی زمانی 10 تا 20 ثانیه، تغییرات غلظت آن ها را محاسبه می کنیم:

$$-0.5 \quad +0.75 \quad +0.25$$

ادامه:



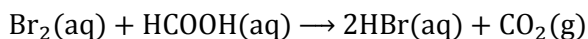
همه ی اعداد را بر 0.25 تقسیم می کنیم و ضرایب به صورت مقابل به دست می آید:



نکته: در مورد مواد گازی می توان سرعت واکنش را بر حسب تغییر حجم گاز در واحد زمان بیان نمود. با توجه به تبدیل حجم به مول در شرایط استاندارد نیز می توان سرعت را بر حسب مول بر ثانیه یا مول بر دقیقه بیان کرد.

$$1 \text{ mol Gass} = 22.4 \text{ L Gass}$$

مثال: واکنش بین برم و فرمیک اسید به صورت مقابل است:



اگر حجم گاز کربن دی اکسید تولید شده در دمای ثابت صفر درجه ی سلسیوس و فشار ثابت یک اتمسفر تا دقیقه ی بیستم برابر ۱۰ لیتر و تا دقیقه ی سی ام برابر ۱۳/۰۷۵ لیتر باشد، سرعت متوسط تولید کربن دی اکسید را بر حسب لیتر بر دقیقه و مول بر دقیقه در این بازه ی زمانی حساب کنید؟

پاسخ: $\Delta V = V_2 - V_1 = 13.075 - 10 = 3.075 \text{ L}$, $\Delta t = t_2 - t_1 = 30 - 20 = 10 \text{ min}$

ادامه: $\bar{R}_{\text{CO}_2} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{3.075 \text{ L}}{10 \text{ min}} = 0.3075 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

ادامه: حال با توجه به شرایط استاندارد تغییر حجم را به مول تبدیل می کنیم:

$$\Delta n = 0.3075 \text{ L} \times \frac{1 \text{ mol}}{22.4 \text{ L}} = 0.1373 \text{ mol}$$

ادامه: $\bar{R}_{\text{CO}_2} = \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0.1373 \text{ mol}}{10 \text{ min}} = 0.01373 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$



نکته: اگر در مسأله ای جرم ماده ای داده شود و سرعت واکنش بر حسب آن ماده خواسته شود ابتدا باید جرم را به مول تبدیل کرد و محاسبات لازم را طبق روابط سرعت موجود ادامه داد.

مثال: مقدار ۸/۵ گرم گاز نیتروژن دی اکسید را در یک ظرف ۰/۵ لیتری حرارت می دهیم تا طبق معادله ی زیر تجزیه شود:

معادله ی واکنش: $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ اگر پس از ۹۰ ثانیه از آغاز واکنش ۶/۲ گرم NO_2 باقی مانده باشد، سرعت متوسط تولید گاز اکسیژن را در این بازه ی زمانی بر حسب مولار بر دقیقه به دست آورید؟

پاسخ: $\Delta m = m_2 - m_1 = 8.5 - 6.2 = 2.3 \text{ g NO}_2$, $\Delta t = 90 \text{ s} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1.5 \text{ min}$

ادامه: تغییر جرم گاز NO_2 را به مول آن تبدیل می کنیم:

$$\Delta n = 2.3 \text{ g NO}_2 \times \frac{1 \text{ mol NO}_2}{46 \text{ g NO}_2} = 0.05 \text{ mol NO}_2$$

ادامه: غلظت مولی گاز NO_2 را حساب می کنیم:

$$\Delta M = \frac{\Delta n}{V} = \frac{0.05 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NO}_2$$

ادامه: $\bar{R}_{\text{NO}_2} = \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{1.5} = 0.067 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

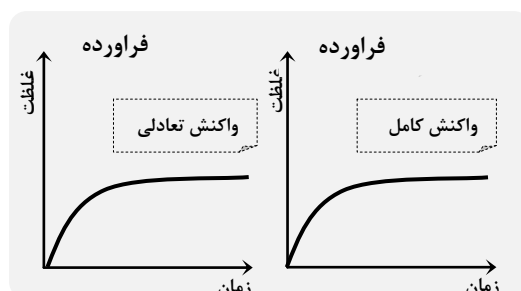
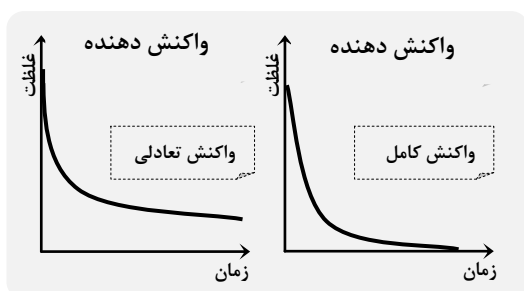
نمودارهای غلظت - زمان و سرعت - زمان در واکنش های شیمیایی

واکنش فرضی $A \rightarrow B$ را در نظر بگیرید:

◆ نمودار غلظت واکنش دهنده (A) سیر نزولی دارد زیرا واکنش دهنده در حال مصرف شدن و کاهش غلظت است.

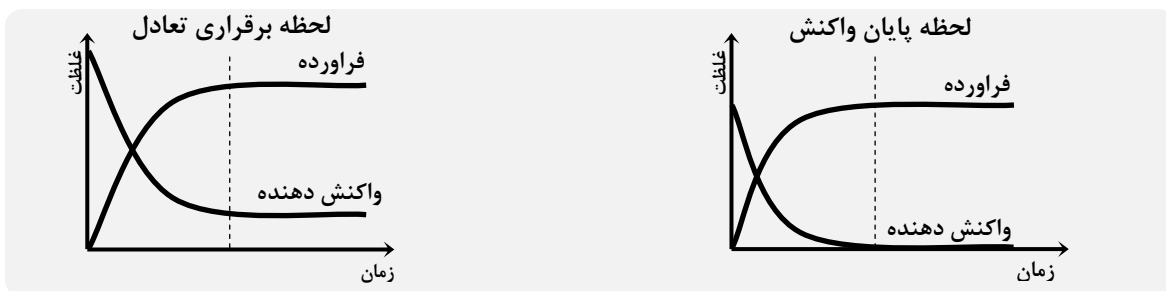
◆ نمودار غلظت فراورده (B) سیر صعودی دارد زیرا فراورده در حال تولید شدن و افزایش غلظت است.

واکنش کامل: واکنشی را که در آن یکی از واکنش دهنده ها تمام شود و سرعت واکنش صفر شود، واکنش کامل گویند.

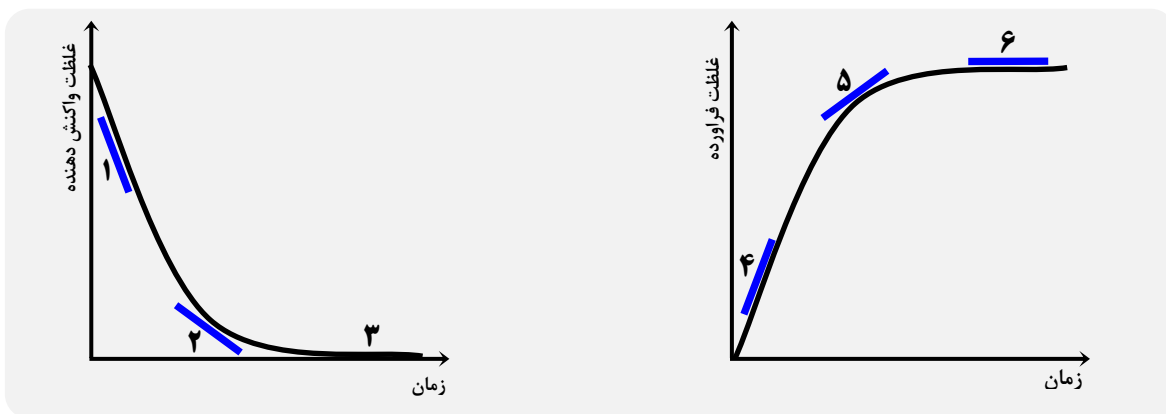


واکنش تعادلی: واکنشی را که در آن سرعت واکنش پس از مدتی نه به صفر بلکه به مقدار ثابتی می‌رسد، واکنش تعادلی می‌گویند.

◆ نخستین لحظه‌ای که نمودارهای غلظت - زمان به حالت افقی در می‌آیند، لحظه‌ی پایان واکنش را نشان می‌دهد. (در واکنش‌های تعادلی لحظه‌ی رسیدن به تعادل را نشان می‌دهد).



نکته: در نمودار غلظت - زمان، شیب خط مماس بر منحنی در هر نقطه‌ای، سرعت واکنش را در آن لحظه نشان می‌دهد.



نکاتی در مورد نمودارهای فوق

- ◆ در نقطه‌ی (۱) غلظت واکنش دهنده‌ها زیاد، سرعت واکنش زیاد است و شیب منحنی زیاد است.
- ◆ در نقطه‌ی (۲) با کاهش غلظت واکنش دهنده‌ها، سرعت واکنش کاهش یافته و شیب منحنی نیز کم‌تر خواهد شد.
- ◆ در نقطه‌ی (۳) با تمام شدن واکنش دهنده‌ها، سرعت واکنش به صفر رسیده و شیب منحنی به صفر میل می‌کند.
- ◆ در نقطه‌ی (۴) غلظت فراورده‌ها به سرعت زیاد شده، سرعت واکنش زیاد است و شیب منحنی بسیار زیاد است.
- ◆ در نقطه‌ی (۵) با افزایش غلظت فراورده‌ها و کاهش غلظت واکنش دهنده‌ها از سرعت واکنش کاسته شده و شیب منحنی کم می‌شود.
- ◆ در نقطه‌ی (۶) دیگر فراورده‌ای تولید نمی‌شود و با تمام شدن واکنش دهنده‌ها، سرعت واکنش به صفر رسیده و شیب منحنی به صفر میل می‌کند.

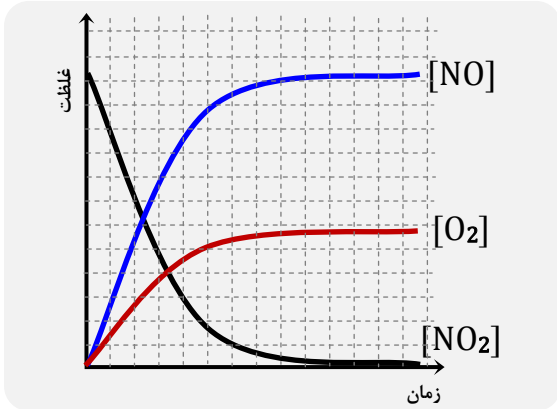
نکته: نمودار سرعت - زمان نیز مشابه نمودار غلظت - زمان می‌باشد.



نکته: در نمودار غلظت - زمان، هر چه ضریب استوکیومتری ماده‌ای بزرگ‌تر باشد، شیب منحنی آن پیش‌تر خواهد بود.



مثال: نمودار غلظت - زمان را برای واکنش $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$ رسم کنید؟



پاسخ: نیتروژن دی اکسید واکنش دهنده است پس منحنی آن نزولی و نیتروژن مونوکسید و اکسیژن فرآورده هستند و منحنی آن ها صعودی است. شیب منحنی نیتروژن مونوکسید و نیتروژن دی اکسید برابر و دو برابر شیب منحنی گاز اکسیژن می باشد.



نکته: در نمودار غلظت - زمان، منحنی مواد جامد یا مایع خالص به صورت یک خط افقی خواهد بود.

عوامل مؤثر بر سرعت واکنش

عوامل گوناگونی بر سرعت واکنش های شیمیایی اثر می گذارند که عبارتند از:

- ◆ ماهیت واکنش دهنده ها
- ◆ حالت فیزیکی
- ◆ غلظت
- ◆ دما
- ◆ کاتالیزگر

اثر ماهیت واکنش دهنده ها بر سرعت واکنش

- ◆ ماهیت واکنش دهنده ها (نوع یا جنس) اگر چه به عنوان یک متغیر برای بهبود سرعت یک واکنش مطرح نیست، اما از چهار عامل دیگر مهم تر (شدیدتر) است.
- ◆ هنگام جرقه زدن به مخلوطی شامل گاز اکسیژن و هیدروژن، واکنشی بسیار سریع و به حالت انفجاری روی می دهد در حالی که جرقه زدن به مخلوطی شامل گاز هیدروژن و نیتروژن نتیجه ای در بر ندارد.
- ◆ واکنش بین پتاسیم و آب بسیار سریع روی می دهد در حالی که واکنش بین آهن و آب بسیار آهسته روی می دهد.

اثر حالت فیزیکی واکنش دهنده ها بر سرعت واکنش

- ◆ اگر واکنش دهنده ها در یک فاز قرار داشته باشند، واکنش با سرعت بیش تری روی می دهد.
- ◆ اگر واکنش دهنده ها در دو فاز مختلف قرار داشته باشند، واکنش با سرعت کم تری روی می دهد. زیرا مجاورت واکنش دهنده های مذکور تنها به مرز دو فاز وابسته است.
- ◆ با خرد کردن یا پودر کردن مواد جامد، می توان سطح تماس را افزایش داد و موجب افزایش سرعت واکنش شد.



نکته: اگر واکنش دهنده ها همگی در فاز گازی (g) یا فاز محلول (aq) قرار داشته باشند، در مجموع یک فاز به شمار می آیند و سرعت واکنش زیاد خواهد بود.

$A(g) + B(g) + C(g) \rightarrow$ سرعت واکنش زیاد (در مجموع یک فاز)

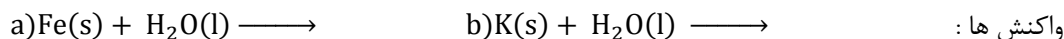
$A(aq) + B(aq) + C(aq) \rightarrow$ سرعت واکنش زیاد (در مجموع یک فاز)



نکته: اگر واکنش دهنده ها به حالت جامد (s) باشند، هر ماده ای جامد یک فاز به شمار می آید و سرعت واکنش کم خواهد بود.

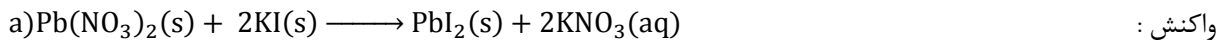
$A(s) + B(s) + C(s) \rightarrow$ سرعت واکنش کم (در مجموع سه فاز)

مثال: در شرایط یکسان کدام واکنش زیر سریع تر انجام می شود؟ عامل اصلی ایجاد تفاوت بین سرعت این دو واکنش چیست؟



پاسخ: واکنش (b) سریع تر انجام می شود. عامل اصلی، ماهیت واکنش دهنده ها است زیرا فعالیت شیمیایی پتاسیم بیش تر از آهن است.

مثال: با نوشتن دلیل بیان کنید کدام واکنش زیر سریع تر انجام می شود؟



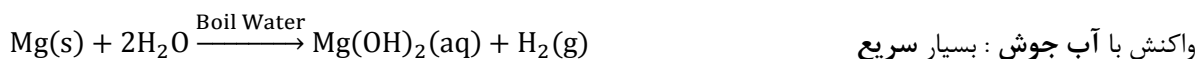
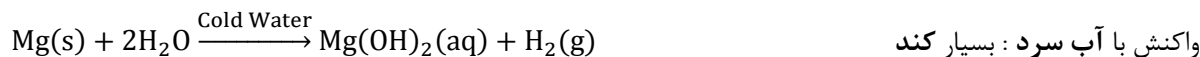
پاسخ: واکنش (b)، حالت فیزیکی واکنش دهنده ها مؤثر است. زیرا در واکنش دوم واکنش دهنده ها در یک فاز قرار دارند.

اثر غلظت واکنش دهنده ها بر سرعت واکنش

در اغلب واکنش ها، با افزایش غلظت واکنش دهنده ها، سرعت واکنش افزایش می یابد. زیرا با افزایش غلظت، تعداد برخوردها بین واکنش دهنده ها بیش تر شده و احتمال انجام واکنش افزایش می یابد. در نتیجه سرعت واکنش افزایش می یابد. الیاف آهن در مجاورت هوا (شامل ۲۱ درصد اکسیژن) روی شعله داغ و سرخ شده اما نمی سوزد. در حالی که الیاف آهن در مجاورت اکسیژن خالص به سرعت و شدت می سوزد. علت این امر افزایش غلظت اکسیژن در آزمایش دوم است که موجب افزایش سرعت واکنش شده است.

اثر دما بر سرعت واکنش

در واکنش های شیمیایی (گرمایزا و گرماگیر) با افزایش دما، سرعت واکنش افزایش می یابد. زیرا با افزایش دما، برخوردهای مؤثر بین ذره های واکنش دهنده ها افزایش می یابد و سرانجام سرعت واکنش افزایش پیدا می کند. واکنش های فلز منیزیم را با آب سرد و آب جوش ملاحظه کنید :



این تجربه نشان می دهد که افزایش دما معمولاً، سرعت واکنش های شیمیایی را افزایش می دهد. با نگاه داری مواد غذایی در یخچال، سرعت فرایندهای شیمیایی منجر به فساد مواد غذایی، کند می شود، در حالی که گرمای شعله ای اجاق گاز آشپزخانه سرعت فرایندهای شیمیایی منجر به پختن غذا را افزایش می دهد.

نکته: با افزایش دما، واکنش در زمان کم تری به پایان می رسد و مقدار نهایی فرآورده در همی دماها یکسان خواهد بود.



نکته: افزایش هر ده درجه ی سلسیوس در دما موجب دو برابر شدن سرعت واکنش می شود :

معادله : سرعت $R =$ سرعت اولیه R_0 $\Delta T =$ تغییر دما $R_0 =$ سرعت اولیه

$$R = R_0 \times 2^{\frac{\Delta T}{10}}$$

معادله : زمان $S =$ زمان اولیه S_0 $\Delta T =$ تغییر دما $S_0 =$ زمان اولیه

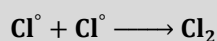
$$S = S_0 \times 2^{\frac{\Delta T}{10}}$$

مثال: اگر دمای یک واکنش از ۲۰ به ۷۰ درجه ی سلسیوس افزایش یابد، سرعت و زمان انجام واکنش دچار چه تغییری می شوند؟

پاسخ: $\Delta T = T_2 - T_1 = 70 - 20 = 50^\circ\text{C}$, $R = R_0 \times 2^{\frac{\Delta T}{10}} = R_0 \times 2^{\frac{50}{10}} = 32R_0$, $S_0 = S \times 2^{\frac{\Delta T}{10}} = S \times 2^{\frac{50}{10}} = 32S$

به عبارت دیگر سرعت واکنش ۳۲ برابر افزایش و زمان انجام واکنش ۳۲ برابر کاهش می یابد.

نکته: افزایش دما، بر سرعت واکنش هایی که انرژی فعال سازی آن ها تقریباً صفر است، تأثیری ندارد. مثل واکنش پیرن



رادیکال های آزاد



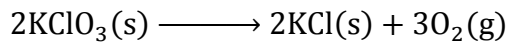
اثر کاتالیزگر بر سرعت واکنش

کاتالیزگر: ماده‌ای است که سرعت واکنش‌های شیمیایی را افزایش می‌دهد ولی در واکنش مصرف نمی‌شود.

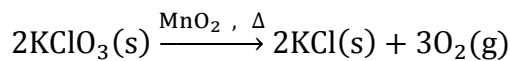


نکته: کاتالیزگر از طریق کاهش انرژی فعال‌سازی سرعت واکنش را افزایش می‌دهد و موجب تغییر سطح انرژی واکنش دهنده‌ها و فرآورده‌ها و تغییر آنتالپی واکنش نمی‌شود.

واکنش تجزیه‌ی پتاسیم کلرات بر اثر گرما با منگنز دی‌اکسید کاتالیز می‌شود. در غیاب کاتالیزگر، این واکنش بسیار آهسته انجام می‌شود. اما در حضور کاتالیزگر واکنش بسیار سریع روی می‌دهد.



در غیاب کاتالیزگر: بسیار آهسته



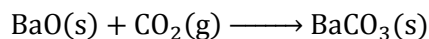
در حضور کاتالیزگر: بسیار سریع



نکته: کاتالیزگرها را در جای خود پیش‌تر مورد بررسی قرار داده و نمودارهای آن را رسم خواهیم نمود.

اثر فشار بر سرعت واکنش

اگر در واکنش‌های شیمیایی (یک طرفه) حداقل یکی از واکنش‌دهنده‌ها به حالت گازی باشد، با افزایش فشار غلظت گاز مذکور زیاد شده و موجب افزایش سرعت واکنش می‌شود. (واکنش نباید مرتبه‌ی صفر باشد).



اثر فشار:

نظریه‌های سینتیک شیمیایی

بررسی سرعت واکنش‌های شیمیایی جنبه‌ی میکروسکوپی دارد اما برای بررسی واکنش‌های شیمیایی در سطح مولکولی باید جنبه‌ی میکروسکوپی واکنش‌ها را در نظر گرفت. دو نظریه‌ی مهم زیر واکنش‌های شیمیایی را در سطح مولکولی بررسی می‌کند:

◆ نظریه‌ی برخورد

◆ نظریه‌ی حالت گذار

اساس هر دو نظریه، برخورد بین ذره‌های واکنش‌دهنده است.

نظریه‌ی برخورد

واکنش شیمیایی هنگامی روی می‌دهد که بین ذره‌های واکنش‌دهنده، برخوردی مؤثر صورت گیرد. این برخوردها در صورتی مؤثرند و به تولید فرآورده منجر می‌شوند که دارای شرایط زیر باشند:

◆ تعداد برخوردها

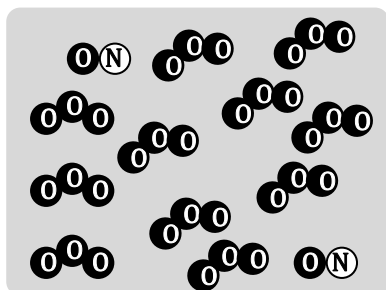
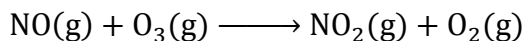
◆ جهت‌گیری مناسب ذره‌ها هنگام برخورد

◆ انرژی مناسب ذره‌ها هنگام برخورد

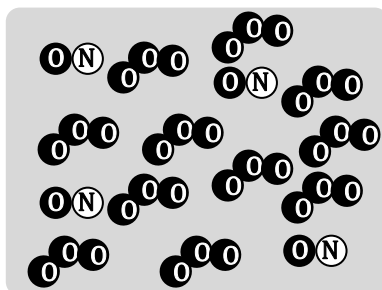
رادیکال: اتم یا گروهی از اتم‌هاست که دارای الکترون منفرد هستند و بسیار واکنش‌پذیر می‌باشند. مثل رادیکال کلر یا متیل و ...

تعداد برخوردها

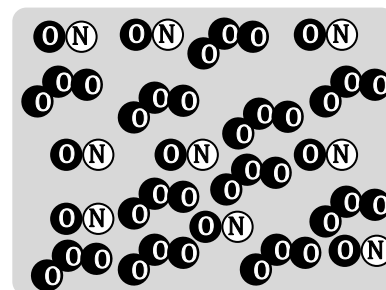
طبق نظریه‌ی برخورد، واکنش دهنده‌ها به صورت گوی‌های صلب و سخت در نظر گرفته می‌شوند و در اثر برخورد بین ذره‌های واکنش دهنده واکنش انجام می‌شود. بر اساس این نظریه، سرعت واکنش به تعداد ذره‌های واکنش دهنده (در واحد حجم و در واحد زمان) بستگی دارد و هر چه غلظت واکنش دهنده‌ها بیشتر باشد، تعداد برخوردها بیشتر و سرعت واکنش زیادتر خواهد بود. واکنش نیتروژن مونوکسید را با اوزون در نظر بگیرید:



شکل (C)



شکل (B)



شکل (A)

مشاهده می‌شود که با افزایش تدریجی غلظت گاز نیتروژن مونوکسید، تعداد برخوردها افزایش یافته و در نتیجه سرعت واکنش زیاد شده است. در این شکل‌ها سرعت واکنش به شکل مقابل است:

$$R_A > R_B > R_C$$

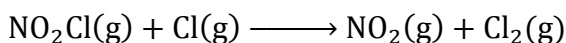
غلظت واکنش دهنده بیشتر

تعداد برخوردها بیشتر

سرعت واکنش بیشتر

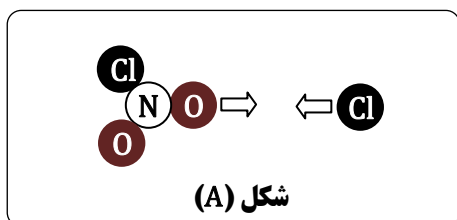
جهت گیری مناسب ذره‌ها هنگام برخورد

برای این که برخورد بین ذره‌های واکنش دهنده، به انجام واکنش و تولید فراورده منجر شود، باید ذره‌ها در جهت مناسبی به هم نزدیک شده، برخورد کنند. به عبارت دیگر برخورد بین ذره‌ها باید از طرف اتم‌هایی صورت گیرد که قرار است پیوند تشکیل دهند.

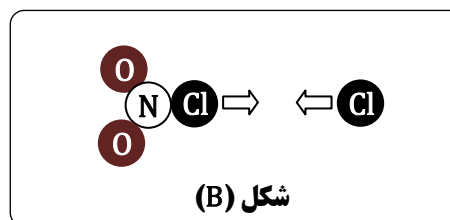


مثال: واکنش مقابل را در نظر بگیرید:

برای انجام واکنش فوق دو برخورد به شکل زیر پیشنهاد شده است. کدام برخورد در جهت مناسب برای انجام واکنش صورت گرفته است؟ چرا؟

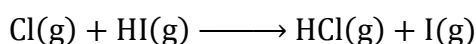


شکل (A)



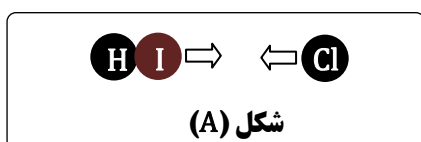
شکل (B)

پاسخ: از آن جا که در واکنش فوق، قرار است دو اتم کلر با یکدیگر پیوند تشکیل دهند، لذا جهت گیری مناسب آن است که دو اتم کلر به طور مستقیم با یکدیگر برخورد کنند. پس شکل (B) شکل صحیح برخورد بین دو ذره را نشان می‌دهد.

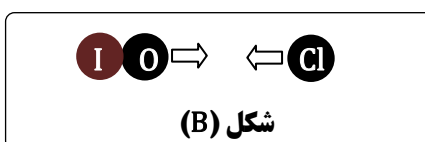


مثال: واکنش مقابل را در نظر بگیرید:

شکل دو برخورد را برای این واکنش رسم کرده و بیان کنید کدام برخورد منجر به انجام واکنش خواهد شد؟



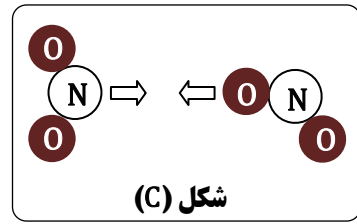
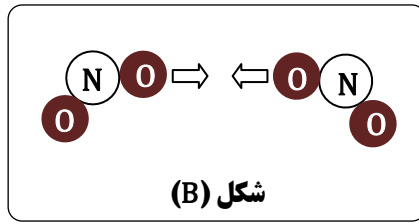
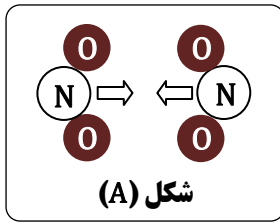
شکل (A)



شکل (B)

پاسخ: دو برخورد برای واکنش فوق پیشنهاد می‌شود که برخورد شکل (۲) منجر به واکنش می‌شود.

تمرین: برای انجام واکنش شیمیایی: $2\text{NO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{NO}_3(\text{g})$ کدام یک از برخوردهای زیر، جهت گیری مناسب را نشان می دهد؟



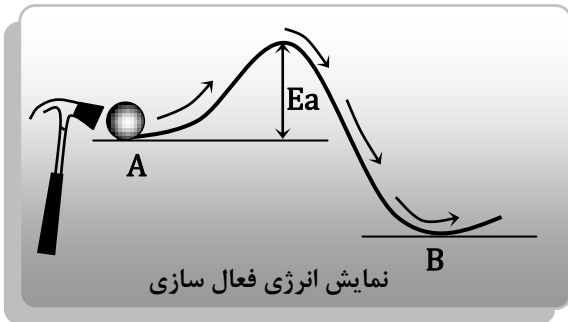
تمرین: برای انجام واکنش شیمیایی: $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \longrightarrow 2\text{OH}(\text{g})$ انواع برخوردهای موجود و جهت گیری مناسب را با رسم شکل نشان دهید؟

انرژی ذره ها هنگام برخورد

از میان همه ی برخوردها فقط تعداد معدودی منجر به انجام واکنش می شود. این تعداد باید دارای شرایط زیر باشند:

جهت گیری مناسب داشته باشند.

انرژی کافی داشته باشند.



انرژی فعال سازی (Ea): حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش

شیمیایی است و آن را با نماد E_a نشان می دهند.

ذره های واکنش دهنده باید حداقل به اندازه ی انرژی فعال سازی، انرژی داشته باشند تا واکنش منجر به تولید فرآورده شود.

نارسایی های نظریه ی برخورد

۱. نظریه ی برخورد تنها برای واکنش های ساده در فاز گازی به کار می رود. (برای واکنش در حالت محلول قابل توجیه نیست).
۲. در نظریه ی برخورد ذره های واکنش دهنده به صورت گوی های صلب و سخت در نظر گرفته می شوند که برخوردی کشسان دارند. در حالی که ذره های واکنش دهنده علاوه بر مبادله ی انرژی بر هم تأثیر می گذارند.
۳. در نظریه ی برخورد تنها حرکت های انتقالی ذره های واکنش دهنده در نظر گرفته می شود. در حالی که حرکت چرخشی و ارتعاشی نیز مؤثر هستند.
۴. به کمک نظریه ی برخورد تنها می توان گفت که انرژی فعال سازی وجود دارد و نمی توان مقدار آن را محاسبه کرد.

در سال ۱۹۲۵ میلادی نظریه ی دیگری در جهت رفع نارسایی های نظریه ی برخورد ارائه شد که نظریه ی حالت گذار نام دارد.

نظریه ی حالت گذار

طبق نظریه ی حالت گذار، هنگام انجام یک واکنش شیمیایی، واکنش دهنده ها ابتدا به ماده ای تبدیل می شوند که حالت گذار یا پیچیده ی فعال نامیده می شود. در این حالت هم زمان پیوندهای اولیه در حال شکستن و پیوندهای جدید در حال تشکیل هستند.

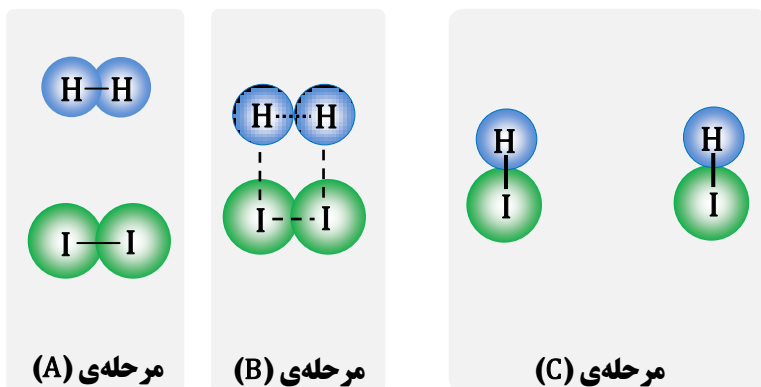
فرآورده ها → حالت گذار یا پیچیده ی فعال → واکنش دهنده ها

نکته: پیچیده ی فعال گونه ی بسیار ناپایداری است که نمی توان آن را حین واکنش ها جدا سازی و شناسایی کرد.



مثال: واکنش شیمیایی: $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$ را در نظر گرفته، چگونگی تشکیل پیچیده‌ی فعال، نمودار سطح

انرژی و واکنش دهنده‌ها، حالت گذار و فراورده‌ها را نشان دهید؟



شکل مقابل، تشکیل پیچیده‌ی فعال یا حالت گذار را نشان می‌دهد. خط چین‌ها پیوندهای شیمیایی در حال گسستن و در حال تشکیل را نشان می‌دهد.

حالت گذار یا پیچیده‌ی فعال: حد واسط واکنش

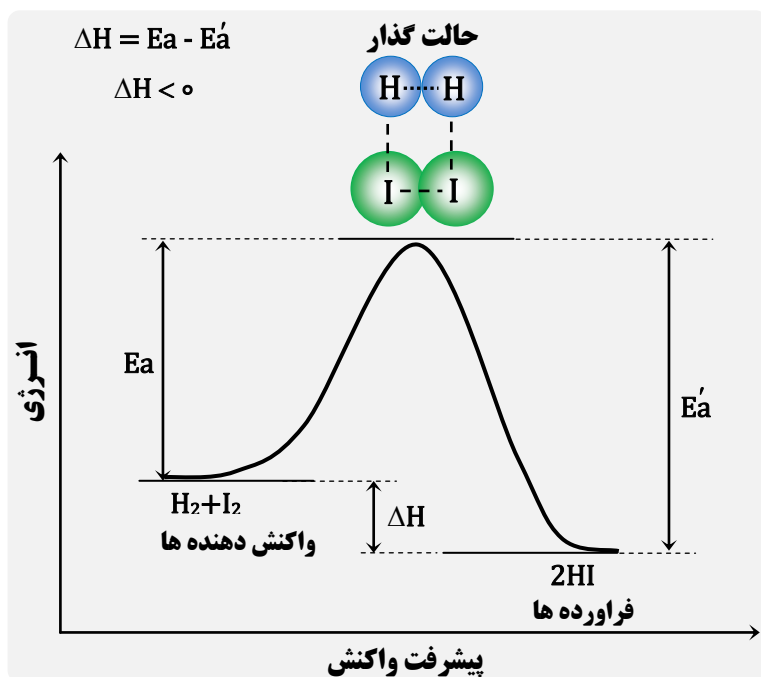
دهنده‌ها و فراورده‌هاست و در آن به طور هم‌زمان پیوندهای اولیه در حال گسستن و پیوندهای جدید در حال تشکیل هستند.

حالت گذار از واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها ناپایدارتر است و سطح انرژی بالاتری دارد.

واکنش برگشت پذیر: در آن مولکول‌های فراورده

نیز با هم واکنش داده، مواد واکنش دهنده را دوباره تولید می‌کنند.

در این واکنش، مقدار انرژی فعال سازی واکنش برگشت بیش‌تر از انرژی فعال سازی واکنش رفت است. از این رو سرعت واکنش برگشت کم‌تر از سرعت واکنش رفت است. تفاوت دو انرژی فعال سازی رفت و برگشت مقدار آنتالپی واکنش را معین می‌کند.



انرژی فعال سازی (E_a): مقدار انرژی لازم برای تشکیل یک مول پیچیده‌ی فعال از مواد واکنش دهنده را انرژی فعال سازی

می‌گویند و آن را با نماد E_a نشان می‌دهند.



نکته: هر چه E_a برای یک واکنش کم‌تر باشد، سرعت آن واکنش بیش‌تر است.

واکنش گرمازا: (برگشت) $E_a < E_a(\text{رفت})$ ، $\Delta H < 0$ سطح انرژی واکنش دهنده‌ها بالاتر

واکنش گرماگیر: (برگشت) $E_a > E_a(\text{رفت})$ ، $\Delta H > 0$ سطح انرژی واکنش دهنده‌ها پایین‌تر

روش‌های محاسبه‌ی آنتالپی واکنش (ΔH)

$$\Delta H = \sum \Delta H_1 - \sum \Delta H_2$$

$$\Delta H = \sum \Delta H_{f,2} - \sum \Delta H_{f,1}$$

$$\Delta H = E_a - E'_a$$

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

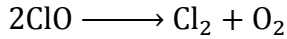
۱. با استفاده از متوسط انرژی پیوندها

۲. با استفاده از آنتالپی استاندارد تشکیل مواد

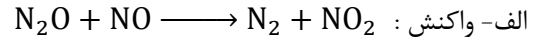
۳. با استفاده از انرژی فعال‌سازی

۴. با استفاده از محتوای انرژی

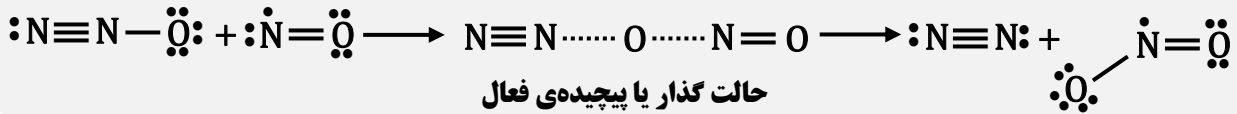
مثال: در واکنش های شیمیایی زیر ساختار پیچیده‌ی فعال را رسم کنید؟



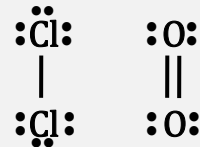
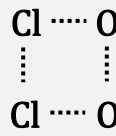
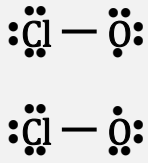
ب- واکنش :



پاسخ الف:



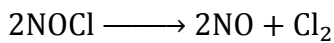
حالت گذار یا پیچیده‌ی فعال



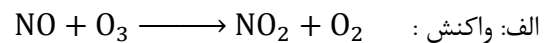
پاسخ ب:

حالت گذار یا پیچیده‌ی فعال

تمرین: در واکنش های شیمیایی زیر ساختار پیچیده‌ی فعال را رسم کنید؟

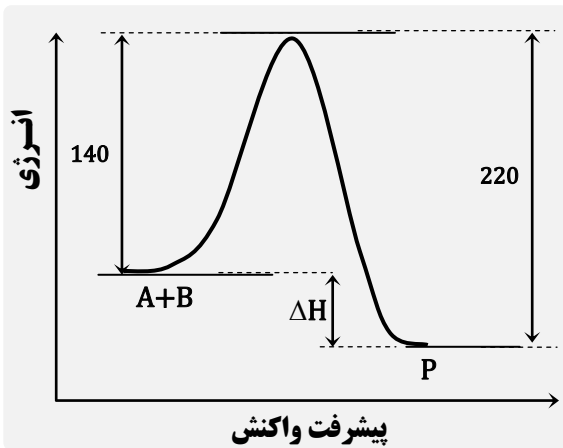


ب : واکنش :



الف: واکنش :

مثال: در واکنش $A + B \longrightarrow P$ اگر انرژی فعال سازی رفت و برگشت به ترتیب ۱۴۰ و ۲۲۰ کیلوکالری بر مول باشد :



الف : نمودار انرژی - پیشرفت واکنش را رسم کنید؟

ب : آنتالپی واکنش را محاسبه کنید؟

پاسخ الف: شکل مقابل پاسخ پرسش الف است.

پاسخ ب: تفاوت انرژی فعال سازی رفت و برگشت برابر آنتالپی

واکنش می‌باشد. که به صورت زیر قابل محاسبه است :

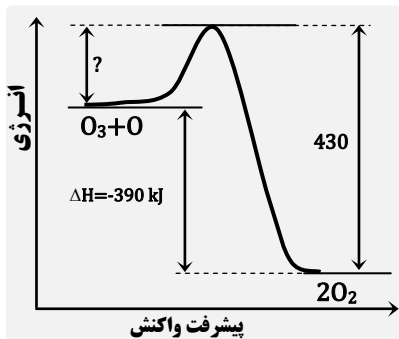
$$\Delta H = E_a - E'_a = 140 - 220 = -80$$

رابطه :

توجه: علامت منفی نشان می دهد که واکنش در جهت رفت

گرمایا و در جهت برگشت گرماگیر می باشد.

تمرین: در واکنش $A + B \longrightarrow P$ اگر انرژی فعال سازی رفت و برگشت به ترتیب ۳۵۰ و ۲۷۵ کیلوکالری بر مول باشد :



تمرین: واکنش $\text{O}_3(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \longrightarrow 2\text{O}_2(\text{g})$ را در نظر بگیرید. نمودار

انرژی - پیشرفت واکنش آن به شکل مقابل است. انرژی فعال سازی واکنش رفت را

محاسبه کنید؟

تمرین: واکنش $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \longrightarrow 2\text{OH}(\text{g})$ را در نظر بگیرید. انرژی فعال سازی واکنش رفت و برگشت آن به ترتیب

۷۸ و ۷۲ کیلوژول بر مول است :

الف : نمودار انرژی - پیشرفت واکنش آن را رسم کنید؟

ب : آنتالپی واکنش را محاسبه کنید؟

ج : واکنش گرمایا است یا گرماگیر ؟ چرا ؟

ساز و کار واکنش های شیمیایی

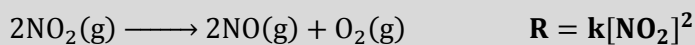
یکی از اهداف مهم سینتیک شیمیایی، آشنایی با چگونگی انجام یک واکنش در سطح ذره‌ای است. بسیاری از واکنش های شیمیایی طی چند مرحله انجام می‌شود.

ساز و کار واکنش: بررسی جزء به جزء مراحل انجام یک واکنش یا بررسی فرایند انجام شده در مقیاس میکروسکوپی، ساز و کار واکنش گفته می‌شود.

واکنش بنیادی: واکنشی است یک مرحله ای که در آن فراورده از برخورد مستقیم واکنش دهنده ها به دست می‌آید. در واکنش های بنیادی، ضریب استوکیومتری هر واکنش دهنده، مرتبه‌ی واکنش نسبت به آن را مشخص می‌کند.



نکته: در واکنش های یک مرحله ای (بنیادی) که تمام پرخوردها مؤثر می‌باشند، توان غلظت هر واکنش دهنده در رابطه‌ی سرعت، برابر ضریب استوکیومتری آن در واکنش است.



مثال: بنیادی است:



نکته: یک واکنش کلی، اغلب از چند واکنش بنیادی تشکیل شده است و مرتبه‌ی واکنش های چند مرحله‌ای را باید به طور تجربی اندازه گیری کرد.

مجموع ضرایب استوکیومتری واکنش دهنده ها ≥ 4

واکنش چند مرحله‌ای است

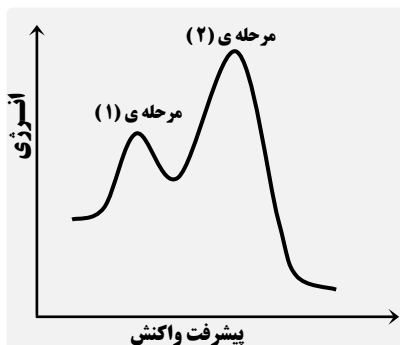
مجموع ضرایب استوکیومتری واکنش دهنده ها ≤ 3

یک یا چند مرحله‌ای بودن واکنش مشخص نیست

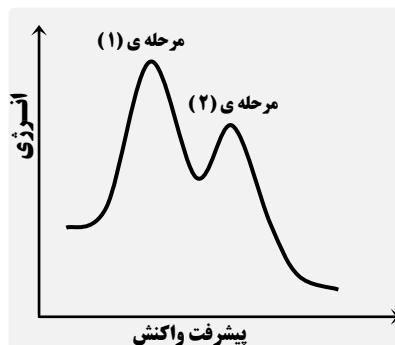
مرحله‌ی تعیین کننده‌ی سرعت: در واکنش های چند مرحله‌ای، آهسته ترین مرحله، سرعت واکنش را در کنترل خود دارد. این مرحله را تعیین کننده‌ی سرعت می‌گویند.



نکته: در واکنش چند مرحله‌ای، مرحله‌ای که بیشترین انرژی فعال سازی را دارد، آهسته ترین مرحله بوده و مرحله‌ی تعیین کننده‌ی سرعت واکنش می‌باشد.



مرحله‌ی (۲) آهسته و تعیین کننده‌ی سرعت است



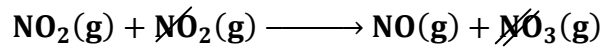
مرحله‌ی (۱) آهسته و تعیین کننده‌ی سرعت است



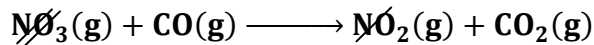
نکته: سرعت یک واکنش، با انرژی فعال سازی آن رابطه‌ی وارونه دارد به عبارت دیگر هر چه انرژی فعال سازی یک واکنش کم تر باشد، واکنش دهنده ها سریع تر به پیچیده‌ی فعال تبدیل شده، واکنش سریع تر و در زمان کم تری انجام خواهد شد.

مثال: واکنش $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ از طریق ساز و کار دو مرحله‌ای زیر انجام می‌شود. واکنش

کلی را بنویسید؟



مرحله‌ی اول: آهسته



مرحله‌ی دوم: سریع



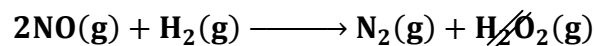
واکنش کلی:

در واکنش فوق مولکول NO_3 ذره‌ی حد واسط است.

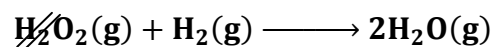
ذره‌ی حد واسط: ماده‌ای است که در یک مرحله تولید و در مرحله‌ی بعد مصرف می‌شود. و در واکنش کلی دیده نمی‌شود.

مثال: واکنش $2\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{NO}(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ از طریق ساز و کار دو مرحله‌ای زیر انجام می‌شود.

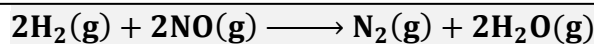
واکنش کلی را بنویسید؟



مرحله‌ی اول: آهسته



مرحله‌ی دوم: سریع



واکنش کلی:

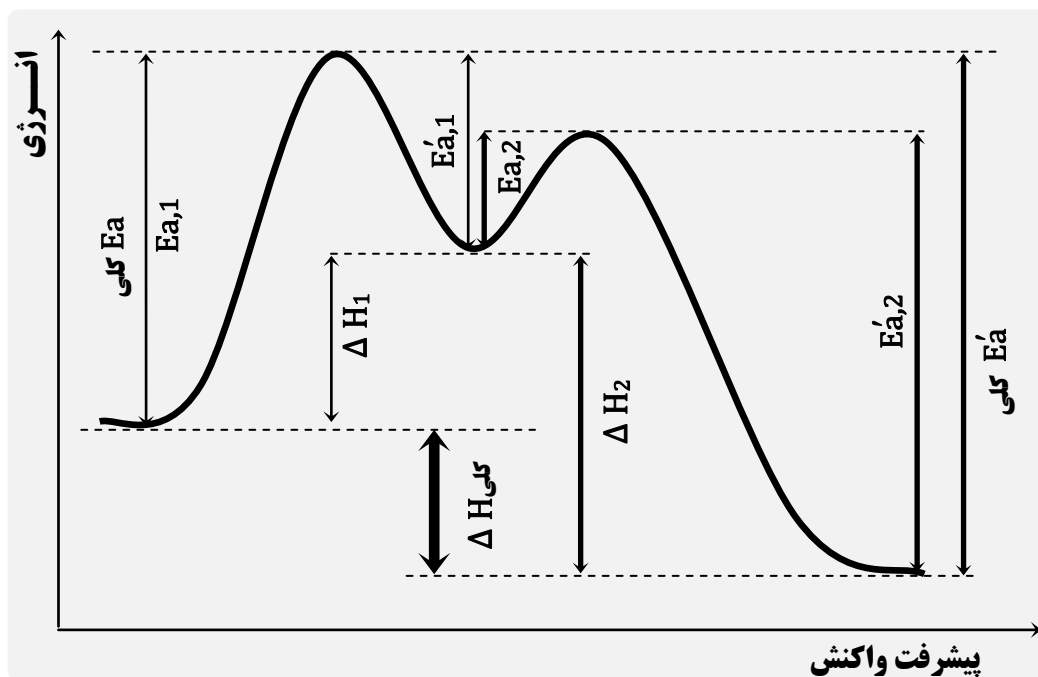
در واکنش فوق مولکول H_2O_2 ذره‌ی حد واسط است.

نمودار انرژی - پیشرفت واکنش در واکنش‌های چند مرحله‌ای

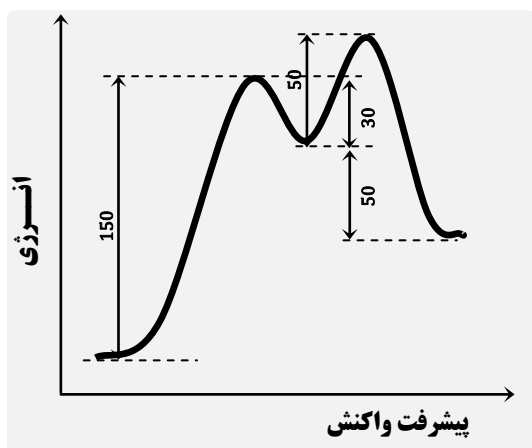
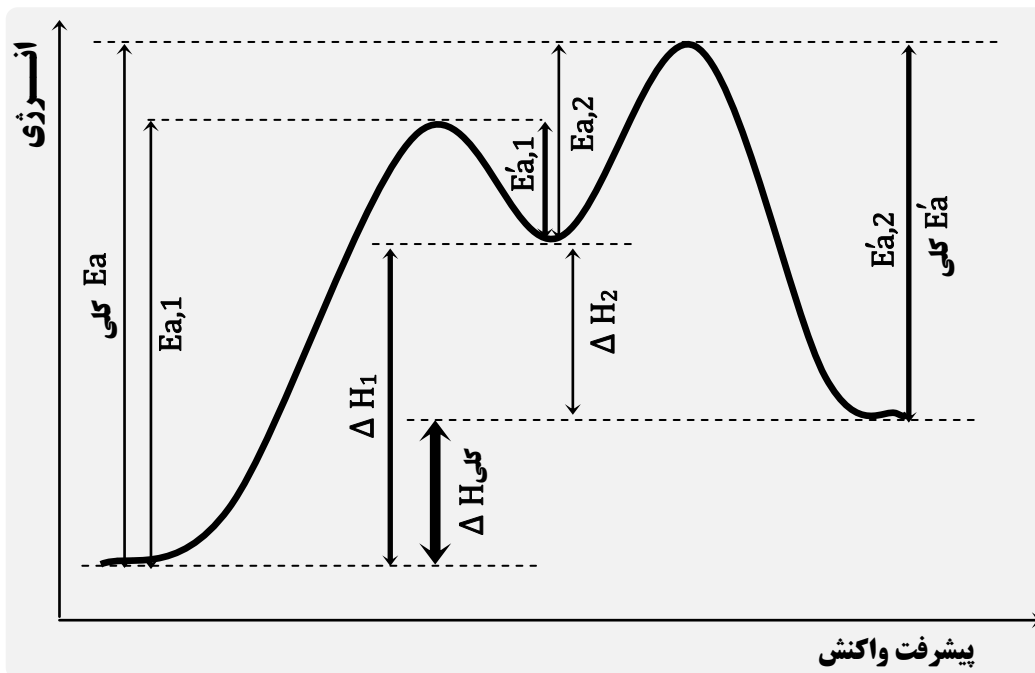
برای رسم نمودار واکنش چند مرحله‌ای به نکات زیر توجه کنید:

۱. به تعداد مرحله قله و انرژی فعال سازی وجود دارد.
۲. انرژی فعال سازی واکنش کلی برابر اختلاف سطح انرژی واکنش دهنده‌ها با بالاترین نقطه‌ی منحنی است.
۳. آنتالپی واکنش کلی برابر اختلاف سطح انرژی واکنش دهنده‌های اولیه و فرآورده‌های نهایی است.

نمودار انرژی - پیشرفت واکنش در واکنش‌های دو مرحله‌ای گرمازا



نمودار انرژی - پیشرفت واکنش در واکنش دو مرحله‌ای گرماگیر



مثال: با توجه به نمودار مقابل، موارد زیر را مشخص کنید:

الف: انرژی فعال سازی رفت و برگشت مرحله‌ی اول

ب: انرژی فعال سازی رفت و برگشت مرحله‌ی دوم

ج: انرژی فعال سازی واکنش کلی در جهت رفت و برگشت

د: آنتالپی مرحله‌ی اول، دوم، آنتالپی واکنش کلی در جهت رفت و برگشت

پاسخ: نمودار فوق به شکل مقابل در خواهد آمد:

الف: انرژی فعال سازی رفت مرحله‌ی اول: ۱۵۰

انرژی فعال سازی برگشت مرحله‌ی اول: ۳۰

ب: انرژی فعال سازی رفت مرحله‌ی دوم: ۵۰

انرژی فعال سازی برگشت مرحله‌ی دوم: ۱۰۰

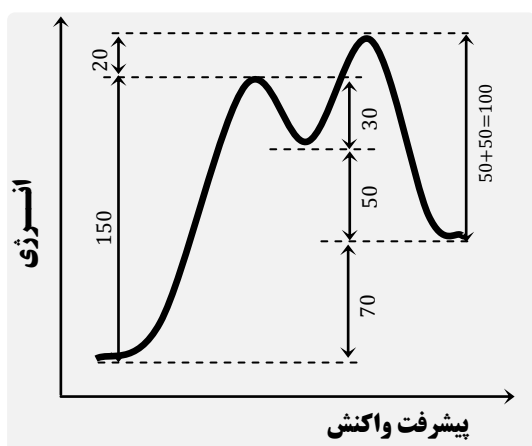
ج: انرژی فعال سازی کلی رفت: $۱۵۰ + ۲۰ = ۱۷۰$

انرژی فعال سازی کلی برگشت: $۵۰ + ۵۰ = ۱۰۰$

د: آنتالپی واکنش مرحله‌ی اول: $۱۵۰ - ۳۰ = ۱۲۰$

آنتالپی واکنش مرحله‌ی دوم: ۵۰

آنتالپی واکنش کلی: ۷۰

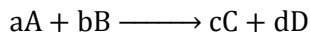


نکته: اگر یک واکنش شیمیایی در جهت رفت، گرمازا باشد ($\Delta H < 0$) در جهت برگشت گرماگیر ($\Delta H > 0$) خواهد بود و برعکس.



رابطه‌ی سرعت واکنش و غلظت واکنش دهنده‌ها

از مطالعه‌ی سرعت بسیاری از واکنش‌های شیمیایی، آشکار شده است که همواره می‌توان رابطه‌ای میان سرعت واکنش و غلظت واکنش دهنده‌ها برقرار کرد. برای مثال واکنش مقابل را در نظر بگیرید:



$$R = k[A]^m \cdot [B]^n$$

برای این واکنش می‌توان نوشت:

$$R = k[A]^a \cdot [B]^b$$

نکته: اگر واکنش پنیادی باشد، رابطه‌ی قانون سرعت به شکل مقابل خواهد بود:



این رابطه را **قانون سرعت** می‌گویند. در این رابطه، m و n به ترتیب مرتبه‌ی واکنش را نسبت به واکنش دهنده‌های A و B نشان می‌دهد. این مقادیر که می‌توانند اعداد صحیح یا اعشاری باشند، به طور تجربی به دست می‌آیند. k نیز کمیتی تجربی است و ثابت سرعت واکنش نامیده می‌شود. سرعت واکنش را با نماد R نشان می‌دهند.

مرتبه‌ی واکنش: مجموع توان غلظت واکنش دهنده‌ها را در رابطه‌ی سرعت واکنش، مرتبه‌ی واکنش می‌گویند. $(m+n)$

اگر مقدار m یا n برای واکنشی صفر به دست بیاید، سرعت واکنش مستقل از غلظت آن واکنش دهنده خواهد بود.

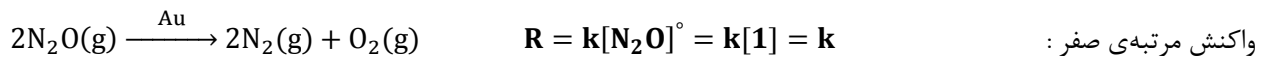
$$R = k[A]^m \cdot [B]^n = k[A]^0 \cdot [B]^n = k \cdot [1] \cdot [B]^n = k[B]^n \quad \text{سرعت واکنش وقتی که } m = 0 \text{ باشد:}$$

$$R = k[A]^m \cdot [B]^n = k[A]^0 \cdot [B]^0 = k \cdot [1] \cdot [1] = k \quad \text{سرعت واکنش وقتی که } m = 0, n = 0 \text{ باشد:}$$

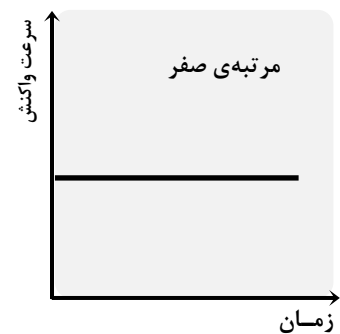
چنین واکنشی را واکنش مرتبه‌ی صفر می‌گویند.

واکنش مرتبه‌ی صفر: واکنش‌هایی هستند که در رابطه‌ی قانون سرعت آن‌ها، توان غلظت مواد برابر صفر است. در این گونه واکنش

ها، سرعت واکنش مستقل از غلظت واکنش دهنده‌هاست. یعنی واکنش در تمام مدت واکنش با سرعت ثابتی پیشرفت می‌کنند.

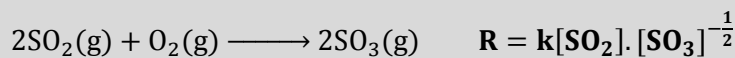


تجزیه‌ی برخی گازها روی سطح کاتالیزگرهای جامد، نمونه‌ای از واکنش‌های مرتبه‌ی صفر هستند.



نکته: گاهی در رابطه‌ی قانون سرعت، توان منفی دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی آن است که غلظت آن ماده اثر منفی بر سرعت

واکنش دارد. به عبارت دیگر موجب کاهش سرعت واکنش می‌شود.



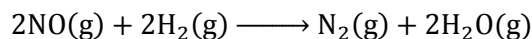
مثال:



مثال:



مثال: در جدول زیر اطلاعاتی درباره‌ی واکنش زیر در دمای ثابت داده شده است. رابطه‌ی قانون سرعت را برای آن بنویسید؟



معادله‌ی واکنش :

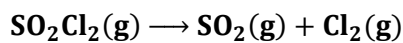
شماره‌ی آزمایش	غلظت واکنش دهنده‌ها در آغاز واکنش (mol.L ⁻¹)		سرعت واکنش پس از گذشت مدت کوتاهی از آغاز واکنش (mol.L ⁻¹ .s ⁻¹)
	[NO(g)]	H ₂ (g)	
۱	۰/۱	۰/۱	۱/۲۳ × ۱۰ ^{-۳}
۲	۰/۱	۰/۲	۲/۴۶ × ۱۰ ^{-۳}
۳	۰/۲	۰/۱	۴/۹۲ × ۱۰ ^{-۳}

پاسخ: با دو برابر کردن غلظت گاز هیدروژن در آزمایش (۲) سرعت واکنش دو برابر (۲^۱) شده است. پس توان [H₂] در رابطه‌ی قانون سرعت « یک » خواهد بود. در حالی که با دو برابر کردن غلظت گاز نیتروژن مونوکسید در آزمایش (۳) سرعت واکنش چهار برابر (۲^۲) شده است. پس توان گاز [NO] در رابطه‌ی قانون سرعت « دو » خواهد بود. در نتیجه رابطه‌ی قانون سرعت این واکنش به صورت

$$\text{سرعت واکنش} = k[\text{NO}]^2 \cdot [\text{H}_2]$$

مقابل خواهد بود :

مثال: سولفوریل کلرید (SO₂Cl₂) بر اثر گرما طبق معادله‌ی مقابل تجزیه می‌شود :



داده‌های جدول زیر برای تجزیه‌ی آن در دمای معین گزارش شده است. رابطه‌ی قانون سرعت را برای این واکنش بنویسید؟

شماره‌ی آزمایش	غلظت SO ₂ Cl ₂ (g) در آغاز واکنش (mol.L ⁻¹)	سرعت واکنش پس از گذشت مدت کوتاهی از آغاز واکنش (mol.L ⁻¹ .s ⁻¹)
۱	۰/۱۰۰	۲/۲ × ۱۰ ^{-۶}
۲	۰/۲۰۰	۴/۴ × ۱۰ ^{-۶}
۳	۰/۳۰۰	۶/۶ × ۱۰ ^{-۶}

پاسخ: با دو برابر کردن غلظت سولفوریل کلرید، سرعت دو برابر (۲^۱) و با سه برابر کردن غلظت، سرعت سه برابر (۲^۱) می‌شود. در نتیجه توان سولفوریل کلرید در قانون سرعت « یک » است. رابطه‌ی قانون سرعت :

$$\text{سرعت واکنش} = k[\text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g})]$$

مثال: در یک دمای معین و حجم ثابت، نتایج آزمایش‌های واکنش فرضی $a\text{A}(\text{g}) + b\text{B}(\text{g}) \longrightarrow c\text{C}(\text{g})$ در جدول زیر آورده شده است. مقادیر a و b را برای این واکنش با استفاده از رابطه‌ی قانون سرعت :

$$\text{R} = k[\text{A}]^a \cdot [\text{B}]^b$$

به دست آورید؟

شماره‌ی آزمایش	غلظت واکنش دهنده‌ها در آغاز واکنش (M)		سرعت واکنش (M.s ⁻¹)
	[A]	[B]	
۱	۲/۴	۱/۲	۴ × ۱۰ ^{-۵}
۲	۲/۴	۳/۶	۱/۲ × ۱۰ ^{-۴}
۳	۴/۸	۱/۲	۱/۶ × ۱۰ ^{-۴}

پاسخ: با سه برابر کردن غلظت [B]، سرعت سه برابر (۲^۱) شده است. پس توان [B] در رابطه‌ی قانون سرعت « یک » خواهد شد. در حالی که با دو برابر کردن غلظت [A]، سرعت چهار برابر (۲^۲) می‌شود. در نتیجه توان [A] در قانون سرعت « دو » خواهد شد. رابطه‌ی

$$\text{R} = k[\text{A}]^2 \cdot [\text{B}]$$

قانون سرعت :

مثال: در واکنش فرضی $\text{A} + \text{B} \longrightarrow \text{P}$ اگر غلظت هر یک از واکنش دهنده‌ها را ۴ برابر کنیم، تعداد برخوردها بین مولکول‌های

A و B چند برابر خواهد شد؟

◇ ۱۲ برابر

◇ ۱۶ برابر

◇ ۸ برابر

◇ ۴ برابر

پاسخ: اگر غلظت هر دو را ۴ برابر کنیم، تعداد برخوردها ۱۶ برابر (۴×۴) خواهد شد.



نکته: از بین عواملی چون غلظت، کاتالیزگر و دما تنها عاملی که می‌تواند موجب تغییر مسیر انجام واکنش گردد و انرژی فعال سازی را کاهش دهد، کاتالیزگر است. به عبارت دیگر، تغییر دما یا غلظت واکنش دهنده‌ها تأثیری بر مسیر انجام واکنش و انرژی فعال سازی ندارند.

انواع واکنش‌های کاتالیز شده

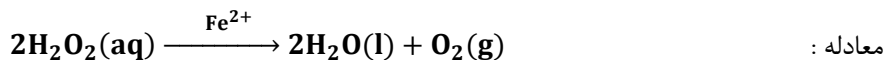
♦ واکنش کاتالیز شده‌ی همگن

♦ واکنش کاتالیز شده‌ی ناهمگن

واکنش کاتالیز شده‌ی همگن

واکنش کاتالیز شده‌ی همگن: واکنشی است که در آن، مواد واکنش دهنده و کاتالیزگر در یک فاز قرار دارند.

مثال: واکنش تجزیه‌ی هیدروژن پراکسید (آب اکسیژنه) با آهن (II) سولفات به صورت یون Fe^{2+} کاتالیز می‌شود. این ماده در دمای اتاق با سرعت بسیار کمی تجزیه می‌شود. در صورتی که اگر به محلول واکنش، اندکی آهن (II) سولفات جامد افزوده شود، واکنش با سرعت چشم گیر به وقوع می‌پیوندد.

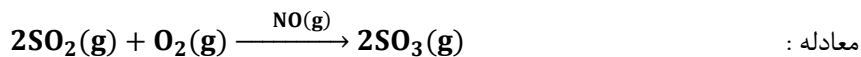


از آن جا که کاتالیزگر و واکنش دهنده هر دو در یک فاز (فاز محلول) قرار دارند، پس این واکنش کاتالیز شده‌ی همگن است.

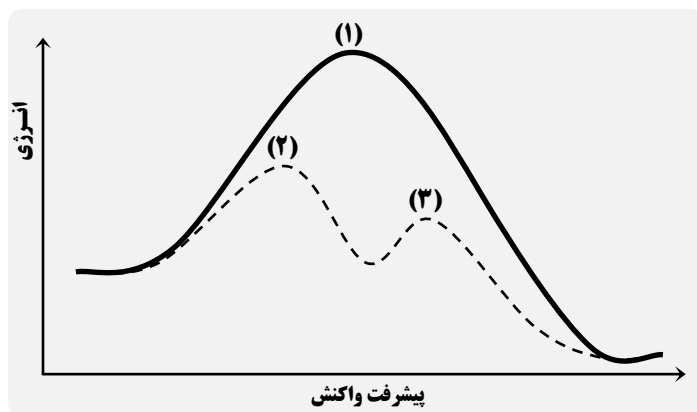
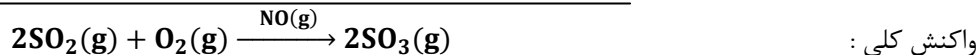
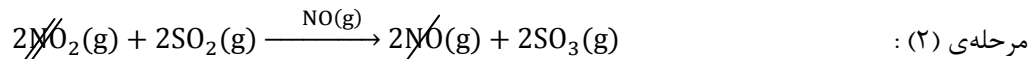


نکته: اگر در مسأله، کاتالیزگر را به صورت یون (Fe^{2+}) بدهند آن را به صورت محلول (aq) در نظر خواهیم گرفت.

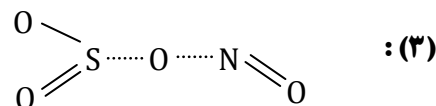
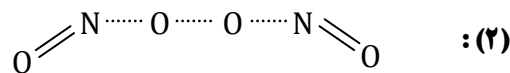
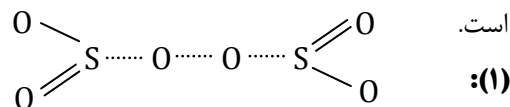
مثال: واکنش گوگرد دی اکسید با گاز اکسیژن که یک واکنش دو مرحله‌ای است، با گاز نیتروژن مونوکسید کاتالیز می‌شود. پس از جمله واکنش‌های کاتالیز شده‌ی همگن به شمار می‌رود.



ساز و کار این واکنش به صورت زیر است:



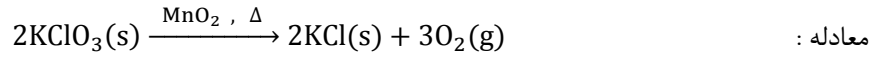
توجه کنید که در این مراحل گاز نیتروژن مونوکسید کاتالیزگر و گاز نیتروژن دی اکسید ترکیب واسطه است.



واکنش کاتالیز شده ناهمگن

واکنش کاتالیز شده ناهمگن: واکنشی است که در آن، مواد واکنش دهنده و کاتالیزگر در دو فاز مستقل و جداگانه قرار دارند.

مثال: واکنش تجزیه ی پتاسیم کلرات بر اثر گرما با منگنز دی اکسید کاتالیز می شود. در غیاب کاتالیزگر، واکنش بسیار آهسته انجام می شود. اما در حضور کاتالیزگر با کاهش انرژی فعال سازی، با سرعت بیش تری انجام می شود.



از آن جا که کاتالیزگر شامل یک فاز مستقل و واکنش دهنده نیز شامل یک فاز مستقل دیگر است، پس این واکنش کاتالیز شده ی ناهمگن است.



نکته: اگر کاتالیزگر به صورت فلز یا اکسید فلز داده شده باشد، فاز آن جامد خواهد بود. اگر کاتالیزگر در فاز جامد باشد یا دست کم یکی از واکنش دهنده ها در فاز جامد باشد، واکنش کاتالیز شده ی ناهمگن خواهد بود.

هیدروژن دار کردن آلکن ها یک واکنش کاتالیز شده ی ناهمگن

واکنش افزایش گاز هیدروژن (مولکول H_2) به پیوند دوگانه در هیدروکربن های سیرنشده (آلکن ها) و تبدیل آن ها به یک ترکیب سیرشده (آلکان ها) یک واکنش کاتالیز شده ی ناهمگن است. زیرا این واکنش با استفاده از فلزهایی مانند نیکل (Ni)، پلاتین (Pt) و پالادیم (Pd) کاتالیز می شود.

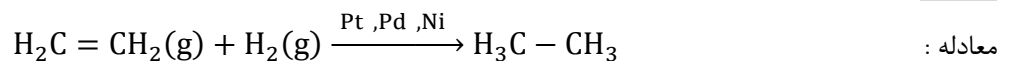
در این واکنش کاتالیزگر در فاز جامد و ماده ی واکنش دهنده (آلکن) در فاز گاز قرار دارد. پس کاتالیز شده ی ناهمگن است.

هیدروژن دار کردن: فرایند افزایش هیدروژن به آلکن ها (سیرنشده) و تبدیل آن ها به آلکان ها را هیدروژن دار کردن می گویند. کاربردهای هیدروژن دار کردن عبارتند از:

◆ صنعت نفت

◆ صنایع غذایی برای تولید روغن های گیاهی جامد

مثال: ساده ترین نمونه برای واکنش های هیدروژن دار کردن، تبدیل اتن به اتان است:



این واکنش در غیاب کاتالیزگر بسیار آهسته انجام می شود. اما در حضور گرد ریز نیکل، پلاتین یا پالادیم به عنوان کاتالیزگر، چه در فشارهای بالا گاز هیدروژن و چه در دمای اتاق، سریع انجام می شود.

سؤال: فلزهای نیکل، پالادیم یا پلاتین هیدروژن دار کردن اتن را چگونه کاتالیز می کنند؟

پاسخ: این فلزها با جذب مواد واکنش دهنده روی سطح خود، واکنش هیدروژن دار شدن را کاتالیز می کنند.

فرایند جذب سطحی در سطح جامدها

جذب سطحی در سطح جامدها به دو صورت انجام می شود:

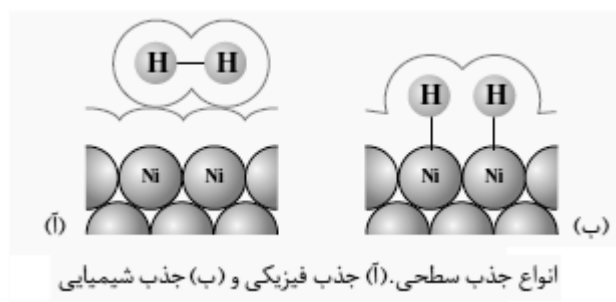
◆ جذب فیزیکی

◆ جذب شیمیایی

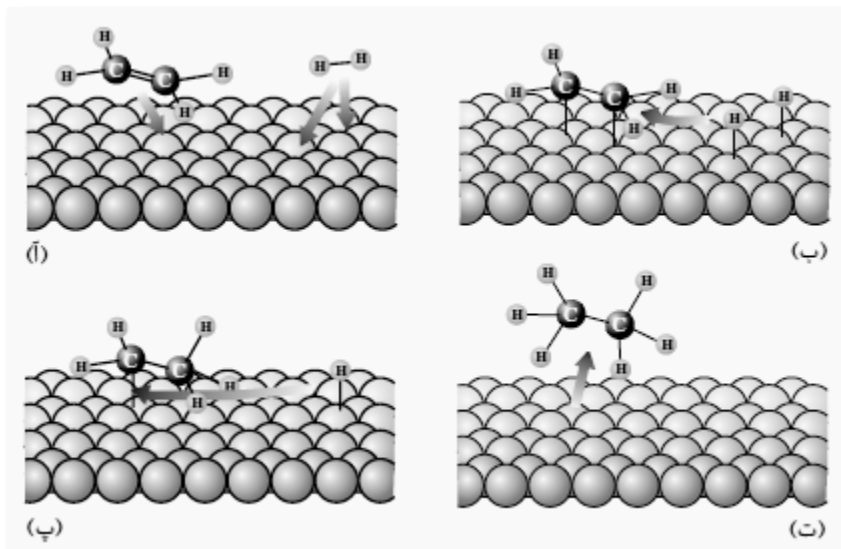
جذب شیمیایی قوی تر از جذب فیزیکی است.

جذب فیزیکی: ماده‌ی جذب شونده با سطح جاذب هیچ گونه پیوند شیمیایی تشکیل نمی‌دهد و تنها جاذبه‌هایی از نوع وان دروالسی ایجاد می‌شود.

جذب شیمیایی: ماده‌ی جذب شونده با سطح جاذب پیوند شیمیایی تشکیل می‌دهد.



نکته: در فرایند هیدروژن دار شدن اتن، جذب شیمیایی گاز هیدروژن روی سطح نیکل به واکنش سرعت می‌بخشد.



(ب) مرحله‌ی (ب): جذب شیمیایی مولکول هیدروژن و مولکول اتن روی سطح کاتالیزگر

(پ) مرحله‌ی (پ): واکنش مولکول اتن با یک اتم هیدروژن و تولید رادیکال اتیل، جذب شیمیایی این ذره‌ی فعال روی سطح کاتالیزگر و واکنش با دومین اتم هیدروژن و تولید مولکول اتان.

(ت) مرحله‌ی (ت): مولکول اتان تولید شده از سطح کاتالیزگر جدا شده در محیط واکنش انتشار می‌یابد.

در سال سوم دانستید که برای این که یک واکنش شیمیایی به طور خود به خود انجام شود دو شرط اساسی لازم است :

◇ کاهش آنتالپی

◇ افزایش آنتروپی

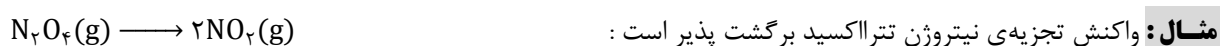
اگر در یک واکنش شیمیایی، هر دو عامل مساعد باشند آن واکنش همواره خود به خود انجام می‌شود و واکنش برگشت هرگز انجام پذیر نیست. مانند سوختن نفت، هیدروکربن‌ها، مواد آلی، زنگ زدن آهن و ...

واکنش برگشت ناپذیر : واکنشی است که تا مرز کامل شدن پیش رفته، نمی‌تواند در جهت برگشت پیشرفت کند (تبدیل فرآورده‌ها به واکنش دهنده‌ها امکان پذیر نیست).



اگر در یک واکنش شیمیایی یکی از عوامل نامساعد باشد واکنش رفت تحت شرایطی خود به خود و واکنش برگشت نیز تحت شرایطی به طور خود به خود انجام پذیر است. مانند تجزیه‌ی گاز دی‌نیتروژن تترااکسید، واکنش تجزیه‌ی کلسیم کربنات و ...

واکنش برگشت پذیر : واکنشی است که می‌تواند در جهت برگشت پیشرفت کند (تبدیل فرآورده‌ها به واکنش دهنده‌ها امکان پذیر است).



واکنش فوق به علت افزایش آنتروپی در جهت رفت و به علت کاهش آنتالپی در جهت برگشت پیشرفت می‌کند.

سؤال : آیا واکنش‌های تعادلی همان واکنش‌های برگشت پذیر هستند ؟

پاسخ : خیر واکنش‌های تعادلی نوعی واکنش برگشت پذیر است که در یک سامانه‌ی بسته انجام می‌شود. اگر در فرایند فوق ظرف سر بسته نباشد، گاز دی‌نیتروژن دی‌اکسید تولید شده از محیط خارج شده، واکنش برگشت هرگز رخ نخواهد داد. اما در یک ظرف سر بسته سرانجام با افزایش غلظت گاز دی‌نیتروژن دی‌اکسید واکنش برگشت نیز انجام خواهد شد و در زمان معینی سرعت واکنش رفت و برگشت برابر خواهد شد که در آن لحظه یک تعادل شیمیایی برقرار شده است.

انواع تعادل

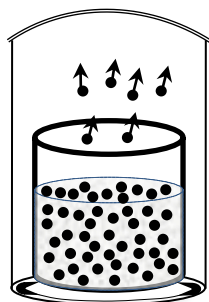
◇ تعادل فیزیکی

◇ تعادل شیمیایی

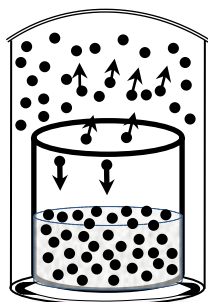
تعادل فیزیکی : در یک تعادل فیزیکی بدون آن که ماهیت شیمیایی مواد شرکت کننده در واکنش دچار تغییر شود، از یک حالت

فیزیکی به حالت فیزیکی دیگر در می‌آیند. مانند تبدیل مایع به بخار، جامد به مایع، جامد به بخار و ...

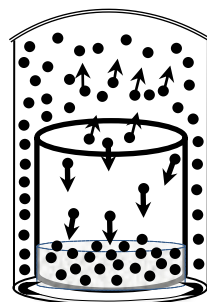
مثال : ظرف سر بسته ای را در نظر بگیرید که محتوی مقداری آب است.



شکل (آ)



شکل (ب)



شکل (ج)

(آ) در آغاز، برخی از مولکول‌های آب تبخیر شده، در بالای مایع جمع می‌شوند و فاز بخار را تشکیل می‌دهند. مولکول‌های آب در فاز بخار نیز به نوبه‌ی خود در جنب و جوش دائمی هستند. (تنها تبخیر انجام می‌شود)

(ب) با گذشت زمان، تعداد مولکول های فاز بخار افزایش می یابد و احتمال برخورد این مولکول ها به سطح مایع بیش تر می شود. آن عده از مولکول ها که به سطح مایع برخورد می کنند، تحت تأثیر نیروی جاذبه ای مولکول های مایع قرار می گیرند و به حالت مایع در می آیند. (میعان نیز انجام می شود اما سرعت تبخیر بیش تر از میعان است)

(ج) سرانجام زمانی فرا می رسد که سرعت تبخیر و میعان برابر می شود و در آن موقع است که بین آب مایع و بخار آب تعادلی برقرار می شود که از نوع فیزیکی است و هنگام تعادل :

سرعت مایع شدن = سرعت بخار شدن

این تعادل را به صورت زیر نشان می دهند و برای نشان دادن حالت تعادل از نماد « \rightleftharpoons » استفاده می کنند :



مفهوم برگشت پذیری

یکی از نمک های آبیوشیده، کبالت (II) کلرید ۶ آبه ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) است. این ترکیب صورتی رنگ بر اثر گرم شدن و از دست دادن مولکول های آب، آبی رنگ می شود. اگر این نمک بی آب در هوای مرطوب قرار گیرد، دوباره صورتی رنگ خواهد شد. این واکنش نمونه ای از واکنش های برگشت پذیر است.



اگر واکنش فوق در یک ظرف سرباز انجام شود، هرگز به تعادل نمی رسد اما در ظرف سربسته، تعادلی خواهد بود.

خصوصیات سامانه ی تعادلی

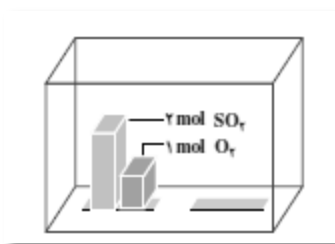
- ◆ سامانه بسته باشد.
- ◆ خواص ماکروسکوپی سامانه (رنگ، غلظت، دما و ...) با گذشت زمان ثابت بماند.
- ◆ در حال تعادل سرعت واکنش رفت و برگشت برابر باشد.
- ◆ سامانه دینامیک یا پویا باشد.



نکته : در سامانه ی تعادلی فرایندهای میکروسکوپی در سطح مولکولی به طور دائمی در حال انجام است یعنی تعادل در مقیاس

میکروسکوپی دینامیک و پویاست.

تعادل های شیمیایی



واکنش گاز گوگرد دی اکسید با گاز اکسیژن و تشکیل گاز گوگرد تری اکسید را، در نظر بگیرید :



از آن جا که این واکنش برگشت پذیر است، پس واکنش برگشت آن نیز انجام می شود.



در ظرف واکنش ۲ مول گاز گوگرد دی اکسید و ۱ مول گاز اکسیژن مخلوط شده اند. مراحل برقراری این تعادل به صورت زیر است :

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

واکنش رفت واکنش برگشت

مرحله (۱) آغاز واکنش

مرحله (۲) پس از مدتی

مرحله (۳) هنگام تعادل

مرحله (۱): از آن جا که در آغاز، غلظت SO_2 و O_2 زیاد است، تنها واکنش رفت با سرعت زیاد انجام می‌شود. سرعت واکنش برگشت صفر است.

مرحله (۲): با گذشت زمان تعدادی از مولکول های SO_2 و O_2 با هم واکنش داده، غلظت آن ها به تدریج کاهش و غلظت SO_3 به تدریج افزایش می‌یابد. بنابراین به تدریج سرعت واکنش رفت کاهش و سرعت واکنش برگشت افزایش می‌یابد.

مرحله (۳): سرانجام زمانی فرا می‌رسد که سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت برابر می‌شود. در این حالت می‌گویند در سامانه‌ی $SO_3 - O_2 - SO_2$ تعادل برقرار شده است.

نکته: در واکنش های تعادلی برای یافتن درک روش تری از چگونگی برقراری تعادل از یک دستگاه فرضی به نام «سرعت سنچ» استفاده می‌شود که در آن سرعت را به صورت صفر، آهسته (Slow)، متوسط (Medium)، سریع (Fast) نشان می‌دهد.



مثال: مطابق شکل رو به رو، در یک دمای مشخص، ظرف واکنش که در ابتدا فقط دارای گاز SO_2 بود، پس از مدتی طبق واکنش $2SO_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + O_2(g)$ تجزیه شده تعادلی شامل گازهای SO_2 ، O_2 و SO_3 در آن برقرار می‌شود. چگونگی برقراری تعادل را با در این سامانه با رسم شکل توضیح دهید.

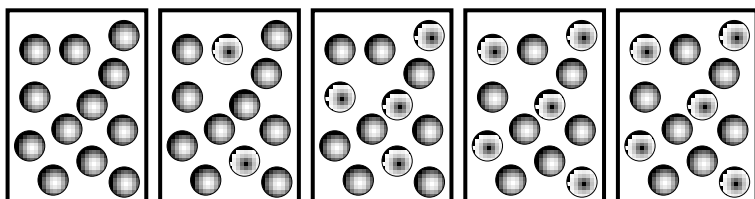
پاسخ:

در آغاز واکنش غلظت گاز گوگرد تری اکسید زیاد است و تنها واکنش رفت با سرعت زیاد انجام شده و چون غلظت گاز گوگرد دی اکسید و گاز اکسیژن صفر است، پس سرعت واکنش برگشت صفر است.

پس از مدتی از آغاز واکنش، مولکول های گاز گوگرد تری اکسید تجزیه شده، غلظت آن کاهش یافته و گاز گوگرد دی اکسید و گاز اکسیژن تولید شده و غلظت آن ها افزایش می‌یابد. در نتیجه سرعت واکنش برگشت افزایش و سرعت واکنش رفت کم تر خواهد شد.

در هنگام تعادل، غلظت واکنش دهنده ها و فراورده ها برابر شده، سرعت واکنش رفت و برگشت یکسان می‌شود و تعادل برقرار خواهد شد.

A B



$2SO_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + O_2(g)$

واکنش رفت واکنش برگشت

آغاز واکنش

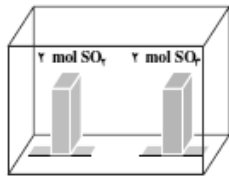
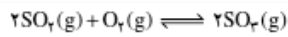
پس از مدتی

هنگام تعادل

مثال: شکل های زیر، واکنش فرضی :

$A(g) \rightarrow B(g)$ را نشان می‌دهد. آیا با توجه به ترتیب شکل ها از چپ به راست، میان گونه های A و B تعادل برقرار شده است؟

پاسخ: در شکل چهارم تعادل برقرار شده است. زیرا از شکل چهارم به بعد غلظت گونه ها ثابت مانده و تغییری نکرده است.



در آغاز واکنش

در هنگام تعادل

واکنش رفت



واکنش برگشت



واکنش رفت



واکنش برگشت



سرعت واکنش رفت

سرعت واکنش برگشت

سرعت واکنش رفت

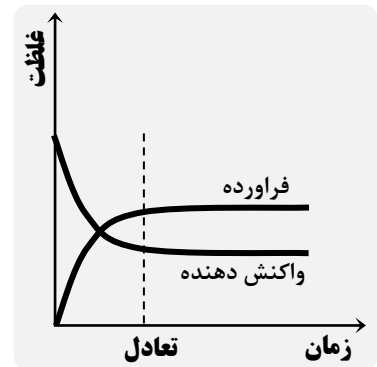
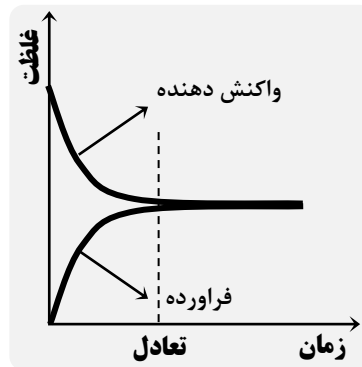
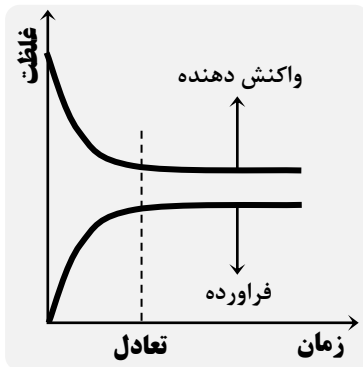
سرعت واکنش برگشت

مثال: مطابق شکل رو به رو، در یک دمای مشخص، ظرف واکنش دارای دو مول گاز SO₂ و دو مول گاز SO₃ است. کدام مجموعه از «سرعت سنج ها» به درستی وضعیت واکنش زیر را در زمان شروع و زمان برقراری تعادل نشان می‌دهد؟

پاسخ: (ب) زیرا در آغاز واکنش گاز اکسیژن وجود ندارد. پس سرعت واکنش رفت صفر است. سرعت واکنش برگشت زیاد است. (آ) و (پ) به این علت نادرست هستند که در آن‌ها تعادل برقرار نشده است.

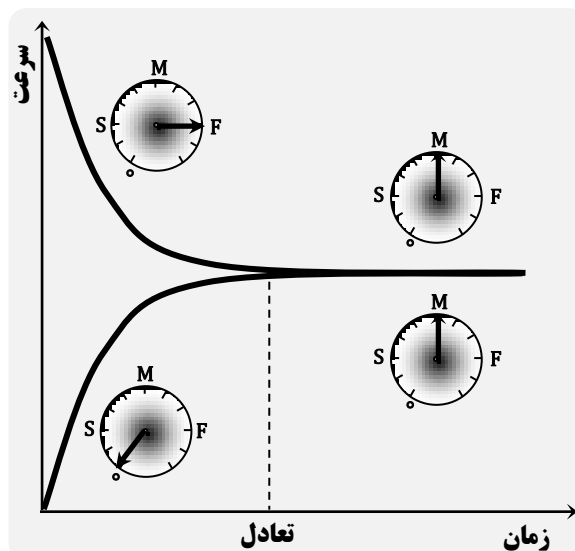
نمودار غلظت - زمان در یک فرایند تعادلی

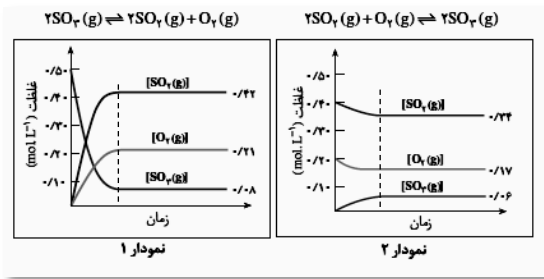
برای نشان دادن نمودار غلظت - زمان در فرایندهای تعادلی از شکل‌های کلی زیر استفاده می‌شود:



نمودار سرعت - زمان در یک فرایند تعادلی

برای نشان دادن نمودار سرعت - زمان در فرایندهای تعادلی از شکل کلی زیر استفاده می‌شود:





مثال: دو نمودار رو به رو، تغییر غلظت هر یک از گونه های شرکت کننده در واکنش را حین برقراری تعادل میان گازهای SO_2 ، O_2 و SO_3 در دمای $1227^\circ C$ نشان می دهد. با دقت به نمودارها نگاه کنید و به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید:

- آ: در کدام نمودار، غلظت اولیه $SO_2(g)$ و $O_2(g)$ صفر است؟
 ب: در کدام نمودار غلظت اولیه $SO_3(g)$ صفر است؟
 ج: آیا گونه ای وجود دارد که به طور کامل مصرف شده باشد؟
 د: روی دو نمودار زمان شروع برقراری تعادل را نشان دهید.

پاسخ:

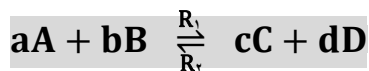
آ: نمودار (۱)

ب: نمودار (۲)

ج: خیر، زیرا گونه ای که به طور کامل مصرف می شود، نمودار زمان را در نقطه ای قطع خواهد کرد.

د: اولین نقطه ای که همه ی منحنی ها در آن به حالت افقی در می آیند، نشان دهنده ی زمان برقراری تعادل است.

قانون تعادل و عبارت ثابت تعادل



$$R_1 = K_1[A]^a[B]^b$$

$$R_2 = K_2[C]^c[D]^d$$

هر گاه یک واکنش تعادلی گازی را به شکل کلی مقابل در نظر بگیرید: می توان هر یک از واکنش های رفت و برگشت آن را یک واکنش بنیادی در نظر گرفت و معادله ی سرعت را برای آن ها نوشت:

$$R_1 = R_2$$

در حال تعادل سرعت واکنش های رفت و برگشت برابر است به عبارت دیگر:

$$K_1[A]^a[B]^b = K_2[C]^c[D]^d \Rightarrow \frac{K_1}{K_2} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} \quad \text{در نتیجه:}$$

مقادیر K_1 و K_2 در دمای ثابت مقادیر ثابتی هستند. بنابراین نسبت $\frac{K_1}{K_2}$ نیز مقداری ثابت است که این نسبت را با K نشان می دهند و آن را ثابت تعادل می گویند.

$$K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

رابطه ی کلی:

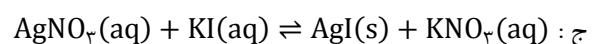
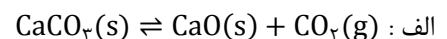
در رابطه ی فوق K را ثابت تعادل و کسر را عبارت ثابت تعادل می گویند.



نکته: در حل مسأله ی پیدا کردن ثابت تعادل باید از غلظت های تعادلی استفاده کرد. از آن جا که غلظت جامدها و مایعات خالص

تغییر نمی کند، پس در عبارت ثابت تعادل وارد نمی شوند.

مثال: رابطه ی ثابت تعادل را برای واکنش های زیر بنویسید:



$$K = [CO_2(g)]$$

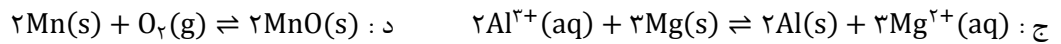
$$K = \frac{1}{[CO_2(g)]}$$

$$K = \frac{[KNO_3]}{[AgNO_3][KI]}$$



نکته: هر چه مقدار ثابت تعادل عدد بزرگ تری باشد نشان می‌دهد که شرایط ترمودینامیکی فرآورده‌ها مساعدتر از واکنش دهنده‌هاست. به عبارت دیگر واکنش رفت بهتر انجام می‌شود. ثابت تعادل ممکن است یکا داشته باشد یا ممکن است یکا نداشته باشد.

مثال: در هر یک از تعادل‌های زیر، رابطه‌ی K را نوشته، یکای آن را مشخص کنید:



پاسخ:

ا: $K = [\text{NH}_3][\text{H}_2\text{S}] = (\text{mol. L}^{-1})(\text{mol. L}^{-1}) = (\text{mol. L}^{-1})^2$

ب: $K = \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2} = \frac{(\text{mol. L}^{-1})}{(\text{mol. L}^{-1})^2} = \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}$

ج: $K = \frac{[\text{Mg}^{2+}]^3}{[\text{Al}^{3+}]^2} = \frac{(\text{mol. L}^{-1})^3}{(\text{mol. L}^{-1})^2} = \text{mol. L}^{-1}$

د: $K = \frac{1}{[\text{O}_2]} = \frac{1}{\text{mol. L}^{-1}} = \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}$



نکته: تنها عاملی که می‌تواند مقدار عددی ثابت تعادل را تغییر دهد، دما است.

تعادل‌های همگن و ناهمگن

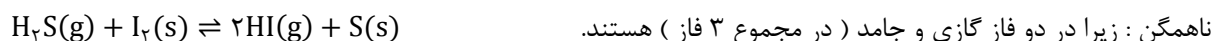
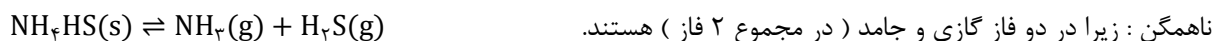
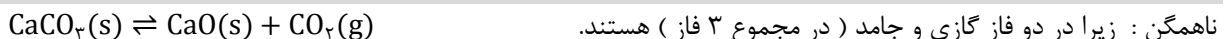
تعادل همگن: تعادلی است که در آن همه‌ی مواد شرکت‌کننده در واکنش در یک فاز هستند.



نکته: غلظت یک ماده‌ی جامد یا مایع خالص، از تقسیم چگالی ماده بر جرم مولی آن به دست می‌آید. چگالی یک ماده‌ی جامد یا مایع خالص در هر دمای معینی ثابت است. از این رو غلظت چنین ماده‌ای بدون توجه به مقدار آن ثابت خواهد بود.

رابطه: $\text{غلظت} = \frac{\text{چگالی}}{\text{جرم مولی}} \Rightarrow M = \frac{\text{g.L}^{-1}}{\text{g.mol}^{-1}} = \text{mol. L}^{-1}$

تعادل ناهمگن: تعادلی است که در آن مواد شرکت‌کننده در واکنش در فازهای متفاوتی هستند.



محاسبه‌ی ثابت تعادل با استفاده از غلظت تعادلی مواد

در این حالت می‌توان با قرار دادن غلظت‌های تعادلی داده شده در عبارت ثابت تعادل، مقدار K را به دست آورد.

مثال: اگر پس از برقراری تعادل $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ در دمای $500^\circ C$ ، غلظت $N_2(g)$ ، $H_2(g)$ و $NH_3(g)$ به ترتیب برابر $0/60$ ، $0/42$ و $0/11$ مول بر لیتر باشد، ثابت تعادل را محاسبه کنید.

پاسخ:
$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0/11)^2}{(0/6)(0/42)^3} = 0/27 \text{ mol}^{-2} \cdot L^2$$

مثال: اگر در تعادل گازی $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ ، مقدار ثابت تعادل برابر 50 ، غلظت $H_2(g)$ برابر $1/8 \times 10^{-3}$ مول بر لیتر و غلظت مولی $I_2(g)$ دو برابر غلظت مولی $H_2(g)$ باشد، غلظت $HI(g)$ در حالت تعادل چند مول بر لیتر است؟

پاسخ:
$$[H_2] = 1/8 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}, [I_2] = 2[H_2] = 2(1/8 \times 10^{-3}) = 3/6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

ادامه:
$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} \Rightarrow 50 = \frac{[HI]^2}{(1/8 \times 10^{-3})(3/6 \times 10^{-3})} \Rightarrow [HI]^2 = 3/24 \times 10^{-4} \Rightarrow [HI] = \sqrt{3/24 \times 10^{-4}} = 1/8 \times 10^{-2}$$

مثال: اگر در تعادل گازی: $2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$ در دمای معین غلظت آمونیاک و نیتروژن به ترتیب برابر $0/3$ و $0/1$ مول بر لیتر باشد، ثابت این تعادل را محاسبه کنید.

پاسخ:
$$[NH_3] = 0/3 \text{ mol} \cdot L^{-1}, [N_2] = 0/1 \text{ mol} \cdot L^{-1}, [H_2] = 3 \times 0/1 = 0/3 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

ادامه:
$$K = \frac{[N_2][H_2]^3}{[NH_3]^2} = \frac{(0/1)(0/3)^3}{(0/3)^2} = 0/03 \text{ mol}^{-2} \cdot L^2$$



نکته: اگر حجم ظرف واکنش پیش تر یا کم تر از یک لیتر باشد، برای په دست آوردن غلظت مولی، باید مقدار مول مواد را بر حجم ظرف تقسیم کرد تا غلظت مولی مواد په دست آید.

مثال: اگر در تعادل گازی $2A \rightleftharpoons 3B$ در یک ظرف ۲ لیتری سر بسته، مقدار A و B به ترتیب برابر $0/4$ و $1/2$ مول باشد، ثابت تعادل را در شرایط آزمایش محاسبه کنید.

پاسخ:
$$[A] = \frac{0.4 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.2 \text{ mol} \cdot L^{-1}, [B] = \frac{1.2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.6 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

ادامه:
$$K = \frac{[B]^3}{[A]^2} = \frac{(0.6)^3}{(0.2)^2} = 5.4 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

مثال: با توجه به تعادل $K = 0.01$ $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$ اگر حجم ظرف واکنش ۵ لیتر و مقدار $I_2(g)$ در حالت تعادل برابر $0/1$ مول باشد، مقدار $HI(g)$ در این شرایط برابر چند مول است؟

پاسخ:
$$[I_2] = \frac{0.1 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 0.02 \text{ mol} \cdot L^{-1}, [H_2] = [I_2] = 0.02 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

ادامه:
$$K = \frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2} \Rightarrow 0.01 = \frac{(0.02)(0.02)}{[HI]^2} \Rightarrow [HI]^2 = \frac{(0.02)(0.02)}{0.01} \Rightarrow [HI] = \frac{0.02}{0.1} = 0.02 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

ادامه:
$$[HI] = \frac{n_{HI}}{V} \Rightarrow 0.02 = \frac{n_{HI}}{5} \Rightarrow n_{HI} = 0.02 \times 5 = 0.1 \text{ mol}$$

محاسبه‌ی ثابت تعادل با استفاده از غلظت های اولیه‌ی مواد

هرگاه صحبت از غلظت های اولیه‌ی مواد به میان آید، به روش زیر عمل می‌شود:

مرحله‌ی اول: ابتدا یک جدول تشکیل داده، غلظت های اولیه‌ی مواد را می‌نویسند:

	aA + bB		⇌	cC + dD	
غلظت اولیه	m	n		o	o

مرحله‌ی دوم: در ردیف دوم جدول، تغییر غلظت ها را می‌نویسند:

	aA + bB		⇌	cC + dD	
غلظت اولیه	m	n		o	o
تغییر غلظت	-ax	-bx		+cx	+dx

مرحله سوم: در ردیف سوم جدول، ردیف‌های اول و دوم جدول را با هم جمع بندی می‌کنند که همان غلظت تعادلی است:

	aA + bB	⇌	cC + dD
غلظت اولیه	m	n	o
تغییر غلظت	-ax	-bx	+cx + dx
غلظت تعادلی	m-ax	n-bx	cx dx

در پایان غلظت‌های تعادلی را در رابطه‌ی K قرار داده، مسأله را حل می‌کنند.

مثال: در محفظه‌ای به حجم یک لیتر و با دمای 250°C ، مقدار $0/30$ مول $\text{PCl}_5(\text{g})$ وارد می‌شود. پس از برقراری تعادل $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ ، مقدار $0/26$ مول $\text{PCl}_3(\text{g})$ وجود دارد. ثابت تعادل را در این دما حساب کنید.

$$[\text{PCl}_5] = \frac{0/3 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0/3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

پاسخ:

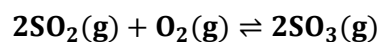
ادامه:

	PCl_5	⇌	$\text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$
غلظت اولیه	0/3		o
تغییر غلظت	-0/26		+0/26 + 0/26
غلظت تعادلی	3-0/26=0/04		0/26 0/26

$$K = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{(0/26)(0/26)}{0/04} = 1/69 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

ادامه:

مثال: در محفظه‌ای به حجم یک لیتر در یک دمای معین $0/25$ مول $\text{SO}_2(\text{g})$ و $0/20$ مول $\text{O}_2(\text{g})$ با هم واکنش می‌دهند. پس از برقراری تعادل، $0/16$ مول $\text{SO}_3(\text{g})$ در محفظه وجود دارد. در این دما ثابت تعادل را حساب کنید.



معادله:

پاسخ: طبق جدول زیر عمل کنید:

	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2$	⇌	2SO_3
غلظت اولیه	0/25	0/2	o
تغییر غلظت	-2x 0/08	-0/08	+2x 0/08
غلظت تعادلی	0/09	0/12	0/16

حال غلظت‌های تعادلی را در رابطه‌ی K قرار داده، مسأله را حل کنید:

$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{(0/16)^2}{(0/09)^2(0/12)} = \frac{0/0256}{(0/0081)(0/12)} = 26/33 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$$

معادله:

مثال: مقدار $6/4$ مول گاز آمونیاک را در یک ظرف سرپسته‌ی یک لیتری حرارت می‌دهیم تا تعادل گازی $2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3\text{H}_2$ برقرار شود. اگر پس از برقراری تعادل مقدار $0/4$ مول گاز آمونیاک تجزیه شده باشد، ثابت تعادل را به دست آورید.

پاسخ: طبق جدول زیر عمل کنید:

	2NH_3	⇌	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2$
غلظت اولیه	6/4		o
تغییر غلظت	-2x		+x + 3x
غلظت تعادلی	6/4-2x		x 3x

مقدار گاز آمونیاک تجزیه شده $-2x = -0/4 \Rightarrow x = 0/2$

$$K = \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}{[\text{NH}_3]^2} = \frac{x(3x)^3}{(6/4-2x)^2} = \frac{(0/2)(3 \times 0/2)^3}{(6/4-2 \times 0/2)^2} = \frac{0/0432}{36} = 1/2 \times 10^{-3}$$

در نتیجه:

مثال: مقدار ۰/۸ مول گاز گوگرد تری اکسید را وارد یک ظرف ۲ لیتری کرده‌اند. پس از برقراری تعادل طبق معادله‌ی زیر، تعداد



مول‌های آن به ۰/۲ مول کاهش می‌یابد. ثابت تعادل را حساب کنید؟

پاسخ: طبق جدول زیر عمل کنید:

	2SO_3	\rightleftharpoons	2SO_2	$+\text{O}_2$
غلظت اولیه	۰/۸		۰	۰
تغییر غلظت	-۰/۶		+۰/۶	+۰/۳
غلظت تعادلی	۰/۲		۰/۶	۰/۳
تأثیر حجم (تقسیم بر ۲)	۰/۱		۰/۳	۰/۱۵

$$K = \frac{[\text{O}_2][\text{SO}_2]^2}{[\text{SO}_3]^2} = \frac{(0.15)(0.3)^2}{(0.1)^2} = \frac{(0.15)(0.09)}{0.01} = 1.35$$

در نتیجه:

مثال: مقدار ۱ مول گاز N_2O_5 را وارد یک ظرف ۰/۵ لیتری کرده‌اند تا طبق معادله‌ی زیر تجزیه شود. اگر تا لحظه‌ی برقراری تعادل



۵۰ درصد آن تجزیه شود، ثابت تعادل را حساب کنید؟

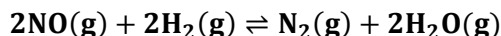
پاسخ: طبق جدول زیر عمل کنید:

	$2\text{N}_2\text{O}_5$	\rightleftharpoons	4NO_2	$+\text{O}_2$
غلظت اولیه	۱		۰	۰
تغییر غلظت	-۰/۵		+۱	+۰/۲۵
غلظت تعادلی	۰/۵		۱	۰/۲۵
تأثیر حجم (تقسیم بر ۰/۵)	۱		۲	۰/۵

$$K = \frac{[\text{O}_2][\text{NO}_2]^4}{[\text{N}_2\text{O}_5]^2} = \frac{(0.5)(2)^4}{(1)^2} = 8 \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$$

در نتیجه:

مثال: اگر طبق واکنش تعادلی زیر ۰/۶ مول گاز NO و یک مول گاز H_2 را وارد ظرف ۲ لیتری کنیم و در لحظه‌ی برقراری تعادل



۰/۲ مول گاز NO موجود باشد، ثابت تعادل را حساب کنید.

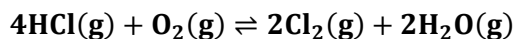
پاسخ:

	$2\text{NO} + 2\text{H}_2$	\rightleftharpoons	$\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
غلظت اولیه	۰/۶	۱	۰
تغییر غلظت	-۰/۴	-۰/۴	+۰/۲
غلظت تعادلی	۰/۲	۰/۶	۰/۴
تأثیر حجم (تقسیم بر ۲)	۰/۱	۰/۳	۰/۲

$$K = \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{NO}]^2[\text{H}_2]^2} = \frac{(0.1)(0.2)^2}{(0.1)^2(0.3)^2} = \frac{(0.1)(0.04)}{(0.01)(0.09)} = 4.44 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$$

در نتیجه:

مثال: مقدار ۰/۵ مول از گازهای HCl و O_2 را وارد یک ظرف ۴ لیتری کرده‌اند تا تعادل زیر برقرار شود. اگر در لحظه‌ی برقراری



تعادل ۰/۲ مول گاز Cl_2 تشکیل شده باشد، ثابت تعادل را حساب کنید.

پاسخ:

	$4\text{HCl} + \text{O}_2$	\rightleftharpoons	$2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
غلظت اولیه	۰/۵	۰/۵	۰
تغییر غلظت	-۰/۴	-۰/۱	+۰/۲
غلظت تعادلی	۰/۱	۰/۴	۰/۲
تأثیر حجم (تقسیم بر ۴)	۰/۲۵	۰/۱	۰/۰۵

$$K = \frac{[\text{Cl}_2]^2[\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{HCl}]^4[\text{O}_2]} = \frac{(0.05)^2(0.05)^2}{(0.25)^4(0.1)} = \frac{6.25 \times 10^{-6}}{3.9 \times 10^{-2}} = 1.6 \times 10^{-2} \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$$

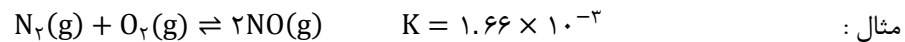
در نتیجه:

تفسیر ثابت تعادل

حالت های مختلف ثابت تعادل را در نظر گرفته و مفهوم هر یک را به شرح زیر بیان می کنند :

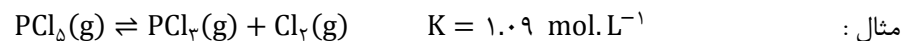
۱- مقدار عددی K به میزان قابل توجهی کوچک تر از یک باشد : در این حالت تعادل در سمت چپ یا سمت واکنش دهنده ها قرار

دارد. به عبارت دیگر حاصل ضرب غلظت فراورده ها کم تر از واکنش دهنده ها است.



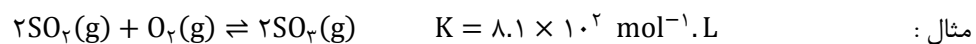
۲- مقدار عددی K برابر یک یا در حدود یک باشد : در این حالت تعادل در میانه قرار دارد. به عبارت دیگر واکنش دهنده ها و

فراورده ها به میزان قابل توجهی در سامانه ای تعادلی وجود دارند.



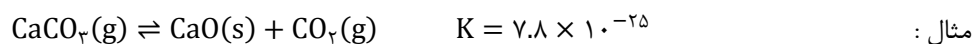
۳- مقدار عددی K به میزان قابل توجهی بزرگ تر از یک باشد : در این حالت تعادل در سمت راست یا سمت فراورده ها قرار دارد. به

عبارت دیگر حاصل ضرب غلظت فراورده ها بزرگ تر از واکنش دهنده ها است.



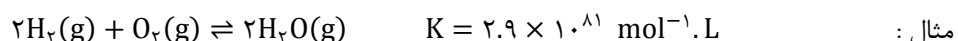
۴- مقدار عددی K کوچک تر از 10^{-10} باشد : در این حالت واکنش رفت در دمای معمولی انجام نمی شود. به عبارت دیگر مقدار

بسیار ناچیزی فراورده تولید شده است.



۵- مقدار عددی K بزرگ تر از 10^{10} باشد : در این حالت واکنش تقریباً کامل است یا در مرز کامل شدن است. به عبارت دیگر

مقدار بسیار ناچیزی واکنش دهنده باقی مانده و به طور کامل به فراورده تبدیل شده اند.



چند نکته در مورد ثابت تعادل

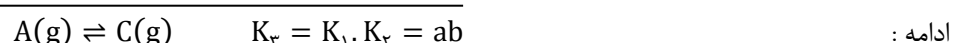
۱- اگر یک تعادل شیمیایی معکوس گردد : ثابت تعادل آن نیز معکوس خواهد شد.



۲- اگر یک تعادل شیمیایی در عددی مانند n ضرب شود : ثابت تعادل آن به توان n می رسد.



۳- اگر یک واکنش جمع دو واکنش دیگر باشد : مقدار ثابت تعادل آن برابر حاصل ضرب مقدار ثابت تعادل آن ها خواهد بود.



مثال : با توجه به مقادیر ثابت تعادل داده شده، ثابت تعادل واکنش خواسته شده را به دست آورید.



$$K_3 = K_1 \cdot K_2 = 2 \times 10^2 \times 3 \times 10^2 = 6 \times 10^4$$

پاسخ :

واکنش کامل: واکنش هایی هستند که در آن ها یک یا چند واکنش دهنده به طور کامل مصرف می شود. به عبارت دیگر مقدار عددی ثابت تعادل بسیار بزرگ است.



نکته: واکنش زمانی از نظر ترمودینامیکی مساعد است که مقدار عددی ثابت تعادل آن بزرگ باشد. واکنش زمانی از نظر سینتیکی مساعد است که سرعت واکنش زیاد باشد.

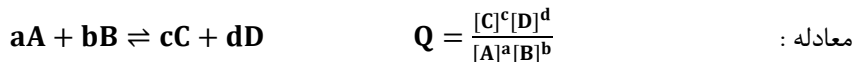
مقدار K برای واکنش گاز هیدروژن و گاز اکسیژن در دمای معمولی بسیار بزرگ است. به عبارت دیگر واکنش تا کامل شدن پیش می رود. اما چون انرژی فعال سازی آن زیاد است، سرعت واکنش آن قدر آهسته است که هرگز در دمای معمولی به تعادل نمی رسد. شیمی دان ها می گویند که این واکنش در دمای معمولی از نظر ترمودینامیکی مساعد است اما به طور سینتیکی کنترل می شود (یعنی سرعت بسیار کم، مانع از انجام شدن آن می شود). البته این واکنش با ایجاد جرقه یا استفاده از کاتالیزگر به صورت انفجاری انجام می شود. زیرا در این صورت مشکل سینتیکی واکنش حل می شود و واکنش تا مرز کامل شدن پیش می رود.



نکته: هنگامی می توان از عبارت ثابت تعادل استفاده کرد که واکنش برگشت پذیر به تعادل رسیده باشد. اما این که چه موقع، تعادل برقرار می شود بستگی به سرعت واکنش ها دارد.

پیش بینی جهت پیشرفت واکنش به کمک خارج قسمت واکنش (Q)

در واکنش های تعادلی از ابتدا تعادل برقرار نمی شود و قبل از برقراری تعادل واکنش دهنده ها و فراورده ها در ظرف واکنش وجود دارند. بنابراین هم واکنش رفت و هم واکنش برگشت در حال انجام است. برای تشخیص این که سرعت واکنش رفت بیش تر است یا سرعت واکنش برگشت، باید خارج قسمت واکنش را به دست آوریم. واکنش فرضی زیر را در نظر بگیرید:



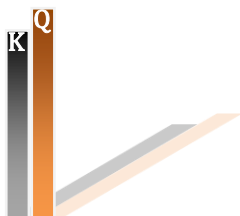
نکته: از مقایسه Q و K درمی یابیم که خارج قسمت واکنش از نظر ظاهری مانند عبارت ثابت تعادل است، با این تفاوت که لازم نیست در خارج قسمت واکنش، غلظت های تعادلی قرار داده شود. در واقع K حالت ویژه ای از Q است.

خارج قسمت واکنش معیاری برای تعیین جهت پیشرفت واکنش است. وقتی مخلوط واکنش، تنها دارای واکنش دهنده هاست، صورت خارج قسمت واکنش صفر می شود. از این رو $Q=0$. به تدریج که واکنش پیشرفت می کند، غلظت فراورده ها افزایش و غلظت واکنش دهنده ها کاهش می یابد و مقدار Q افزایش می یابد. در لحظه ای که همهی واکنش دهنده ها به فراورده تبدیل می شود (واکنش کامل)، مقدار Q بینهایت خواهد شد.



♦ **در شرایطی که Q کم تر از K است:** تعادل در صورتی برقرار می شود که واکنش رفت در مقایسه با واکنش برگشت به میزان بیش تری روی دهد تا سرانجام Q با K برابر شود.

$$Q < K$$



♦ **در شرایطی که Q بیش تر از K است:** تعادل در صورتی برقرار می شود که واکنش برگشت در مقایسه با واکنش رفت به میزان بیش تری روی دهد تا سرانجام Q با K برابر شود.

$$Q > K$$

مثال: در دمای 427°C ، ثابت تعادل واکنش مقابل برابر ۵۴ است: $2\text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ چنان چه غلظت $\text{HI}(\text{g})$ ، $\text{H}_2(\text{g})$ و $\text{I}_2(\text{g})$ به ترتیب $0/50$ ، $3/00$ و $3/5$ مولار باشد، آیا این مخلوط گازی در تعادل است؟ اگر پاسخ منفی است، جهت پیشرفت واکنش تا رسیدن به تعادل را مشخص کنید.

$$Q = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{(3.00)(3.5)}{(0.5)^2} = 42 \Rightarrow Q < K \quad \text{پاسخ:}$$

در نتیجه واکنش رفت باید به میزان بیش تری انجام شود تا تعادل برقرار شود. به عبارت دیگر باید HI تجزیه شود.

مثال: در دمای 1000°C ، ثابت تعادل واکنش $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ برابر $3/6 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$ است. در کدام حالت داده شده، مخلوط در تعادل نیست؟ در این مورد، جهت پیشرفت واکنش تا رسیدن به تعادل را مشخص کنید.

$$\text{الف: } [\text{SO}_2(\text{g})] = 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [\text{O}_2(\text{g})] = 2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [\text{SO}_3(\text{g})] = 3.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{ب: } [\text{SO}_2(\text{g})] = 2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [\text{O}_2(\text{g})] = 2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [\text{SO}_3(\text{g})] = 5.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{ج: } [\text{SO}_2(\text{g})] = 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [\text{O}_2(\text{g})] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [\text{SO}_3(\text{g})] = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

پاسخ:

$$\text{الف: } Q = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{(3.0)^2}{(1.0)^2(2.0)} = 4.5 \Rightarrow Q > K \quad \text{واکنش برگشت باید به میزان بیش تری انجام شود.}$$

$$\text{ب: } Q = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{(5.0)^2}{(2.0)^2(2.5)} = 2.5 \Rightarrow Q < K \quad \text{واکنش رفت باید به میزان بیش تری انجام شود.}$$

$$\text{ج: } Q = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{(0.6)^2}{(1.0)^2(0.1)} = 3.6 \Rightarrow Q = K \quad \text{واکنش در حال تعادل است.}$$

مثال: در دمای معین ثابت تعادل واکنش $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$ برابر $0/25$ می باشد. چنان چه ۱ مول از هر یک از مواد در ظرف سربسته‌ی ۱۰ لیتری وارد شود، آیا مخلوط گازی در تعادل است؟ اگر پاسخ منفی است، جهت پیشرفت واکنش را تا رسیدن به تعادل مشخص کنید.

$$[\text{N}_2] = [\text{O}_2] = [\text{NO}] = \frac{1 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad \text{پاسخ:}$$

$$Q = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} = \frac{(0.1)^2}{(0.1)(0.1)} = 1 \Rightarrow Q > K \quad \text{ادامه: واکنش برگشت باید به میزان بیش تری انجام شود.}$$

علم استفاده از انرژی الکتریکی برای انجام یک تغییر شیمیایی یا تولید انرژی الکتریکی به وسیله واکنش های شیمیایی را الکتروشیمی گویند.

مایکل فارادی

فارادی که کشف بنزن، تهیه کلر مایع در شیمی، ساخت موتور الکتریکی و دینام در فیزیک را به او نسبت می دهند، الکترون را ارتباط دهنده شیمی و الکتریسته دانست. ذره ای با بار الکتریکی منفی که استقرار آن میان اتم ها، تشکیل مولکول ها را ممکن می سازد و انتقال آن از جایی به جای دیگر جریان برق را به وجود می آورد.

واکنش های اکسایش - کاهش

تعاریف قدیم اکسایش - کاهش

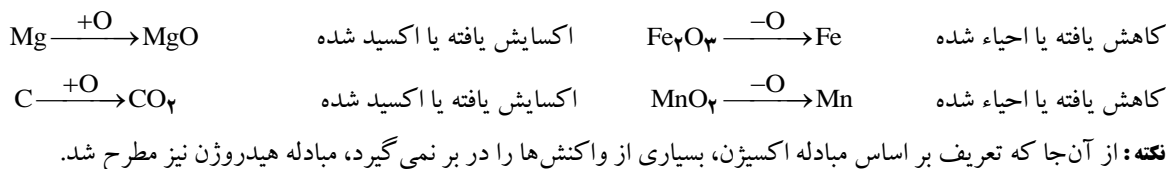
۱. بر اساس مبادله اکسیژن
۲. بر اساس مبدله هیدروژن

تعاریف جدید اکسایش - کاهش

۱. بر اساس مبادله الکترون
۲. بر اساس تغییر عدد اکسایش

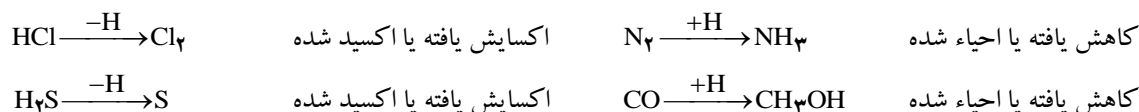
تعریف اکسایش - کاهش بر اساس مبادله اکسیژن

بر اساس این تعریف، اکسایش به معنی به دست آوردن اکسیژن و کاهش به معنی از دست دادن اکسیژن است.



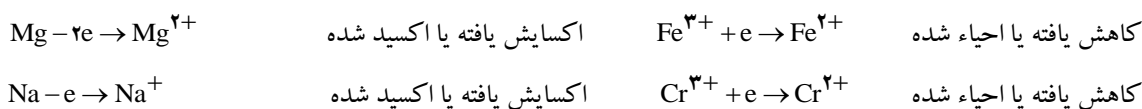
تعریف اکسایش - کاهش بر اساس مبادله هیدروژن

بر اساس این تعریف، اکسایش به معنی از دست دادن هیدروژن و کاهش به معنی به دست آوردن هیدروژن است.

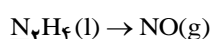


تعریف اکسایش - کاهش بر اساس مبادله الکترون

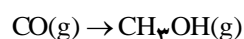
بر اساس این تعریف، اکسایش به معنی از دست دادن الکترون و کاهش به معنی به دست آوردن الکترون است.



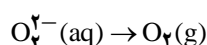
مثال: در هر یک از تبدیل های اتم زیر خط دار اکسایش یافته یا کاهش یافته است؟



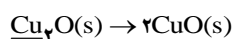
نیتروژن، هیدروژن از دست داده است پس اکسایش یافته یا اکسید شده است.



کربن، هیدروژن گرفته است پس کاهش یافته است.

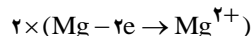
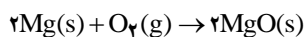


اکسیژن، الکترون از دست داده است پس اکسایش یافته است.

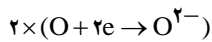


مس، اکسیژن گرفته است پس اکسایش یافته است.

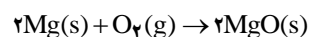
مثال: واکنش سوختن منیزیم در اکسیژن را در نظر گرفته، واکنش‌های اکسایش - کاهش و واکنش کلی را بنویسید.



اکسایش:



کاهش:



واکنش کلی:

نکته: واکنش‌های اکسایش و کاهش همزمان روی می‌دهند و در حالی که یک گونه اکسایش می‌یابد، گونه دیگر کاهش می‌یابد.

اکسنده (کاهش یافته یا احیاء شده): ماده‌ای است که با گرفتن الکترون از گونه‌های دیگر، آن‌ها را اکسید کرده و خود کاهش می‌یابد.

کاهنده (اکسایش یافته یا اکسید شده): ماده‌ای است که با دادن الکترون به گونه‌های دیگر، آن‌ها را کاهش داده و خود اکسایش می‌یابد.

نکته: در واکنش سوختن منیزیم، اکسیژن اکسنده است و احیاء شده است و منیزیم کاهنده است و اکسایش یافته است.

ک.س.ت. ۸۴: در واکنش $2\text{Mg(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{MgO(s)}$ اکسیژن، و منیزیم می‌یابد. اکسیژن و منیزیم است.

الف) اکسایش - کاهش - اکسنده - کاهنده

ب) اکسایش - کاهش - کاهنده - اکسنده

ج) کاهش - اکسایش - اکسنده - کاهنده

د) کاهش - اکسایش - کاهنده - اکسنده

حل: گزینه (ج)

ک.س.ر.خ. ۸۶: اکسنده ماده‌ای است که با الکترون گونه‌های دیگر، آن‌ها را و کاهنده ماده‌ای است

که با الکترون گونه‌های دیگر، آن‌ها را

الف) دادن - به - اکسید می‌کند - گرفتن - از - کاهش می‌دهد.

ب) گرفتن - از - اکسید می‌کند - دادن - به - کاهش می‌دهد.

ج) گرفتن - از - کاهش می‌دهد - دادن - به - اکسید می‌کند.

د) دادن - به - کاهش می‌دهد - گرفتن - از - اکسید می‌کند.

حل: گزینه (ب)

نکته: اکسایش (کاهنده): + اکسیژن - هیدروژن - الکترون + عدد اکسایش

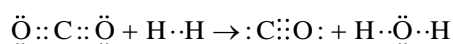
نکته: کاهش (اکسنده): - اکسیژن + هیدروژن + الکترون - عدد اکسایش

انتقال الکترون و عدد اکسایش

در بسیاری از واکنش‌های اکسایش - کاهش، ردیابی مبدأ و مقصد جابه‌جایی الکترون و تعیین گونه اکسنده و کاهنده دشوار است. در

واکنش $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ تغییری در تعداد الکترون‌های ظرفیتی اتم‌ها مشاهده نمی‌شود بنابراین تشخیص اکسنده

و کاهنده دشوار است.



شیمیدان‌ها با معرفی مفهوم عدد اکسایش بر این مشکل غلبه کردند. به این ترتیب که به هر اتم موجود در یک ترکیب می‌توان یک عدد

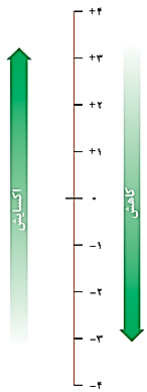
اکسایش نسبت داد.

عدد اکسایش: تعداد الکترون‌هایی است که برای تبدیل شدن به اتم خنثی باید به یک اتم در یک ترکیب، داده شود یا گرفته شود.

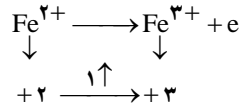
بار الکتریکی ظاهری نسبت داده شده به هر اتم با فرض یونی بودن پیوندها را عدد اکسایش گویند.

مثال: یون Fe^{2+} با گرفتن ۲ الکترون به یک اتم خنثی تبدیل می‌شود پس عدد اکسایش آن ۲+ است (حالت اکسایش آن (Fe(II) و یون Fe^{3+} با

گرفتن ۳ الکترون به یک اتم خنثی تبدیل می‌شود پس عدد اکسایش آن ۳+ (حالت اکسایش آن (Fe(III) است.

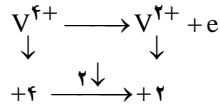


مثال: هنگامی که Fe^{2+} به Fe^{3+} تبدیل می‌شود، اکسایش روی داده است:



اکسایش = افزایش درجه

مثال: هنگامی که V^{4+} به V^{2+} تبدیل می‌شود، اکسایش روی داده است:



کاهش = کاهش درجه

قواعد تعیین عدد اکسایش

برای مشخص کردن عدد اکسایش عناصر در حالت عنصری و در ترکیب‌ها نکات زیر ضروری است:

۱. عدد اکسایش عناصر در حالت آزاد صفر است. $Fe, Cu, H_2, F_2, S_8, P_4, O_2, \dots$

۲. عدد اکسایش یون‌های تک اتمی برابر بار الکتریکی آن‌هاست. $Na^+, Mg^{2+}, Cl^-, N^{3-}, \dots$

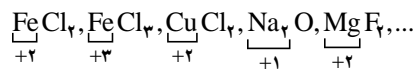
۳. عدد اکسایش فلئور در همه ترکیب‌ها برابر -۱ است. $NaF, HOF, OF_2, O_2F_2, HF, \dots$

۴. عدد اکسایش هیدروژن در بیشتر ترکیب‌ها +۱ است. اما در هیدریدهای فلزی -۱ است.

ترکیب‌های معمولی هیدروژن (+۱) $HF, H_2O, NaOH, HClO_4, H_2SO_4, \dots$

هیدریدهای فلزی (-۱) NaH, MgH_2, LiH, \dots

۵. عدد اکسایش فلزها در ترکیب‌ها همواره مثبت و برابر ظرفیت آن‌ها (زیروند عنصر یا یون چنداتمی دیگر) است.



۶. عدد اکسایش اکسیژن در بیشتر ترکیب‌ها برابر -۲ است. $H_2O, NaOH, HClO_4, H_2SO_4, KMnO_4, \dots$

• عدد اکسایش اکسیژن در پراکسیدها -۱ است. H_2O_2, Na_2O_2, \dots

• عدد اکسایش اکسیژن در سوپراکسیدها $-\frac{1}{2}$ است. KO_2, \dots

• عدد اکسایش اکسیژن در OF_2 برابر +۲ است.

• عدد اکسایش اکسیژن در O_2F_2 برابر +۱ است.

• عدد اکسایش اکسیژن در HOF برابر صفر است.

۷. مجموع عدد اکسایش همه عناصر در یک یون چند اتمی برابر بار الکتریکی آن یون است.

$$SO_4^{2-} : S + 4(O) = -2 \Rightarrow S + 4(-2) = -2 \Rightarrow S - 8 = -2 \Rightarrow S = +6$$

$$Cr_2O_7^{2-} : 2Cr + 7(O) = -2 \Rightarrow 2Cr + 7(-2) = -2 \Rightarrow 2Cr - 14 = -2 \Rightarrow 2Cr = +12 \Rightarrow Cr = +6$$

$$NO_3^- : N + 3(O) = -1 \Rightarrow N + 3(-2) = -1 \Rightarrow N - 6 = -1 \Rightarrow N = +5$$

$$NH_4^+ : N + 4(H) = +1 \Rightarrow N + 4(+1) = +1 \Rightarrow N + 4 = +1 \Rightarrow N = -3$$

۸. مجموع عدد اکسایش همه عناصر در یک ترکیب خنثی برابر صفر است.

$$KMnO_4 : 1 + Mn + 4(-2) = 0 \Rightarrow Mn - 7 = 0 \Rightarrow Mn = +7$$

$$Fe_3(PO_4)_2 : 3(+2) + 2P + 8(-2) = 0 \Rightarrow 2P - 10 = 0 \Rightarrow P = +5$$

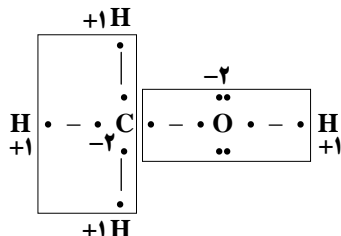
۹. تعیین عدد اکسایش با توجه به ساختار لوئیس

• ساختار الکترون - نقطه ترکیب را رسم کنید.

• از دو الکترون پیوندی بین دو اتم یکسان، به هر کدام یک الکترون نسبت دهید.

- از دو الکترون پیوندی بین دو اتم متفاوت، هر دو الکترون را به اتم الکترونگاتر نسبت دهید.
- الکترون‌های ناپیوندی روی هر اتم را به همان اتم نسبت دهید.
- همه الکترون‌های نسبت داده شده به اتم‌ها را شمارش کنید.
- الکترون‌های شمارش شده را از تعداد الکترون‌های ظرفیتی هر اتم کسر کنید. عدد مثبت یا منفی بدست آمده عدد اکسایش اتم‌ها را نشان می‌دهد.

مثال: عدد اکسایش اتم‌ها را در متانول مشخص کنید؟

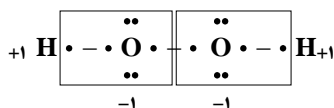


$$H: \circ \Rightarrow O.N = 1 - \circ = +1$$

$$C: 6 \Rightarrow O.N = 4 - 6 = -2$$

$$O: 8 \Rightarrow O.N = 6 - 8 = -2$$

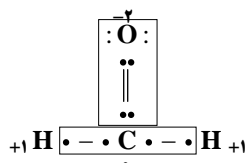
مثال: عدد اکسایش اتم‌ها را در هیدروژن پراکسید مشخص کنید؟



$$H: \circ \Rightarrow O.N = 1 - \circ = +1$$

$$O: 7 \Rightarrow O.N = 6 - 7 = -1$$

مثال: عدد اکسایش اتم‌ها را در متانال مشخص کنید؟

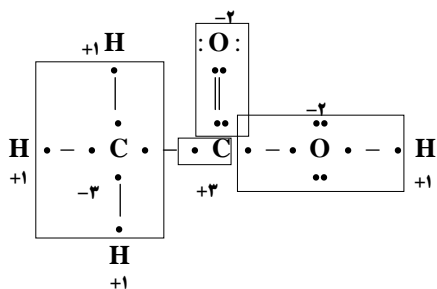


$$H: \circ \Rightarrow O.N = 1 - \circ = +1$$

$$C: 4 \Rightarrow O.N = 4 - 4 = 0$$

$$O: 8 \Rightarrow O.N = 6 - 8 = -2$$

مثال: عدد اکسایش اتم‌ها را در استیک اسید مشخص کنید؟



$$H: \circ \Rightarrow O.N = 1 - \circ = +1$$

$$C: 7 \Rightarrow O.N = 4 - 7 = -3$$

$$C: 1 \Rightarrow O.N = 4 - 1 = +3$$

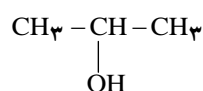
$$O: 8 \Rightarrow O.N = 6 - 8 = -2$$

R-OH

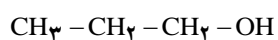
 $C_nH_{2n+1}-OH$ R = CH_3, C_2H_5, \dots

الکل‌ها

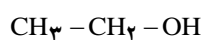
از جمله مهم‌ترین ترکیب‌های آلی اکسیژن‌دار هستند که دارای گروه عاملی هیدروکسیل ($-OH$) می‌باشند که به گروه آلکیل متصل شده است.



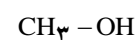
۲-پروپانول



۱-پروپانول



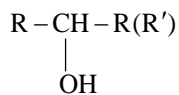
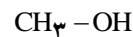
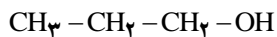
متانول (متیل الکل، الکل چوب) اتانول (اتیل الکل، الکل میوه)



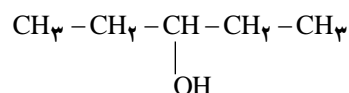
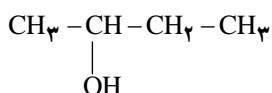
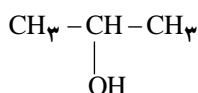
انواع الکلها

الکلها را بر مبنای تعداد اتم کربن متصل به کربن حامل گروه عاملی -OH به الکل نوع اول، دوم و سوم طبقه بندی می کنند:

الکل نوع اول: گروه عاملی -OH به کربنی متصل است که تنها به یک اتم کربن دیگر متصل شده است. R-OH



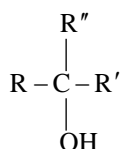
الکل نوع دوم: گروه عاملی -OH به کربنی متصل است که به دو اتم کربن دیگر متصل شده است.



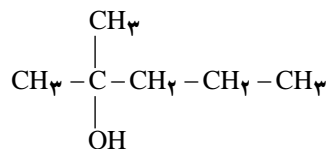
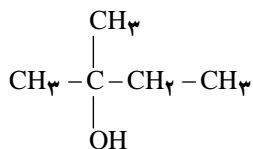
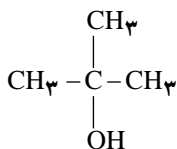
۲-پروپانول

۲-بوتانول

۳-پنتانول



الکل نوع سوم: گروه عاملی -OH به کربنی متصل است که به سه اتم کربن دیگر متصل شده است.



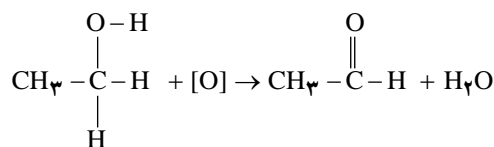
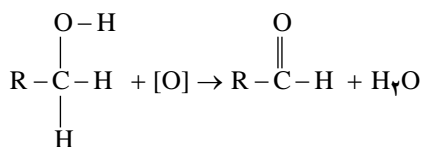
۲-متیل-۲-پروپانول

۲-متیل-۲-بوتانول

۲-متیل-۲-پنتانول

اکسایش الکلها

اکسایش الکل نوع اول: از اکسایش الکل های نوع اول، آلدهیدها به وجود می آیند.



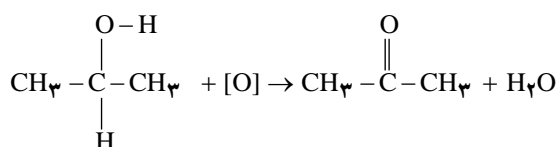
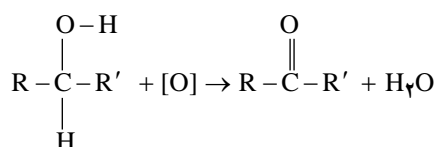
الکل نوع اول

آلدهید

اتانول

اتانال

اکسایش الکل نوع دوم: از اکسایش الکل های نوع دوم، کتونها به وجود می آیند.



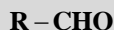
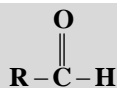
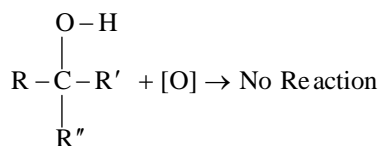
الکل نوع دوم

کتون

۲-پروپانول

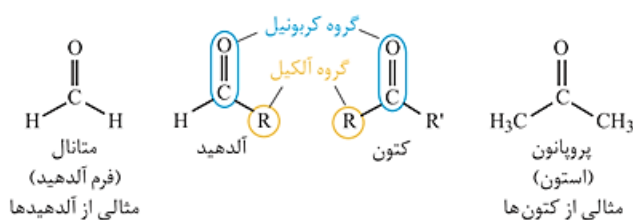
پروپانول

اکسایش الکل نوع سوم: الکل های نوع سوم در برابر اکسایش از خود مقاومت نشان می دهند. زیرا کربن حامل گروه هیدروکسیل، فاقد اتم هیدروژن می باشد.

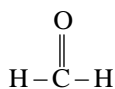


آلدهیدها (نام آلدهید بر وزن آلکانال)

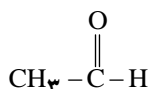
دسته ای از ترکیب های آلی اکسیژن دار هستند که دارای گروه عاملی کربونیل می باشند. تفاوت اصلی آلدهیدها با کتون ها در هیدروژن متصل به گروه کربونیل در آلدهیدهاست. وجود این هیدروژن در آلدهیدها به آن ها خاصیت کاهندگی چشمگیری می بخشد.



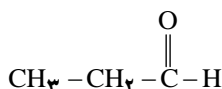
نکته: آلدهیدها را از اکسایش الکل های نوع اول در حضور کاتالیزگر مناسب تهیه می کنند.



متانال (فرمالدهید)



اتانال (استالدهید)

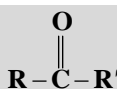
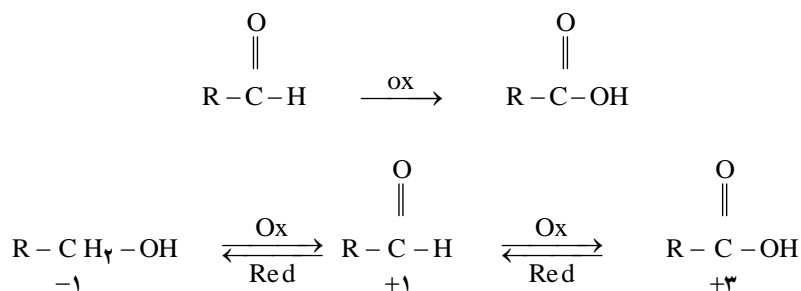


پروپانال



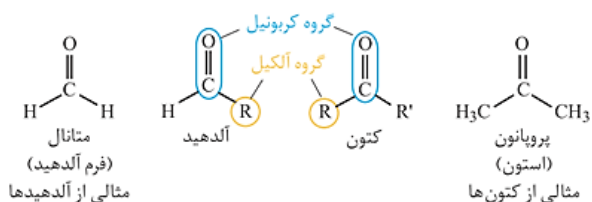
بوتانال

اکسایش آلدهیدها: در اثر اکسایش آلدهیدها، عامل آلدهیدی به عامل کربوکسیلیک تبدیل و یک کربوکسیلیک اسید به دست می آید:

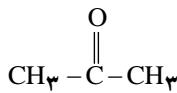


کتون ها (نام کتون بر وزن آلکانون)

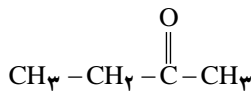
دسته ای از ترکیب های آلی اکسیژن دار هستند که دارای گروه عاملی کربونیل می باشند. کتون ها خاصیت کاهندگی ندارند و در برابر اکسایش از خود مقاومت نشان می دهند.



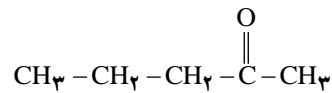
نکته: کتون ها را از اکسایش الکل های نوع دوم در حضور کاتالیزگر مناسب تهیه می کنند.



پروپانون (استون)



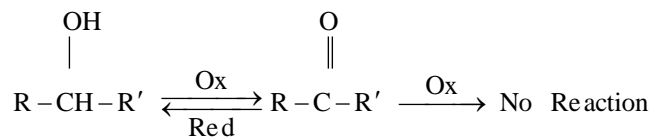
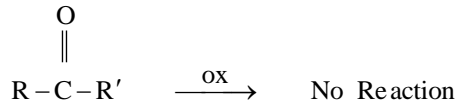
بوتانون



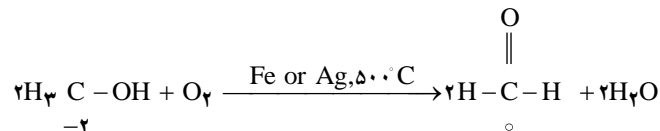
۲-پنتانون

نکته: ساده ترین کتون، پروپانون است که دارای سه اتم کربن می باشد. نام قدیمی آن استون است که به عنوان حلال لاک کاربرد دارد.

اکسایش کتون ها: کتون ها در برابر اکسایش از خود مقاومت نشان می دهند زیرا در کتون ها هیدروژن متصل به گروه کربونیل وجود ندارد:

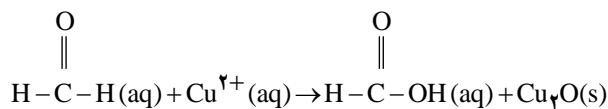


نکته: متانال را از اکسایش متانول به وسیله اکسیژن در حضور کاتالیز گز و دمای بالا به دست می آورند:



نکته: آلدئیدها نیز بر اثر اکسایش به کربوکسیلیک اسیدها تبدیل می شوند. پس در حضور یک اکسنده نسبتاً ضعیف، مانند یون مس (II) یا

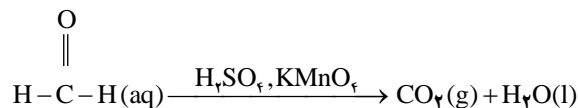
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ متانوییک اسید به دست می آید:



متانال (فرمالدهید)

متانوییک اسید (فرمیک اسید)

نکته: متانال در حضور یک اکسنده قوی به کربن دی اکسید تبدیل می شود نه به متانوییک اسید:



اکسیدکننده های قوی: سولفومنگانیک اسید ($\text{H}_2\text{SO}_4, \text{KMnO}_4$) و سولفو کرومیک اسید ($\text{H}_2\text{SO}_4, \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

نکته: تفاوت مهم آلدئیدها و کتون ها وجود اتم هیدروژن متصل به گروه کربونیل در آلدئیدهاست. در حالی که این اتم در کتون ها وجود ندارد. از

این رو وجود اتم هیدروژن موجب اکسایش آلدئیدها به کربوکسیلیک اسیدها شده و به آن ها خاصیت کاهندگی چشم گیری می دهد. در حالی که

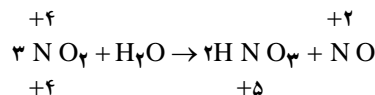
کتون ها اکسایش نیافته و از خود مقاومت نشان می دهند.

تشخیص واکنش اکسایش - کاهش

اگر در یک واکنش، عنصر به حالت آزاد وجود داشته باشد ($\text{Fe}, \text{F}_2, \text{O}_2, \text{P}_4, \text{Cl}_2, \dots$)، واکنش از نوع اکسایش کاهش است.



نکته: واکنش جابه‌جایی یگانه و سوختن از نوع اکسایش - کاهش هستند. نباید تصور کرد اگر واکنشی فاقد عنصر آزاد باشد، اکسایش - کاهش نیست.



تسهیم نامتناسب: اگر در یک واکنش، یک عنصر هم اکسایش یابد و هم کاهش یابد، واکنش را تسهیم نامتناسب می‌گویند.

رقابت فلزها برای از دست دادن الکترون

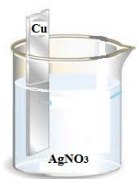
یکی از ویژگی‌های مهم فلزها، تمایل آن‌ها برای از دست دادن الکترون و تبدیل به یون مثبت است. لذا برای پیش‌بینی امکان انجام واکنش اکسایش - کاهش لازم است تمایل نسبی دو گونه به اکسایش یا کاهش معین شود.



مثال: اگر چند میخ آهنی را در محلول آبی رنگ مس (II) سولفات موجود در یک بشر وارد کنیم، لایه قرمز رنگی از فلز مس روی میخ آهنی پدید می‌آید و به تدریج رنگ محلول سبز روشن خواهد شد. واکنش‌های انجام شده به صورت زیر خواهد بود:



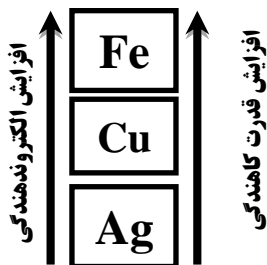
نتیجه: فلز آهن الکترون‌دهنده‌تر از فلز مس است پس آهن اکسید شده و از مس کاهنده‌تر است.



مثال: اگر یک سیم مسی را در محلول بی‌رنگ نترات موجود در یک بشر وارد کنیم، پس از مدتی بلورهای ریز نقره روی سیم مسی ظاهر می‌شود. واکنش‌های انجام شده عبارتند از:



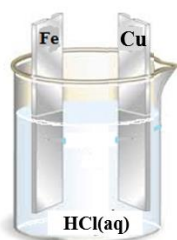
نتیجه: فلز مس الکترون‌دهنده‌تر از فلز نقره است پس مس اکسید شده و از نقره کاهنده‌تر است.



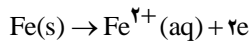
نکته: دو مثال فوق نشان می‌دهد که تمایل آهن برای از دست دادن الکترون بیشتر از مس و تمایل مس بیشتر از نقره است. بنابراین ترتیب دهندگی الکترون یا قدرت کاهندگی این سه فلز را در یک ستون مرتب خواهیم کرد.

نکته: فلز بالاتر به یون‌های فلز پایین‌تر الکترون می‌دهد اما فلز پایین‌تر نمی‌تواند به یون فلز بالاتر از خود الکترون بدهد.

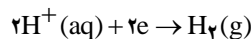
تعیین جایگاه هیدروژن



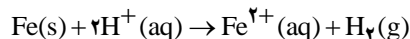
در یک بشر مقداری محلول هیدروکلریک اسید یک مولار، یک تیغه از فلز مس و یک تیغه از فلز آهن قرار می‌دهیم. مشاهده می‌شود که واکنش نسبتاً شدیدی بین آهن و هیدروکلریک اسید روی می‌دهد و حباب‌های گاز هیدروژن از آن متصاعد می‌شود. در حالی که در اطراف تیغه مس تغییری روی نمی‌دهد:



اکسایش در آند (کاهنده)

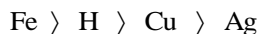


کاهش در کاتد (اکسنده)



واکنش کلی :

نتیجه: آهن الکترون‌های خود را به یون‌های هیدروژن می‌دهد و آن را به صورت گاز هیدروژن آزاد می‌کند. پس آهن از هیدروژن الکترون دهنده‌تر است. اما هیدروژن الکترون دهنده‌تر از مس است. پس :



ساختار سلول الکتروشیمیایی

یک واکنش اکسایش - کاهش شامل دو نیم واکنش اکسایش و کاهش است. به عبارت دیگر یک سلول الکتروشیمیایی شامل دو نیم سلول است.

سلول الکتروشیمیایی: دستگاهی است که در آن انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

نیم سلول یا الکتروود: هنگامی که یک رسانای الکترونی (الکتروود) در تماس با یک رسانای یونی (الکترولیت) قرار گیرد، مجموعه حاصل نیم سلول یا الکتروود نامیده می‌شود.

اجزای نیم سلول

اجزای یک نیم سلول عبارتند از :

۱. تیغه فلزی (الکتروود)

۲. بشر

۳. محلول الکترولیت با غلظت معین

پتانسیل الکتروودی: بین تیغه فلزی و محلول دارای یون‌های آن، اختلاف پتانسیلی وجود دارد که پتانسیل الکتروودی گفته می‌شود.

واکنش الکتروودی: واکنش‌های اکسایش - کاهش در سطح الکتروود روی می‌دهد. این واکنش‌ها را واکنش الکتروودی گویند.

نکته: الکتروود یا تیغه فلزی را رسانای الکترونی و محلول الکترولیت را رسانای یونی می‌گویند.

آند: الکتروودی است که در آن الکترون از رسانای یونی به رسانای الکترونی جریان می‌یابد. قطب منفی سلول است و در آن اکسایش روی می‌دهد.

کاتد: الکتروودی است که در آن الکترون از رسانای الکترونی به رسانای یونی جریان می‌یابد. قطب مثبت سلول است و در آن کاهش روی می‌دهد.

جریان الکترون: جهت جریان الکترون‌ها در مدار خارجی سلول الکتروشیمیایی از آند (-) به کاتد (+) است.

جریان یون‌ها: ضمن جریان برق از مدار در سلول الکتروشیمیایی یون‌های منفی به طرف آند و یون‌های مثبت به طرف کاتد جریان می‌یابد.

پل نمکی و نقش آن: در یک سلول الکتروشیمیایی پل نمکی (پتاسیم کلرید یا پتاسیم نترات) ارتباط دهنده دو نیم سلول است و دو نقش زیر را دارد :

۱. ایجاد ارتباط الکتریکی بین دو محلول و کامل کردن مدار الکتریکی

۲. خنثی کردن بار الکتریکی دو محلول

ویژگی‌های پل نمکی

۱. الکترولیت موجود در آن الکترولیت قوی باشد.

۲. الکترولیت موجود در آن با یون‌های موجود در الکتروودها رسوب ایجاد نکند.

۳. آنیون‌های پل نمکی به سمت آند و کاتیون‌های آن به سمت کاتد مهاجرت می‌کنند.

شرایط استاندارد: شرایط استاندارد دمای 25°C ، غلظت محلول الکترولیت یک مولار و فشار گازها یک اتمسفر است.

رسم سلول الکتروشیمیایی: طبق قرارداد آند یا قطب منفی را سمت چپ و کاتد یا قطب مثبت را در سمت راست رسم می‌کنند.

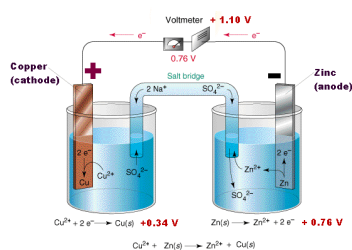
سلول الکتروشیمیایی روی - مس

الکتروود روی (Zn): اگر یک تیغه از جنس روی در یک بشر دارای محلول آبی یون‌های روی قرار داده شود، برای برقراری تعادل، تعدادی از اتم-

های روی الکترون‌های خود را روی سطح تیغه روی می‌گذارند و به صورت یون‌های Zn^{2+} وارد محلول می‌شوند. در نتیجه بین تیغه روی و محلول آن



الکتروود مس (Cu): تعادل مشابهی نیز با قرار دادن یک تیغه از جنس فلز مس در محلول آبی یون‌های مس (II) برقرار می‌شود و اختلاف پتانسیلی به-

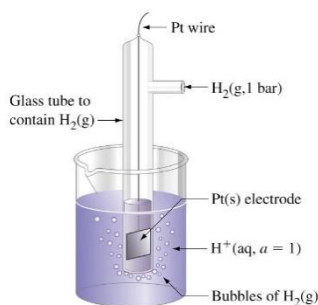


اگر این دو نیم سلول را به هم متصل کنیم، مجموعه‌ای به دست می‌آید که به آن سلول الکتروشیمیایی روی - مس می‌گویند. در مدار بیرونی جریانی از الکترون‌ها از سمت الکتروود روی به سمت الکتروود مس برقرار شده است. این مشاهده نشان می‌دهد که فلز روی تمایل بیشتری برای از دست دادن الکترون نسبت به الکتروود مس دارد.



پتانسیل‌های الکتروودی استاندارد

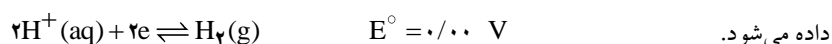
در یک سلول الکتروشیمیایی الکترون‌ها از الکتروود با پتانسیل منفی‌تر به سمت الکتروود با پتانسیل مثبت‌تر جریان می‌یابد. آن‌چه به وسیله ولت سنج اندازه‌گیری می‌شود تنها اختلاف پتانسیل موجود میان دو نیم سلول یاد شده است و اندازه‌گیری پتانسیل یک الکتروود به طور جداگانه ممکن نیست و به طور مطلق اندازه‌گیری نمی‌شود. شیمی‌دان‌ها برای حل این مشکل یک نیم سلول استاندارد انتخاب کرده و پتانسیل آن را صفر در نظر گرفتند. این نیم سلول استاندارد، الکتروود استاندارد هیدروژن (SHE) است.



الکتروود استاندارد هیدروژن (Standard Hydrogen Electrode)

الکتروود استاندارد هیدروژن شامل یک الکتروود پلاتینی است که در یک محلول اسیدی با $pH = 0$

(محلولی که در آن $[H^+(aq)] = 1 \text{ mol.L}^{-1}$ قرار دارد) و گاز هیدروژن با فشار 1 atm از روی آن عبور

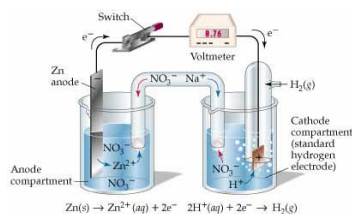


نکته: پتانسیل استاندارد هیدروژن در هر دمایی صفر در نظر گرفته می‌شود.

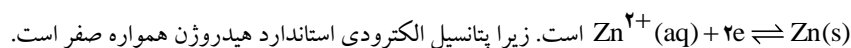
نکته: در یک سلول الکتروشیمیایی شامل یک الکتروود استاندارد هیدروژن و نیم سلول استاندارد هر عنصر، اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده، پتانسیل



پتانسیل استاندارد روی (بالاتر از هیدروژن)

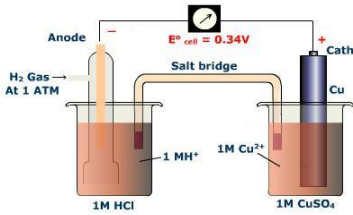


یک سلول الکتروشیمیایی شامل یک الکتروود استاندارد هیدروژن و یک نیم سلول استاندارد روی را تشکیل می‌دهیم. اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده، پتانسیل الکتروودی استاندارد برای نیم واکنش کاهشی



نکته: هر عنصری که بالاتر از هیدروژن قرار دارد پتانسیل الکترودی آن منفی (-) بوده و از هیدروژن الکترون دهنده تر است و آند سلول الکتروشیمیایی را تشکیل می دهد.

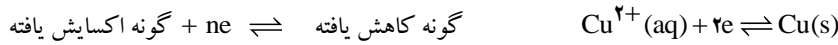
پتانسیل استاندارد مس (پایین تر از هیدروژن)



یک سلول الکتروشیمیایی شامل یک الکترود استاندارد هیدروژن و یک نیم سلول استاندارد مس را تشکیل می دهیم. اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده، پتانسیل الکترودی استاندارد برای نیم واکنش کاهش $Cu^{2+}(aq) + 2e \rightleftharpoons Cu(s)$ است. زیرا پتانسیل الکترودی استاندارد هیدروژن همواره صفر است.

نکته: هر عنصری که پایین تر از هیدروژن قرار دارد پتانسیل الکترودی آن مثبت (+) بوده و از هیدروژن الکترون گیرنده تر است و کاتد سلول الکتروشیمیایی را تشکیل می دهد.

نکته: طبق قرارداد پتانسیل الکترودی استاندارد همواره به صورت پتانسیل کاهش استاندارد گزارش می شود:



نکته: پتانسیل کاهش استاندارد برای عناصر بالای هیدروژن منفی (-) و برای عناصر پایین هیدروژن عددی مثبت (+) است.

نکته: هر چه یک گونه، پتانسیل کاهش منفی تری داشته باشد (بالاتر باشد) توانایی بیشتری برای اکسید شدن دارد و آند سلول الکتروشیمیایی است.

نکته: هر چه یک گونه، پتانسیل کاهش مثبت تری داشته باشد (پایین تر باشد) توانایی بیشتری برای احیاء شدن دارد و کاتد سلول الکتروشیمیایی است.

سری الکتروشیمیایی: رتبه بندی فلزها به ترتیب افزایش پتانسیل کاهش استاندارد، مجموعه سودمندی را فراهم می کند که سری الکتروشیمیایی نامیده می شود.

نیروی الکتروموتوری سلول (emf)

نیروی الکتروموتوری سلول، بیشترین ولتاژی است که یک سلول الکتروشیمیایی می تواند تولید کند: $E_{cell}^{\circ} = E_c^{\circ} - E_a^{\circ}$
توجه: جرم الکتروود موجود در آند، همواره کاهش (لاغر) و جرم الکتروود موجود در کاتد، همواره افزایش (چاق) می شود.

شرط انجام پذیر بودن واکنش

اگر $E_{cell}^{\circ} > 0$ باشد، واکنش در جهت یاد شده انجام پذیر است و در غیر این صورت در جهت عکس انجام پذیر است.

مثال: آیا فلز منیزیم می تواند آهن را از محلول آبی دارای یون های آهن (II) خارج کند؟ $Mg^{2+} / Mg : E^{\circ} = -2 / 38 V$

حل: چون پتانسیل استاندارد منیزیم منفی تر است پس آند و پتانسیل استاندارد آهن مثبت تر و کاتد است. $Fe^{2+} / Fe : E^{\circ} = -0 / 44 V$

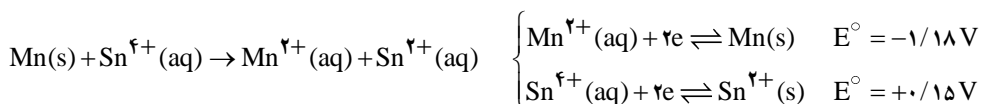
اکسایش در آند: $Mg(s) \rightarrow Mg^{2+} + 2e \quad E^{\circ} = -2 / 38 V$

کاهش در کاتد: $Fe(s) + 2e \rightarrow Fe^{2+} \quad E^{\circ} = -0 / 44 V$

واکنش کلی: $Mg(s) + Fe^{2+}(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + Fe(s) \quad E_{cell}^{\circ} = E_c^{\circ} - E_a^{\circ} = -0 / 44 - (-2 / 38) = +1 / 94 V$

از آن جا که پتانسیل سلول الکتروشیمیایی مذکور مثبت است، بنابراین واکنش انجام پذیر است.

جبرانی دوم ۸۸-۸۷: انجام پذیر بودن یا نبودن واکنش زیر را با محاسبه E_{cell}° و نوشتن دلیل پیش بینی کنید.



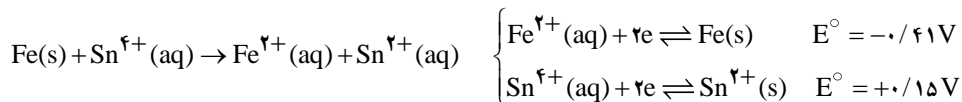
حل: پتانسیل منگنز منفی تر است پس آند و پتانسیل قلع مثبت تر است پس کاتد سلول الکتروشیمیایی را تشکیل می دهد:

اکسایش در آند: $Mn(s) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 2e$

کاهش در کاتد: $Sn^{4+}(aq) + 2e \rightleftharpoons Sn^{2+}(s)$

پس واکنش انجام پذیر است. $E_{cell}^{\circ} = E_{c}^{\circ} - E_{a}^{\circ} = +0/15 - (-1/18) = +1/33 \text{ V} \Rightarrow E_{cell}^{\circ} > 0$

جبرانی دوم ۸۵-۸۴: انجام پذیر بودن یا نبودن واکنش زیر را با محاسبه E_{cell}° و نوشتن دلیل پیش بینی کنید.



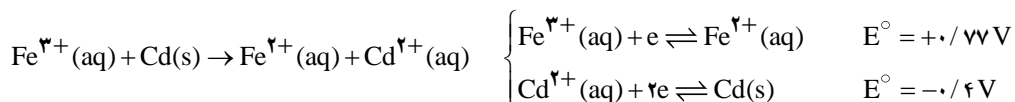
حل: پتانسیل آهن منفی تر است پس آند و پتانسیل قلع مثبت تر است پس کاتد سلول الکتروشیمیایی را تشکیل می دهد:

اکسایش در آند: $Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e$

کاهش در کاتد: $Sn^{4+}(aq) + 2e \rightleftharpoons Sn^{2+}(s)$

پس واکنش انجام پذیر است. $E_{cell}^{\circ} = E_{c}^{\circ} - E_{a}^{\circ} = +0/15 - (-0/41) = +0/56 \text{ V} \Rightarrow E_{cell}^{\circ} > 0$

نیمسال دوم ۸۵-۸۴: انجام پذیر بودن یا نبودن واکنش زیر را با محاسبه E_{cell}° و نوشتن دلیل پیش بینی کنید.



حل: پتانسیل کادمیم منفی تر است پس آند و پتانسیل آهن مثبت تر است پس کاتد سلول الکتروشیمیایی را تشکیل می دهد:

اکسایش در آند: $Cd(s) \rightarrow Cd^{2+}(aq) + 2e$

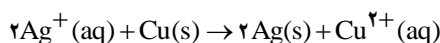
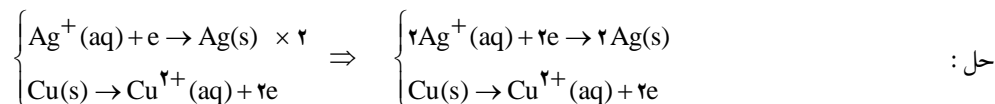
کاهش در کاتد: $2Fe^{3+}(aq) + 2e \rightleftharpoons 2Fe^{2+}(aq)$

پس واکنش انجام پذیر است. $E_{cell}^{\circ} = E_{c}^{\circ} - E_{a}^{\circ} = +0/77 - (-0/4) = +1/17 \text{ V} \Rightarrow E_{cell}^{\circ} > 0$

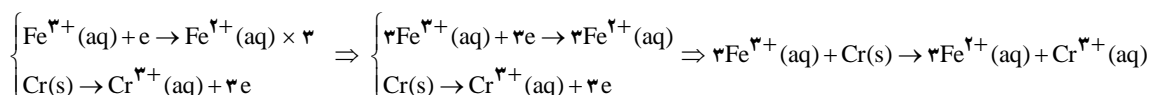
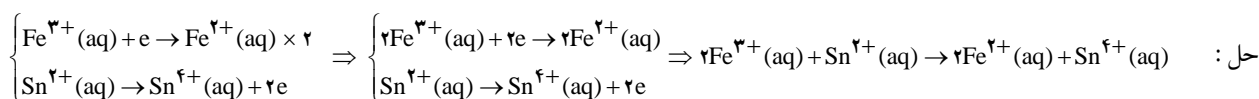
موازنه واکنش اکسایش - کاهش

هر واکنش را به دو نیم واکنش اکسایش و کاهش تبدیل کرده و هر یک را جداگانه موازنه می کنیم. سپس برای برابری تعداد الکترون ها در دو نیم واکنش، یکی یا هر دو را در اعداد مناسب ضرب می کنیم.

مثال: واکنش $Ag^{+}(aq) + Cu(s) \rightarrow Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$ را موازنه کنید.



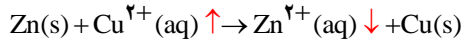
مثال: واکنش های اکسایش - کاهش داده شده را موازنه کنید.



نکته: با گذشت زمان و کار کردن سلول، ولتاژ سلول کاهش می یابد.

نکته: پتانسیل سلول به غلظت کاتیون‌ها وابسته است. هرگاه غلظت کاتیون‌ها را در محفظه کاتدی افزایش یا در محفظه آنودی کاهش دهیم، پتانسیل سلول افزایش می‌یابد.

نکته: در سلول روی - مس با افزایش غلظت $Cu^{2+}(aq)$ یا کاهش غلظت $Zn^{2+}(aq)$ تعادل در جهت رفت جابه‌جا شده و پتانسیل سلول افزایش می‌یابد.



انواع سلول‌های الکتروشیمیایی

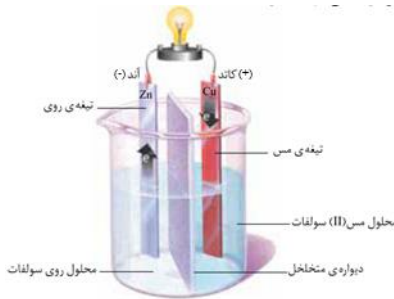
سلول‌های الکتروشیمیایی به دو دسته طبقه بندی می‌شوند:

۱. سلول گالوانی
۲. سلول الکترولیتی

سلول گالوانی

سلول‌های گالوانی دارای ویژگی‌های زیر هستند:

۱. به سلول گالوانی، سلول ولتایی نیز می‌گویند.
۲. انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.
۳. هر دو نیم واکنش الکترودی به طور خودبه‌خود انجام می‌شوند. ($E_{cell}^{\circ} > 0$)
۴. ارتباط بین دو نیم سلول توسط پل نمکی یا غشاء متخلخل انجام می‌شود.
۵. جریان الکترون در مدار خارجی از آند به کاتد است و لامپ روشن می‌شود.

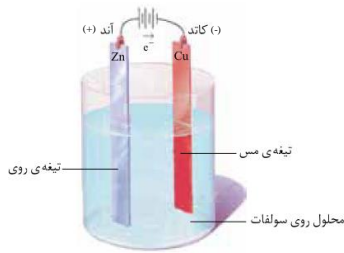


نکته: سلول‌های گالوانی خود به دو نوع، سلول‌های نوع اول و سلول‌های نوع دوم طبقه بندی می‌شوند.

سلول الکترولیتی

سلول‌های الکترولیتی دارای ویژگی‌های زیر هستند:

۱. انرژی الکتریکی را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند.
۲. واکنش خودبه‌خود نیست و با اعمال ولتاژ خارجی هر دو واکنش به سمت ایجاد تغییر شیمیایی دلخواه پیش می‌روند و فرایند گرماگیر است.
۳. واکنش‌های اکسایش و کاهش در یک ظرف انجام می‌شوند.



نکته: در سلول الکترولیتی روی - مس با ادامه فرایند، لایه نازکی از فلز روی بر سطح تیغه مس می‌نشیند.

انواع سلول گالوانی

از آنجایی که در سلول‌های گالوانی انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، از این سلول‌ها به عنوان منبع انرژی الکتروشیمیایی یاد می‌شود. سلول‌های گالوانی را به دو دسته تقسیم می‌کنند:

۱. سلول نوع اول

- باتری‌های خشک (قلیایی، لکلانتشه) و سلول‌های سوختی از جمله سلول‌های گالوانی نوع اول هستند.
- با تمام شدن واکنش دهنده‌های موجود در آن‌ها غیر فعال می‌شوند.
- امکان شارژ یا پر کردن دوباره آن‌ها وجود ندارد.
- نیروی الکتروموتوری این سلول‌ها مثبت است ($E_{cell}^{\circ} > 0$).



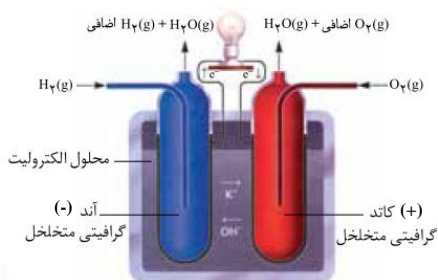
۲. سلول نوع دوم

- شامل سلول‌های انباره‌ای (باتری خودرو) و باتری‌های قابل شارژ (نیکل-کادمیم، باتری تلفن همراه و ...) هستند.
- این سلول‌ها هم به عنوان سلول گالوانی عمل می‌کنند و هم به عنوان سلول الکترولیتی عمل می‌کنند.
- هنگام تولید برق، سلول گالوانی هستند.
- هنگام شارژ شدن، سلول الکترولیتی هستند.



سلول سوختی

سلول‌های سوختی، سلول گالوانی نوع اول هستند. در این سلول‌ها یک سوخت گازی شکل به آرامی اکسید می‌شود. این سلول‌ها تا زمانی که ورود سوخت گازی ادامه داشته باشد، برق تولید می‌کنند.



- این سلول بر مبنای واکنش میان گاز هیدروژن و گاز اکسیژن کار می‌کند.
- جنس الکترودها از گرافیت متخلخل و محلول الکترولیت KOH است.

نکته: امروزه سلول‌های سوختی تازه‌ای به بازار راه یافته‌اند که به جای گاز خطرناک و آتش‌گیر هیدروژن، از سوخت ارزان و کم‌خطرتری مانند متان، گاز شهری یا برخی هیدروکربن‌های دیگر بهره می‌برند.

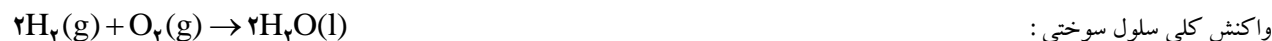
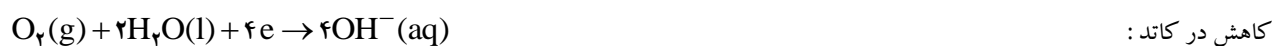
نکته: از معایب استفاده از گاز متان در سلول سوختی، تولید گاز کربن دی‌اکسید است که به علت اثر گلخانه‌ای برای محیط زیست زیان‌آور است.

کاربرد سلول سوختی

- تأمین برق و آب آشامیدنی فضاپیماها
- تأمین برق بیمارستان‌ها
- تأمین نیروی محرکه وسایل نقلیه سبک و سنگین

واکنش‌های سلول سوختی

در سلول سوختی نیم واکنش آنودی و کاتدی به صورت زیر انجام می‌شوند:



$$E_{\text{cell}}^\circ = E_{\text{c}}^\circ - E_{\text{a}}^\circ = 0/4 - (-0/83) = +1/23 \text{ V} \quad \text{نیروی الکتروموتوری سلول سوختی:}$$

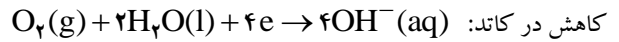
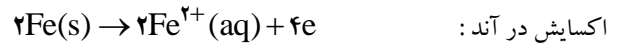
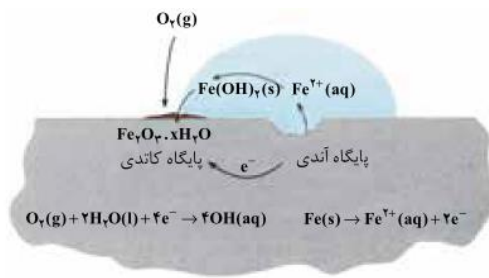
خوردگی آهن

اکسیژن عنصر بسیار واکنش‌پذیری است، به طوری که می‌تواند هر فلز به جز طلا، پلاتین و پالادیم را به طور خودبه‌خودی اکسید کند. واکنش‌پذیری بیش از اندازه اکسیژن و تمایل طبیعی برخی فلزها مانند آهن برای زنگ زدن، سبب تَرُد شدن، خُرد شدن و فروریختن این فلزها می‌شود.

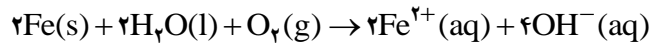
خوردگی: به تَرُد و خُرد شدن و فروریختن فلزها بر اثر اکسایش، خوردگی گفته می‌شود.

نکته: برخی فلزها بر اثر مجاورت با آب یا یک محلول اسیدی نیز دچار خوردگی می‌شوند.

فرآیند خوردگی آهن: هنگامی که یک قطعه آهن در تماس با یک قطره آب قرار می‌گیرد، یک واکنش اکسایش - کاهش در سطح آن روی می‌دهد:



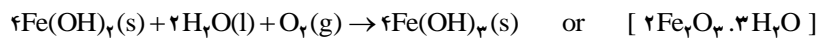
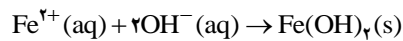
واکنش کلی خوردگی آهن به شرح زیر است:



نکته: الکترون‌ها از میان فلز و پایگاه آندی به سمت پایگاه کاتدی جریان می‌یابند (مداردرونی رسانای الکترونی). در حالی که یون‌ها در قطره آب (مدار بیرونی رسانای یونی) جریان یافته مدار را کامل می‌کنند.

نکته: بدون آب مدار یاد شده کامل نبوده و زنگ زدنی روی نمی‌دهد.

نکته: یون‌های آهن (II) هنگام عبور از آب به صورت $Fe(OH)_2$ رسوب می‌کنند. در ادامه این رسوب نیز اکسید می‌شود و به آهن (III) اکسید آب-پوشیده یا زنگ آهن تبدیل می‌شود.



راه‌های جلوگیری از خوردگی آهن

برای محافظت از آهن و ایجاد یک پوشش محافظ در برابر اکسیژن، آب و یون‌ها، راه‌های گوناگونی وجود دارد:

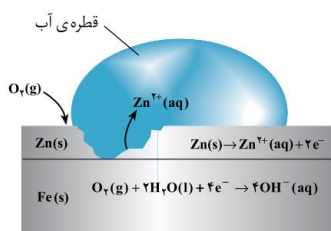
۱. رنگ کردن در و پنجره‌های آهنی و بدنه خودروها
۲. قیراندود کردن سطح لوله‌های نفتی
۳. حفاظت کاتدی (مهم‌ترین و پر کاربردترین روش محافظت فلزها)

حفاظت کاتدی

اگر دو فلز که با یکدیگر در تماس هستند، در مجاورت هوا و رطوبت قرار گیرند، بین آن دو نوعی سلول گالوانی به وجود می‌آید. در این سلول:

- فلزی که E^{\ominus} کوچکتری (منفی‌تر) دارد، نقش آند را ایفا می‌کند و با اکسایش یافتن دچار خوردگی می‌شود.
- فلزی که E^{\ominus} بزرگتری (مثبت‌تر) دارد، نقش کاتد را ایفا می‌کند و با کاهش یافتن از خوردگی محافظت می‌شود. این فرایند را حفاظت کاتدی می‌گویند.

نکته: برای محافظت کاتدی آهن، آن را با کمک یک فلز فعال‌تر مانند منیزیم یا روی مجاور می‌کنند. در این سلول منیزیم یا روی نقش آند را ایفا کرده و با اکسایش خورده شده و موجب حفاظت کاتدی آهن می‌گردد.



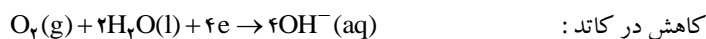
آهن سفید یا گالوانیزه

به آهنی که سطح آن با لایه نازکی از فلز روی پوشیده شده است، آهن سفید یا گالوانیزه می‌گویند.

هر گاه خراش در سطح آهن سفید ایجاد شود، در محل خراش یک سلول گالوانی تشکیل می‌شود. در این سلول Zn به عنوان آند اکسایش یافته، خورده می‌شود.



الکترون‌های حاصل از اکسایش فلز روی در سطح فلز آهن و در حضور رطوبت به اکسیژن داده می‌شود.



در نتیجه آهن به عنوان کاتد عمل کرده، محافظت می‌شود.



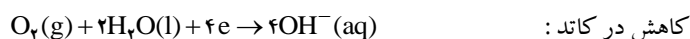
حلبی



به آهنی که سطح آن با لایه نازکی از فلز قلع پوشیده شده است، حلبی می‌گویند. که از آن برای ساختن قوطی‌های کنسرو و روغن نباتی استفاده می‌کنند. هر گاه در سطح حلبی خراش ایجاد شود، در محل خراش یک سلول گالوانی در محل خراش یک سلول گالوانی تشکیل می‌شود. در این سلول Fe به عنوان آند اکسایش یافته، خورده می‌شود.



الکترون‌های حاصل از اکسایش فلز آهن در سطح فلز قلع و در حضور رطوبت به اکسیژن داده می‌شود.



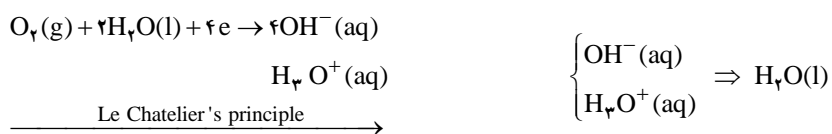
در نتیجه قلع به عنوان کاتد عمل کرده، محافظت می‌شود.



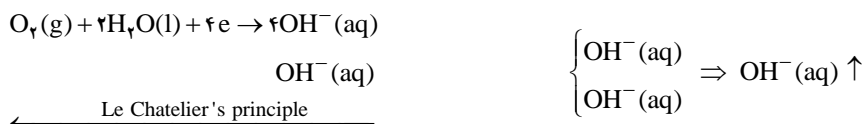
نکته: اسید میوه‌ها و اسید موجود در مواد غذایی بر قلع اثر نمی‌کنند و مواد غذایی در مجاورت این فلز برای مدت بیشتری محفوظ می‌مانند. اگر قوطی‌های مواد غذایی را از جنس آهن سفید بسازیم، اسیدهای موجود در مواد خوراکی می‌توانند با فلز روی واکنش دهند و این امر موجب فاسد شدن مواد غذایی درون قوطی می‌شود.

عوامل مؤثر بر سرعت خوردگی آهن

۱. **محیط اسیدی:** افزایش $[\text{H}_3\text{O}^+]$ طبق اصل لوشاتلیه سرعت زنگ زدن را افزایش می‌دهد:



۲. **محیط بازی:** افزایش $[\text{OH}^-]$ طبق اصل لوشاتلیه سرعت زنگ زدن را کاهش می‌دهد:



۳. **نمک‌های محلول:** وجود نمک‌های محلول مانند NaCl , KNO_3 , ... به عنوان الکترولیت، سرعت زنگ زدن آهن را افزایش می‌دهند.

۴. **مجاورت با فلزهای دارای E° کوچکتر:** آهن به عنوان کاتد عمل کرده، حفاظت می‌شود و فلز دیگر خورده می‌شود و آهن زنگ نمی‌زند. مانند کلسیم، منیزیم، روی و

۵. **مجاورت با فلزهای دارای E° بزرگتر:** آهن به عنوان آند عمل کرده، زنگ می‌زند و فلز دیگر در کاتد محافظت می‌شود. مانند مس، قلع و.

نکته: فلزاتی مانند قلع، نیکل، آلومینیوم، روی و کروم ظاهراً زنگ نمی‌زنند. در این فلزات لایه سطحی اکسید شده و این لایه چسبنده، نفوذناپذیر و محافظ بوده و مانع ادامه خوردگی می‌شود (فلزات قنارک).

سلول‌های الکترولیتی

سلول الکترولیتی، سلولی است که با عبور جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت می‌توان یک واکنش شیمیایی را در جهتی خلاف جهت طبیعی به پیش راند.

کاربرد سلول‌های الکترولیتی

۱. تجزیه محلول‌ها و مواد مذاب
۲. پالایش فلزها (خالص سازی)
۳. آبکاری فلزها

نکته: در سلول‌های الکترولیتی انرژی الکتریکی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود (عکس سلول گالوانی).

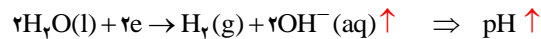
ساختار سلول الکترولیتی

۱. سلول الکترولیتی شامل دو الکترود زغالی (گرافیت) است که در یک محلول الکترولیت فرو رفته است.
نکته: الکترولیت، یک ترکیب یونی مذاب یا محلول یک ماده یونی در آب است.
۲. دو الکترود به قطب‌های یک منبع جریان مستقیم وصل می‌شوند.
۳. آند، الکترودی است که در آن نیم واکنش اکسایش روی می‌دهد (چه در گالوانی منفی) و چه در الکترولیتی (مثبت).
۴. کاتد، الکترودی است که در آن نیم واکنش کاهش روی می‌دهد (چه در گالوانی مثبت) و چه در الکترولیتی (منفی).
۵. در رقابت کاتیون گونه‌ای برنده شده، کاهش می‌یابد که E° بزرگتری (مثبت تری) داشته باشد.

سایر کاتیون‌ها $\langle \text{Zn}^{2+} \langle \text{H}_2\text{O} \langle \text{Mn}^{2+} \langle \text{Al}^{3+} \langle$ کاتیون‌های گروه ۱ و ۲

E° بزرگتر \leftarrow برنده در کاهش E° کوچکتر \leftarrow بازنده در کاهش

نکته: اگر در رقابت کاتیون، مولکول آب برنده شود:

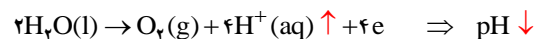


۶. در رقابت آندی گونه‌ای برنده شده، اکسایش می‌یابد که E° کوچکتری (منفی تری) داشته باشد.



E° بزرگتر \leftarrow بازنده در اکسایش E° کوچکتر \leftarrow برنده در اکسایش

نکته: اگر در رقابت آندی، مولکول آب برنده شود:



۷. یون‌های مثبت به سمت کاتد (-) و یون‌های منفی به سمت آند (+) مهاجرت می‌کنند. از این رو این یون‌ها به ترتیب کاتیون و آنیون نامیده می‌شوند.

برقکافت سدیم کلرید مذاب

فلز سدیم به حالت آزاد در طبیعت وجود ندارد. اما ترکیب‌های شیمیایی گوناگونی از آن در طبیعت شناخته شده است. سدیم در این ترکیب‌ها به صورت یون Na^+ مشاهده می‌شود. برای به دست آوردن فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد. به عنوان مثال، اگر هدف تهیه فلز سدیم از NaCl باشد، باید واکنش زیر در جهت معکوس خودبه‌خود انجام گیرد.



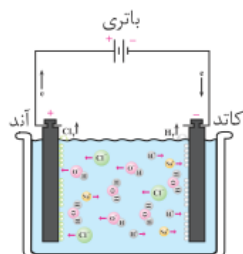
نکته: محاسبه نشان می‌دهد که برای خودبه‌خودی انجام شدن فرایند تجزیه گرمایی NaCl به دمای بسیار بالایی حدود 4267°C نیاز است. آشکار است که تأمین چنین دمای ممکن نیست.

در صنعت فلز سدیم را از طریق برقکافت سدیم کلرید مذاب در سلول دانز (Downs cell) تهیه می‌کنند. سلول دانز یک سلول الکترولیتی است که نخستین بار در سال ۱۹۲۱ توسط شرکت دوپونت (Du Pont) طراحی، ساخته و استفاده شد. در این سلول با کمک یک آند گرافیتی و یک کاتد آهنی، فلز سدیم خالص تهیه می‌شود.

NaCl خالص در ۸۰۱ C ذوب می‌شود. افزودن مقدار کمی CaCl₂ به آن دمای ذوب را تا حدود ۵۸۷ C پایین می‌آورد. این کار از نظر اقتصادی چه مزیتی دارد؟

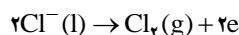


سلول دانز در فرایند تولید صنعتی سدیم، گاز کلر نیز به دست می‌آید.

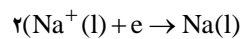


برقکافت محلول غلیظ نمک خوراکی در آب

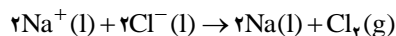
برقکافت سدیم کلرید مذاب راه حل بسیار مناسبی برای تولید سدیم است. واکنش‌های انجام شده در سلول دانز به شرح زیر است:



نیم واکنش اکسایش آندی:



نیم واکنش کاهش کاتدی:

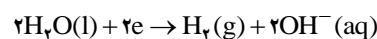
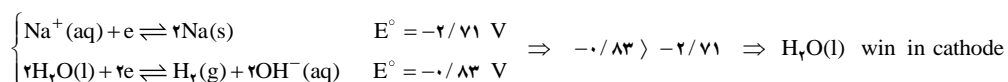


واکنش کلی سلول دانز:

برقکافت محلول غلیظ سدیم کلرید

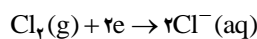
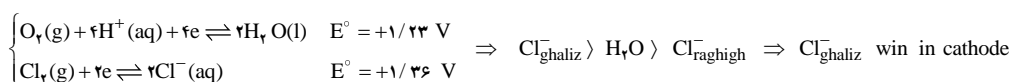
برای تعیین نیم واکنش‌های آندی و کاتدی باید رقابت گونه‌ها برای اکسایش و کاهش را بررسی کنیم.

رقابت کاتدی: در کاتد، کاتیون Na^+ و مولکول آب وجود دارند. از آنجا که پتانسیل استاندارد کاهش آبی، مثبت‌تر است، بنابراین در رقابت برای کاهش برنده می‌شود.

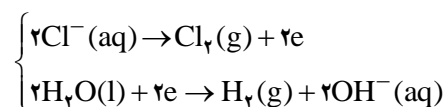


پس واکنش کاتدی:

رقابت آندی: در آند، آنیون Cl^- غلیظ و مولکول آب وجود دارند. از آنجا که پتانسیل استاندارد کاهش یون کلرید غلیظ، منفی‌تر است، بنابراین در رقابت برای اکسایش برنده می‌شود.



پس واکنش آندی:



نتیجه:



واکنش کلی:

نکته: در برقکافت محلول غلیظ سدیم کلرید، در آند، گاز کلر و سدیم هیدروکسید و در کاتد، گاز هیدروژن آزاد می‌شود.

نکته: برقکافت محلول غلیظ سدیم کلرید، فرآیندی صنعتی برای تهیه گاز کلر و محلول سدیم هیدروکسید است.

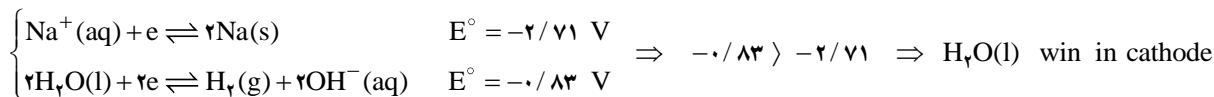
با ادامه برقکافت محلول غلیظ سدیم کلرید

۱. غلظت $\text{OH}^-(\text{aq})$: افزایش می‌یابد. زیرا در کاتد تولید می‌شود.
۲. غلظت $\text{Na}^+(\text{aq})$: افزایش می‌یابد. زیرا حلال آب در حال مصرف شدن است، حجم محلول کاهش و غلظت یون سدیم افزایش می‌یابد.
۳. غلظت $\text{Cl}^-(\text{aq})$: کاهش می‌یابد. زیرا این یون (Cl^-) در حال مصرف شدن است.
۴. در کاتد گاز هیدروژن آزاد می‌شود. به دلیل تولید یون هیدروکسید (OH^-)، خاصیت قلیایی دارد و pH افزایش می‌یابد.
۵. در آند گاز کلر آزاد می‌شود.

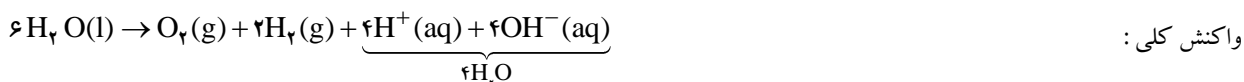
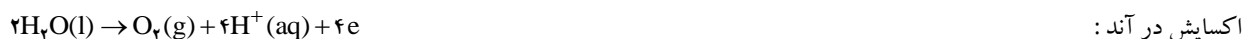
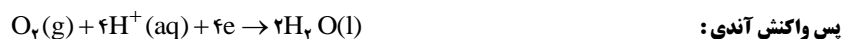
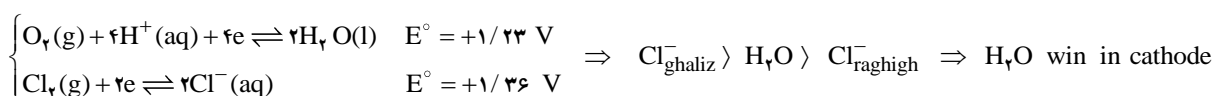
برقکافت محلول رقیق سدیم کلرید

برای تعیین نیم واکنش های آندی و کاتدی باید رقابت گونه‌ها برای اکسایش و کاهش را بررسی کنیم.

رقابت کاتدی: در کاتد، کاتیون Na^+ و مولکول آب وجود دارند. از آنجا که پتانسیل استاندارد کاهش آب، بزرگ‌تر است، بنابراین در رقابت برای کاهش برنده می‌شود.

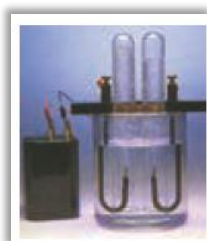


رقابت آندی: در آند، آنیون Cl^- رقیق و مولکول آب وجود دارند. از آنجا که پتانسیل استاندارد کاهش آب، کوچک‌تر است، بنابراین در رقابت برای اکسایش برنده می‌شود.

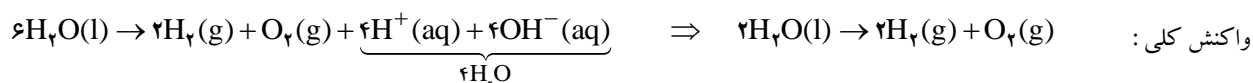


نکته: در جریان برقکافت محلول رقیق سدیم کلرید محیط خنثی و pH ثابت می‌ماند.

برقکافت آب



برقکافت آب فرایندی است که طی آن، آب به عنصرهای سازنده‌اش تجزیه می‌شود. برای برقکافت آب، باید نمکی را در آب حل کرد که یون‌های آن هم در آند و هم در کاتد نسبت به مولکول‌های آب بازنده باشند. بنابراین از محلول نمک‌هایی مانند NaCl , KNO_3 , Na_2SO_4 استفاده می‌کنند.



نکته: از آنجا که حجم گاز هیدروژن تولید شده در کاتد دو برابر حجم گاز اکسیژن تولید شده در آند است، بنابراین به راحتی می‌توان کاتد و آند را تشخیص داد.

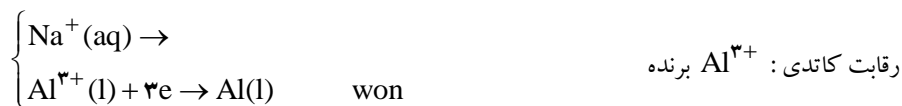
استخراج آلومینیم

یکی از ارزشمندترین و پرکاربردترین فلزها، آلومینیم است. در صنعت، آلومینیم را از سنگ معدن آلومینیم داری به نام بوکسیت (آلومینای ناخالص) به دست می آورند. چون نقطه ذوب آلومینای خالص 2045°C است، تأمین این دما و برقکافت آن به حالت مذاب فرآیندی اقتصادی نیست. به این دلیل آلومینای ناخالص را پس از خالص سازی در دمایی حدود 960°C در کریولیت (Na_3AlF_6) مذاب حل می کنند.

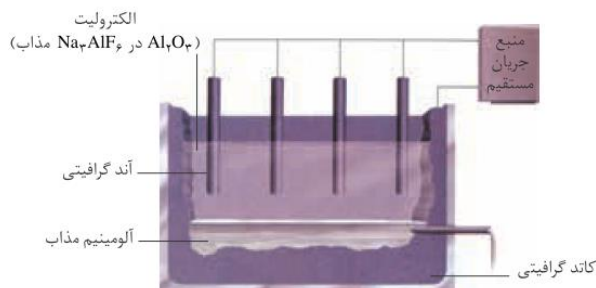
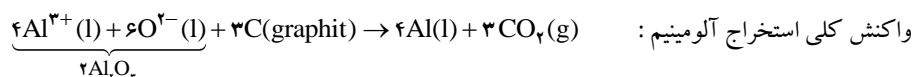


چارلز مارتین هال
(۱۸۶۳-۱۹۱۴)

شیمی دان آمریکایی. او در سن ۲۳ سالگی این روش را ابداع کرد.



تولید شده با گرافیت واکنش داده CO_2 آزاد می کند.



تولید آلومینیم به این روش، فرایند هال نامیده می شود. پیش از ابداع این روش در سال ۱۸۸۶ میلادی آلومینیم به علت کمیاب بودن، از طلا و نقره گران تر بود. چون فرایند هال به علت مصرف مقدار زیادی انرژی الکتریکی هزینه بالایی دارد، از این رو با بازیافت فلز آلومینیم می توان ضمن افزایش عمر یکی از مهم ترین منابع تجدیدناپذیر، برخی از هزینه های تولید فلز آلومینیم را کاهش داد.

آبکاری

پوشاندن یک جسم با لایه نازک از یک فلز به کمک یک سلول الکترولیتی، آبکاری نامیده می شود.

نکته: جسمی که روکش فلزی روی آن ایجاد می شود، باید رسانای جریان برق باشد.

در آبکاری اجسام باید نکات زیر را رعایت کرد:

۱. جسمی که باید روکش فلزی روی آن ایجاد شود، باید در کاتد (قطب منفی) قرار گیرد. یعنی باید به قطب منفی باتری وصل شود.
۲. فلزی که باید روی جسم دیگر بنشیند باید در آند (قطب مثبت) قرار گیرد. یعنی باید به قطب مثبت باتری وصل شود.
۳. الکترولیت باید دارای کاتیون های فلز روکش (فلز آند) باشد.

نکته: در رقابت کاتدی، مولکول های H_2O نسبت به کاتیون های گروه ۱، ۲، $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ ، $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$ برنده و در سایر موارد بازنده هستند.

نکته: در رقابت آندی، مولکول های H_2O نسبت به بنیان های اکسیژن دار معروف مانند SO_4^{2-} ، NO_3^- ، PO_4^{3-} ، یون F^- و یون Cl^- رقیق یا استاندارد برنده و در سایر موارد بازنده هستند.

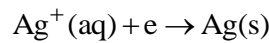
مثال: برای روکش کردن یک قاشق فلزی توسط فلز نقره، شکل دستگاه را رسم کرده، نیم واکنش‌های آندی و کاتدی را بنویسید.

حل: فلز نقره را در آند، فلز دیگر را در کاتد و الکترولیت را AgNO_3 انتخاب می‌کنند.

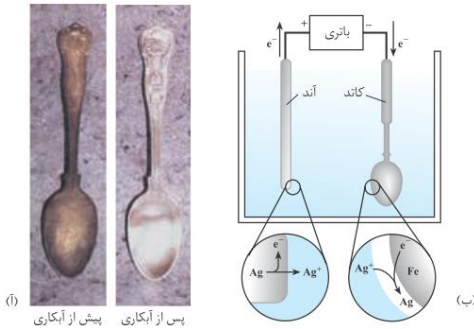
رقابت آندی: از بین Ag(s) , $\text{H}_2\text{O(l)}$, $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ در آند، فلز نقره برنده می‌شود.



رقابت کاتدی: از بین $\text{Ag}^+(\text{aq})$, $\text{H}_2\text{O(l)}$ در کاتد، یون‌های نقره برنده می‌شوند.



به این ترتیب پس از مدتی، لایه نازکی از فلز نقره، سطح قاشق فلزی را می‌پوشاند.



پالایش الکتروشیمیایی مس

پالایش الکتروشیمیایی فلزات، یکی دیگر از کاربردهای مهم برقکافت است. فلزهای ناخالص را می‌توان از راه برقکافت تصفیه کرد و به فلزهایی با

خلوص بسیار بالا تبدیل نمود. در پالایش الکتروشیمیایی مس به موارد زیر توجه کنید:

۱. محلول الکترولیت شامل محلولی از مس (II) سولفات و سولفوریک اسید است.

نکته: نقش سولفوریک اسید، اسیدی کردن محیط و جلوگیری از تشکیل رسوب $\text{Cu(OH)}_2(\text{s})$ است.

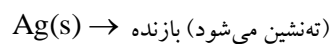
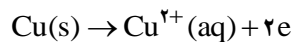
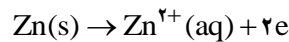
۲. **مس ناخالص** را به **قطب مثبت** باتری وصل می‌کنند تا در نقش قطب مثبت (آند) قرار گیرد. در مس ناخالص مقادیر اندکی از فلزهای روی، طلا

و نقره وجود دارد. در جدول پتانسیل الکترودی استاندارد فلزهای روی و مس دارای E° کوچکتری در مقایسه با طلا و نقره هستند. از این

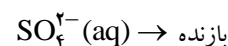
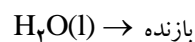
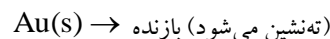
رو ولتاژ باتری را طوری تنظیم می‌کنند که اتم‌های مس و روی اکسایش یابند. اما اتم‌های طلا و نقره اکسایش نیافته و همراه سایر ناخالصی‌ها

زیر آند ته‌نشین می‌شوند که به آن لجن آندی می‌گویند. البته مولکول‌های $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, $\text{H}_2\text{O(l)}$ نیز در رقابت آندی مطرح هستند اما

در برابر اتم‌های مس و روی بازنده هستند. بنابراین تیغه آندی ناخالص به تدریج حل شده، لاغر می‌شود.



رقابت آندی:



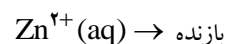
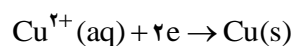
۳. **مس خالص** را به **قطب منفی** باتری وصل می‌کنند تا در نقش قطب منفی (کاتد) قرار گیرد. کاتیون‌های $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ که در

آند تولید شده بودند به سمت کاتد مهاجرت کرده و در آن‌جا برای گرفتن الکترون رقابت می‌کنند. با توجه به این که E° یون‌های

$\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ بزرگتر از E° یون‌های $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ است، در کاتد برنده می‌شوند. البته مولکول‌های $\text{H}_2\text{O(l)}$ نیز مطرح هستند که در

رقابت با $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ بازنده خواهند بود. بنابراین در کاتد یون‌های $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ با گرفتن الکترون به صورت اتم‌های Cu(s) بر سطح

تیغه مس خالص می‌نشینند. به این ترتیب بر جرم تیغه افزوده شده و مقدار قابل توجهی مس خالص (با خلوص ۹۹/۹۹ درصد) به دست می‌آید.



رقابت آندی:

