

## انرژی و واکنش‌های شیمیایی

هدف‌های رفتاری: فراگیر پس از پایان این فصل باید بتواند:

- ۱- تغییرهای گرماده و گرماگیر را شرح دهد.
  - ۲- انرژی گرمایی و انرژی شیمیایی را از هم تشخیص دهد.
  - ۳- تفاوت گرما و دما از هم را بیان کند. بالا بودن دمای شعله‌ها را توضیح دهد.
  - ۴- انرژی درونی یک نمونه ماده را شرح دهد.
  - ۵- تغییر انرژی وابسته به تغییرهای فیزیکی و شیمیایی را توضیح دهد.
  - ۶- نمودارهای تغییر انرژی در واکنش‌های شیمیایی را مورد بحث قرار دهد.
  - ۷- گرمای واکنش‌های شیمیایی را در حجم ثابت یا در فشار ثابت توضیح دهد.
  - ۸- تساوی‌های  $\Delta E = q_v$  و  $\Delta H = q_p$  را شرح دهد.
  - ۹- گرمای سوختن، گرمای انحلال، گرمای تشکیل و انرژی پیوند را توضیح دهد.
- ۱۰- راه‌های ساده‌ی به دست آوردن گرمای واکنش‌های شیمیایی را در فشار ثابت، بیان کند.

آزمایش نشان می‌دهد که هر تغییر فیزیکی یا شیمیایی معمولاً با مبادله مقداری انرژی به شکل گرما همراه است. اکنون در این کتاب با مطالبی در خصوص انرژی حاصل از واکنش‌های شیمیایی آشنا می‌شوید.

### ۱-۵- ماده و انرژی

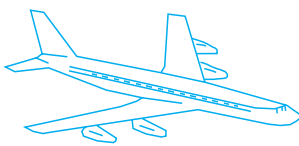
بسیاری از مواد به هنگام شرکت در واکنش‌های شیمیایی گرما تولید می‌کنند. مثلاً از سوختن نفت در بخاری یا سوختن چوب در اجاق، گرمای زیادی حاصل می‌شود. گرما یکی از شکل‌های انرژی است که به آن انرژی گرمایی نیز می‌گویند. از این رو می‌توان گفت که از سوختن نفت در بخاری یا سوختن چوب در اجاق، انرژی به شکل گرما آزاد می‌شود.

عمل سوختن نفت یا چوب در اکسیژن فرآیندی شیمیایی است و در جریان آن، مواد تشکیل دهنده نفت و چوب با اکسیژن هوا واکنش می‌دهند و از آن انرژی در شکل گرما به دست می‌آید. بدین ترتیب واکنش‌هایی مانند سوختن نفت یا چوب و مانند آن‌ها به عنوان واکنش‌های انرژی‌ده یا

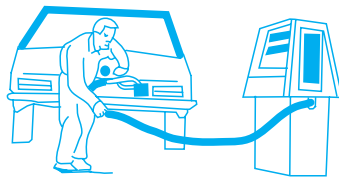
گرماده هستند.

موادی مانند نفت و چوب و گازهای نفتی سرشار از انرژی هستند. این گونه مواد وقتی در واکنش‌های شیمیایی شرکت می‌کنند، مقدار قابل توجهی انرژی را در شکل گرما آزاد می‌کنند. از گرمای واکنش‌های شیمیایی برای مصرف‌های مختلفی استفاده می‌شود. مثلاً برای گرم کردن خانه‌ها، راه انداختن نیروگاه‌ها، انجام عملیات گوناگونی در کارگاه‌ها و کارخانه‌های صنعتی، به حرکت درآوردن وسیله‌های حمل و نقل و... .

امروزه، قسمت مهمی از انرژی مصرفی جهان از سوختن سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید. در شکل ۱-۵ برخی فرآورده‌های سوختی و کاربردهای آن‌ها نشان داده شده است.



بنزین هواپیما برای سفرهای هوایی



بنزین برای اتومبیل‌ها



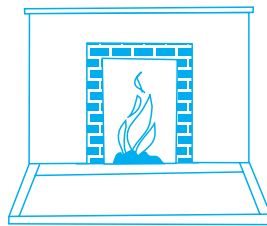
الکل برای چراغ الکلی



گازوئیل برای سوخت اتوبوس‌ها و کامیون‌ها



بوتان برای گاز فندک



کک برای سوخت بخاری



پروپان برای گاز کپسول‌ها



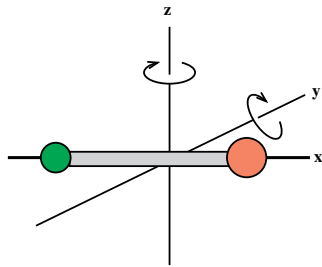
سوخت برای کشتی‌ها

شکل ۱-۵- برخی سوخت‌های فسیلی و کاربردهای آن‌ها

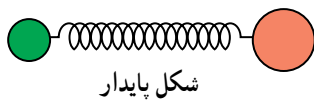
از مقدمه‌ی بالا می‌توان چنین نتیجه گرفت که به طور کلی هر ماده‌ای در خود دارای انرژی است، اما لازم است در نظر داشته باشیم که انرژی یک ماده ممکن است کم یا زیاد باشد. موادی مانند فرآورده‌های نفتی سرشار از انرژی هستند. در مقایسه با آن‌ها می‌توان موادی مانند نمک‌ها را که کم انرژی‌تر هستند، نیز در نظر گرفت.

مواد مختلف با شرکت در واکنش‌های شیمیایی مناسب می‌توانند مقدار قابل توجهی از انرژی خود را در شکل گرما یا در شکل‌های دیگر انرژی آزاد کنند. برای مثال از سوختن  $12/000$  گرم کربن در اکسیژن لازم، در حدود  $393/5$  کیلو ژول انرژی در شکل گرما آزاد می‌شود یا از سوختن  $46/0$  گرم الکل معمولی در اکسیژن در حدود  $1368$  کیلو ژول گرما حاصل می‌شود. به همین ترتیب از حل شدن  $24/0$  گرم منیزیم در محلول هیدروکلریک اسید لازم، در حدود  $467$  کیلو ژول گرما آزاد می‌شود. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت همراه با هر تغییر فیزیکی یا شیمیایی معمولاً مقداری انرژی آزاد یا گرفته می‌شود.

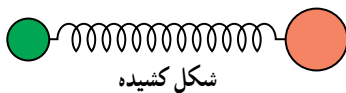
## ۵-۲- انرژی یک نمونه ماده از چه ناشی می‌شود؟



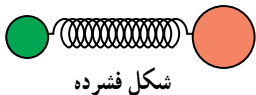
الف - چرخش یک مولکول دو اتمی به دور محوری که از مرکز جرم آن گذشته است.



شکل پایدار



شکل کشیده



شکل فشرده

ب - حرکت ارتعاشی یک مولکول دو اتمی مانند H-Cl

شکل ۵-۲

یک نمونه از یک ماده شیمیایی مثلاً ۱ گرم گاز هیدروژن را که در یک بالن در بسته جای دارد، در نظر بگیرید. می‌دانید که گاز هیدروژن از مولکول‌های هیدروژن،  $H_2$ ، درست شده است. این مولکول‌ها در فضای بالن ساکن نیستند و حرکت‌های مختلفی دارند. مثلاً آن‌ها به طور دائم از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر جابه‌جا می‌شوند و از این رو دارای حرکت انتقالی اند. افزون بر آن، مولکول‌های هیدروژن حرکت چرخشی و ارتعاشی نیز دارند.

در فیزیک می‌خوانید که هر نوع حرکت اجزای مادی دارای یک مقدار انرژی است. برای مثال، یک گلوله که در فضا در حال حرکت است، بسته به جرم و سرعت آن، مقداری انرژی انتقالی دارد. به همین ترتیب، هر مولکول هیدروژن که در حال حرکت انتقالی است نیز دارای انرژی انتقالی است.

انرژی حرکت انتقالی یک گلوله به جرم  $m$  و به سرعت  $v$  از معادله  $\frac{1}{2}mv^2 =$  «انرژی حرکت انتقالی» به دست می‌آید.

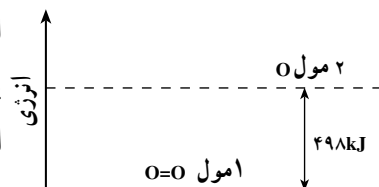
حال هرگاه مجموع انرژی حرکت انتقالی تمام مولکول‌های موجود در یک نمونه هیدروژن را به طور یکجا در نظر بگیریم، به آن، انرژی حرکت انتقالی آن نمونه هیدروژن گفته خواهد شد. همچون حرکت انتقالی، هر حرکت چرخشی و هر حرکت ارتعاشی مولکول‌ها نیز دارای انرژی است. از این رو، مولکول‌های هیدروژن علاوه بر انرژی انتقالی، انرژی چرخشی و انرژی ارتعاشی نیز دارند. در حرکت چرخشی، مولکول به دور محوری که از مرکز جرم آن می‌گذرد می‌چرخد و در حرکت ارتعاشی فاصله میان هسته‌های اتم‌های تشکیل دهنده‌ی مولکول به طور بسیار مختصری کم و زیاد می‌شود.

هرگاه مجموع انرژی‌های حرکت‌های انتقالی، چرخشی و ارتعاشی بدون نظم و ترتیب تمام مولکول‌های یک نمونه‌ی ماده را به طور یکجا در نظر بگیریم، به آن، انرژی جنبشی گرمایی یا انرژی گرمایی آن نمونه ماده گفته می‌شود. بدین سان، انرژی گرمایی یک نمونه ماده همان انرژی حرکت‌های بدون نظم و ترتیب مولکول‌های تشکیل دهنده‌ی آن نمونه ماده است. هر اندازه حرکت‌های یاد شده در یک نمونه ماده شدیدتر باشد، انرژی گرمایی آن هم بیش تر است. گاهی از گرما به عنوان انرژی گرمایی که از یک نقطه به نقطه دیگر جابه‌جا می‌شود، یاد می‌کنند.

یک نمونه ماده علاوه بر آنکه دارای انرژی گرمایی است، انرژی شیمیایی به صورت ذخیره نیز دارد. برای پی بردن به انرژی شیمیایی،  $32^\circ$  گرم گاز اکسیژن را در دما و فشار معینی در نظر بگیرید. به این مقدار اکسیژن، ۱ مول اکسیژن گفته می‌شود که شامل  $6.02 \times 10^{23}$  مولکول اکسیژن  $O=O$  است. هر مولکول اکسیژن از دو اتم اکسیژن درست شده است که به وسیله‌ی یک پیوند دوگانه به هم متصل اند.

هرگاه بخواهید پیوند میان دو اتم اکسیژن در مولکول  $O=O$  را بشکنید و آن را به دو اتم اکسیژن مجزا و بدون پیوند تبدیل کنید، باید برای آن انرژی به کار برید. این انرژی که برای شکستن پیوند  $O=O$  به کار می‌برید تا آن را به دو اتم  $O$  تبدیل کنید، در آن دو اتم ذخیره می‌شود. به این

انرژی ذخیره شده، انرژی شیمیایی ذخیره گفته می‌شود. بدینسان است که می‌گوییم انرژی شیمیایی دو اتم اکسیژن،  $2O$ ، بیش از انرژی شیمیایی یک مولکول اکسیژن،  $O=O$ ، است. برای شکستن پیوندهای  $O=O$  در  $1$  مول اکسیژن ( $1.023 \times 10^{23}$  مولکول  $O=O$ ) و تبدیل آنها به دو مول اتم‌های اکسیژن ( $1.023 \times 10^{23} \times 2$  اتم  $O$ )،  $498$  کیلوژول انرژی لازم است. با توجه به آن می‌گوییم، انرژی شیمیایی  $2$  مول اتم  $O$  به اندازه  $498$  کیلوژول بیش از انرژی شیمیایی  $1$  مول  $O=O$  است. نمودار نشان داده شده در شکل ۳-۵ این مطلب را بهتر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵ - انرژی ذخیره یا انرژی شیمیایی  $1$  مول  $O=O$  به اندازه  $498\text{kJ}$  کم‌تر از انرژی شیمیایی  $2$  مول  $O$  است.

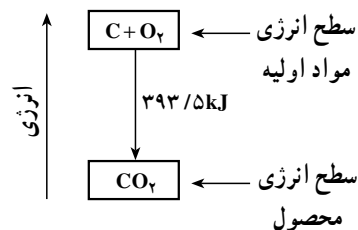
پایین‌تر بودن انرژی شیمیایی مولکول  $O=O$  از دو اتم  $O$ ، به دلیل وجود پیوند دوگانه‌ای است که میان اتم‌های اکسیژن در مولکول  $O=O$  برقرار است. دو اتم  $O$  در مولکول  $O=O$  روی هم برهم کنش شدید دارند، در حالی که در حالت فرضی اتمی برهم کنشی روی هم ندارند. بدین ترتیب می‌توان گفت که انرژی شیمیایی یا انرژی ذخیره، همان انرژی ناشی از برهم کنش اجزای مادی بر یکدیگر است.

به عنوان مثال دیگر، مقداری کربن در شکل گرافیت را در نظر بگیرید. وقتی گرافیت در اکسیژن می‌سوزد، از آن انرژی زیادی به شکل گرما حاصل می‌شود. فکر می‌کنید، این انرژی از کجا ناشی می‌شود؟ یقیناً این انرژی از تغییر انرژی شیمیایی ذخیره در موادی که در واکنش شرکت می‌کنند، به دست می‌آید.

از سوختن هر  $12$  گرم گرافیت در اکسیژن  $393/5$  کیلوژول انرژی در شکل گرما آزاد



در واقع  $393/5$  کیلوژول انرژی آزاد شده در واکنش بالا، به طور عمده از تفاوت میان انرژی شیمیایی مواد اولیه و محصول واکنش ناشی می‌شود. در این واکنش،  $C$  و  $O_2$  هر یک دارای یک مقدار انرژی شیمیایی ذخیره است. به مجموع انرژی‌های شیمیایی آن دو، انرژی شیمیایی مواد اولیه گفته می‌شود. گاز  $CO_2$  به عنوان محصول واکنش نیز دارای یک مقدار انرژی شیمیایی مخصوص به خود است که به آن انرژی شیمیایی محصول واکنش گفته می‌شود. مقدار  $393/5$  کیلوژول انرژی که از سوختن  $12$  گرم گرافیت در اکسیژن حاصل می‌شود، تقریباً از تفاوت میان انرژی شیمیایی مواد اولیه و محصول آن واکنش به دست می‌آید. در مورد واکنش داده شده، به طور تقریب می‌توان گفت که انرژی شیمیایی  $1$  مول  $CO_2$  ( $44$  گرم  $CO_2$ ) به اندازه  $393/5$  کیلوژول از مجموع انرژی‌های شیمیایی  $1$  اتم گرم گرافیت ( $12$  گرم گرافیت) و  $1$  مول  $O_2$  ( $32$  گرم  $O_2$ ) کم‌تر است.



شکل ۴-۵ - انرژی شیمیایی  $1$  مول  $CO_2$ ،  $393/5$  کیلوژول از مجموع انرژی‌های شیمیایی  $1$  اتم گرم گرافیت و  $1$  مول  $O_2$  پایین‌تر است.

تا اینجا دیدید که یک نمونه ماده شیمیایی، هم دارای انرژی گرمایی است و هم دارای انرژی شیمیایی است. به مجموع آن دو، انرژی درونی یا به طور ساده انرژی آن نمونه ماده‌ی شیمیایی گفته می‌شود. می‌توان کل انرژی یک نمونه (یک مقدار معین ماده) را با علامت  $E$  نشان داد. بنابراین نماد  $E$  بیانگر مجموع انرژی‌های گرمایی و شیمیایی یک نمونه ماده مورد مطالعه است.

وقتی نمونه‌ای ماده در یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی شرکت می‌کند، انرژی آن،  $E$ ، تغییر می‌کند. برای مثال،  $1$  گرم یخ  $0^\circ\text{C}$  را در نظر بگیرید که به  $1$  گرم آب  $0^\circ\text{C}$  تبدیل می‌شود. برای این تبدیل  $335$  ژول گرما مصرف می‌شود. یعنی باید  $335$  ژول گرما را به  $1$  گرم یخ  $0^\circ\text{C}$  داد تا به  $1$  گرم

آب °C تبدیل شود. از این رو، به آسانی درمی‌یابیم که انرژی ۱ گرم آب °C بیش از انرژی ۱ گرم یخ °C است. هرگاه انرژی ۱ گرم یخ °C را با  $E_1$  و انرژی ۱ گرم آب °C را با  $E_2$  نشان دهیم، در آن صورت داریم:

$$E_2 = E_1 + 335J$$

و یا

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 335J$$

$\Delta E$  تغییر انرژی نمونه مورد مطالعه را در جریان تغییر فیزیکی یاد شده می‌رساند.

برای هر تغییر فیزیکی دیگر یا هر تغییر شیمیایی مورد نظر نیز یک تغییر انرژی در کار است که آن را با همان نماد  $\Delta E$  معرفی می‌کنند.

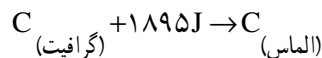
**مثال ۱-۵:** کربن به چند شکل یافت می‌شود. گرافیت و الماس از چند شکلی‌های مهم کربن هستند. برای تبدیل ۱ اتم گرم گرافیت به ۱ اتم گرم الماس، ۱۸۹۵ ژول گرما مصرف می‌شود. تغییر انرژی کربن در این تبدیل کدام است؟

**پاسخ:** انرژی ۱ اتم گرم گرافیت را با  $E_1$  و انرژی ۱ اتم گرم الماس حاصل از آن را با  $E_2$  نشان می‌دهیم. با توجه به معلومات داده شده می‌توان نوشت:

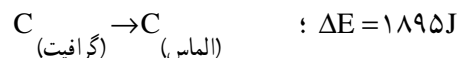
$$E_2 = E_1 + 1895J$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 1895J$$

و یا



وبه همین ترتیب



### ۳-۵- انرژی گرمایی، گرما و دما

فکر می‌کنید انرژی گرمایی، گرما و دما چه تفاوتی با هم دارند؟ همان‌طور که در بخش پیش دیدید، انرژی گرمایی همان انرژی حرکت‌های تصادفی و بدون نظم مولکول‌ها در ماده است. خوب، درباره‌ی گرما چه نظری دارید؟ منظور از گرما، بیش‌تر آن مقدار انرژی گرمایی است که از جسمی به جسم دیگر در نتیجه‌ی تفاوت دما منتقل می‌شود. برای مثال، اگر یک آجر داغ و یک آجر سرد را روی هم قرار دهید، مقداری گرما از آجر داغ به آجر سرد منتقل می‌شود. انتقال این گرما از راه کم شدن مقداری از انرژی گرمایی آجر داغ و انتقال آن به آجر سرد صورت می‌گیرد. در آجر داغ، ارتعاش ذره‌های مادی (اتم‌ها، مولکول‌ها و مانند آن‌ها) شدیدتر از آجر سرد است. وقتی یک آجر داغ و یک آجر سرد را روی هم می‌گذارید، ارتعاش‌ها در آجر داغ به تدریج ضعیف‌تر می‌شود، اما در مقابل، در آجر سرد رو به شدت می‌گذارد و از همین راه مقداری انرژی گرمایی به نام گرما از آجر گرم به آجر سرد سرازیر می‌شود.

اکنون اگر گرما همان انرژی گرمایی است که از جایی به جای دیگر منتقل می‌شود، پس دما یا درجه‌ی حرارت چیست؟ این پرسش بسیار بجا است. هر چند که در اینجا نمی‌توان مفهوم دقیقی از دما را بیان داشت، اما به طور تقریب می‌توان گفت که دما یا درجه‌ی حرارت یک جسم، میزانی از شدت جنبش‌های گرمایی در آن جسم را بیان می‌کند. در واقع هر اندازه جنبش‌های مولکولی (انتقالی، چرخشی و ارتعاشی) در جسمی شدیدتر باشد دمای آن هم بالاتر است. برای مثال، تفاوت میان یک نمونه بخار آب بسیار داغ مثلاً با دمای  $50^{\circ}\text{C}$  و یک نمونه بخار آب سرد مثلاً با دمای  $5^{\circ}\text{C}$  در آن است که مولکول‌های آب در بخار بسیار داغ، جنبش‌های بسیار شدیدتری نسبت به بخار سرد دارند. به همین ترتیب تفاوت میان یک قطعه آهن داغ و برافروخته مثلاً با دمای  $1000^{\circ}\text{C}$  و یک قطعه آهن سرد مثلاً با دمای  $1^{\circ}\text{C}$  در آن است که اتم‌های آهن در آهن برافروخته ارتعاش‌های بسیار شدیدتری نسبت به هم دارند تا در آهن سرد.

همان‌طور که می‌دانید گرما و انرژی گرمایی با یکی از واحدهای انرژی، مثلاً ژول یا کالری سنجیده می‌شود، در حالی که دما در یکی از مقیاس‌های دماسنجی مثلاً مقیاس سلسیوس،  $^{\circ}\text{C}$ ، یا کلون، K، اندازه‌گیری می‌شود. برای مثال، می‌گوییم انرژی گرمایی یک نمونه گاز ۵ کیلوژول است و دمای آن  $200^{\circ}\text{C}$  است.

#### ۴-۵- داغی یک شعله سوزان ناشی از چیست؟

به شعله سوزان یک گاز در یک مشعل توجه کنید. این شعله دارای دمای بالایی است. فکر می‌کنید دمای بالای شعله ناشی از چیست؟ فرض کنید گازی که در مشعل می‌سوزد، گاز بوتان،  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ، باشد. بوتان گازی است که سرشار از انرژی شیمیایی است. از سوختن این گاز در اکسیژن هوا، انرژی زیادی در شکل گرما آزاد می‌شود. اگر ۱ مول گاز بوتان، یعنی ۵۸ گرم گاز بوتان، در اکسیژن بسوزد، از آن در حدود ۲۶۵۷ کیلوژول گرما آزاد می‌شود.



این گرمای عظیم آزاد شده، صرف چه می‌شود؟ قسمت عمده‌ای از این گرما صرف تشدید جنبش مولکول‌های موجود در شعله و بالا بردن دمای آن‌ها می‌شود. همان‌طور که از معادله شیمیایی واکنش پیدا است، از سوختن بوتان در هوا، گاز کربن دی‌اکسید و بخار آب تولید می‌شود. پس قسمتی از مواد تشکیل دهنده شعله شامل همان کربن دی‌اکسید و بخار آب است. علاوه بر آن، در شعله، مقدار قابل توجهی نیتروژن موجود در هوا، اکسیژن به مصرف نرسیده و گاز نسوخته نیز هنوز موجود است. بدین ترتیب نتیجه می‌گیریم که قسمت مهمی از گرمای حاصل از سوختن بوتان صرف گرم کردن مولکول‌های موجود در شعله و تشدید جنبش‌های آن‌ها می‌شود و بالا بودن دمای شعله ناشی از همین جنبش شدید مولکول‌ها در آن است. هر اندازه جنبش‌های مولکول‌ها در شعله‌ای شدیدتر باشد، دمای آن هم بالاتر است.

دما در یک شعله گاز مثلاً در شعله‌ی گاز بوتان بسیار بالا است و ممکن است بالاتر از  $1000^{\circ}\text{C}$  باشد. مولکول‌های موجود در چنین شعله داغی دارای جنبش‌های بسیار شدیدی هستند.



الف) یک شمع در حال سوختن



ب) یک چراغ پونزن با شعله زرد که در آن واکنش سوختن گاز کامل نیست.



پ) یک چراغ پونزن با شعله آبی که در آن فرآیند سوختن گاز به طور کامل انجام می‌شود.



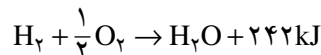
ت) یک مشعل متان - اکسیژن که می‌تواند شیشه‌هایی از جنس کوارتز را که دمای ذوب آن‌ها در حدود  $1600^{\circ}\text{C}$  است ذوب کند.

شکل ۵-۵



شکل ۵-۶ — یک مشعل استیلن — اکسیژن که از آن برای جوش دادن فلزات استفاده می‌شود.

این مولکول‌های پرجنب و جوش در برخورد با مولکول‌های اطراف که جنب و جوش کم‌تری دارند، مقداری از انرژی گرمایی خود را به آن‌ها منتقل می‌کنند و از این راه آن‌ها را گرم‌تر می‌کنند. از سوختن گاز هیدروژن در گاز اکسیژن خالص، شعله‌ای با دمای بسیار بالا و در حدود  $2500^{\circ}\text{C}$  حاصل می‌شود. به کمک چنین شعله داغی می‌توان ورقه‌های فلزی را برید یا آن‌ها را به هم جوش داد.



از سوختن گاز استیلن،  $\text{C}_2\text{H}_2$ ، در اکسیژن خالص شعله‌ای با دمای بالاتر و در حدود  $3000^{\circ}\text{C}$  حاصل می‌شود. در صنعت جوشکاری از چنین شعله‌ای برای بریدن و جوش دادن قطعه‌های فلزی استفاده می‌شود (به شکل ۵-۶ توجه کنید).



### ۵-۵ — چگونگی گرم شدن آب داخل یک دستگاه به وسیله‌ی شعله‌ی گاز

اکنون به فرآیند گرم شدن آب داخل یک دیگ به وسیله‌ی یک شعله‌ی گاز خوب توجه کنید. همان‌طور که گفتیم مولکول‌های تشکیل دهنده‌ی یک شعله‌ی گاز دارای جنبش‌های مولکولی بسیار شدیدی هستند و از همین رو دمای بالایی دارند. این مولکول‌های پرجنب و جوش به شدت به جدار بیرونی دیگ برخورد می‌کنند و از این راه مقداری از انرژی گرمایی خود را بدان منتقل کرده و آن را گرم می‌کنند و دمای آن را بالا می‌برند. از سوی دیگر مولکول‌های آب داخل دیگ از راه برخورد با جدار داخلی دیگ مقداری از انرژی گرمایی آن را دریافت می‌کنند و از این راه گرم‌تر می‌شوند. با ادامه این روند، آب داخل دیگ به تدریج گرم‌تر و گرم‌تر می‌شود و سرانجام ممکن است به جوش آید. به عنوان یک نتیجه‌گیری پایانی می‌توان گفت، هر اندازه دمای یک نمونه ماده بالاتر باشد، جنبش‌های مولکولی در آن شدیدتر است و انرژی گرمایی آن نیز بیش‌تر است. گذشته از آن انتقال انرژی گرمایی از یک جسم به جسم دیگر، از راه برخورد یا تماس مولکول‌های آن دو جسم با یکدیگر حاصل می‌شود.

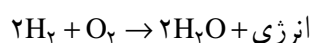
**مثال ۵-۲:** شعله‌ی حاصل از سوختن استیلن در اکسیژن خالص، چگونه می‌تواند یک

تیرآهن را ببرد یا دو قطعه آهن را به هم جوش بدهد؟

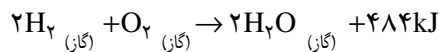
**پاسخ:** سوختن استیلن در اکسیژن بسیار گرماده است. از سوختن هر مول استیلن (۲۶ گرم استیلن) در اکسیژن لازم، در حدود ۱۲۵۶ کیلوژول گرما حاصل می‌شود. این گرما، گازهای حاصل از سوختن استیلن و هوای همراه آن را گرم می‌کند و دمای آن‌ها را به حدود  $3000^{\circ}\text{C}$  می‌رساند. آهن در این دما به آسانی ذوب می‌شود و از این راه است که قطعه‌های بزرگ آهن به هم جوش می‌خورند یا یک تیرآهن بزرگ به راحتی بریده می‌شود.

### ۵-۶ — تغییر انرژی در واکنش‌های شیمیایی

انجام هر واکنش شیمیایی با یک تغییر انرژی همراه است. برای مثال، وقتی هیدروژن در اکسیژن می‌سوزد، مقدار قابل توجهی انرژی از آن به دست می‌آید، چرا؟



از سوختن ۴ گرم گاز هیدروژن در ۳۲ گرم گاز اکسیژن و تولید ۳۶ گرم بخار آب، در حدود ۴۸۴ کیلوژول انرژی به شکل گرما آزاد می‌شود.



دلیل آزاد شدن انرژی در واکنش سوختن هیدروژن، آن است که محتوای انرژی محصول واکنش (۳۶ گرم بخار آب)، از محتوای انرژی مواد اولیه به کار رفته در واکنش (۴ گرم گاز هیدروژن و ۳۲ گرم گاز اکسیژن) کم‌تر است. هرگاه محتوای انرژی را با نماد E معرفی کنیم، می‌توانیم بنویسیم:

$$E_{(2\text{H}_2\text{O})} < (E_{(2\text{H}_2)} + E_{(\text{O}_2)})$$

به واکنشی مانند واکنش سوختن هیدروژن در اکسیژن که با آزاد شدن انرژی به شکل گرما همراه است، واکنش انرژی‌ده یا گرماده می‌گویند. در هر واکنش انرژی‌ده یا گرماده، سطح انرژی یا محتوای انرژی مواد اولیه (مجموع انرژی مواد اولیه) بالاتر از سطح انرژی محصولات واکنش است. هرگاه مجموع انرژی مواد اولیه را با  $E_1$  و مجموع انرژی محصولات واکنش را با  $E_2$  نشان دهیم، در آن صورت برای یک واکنش انرژی‌ده داریم:

$$E_2 > E_1 \quad \text{«در واکنش انرژی‌ده»} \quad (5-1)$$

برای بهتر فهمیدن نامساوی بالا به نمودار (الف) در شکل ۵-۷ توجه کنید.

اکنون تغییر انرژی،  $\Delta E$ ، وابسته به واکنش را به صورت زیر معرفی می‌کنیم:

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (5-2)$$

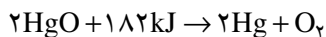
با در نظر گرفتن نامساوی (۵-۱) و تساوی (۵-۲) با هم، به آسانی معلوم می‌شود که  $\Delta E$  در یک واکنش انرژی‌ده، یک مقدار منفی است. برای مثال،  $\Delta E$  در واکنش سوختن هیدروژن در اکسیژن به شرحی که گذشت برابر است با:

$$\Delta E = -484\text{kJ}$$

و یا به طور کلی در هر واکنش انرژی‌ده داریم

$$\Delta E = (E_2 - E_1) < 0 \quad \text{«در هر واکنش انرژی‌ده»} \quad (5-3)$$

در برابر واکنش‌های انرژی‌ده، انجام برخی واکنش‌ها با جذب انرژی همراه است. برای مثال، تجزیه‌ی جیوه‌اکسید به اکسیژن و جیوه یک واکنش انرژی‌گیر است:



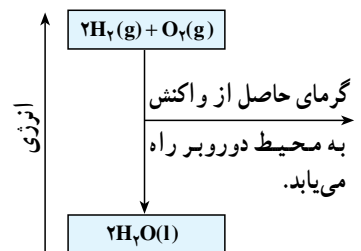
بدین ترتیب، در این واکنش، سطح انرژی محصول واکنش،  $E_2$ ، بیش از سطح انرژی مواد اولیه،  $E_1$ ، است.

$$E_2 > E_1 \quad \text{«در واکنش انرژی‌گیر»} \quad (5-4)$$

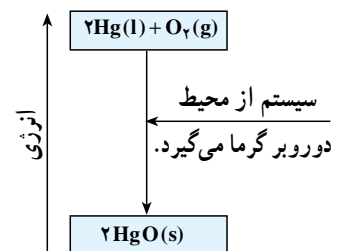
و از آنجا، تغییر انرژی،  $E_1$ ، وابسته بدان مقدار مثبتی است. به طور کلی، در هر واکنش انرژی‌گیری داریم:

$$\Delta E = (E_2 - E_1) > 0 \quad \text{«در هر واکنش انرژی‌گیر»} \quad (5-5)$$

در شکل ۵-۷ ب نمودار تغییر انرژی برای واکنش تجزیه‌ی جیوه‌اکسید به جیوه و اکسیژن ترسیم شده است. ۲ مول جیوه‌اکسید جامد (۴۳۳ گرم جیوه‌اکسید) با دریافت ۱۸۲ کیلوژول انرژی در



الف) یک واکنش گرماده



ب) یک واکنش گرماگیر

شکل ۵-۷- توجه داشته باشید که دو نمودار در یک مقیاس رسم نشده‌اند.



شکل گرما، به ۲ مول جیوه مایع (۴۰۱ گرم جیوه) و ۱ مول اکسیژن (۳۲ گرم اکسیژن) تجزیه می‌شود. بدین ترتیب برای واکنش تجزیه یاد شده می‌توان نوشت:

$$E_{\text{(واکنش دهنده‌ها)}} + 182 \text{ kJ} = E_{\text{(محصولات)}}$$

و یا

$$\Delta E = E_{\text{(محصولات)}} - E_{\text{(واکنش دهنده‌ها)}} = +182 \text{ kJ}$$

## ۵-۷ - گرمای واکنش کدام است؟

در بخش پیش دیدید که انجام هر واکنش شیمیایی با آزاد شدن یا جذب مقداری انرژی همراه است. تغییر انرژی همراه واکنشهای شیمیایی، معمولاً به شکل گرما ظاهر می‌شود. برای مثال، انرژی حاصل از انجام یک واکنش انرژی ده به شکل گرما درمی‌آید و به محیط دوروبر واکنش سرازیر می‌شود و انرژی گرمایی مولکول‌های واقع در محیط دوروبر را بالا می‌برد. در مقابل، در یک واکنش انرژی گیر، انرژی لازم برای آن، به شکل گرما از محیط دوروبر گرفته می‌شود و به درون واکنش راه می‌یابد و به شکل ذخیره درمی‌آید. با این مقدمه می‌توان دریافت که تغییر انرژی،  $\Delta E$ ، یک واکنش باید تقریباً با گرمای آن واکنش که با نماد  $q$  نشان داده می‌شود، برابر باشد:

گرمای واکنش  $\approx$  تغییر انرژی واکنش

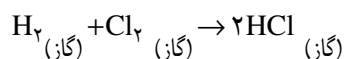
$$\Delta E_{\text{(واکنش)}} \approx q_{\text{(واکنش)}} \quad (5-6)$$

این بیان تا حد رضایت بخشی درست است. هنگامی که حجم در جریان انجام واکنش تغییر نکند (یا تغییر آن اندک باشد)، با اطمینان می‌توان نوشت:

$$\Delta E_{\text{(واکنش)}} = q_v_{\text{(واکنش)}} \quad (5-7)$$

( $v$  ثابت ماندن حجم در جریان انجام واکنش را می‌رساند.)

در یک واکنش حجم ثابت، باید حجم مواد اولیه با حجم محصولات تقریباً مساوی باشد. برای توضیح بیش تر به واکنش:



خوب توجه کنید. فرض کنید این واکنش در دمای  $27^\circ \text{C}$  و فشار ثابت ۱ اتمسفر انجام شود. همان طور که می‌دانید هر مول گاز در دمای  $27^\circ \text{C}$  و فشار ۱ اتمسفر،  $24/6$  لیتر حجم دارد. بدین ترتیب، حجم مواد اولیه در این واکنش (۱ مول  $\text{H}_2$  و ۱ مول  $\text{Cl}_2$ ) روی هم برابر با  $49/2$  لیتر است. از سوی دیگر، محصولات (۲ مول  $\text{HCl}$ ) نیز برابر همان  $49/2$  لیتر است. از این رو می‌گوییم که واکنش یاد شده در حجم ثابت انجام می‌شود و از آنجا برای آن می‌توان نوشت:

$$\Delta E_{\text{(واکنش)}} = q_v_{\text{(واکنش)}}$$

واکنش  $H_2 + Cl_2$  در حدود ۱۸۴ کیلوژول گرماده است. بنابراین برای آن می‌توان نوشت:

$$\Delta E = q_v = -184 \text{ kJ}$$

**مثال ۳-۵:** آیا حل شدن نمک طعام در آب فرآیندی حجم ثابت است؟

**پاسخ:** با یک استوانه مدرج، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب را در یک بشر بریزید. ۲ گرم نمک طعام را با یک ترازو وزن کنید و حجم آن را در حالت فشرده تخمین بزنید. نمک را در آب داخل بشر حل کنید. حجم محلول حاصل را اندازه بگیرید و آن را با مجموع حجم آب و نمک در قبل از آزمایش مقایسه کنید. از آن، چه نتیجه‌ای خواهید گرفت؟ با انجام این آزمایش خواهید دید که حجم در جریان حل کردن نمک طعام در آب، تغییر چندانی نمی‌کند. بنابراین می‌توان گفت در فرآیند حل شدن نمک طعام در آب، حجم تقریباً ثابت است.

**مثال ۴-۵:** آیا جوشیدن آب فرآیندی حجم ثابت است؟

**پاسخ:** ۱ مول آب (۱۸ گرم آب) را که در دمای جوش خود قرار دارد در نظر بگیرید. حجم آن در حدود ۱۸ سانتی‌متر مکعب است. حال هرگاه این ۱ مول آب به بخار آب در همان دمای جوش تبدیل شود، حجم بسیار بسیار بزرگ‌تری را اشغال خواهد کرد، چرا؟ بدینسان در فرآیند جوشیدن آب، حجم ثابت نمی‌ماند و به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌کند.

**۵-۸- فرآیند فشار ثابت کدام است؟**

فرآیند فشار ثابت آن است که فشار محیطی که فرآیند در آن انجام می‌گیرد، ثابت باشد. بسیاری از فرآیندها در برابر هوای آزاد انجام می‌شوند. هرگاه فشار هوا در جریان انجام آن فرآیندها تقریباً ثابت بماند، به آن‌ها، فرآیندهای فشار ثابت گفته می‌شود. برای مثال، موقعی که مقداری شکر را در آب داخل یک لیوان حل می‌کنید، با یک فرآیند فشار ثابت روبه‌رو هستید، زیرا فشار هوا در طول حل شدن شکر در آب تقریباً ثابت است. به همین ترتیب، فشار هوای روی آبی که در یک بشر در باز، بر روی یک شعله در حال جوشیدن است، تقریباً ثابت است. از این رو، این فرآیند جوش نیز فرآیندی فشار ثابت است.

**۵-۹- گرمای یک فرآیند در فشار ثابت**

۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر را در یک بشر بریزید و دمای آن را اندازه بگیرید. ۵ گرم آمونیم نیترات را با یک ترازوی نسبتاً دقیق وزن کنید و آن را در آب داخل بشر حل کنید و به تغییر دمای حاصل دقت کنید. خواهید دید که با حل کردن آمونیم نیترات در آب، دما کاهش پیدا می‌کند. چرا؟ زیرا حل شدن آمونیم نیترات در آب فرآیندی انرژی‌گیر است. این انرژی از انرژی گرمایی مولکول‌های آب گرفته می‌شود و در نتیجه آن، دما کاهش می‌یابد.

فشار هوا در طول این آزمایش، همان‌طور که پیدا است، ثابت است. بنابراین گرمای مبادله شده در آن، در فشار ثابت است. هرگاه ۱ مول آمونیم نیترات در مقدار کافی آب حل شود، در حدود ۲/۲۶ کیلوژول انرژی در شکل گرما در فشار ثابت از محیط گرفته می‌شود.

به آزمایش دیگری توجه کنید. جوشیدن آب در هوای آزاد نیز یک فرآیند فشار ثابت است.

زیرا فشار هوا در جریان جوشیدن آب تقریباً ثابت است. برای بخار شدن ۱ مول آب در دمای جوش آن در فشار ثابت، در حدود  $40630 \text{ J}$  انرژی در شکل گرما از محیط جذب می‌شود.

اکنون با این پرسش روبه‌رو هستیم که آیا گرمای مبادله شده در یک فرآیند فشار ثابت،  $q_p$ ، باز هم با تغییر انرژی وابسته به آن فرآیند مساوی است یا نه؟ بررسی‌های دقیق علمی نشان می‌دهد که در حالت کلی ممکن است  $q_p$  و  $\Delta E$  به‌طور دقیق با هم مساوی نباشند. شیمی‌دان‌ها برای نشان دادن گرمایی که در جریان تغییرهای فیزیکی یا شیمیایی در فشار ثابت آزاد یا جذب می‌شود، از کمیت دیگری به نام آنتالپی<sup>۱</sup> و با علامت  $H$  کمک می‌گیرند و تغییر آن،  $\Delta H$ ، را با گرمای مبادله شده در فشار ثابت،  $q_p$ ، یکی می‌گیرند.

$$q_p = \Delta H \quad (5-8)$$

بنابراین  $\Delta H$  یک فرآیند، برابر با همان گرمایی است که آن فرآیند در فشار ثابت از دست می‌دهد یا دریافت می‌دارد. برای مثال، چون در فرآیند حل شدن ۱ مول آمونیوم نیترات در آب در فشار ثابت  $26/2$  کیلوژول گرما گرفته می‌شود، برای آن می‌توان نوشت:

$$\Delta H_{\text{(انحلال)}} = +26/2 \text{ kJ}$$

و یا، چون در فرآیند بخار شدن ۱ مول آب در دمای جوش آن و در فشار ثابت،  $40630$  ژول گرما گرفته می‌شود، برای آن داریم:

$$\Delta H_{\text{(بخار شدن)}} = +40630 \text{ J}$$

در نظر داشته باشید که  $\Delta H$  در فرآیندهای گرماگیر مثبت و در فرآیندهای گرماده، منفی است.

## مطالعه‌ی آزاد

در اینجا این پرسش پیش می‌آید که آنتالپی،  $H$ ، چیست؟ می‌توان به این پرسش این‌طور پاسخ داد که یک مقدار از یک ماده همان‌طور که دارای انرژی،  $E$ ، است، آنتالپی،  $H$ ، نیز دارد. آنتالپی یک نمونه مادی تا حدودی برابر با همان انرژی آن است. به‌طور دقیق آنتالپی یک نمونه مادی مساوی انرژی آن به اضافه حاصلضرب حجم در فشار آن است. یعنی:

$$H = E + PV \quad (5-9)$$

در حالی که  $H$  و  $E$  به ترتیب آنتالپی و انرژی نمونه مورد مطالعه را می‌رساند و  $V$  حجم آن نمونه را نشان می‌دهد و  $P$  فشار روی نمونه را معرفی می‌کند.

آنتالپی،  $H$ ، برحسب یکی از واحدهای انرژی اندازه‌گیری می‌شود. در واقع، آنتالپی نامی و همتایی دیگر برای انرژی است.

## ۱۰-۵- تغییر آنتالپی در واکنش‌های شیمیایی

همان‌طور که انجام یک واکنش شیمیایی با یک تغییر انرژی،  $\Delta E$ ، همراه است، با یک تغییر

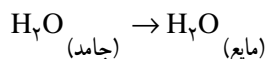
<sup>۱</sup> - enthalpy

آنتالپی،  $\Delta H$ ، نیز همراه است. هرگاه مجموع آنتالپی‌های مواد اولیه را با  $H_1$  و مجموع آنتالپی‌های محصولات واکنش را با  $H_2$  نشان دهیم،  $\Delta H$  واکنش عبارت خواهد بود از:

$$\Delta H_{\text{(واکنش)}} = H_2 - H_1 \quad (5-10)$$

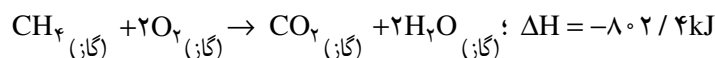
یک نکته بسیار آموزنده و مهم در اینجا آن است که  $\Delta H$  یک واکنش در فشار ثابت برابر با گرمایی است که در جریان آن واکنش تولید یا گرفته می‌شود.

در تبدیل ۱ مول یخ  $0^\circ\text{C}$  به ۱ مول آب  $0^\circ\text{C}$  در حدود  $6/01$  کیلوژول گرما در فشار ثابت جذب می‌شود. از این رو، برای آن می‌توان نوشت:



$$\Delta H = H_{\text{(آب مایع)}} - H_{\text{(یخ)}} = 6/01 \text{ kJ}$$

در واکنش سوختن ۱ مول گاز متان در اکسیژن،  $802/4$  کیلوژول گرما در فشار ثابت آزاد می‌شود. از این رو، برای واکنش مذکور داریم:



**تمرین ۵-۱:** با استفاده از معلومات داده شده در بخش ۴-۵،  $\Delta H$  هر یک از واکنش‌های سوختن هیدروژن در اکسیژن و استیلن در اکسیژن را بیان کنید. فرض می‌شود که هر یک از آن دو در فشار ثابت انجام می‌شوند.

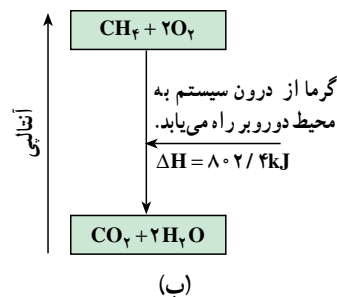
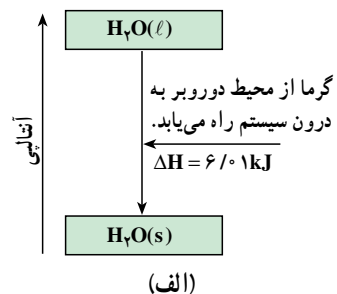
### ۵-۱۱- گرمای سوختن

وقتی مواد مختلف در اکسیژن می‌سوزند، مقدار قابل توجهی گرما آزاد می‌شود. بنابه تعریف، گرمای سوختن یک ماده قابل سوختن برابر با گرمایی است که از سوختن کامل ۱ مول از آن ماده در اکسیژن به دست می‌آید. برای مثال، گرمای سوختن گرافیت در اکسیژن برابر با  $-393/5 \text{ kJmol}^{-1}$  سوختن  $\Delta H$  است. علامت منفی می‌رساند که واکنش سوختن گرماده است. این مقدار می‌رساند که از سوختن ۱ مول گرافیت (۱۲ گرم گرافیت) در اکسیژن،  $393/5$  کیلوژول انرژی در شکل گرما در فشار ثابت آزاد می‌شود.

در جدول ۵-۱ گرمای سوختن چند ترکیب آلی داده شده است.

جدول ۵-۱- گرمای سوختن چند ترکیب آلی بر حسب  $\text{kJmol}^{-1}$

نام	فرمول	$\Delta H$ سوختن
متانول	$CH_3OH_{\text{(مایع)}}$	-۶۳۸
اتانول	$C_2H_5OH_{\text{(مایع)}}$	-۱۲۲۴
متان	$CH_4_{\text{(گاز)}}$	-۸۰۲
پروپان	$C_3H_8_{\text{(گاز)}}$	-۲۰۴۶
بوتان	$C_4H_{10}_{\text{(گاز)}}$	-۲۶۵۷



شکل ۸-۵ (الف) ذوب ۱ مول یخ در  $0^\circ\text{C}$  که فرآیندی گرماگیر است باعث می‌شود که آنتالپی آب به اندازه‌ی  $6/01$  کیلوژول افزایش یابد.

(ب) از سوختن ۱ مول متان در اکسیژن که فرآیندی گرماده است  $802/4 \text{ kJ}$  گرما آزاد می‌شود.

با آنکه گرمای سوختن را برای ۱ مول از ماده سوختنی گزارش می‌کنند، اما از نظر تجارتمی بهتر است که گرمای سوختن را در ازای واحد جرم حساب کرد.

سوختی که گرمای سوختن آن در ازای واحد جرم بیش تر باشد، معمولاً سوخت بهتری به حساب می‌آید.

**تمرین ۵-۲:** گرمای سوختن ۱ گرم از هر یک از ترکیب‌های داده شده در جدول ۵-۱ را حساب و با هم مقایسه کنید. کدام یک از سوخت‌های داده شده در این جدول، با در نظر گرفتن مقدار گرمای سوختن در ازای واحد جرم مرغوب تر است؟

## ۵-۱۲- گرمای حل شدن

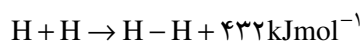
گرمای حل شدن، آن مقدار گرمایی است که در فشار ثابت از حل شدن ۱ مول از ماده حل‌شدنی در مقدار معینی از حلال آزاد یا جذب می‌شود. برای مثال، همان‌طور که پیش از این هم اشاره شد، از حل شدن ۱ مول آمونیوم نیترات در مقدار زیادی آب،  $26/2$  کیلوژول گرما گرفته می‌شود. در جدول ۵-۲ گرمای مولی حل شدن چند ترکیب یونی در آب داده شده است.

جدول ۵-۲- گرمای حل شدن چند ترکیب یونی در آب

$\Delta H$ (حل شدن) / $\text{kJmol}^{-1}$	ترکیب
گرماده	$-37/1$ LiCl
	$-82/8$ $\text{CaCl}_2$
	$+4/0$ NaCl
گرماگیر	$+17/2$ KCl
	$+15/2$ $\text{NH}_4\text{Cl}$
	$+26/2$ $\text{NH}_4\text{NO}_3$

## ۵-۱۳- انرژی پیوند

وقتی دو اتم به هم می‌پیوندند و یک پیوند شیمیایی را درست می‌کنند، از آن انرژی حاصل می‌شود. برای مثال، از به هم پیوستن دو مول اتم هیدروژن، و تشکیل یک مول مولکول  $\text{H}_2$ ، انرژی قابل توجهی آزاد می‌شود.



اینک اگر بخواهیم پیوند  $\text{H}-\text{H}$  تشکیل شده را بشکنیم، باید انرژی برابر با انرژی حاصل از تشکیل آن پیوند را صرف کنیم. یعنی:



به مقدار انرژی  $432 \text{kJmol}^{-1}$  که برای شکستن پیوند به کار می‌رود، انرژی پیوند  $\text{H}-\text{H}$  می‌گویند.

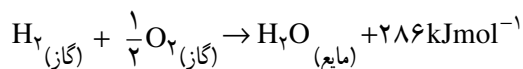
به همین ترتیب، هر پیوند شیمیایی دیگر نیز انرژی پیوند ویژه خود را دارد. در جدول ۳-۵ انرژی پیوند چند پیوند شیمیایی آشنا داده شده است.

جدول ۳-۵- انرژی چند پیوند شیمیایی آشنا برحسب کیلوژول برمول

انرژی پیوند	پیوند	انرژی پیوند	پیوند
۴۱۰	C-H	۴۳۲	H-H
۵۶۵	H-F	۱۵۵	F-F
۴۲۸	H-Cl	۲۴۰	Cl-Cl
۳۶۲	H-Br	۱۹۰	Br-Br
۲۹۵	H-I	۱۴۹	I-I
۴۵۹	O-H	۳۳۹	C-Cl
۳۸۸	N-H	۴۹۴	O=O
		۹۴۲	N≡N

### ۱۴-۵- گرمای تشکیل

هنگامی که یک جسم مرکب طی واکنشی از عنصرهای سازنده اش تشکیل می‌شود، معمولاً مقداری انرژی در شکل گرما آزاد می‌شود. برای مثال، هنگامی که ۱ مول آب مایع، از گازهای هیدروژن و اکسیژن حاصل می‌شود، ۲۸۶kJ گرما نیز با آن آزاد می‌شود:



به  $286\text{kJmol}^{-1}$  گرما، گرمای مولی تشکیل آب مایع می‌گویند. گرمای تشکیل را با نماد  $\Delta H_f$  نشان می‌دهند<sup>۱</sup>. بدین سان:

$$\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}, \text{مایع}) = -286\text{kJmol}^{-1}$$

منفی بودن گرمای تشکیل بدان معنا است که تشکیل جسم مرکب مورد نظر از عنصرهای سازنده اش گرماده است. هر اندازه گرمای تشکیل جسمی منفی تر باشد، احتمال پایداری آن بیش تر است، برعکس، ترکیبات با گرمای تشکیل مثبت، نوعاً ممکن است ناپایدار باشند. در جدول ۴-۵ گرمای تشکیل چند ترکیب آشنا جمع‌آوری شده است.

جدول ۴-۵- گرمای تشکیل چند ترکیب آشنا برحسب کیلوژول برمول

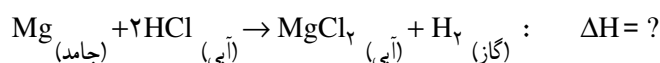
$\Delta H_f$	فرمول جسم مرکب	$\Delta H_f$	فرمول جسم مرکب
-۹۲/۳	گاز HCl	-۲۴۱/۸	گاز H <sub>2</sub> O
-۱۵۵/۲	جامد CuO	-۱۸۸	مایع H <sub>2</sub> O <sub>۲</sub>
-۶۳۵/۶	جامد CaO	-۲۹۷	گاز SO <sub>۲</sub>
-۷۴/۸	گاز CH <sub>۴</sub>	-۴۶	گاز NH <sub>۳</sub>
-۱۲۶/۲	گاز C <sub>۲</sub> H <sub>۱۰</sub>	-۱۱۰/۵	گاز CO
+۲۲۶/۷	گاز C <sub>۲</sub> H <sub>۲</sub>	-۳۹۳/۵	گاز CO <sub>۲</sub>

۱- f حرف اول کلمه formation به معنای تشکیل است.

## ۱۵-۵- روش‌های تعیین گرمای یک واکنش

در بخش‌های قبل دیدید که انجام هر واکنش شیمیایی با تولید یا جذب مقداری گرما همراه است. برای تعیین گرمای یک واکنش از راه‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. برخی راه‌های ساده برای تعیین گرمای واکنش عبارتند از:

**الف) به کمک آزمایش:** از راه انجام برخی آزمایش‌های ساده می‌توان گرمای تعدادی از واکنش‌های شیمیایی را تعیین کرد. برای مثال، آزمایش نشان می‌دهد که از حل شدن  $48^\circ\text{C}$  گرم فلز منیزیم در محلول هیدروکلریک اسید لازم  $9/24$  کیلوژول گرما در فشار ثابت آزاد می‌شود. اکنون با استفاده از معلومات این آزمایش، به آسانی می‌توان گرمای واکنش مورد مطالعه را حساب کرد. برای این کار نخست باید معادله‌ی شیمیایی واکنش را نوشت:



در معادله‌ی نوشته شده، یک اتم گرم منیزیم ( $24$  گرم منیزیم) در اسید حل می‌شود. از این رو، گرمای واکنش داده شده، آن مقدار گرمایی است که با حل شدن  $1$  اتم گرم منیزیم همراه است. بدین ترتیب:

$$\Delta H_{(\text{واکنش})} = 24\text{g} \times \frac{-9/24\text{kJ}}{48\text{g}} = -462\text{kJ}$$

(علامت منفی بیانگر گرمادهی واکنش است.)

**ب) به کمک گرمای تشکیل:** قاعده‌ی حساب کردن گرمای یک واکنش از روی گرماهای تشکیل اجسام شرکت کننده در واکنش عبارت است از:

$$\Delta H_{(\text{واکنش})} = \text{-(مجموع گرماهای تشکیل مواد حاصل)} - \text{(مجموع گرماهای تشکیل مواد اولیه)}$$

**مثال ۴-۵:** گرمای واکنش  $\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  را از روی گرماهای تشکیل داده شده در

جدول ۴-۵ حساب کنید.

پاسخ: از قاعده داده شده در بالا استفاده می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \Delta H_{(\text{واکنش})} &= \Delta H_{f(\text{CO}_2)} - \left[ \Delta H_{f(\text{CO})} + \frac{1}{2} \Delta H_{f(\text{O}_2)} \right] \\ &= -393/5 - (-110/5) - \frac{1}{2} \times 0 = -283\text{kJ} \end{aligned}$$

تذکر: لازم است توجه داشته باشید که گرمای تشکیل هر عنصر به حالت آزاد مانند  $\text{H}_2$ ،  $\text{O}_2$ ،

$\text{N}_2$ ، (گرافیت) C،  $\text{Hg}_{(\text{مایع})}$ ،  $\text{I}_2_{(\text{جامد})}$  و مانند آن‌ها طبق قرارداد برابر با صفر است.

**پ) به کمک انرژی‌های پیوند:** قاعده حساب کردن گرمای یک واکنش از روی انرژی‌های

پیوند عبارت است از :

$$\Delta H_{\text{(واکنش)}} = \left( \text{مجموع انرژی پیوندهای موجود در مواد اولیه} \right) - \left( \text{مجموع انرژی پیوندهای موجود در مواد حاصل} \right)$$

مثال ۵-۵: گرمای واکنش  $\text{H}-\text{H} + \text{Cl}-\text{Cl} \rightarrow 2\text{H}-\text{Cl}$  را از روی انرژی پیوندهای به

کار رفته در واکنش حساب کنید.

پاسخ: از قاعده داده شده در مورد به کار بردن انرژی‌های پیوند برای محاسبه گرمای واکنش

استفاده می‌کنیم :

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{(واکنش)}} &= (\text{انرژی پیوند Cl}-\text{Cl} + \text{انرژی پیوند H}-\text{H}) \\ &\quad - (\text{انرژی پیوند H}-\text{Cl} \times 2) \\ &= (432 + 240) - (2 \times 428) = -184 \text{ kJ} \end{aligned}$$



- ۱-۵- یک نمونه ماده دارای چه نوع انرژی‌هایی است؟
- ۲-۵- چرا از سوختن مواد سوختی، مقدار قابل توجهی انرژی در شکل گرما آزاد می‌شود؟
- ۳-۵- انرژی گرمایی یک نمونه ماده از چه ناشی می‌شود؟ انرژی گرمایی یک جسم تابع چه عامل‌هایی است؟
- ۴-۵- دمای یک جسم از چه خبر می‌دهد؟
- ۵-۵- انرژی شیمیایی یک نمونه ماده کدام است؟ انرژی واکنش‌های شیمیایی بیش‌تر از کدام منشأ حاصل می‌شود؟
- ۶-۵- انرژی درونی یا به‌طور ساده انرژی یک نمونه ماده شامل چه انرژی‌هایی است؟
- ۷-۵- ارتباط میان انرژی گرمایی، گرما و دمای یک جسم را شرح دهید.
- ۸-۵- تفاوت میان یک قطعه مس داغ و یک قطعه مس سرد را از دید جنبش‌های مولکولی شرح دهید.
- ۹-۵- چرا دمای یک شعله بسیار بالا است؟ آیا در یک شعله مولکول‌ها، اتم‌ها یا یون‌هایی هم یافت می‌شود؟ آن‌ها از کجا به دست آمده‌اند؟
- ۱۰-۵- دمای یک شعله در چه شرایطی ممکن است فوق‌العاده بالا باشد؟
- ۱۱-۵- چرا دمای مشعل استیلن - اکسیژن از دمای مشعل هیدروژن - اکسیژن بالاتر است؟
- ۱۲-۵- از سوختن ۱ کیلوگرم گاز هیدروژن در گاز اکسیژن لازم، چه مقدار انرژی در شکل گرما حاصل می‌شود؟ این مقدار گرما می‌تواند چند کیلوگرم یخ  $^{\circ}\text{C}$  را به آب  $^{\circ}\text{C}$  تبدیل کند؟ (آب حاصل از سوختن هیدروژن را در شکل بخار آب در نظر بگیرید.)
- ۱۳-۵- نمودار تغییر انرژی برای واکنش‌های زیر را رسم کنید.
- $$\text{H}_2 (\text{گاز}) + \text{I}_2 (\text{گاز}) \rightarrow 2\text{HI} (\text{گاز}) \quad : \quad \Delta H = 52/2 \text{kJ}$$
- $$\text{H}_2 (\text{گاز}) + \text{F}_2 (\text{گاز}) \rightarrow 2\text{HF} (\text{گاز}) \quad : \quad \Delta H = -537 \text{kJ}$$
- ۱۴-۵- هر یک از اصطلاحات، واکنش انرژی‌ده، واکنش انرژی‌گیر، واکنش گرماده و واکنش گرماگیر را شرح دهید.
- ۱۵-۵- تغییر انرژی وابسته به واکنش‌های شیمیایی، بیشتر به چه صورت ظاهر می‌شود؟
- ۱۶-۵- فرآیند حجم ثابت و فرآیند فشار ثابت را توضیح دهید. برای هر یک از آن‌ها ۵ نمونه را معرفی کنید.
- ۱۷-۵- در یک فرآیند حجم ثابت، میان تغییر انرژی و گرمای وابسته به فرآیند چه رابطه‌ای برقرار است؟ این رابطه در مورد یک فرآیند فشار ثابت چگونه است؟
- ۱۸-۵- در جریان بخار شدن یک مایع در فشار ثابت  $10^{\circ}\text{kJ}$  گرما جذب شده است.  $\Delta H$

وابسته به آن چه مقدار است و چرا؟

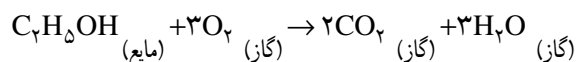
۱۹-۵- یک واکنش شیمیایی در حجم ثابت انجام می‌شود و  $50 \text{ kJ}$  گرما را آزاد می‌سازد.

تغییر انرژی این واکنش برابر با چه مقدار است و چرا؟

۲۰-۵- از حل شدن  $3/27$  گرم فلز روی در محلول هیدروکلریک اسید لازم،  $7/7$  کیلوژول گرما در فشار ثابت آزمایشگاه آزاد می‌شود. تغییر آنتالپی،  $\Delta H$ ، وابسته به واکنش میان روی و محلول اسید را حساب کنید.

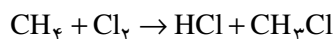
۲۱-۵- با استفاده از گرماهای تشکیل، گرمای واکنش سوختن الکل معمولی را حساب

کنید.



(گرمای تشکیل الکل معمولی به حالت مایع، برابر با  $-277/7$  کیلوژول بر مول است.)

۲۲-۵- با استفاده از انرژی‌های پیوند، گرمای واکنش



را حساب کنید.

۲۳-۵- از سوختن کامل  $1$  تن گاز بوتان در اکسیژن لازم، چه مقدار انرژی در شکل گرما حاصل

می‌شود؟ گرمای سوختن بوتان برابر با  $-2657 \text{ kJ mol}^{-1}$  سوختن  $\Delta H$  است.

۲۴-۵- از حل شدن  $10$  گرم آمونیوم کلرید در مقدار زیادی آب، چه مقدار گرما در فشار

ثابت گرفته می‌شود (از معلومات داده شده در جدول ۲-۵ استفاده کنید).