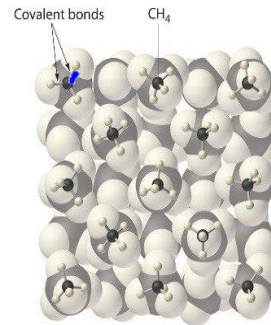
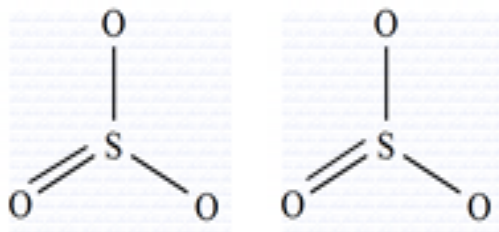


جامدات مولکولی

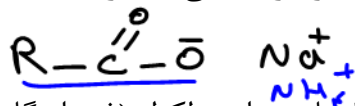


۱- مواد مولکولی دارای مولکول مشخص هستند که اتصال اتم‌ها در درون مولکول توسط پیوند کووالانسی و اتصال مولکول‌ها توسط نیروهای بین مولکولی است.

۲- تشخیص: جسمی که فلز و NH_4^+ نداشته باشد و جزو ۶ جامد کووالانسی نباشد، جامد مولکولی است.

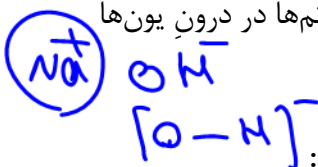
۳- تنوع ماده مولکولی بسیار بیشتر از سه دسته (جامد) دیگر است.

۴- اغلب ترکیبات آلی، بسیاری از مواد که در دمای معمولی جامدند و نیز هر جسمی که در دمای معمولی گاز یا مایع است (غیر از جیوه)، جامد مولکولی می‌باشند.

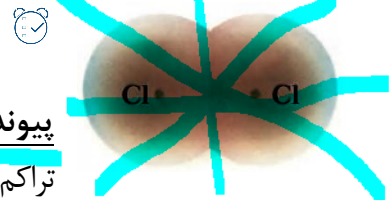


۵- پیوند کووالانسی هم در جامدات کووالانسی و هم در درون مولکول‌های مواد مولکولی (غیر از گاز های

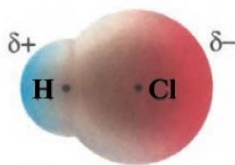
نجیب) وجود دارد. حتی در جامدات یونی که کاتیون یا انیون چند اتمی دارند نیز اتصال اتم‌ها در درون یون‌ها توسط پیوند کووالانسی است: $NaNO_3$, $Fe(OH)_2$, NH_4Cl و ... $(NH_4)_2CO_3$



یادآوری: پیوند کووالانسی به دو دسته تقسیم می‌شود:



پیوند کووالانسی ناقطبی: اگر دو اتم نافلز یا شبه فلز یکسان (جور هسته) باشند، تراکم و توزیع الکترون‌ها در دو طرف پیوند یکسان بوده و پیوند متقارن و ناقطبی خواهد بود:

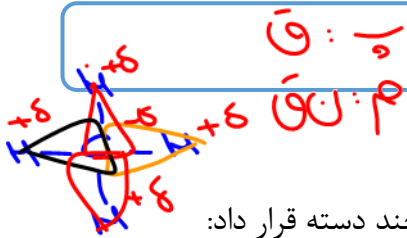


پیوند کووالانسی قطبی: اگر دو اتم نافلز یا شبه فلز متفاوت (ناجور هسته) باشند، تراکم و توزیع الکترون‌ها در اطراف اتم نافلزتر (الکترون‌گاتیوتر)، بیشتر بوده و بار جزئی منفی ($-\sigma$) داشته و می‌توان آن را با رنگ قرمز و سمت دیگر بار جزئی مثبت ($+\sigma$) داشته و می‌توان آن را با رنگ آبی نشان داد:

ترتیب قدرت نافلزی و الکترون‌گاتیوی:



مولکول ناقطبی و قطبی

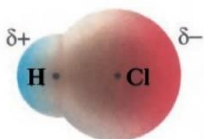
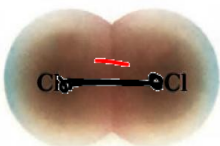


- چنان چه مولکول متقارن بود، ناقطبی وگرنه مولکول قطبی است.
- برای سادگی تشخیص مولکول قطبی و ناقطبی می توان مولکول ها را چند دسته قرار داد:

دسته ۱: مولکول دو اتمی (فاقد اتم مرکزی)

قطبیت مولکول همانند قطبیت پیوند است؛ به عبارتی:

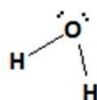
دو اتم یکسان (اتم ها جور هسته) ← پیوند ناقطبی ← مولکول ناقطبی:



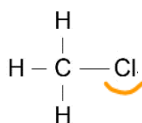
دو اتم متفاوت (اتم ها ناجور هسته) ← پیوند قطبی ← مولکول قطبی:

دسته ۲: مولکول چند اتمی (دارای یک اتم مرکزی)

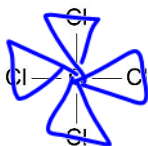
در صورتی که دو شرط زیر وجود داشته باشد، مولکول قطبی است:



۱- اتم مرکزی دارای جفت الکترون ناپیوندی باشد.



۲- به اتم مرکزی اتم های متفاوت متصل باشد.

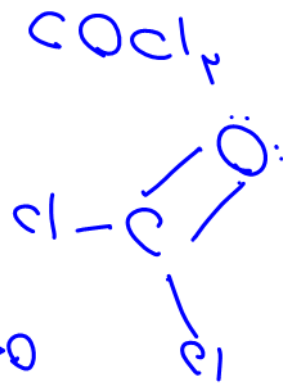
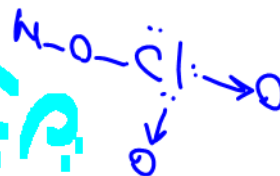
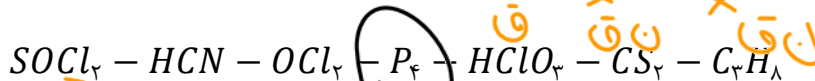


چنان چه هیچ کدام از دو شرط فوق موجود نباشد، مولکول ناقطبی است:

دسته ۳: مولکول چند اتمی (دارای بیش از یک اتم مرکزی)

در این مولکول ها اگر اتصال اتم ها یکسان باشد (مانند هیدروکربن ها): مولکول ناقطبی است. $H-C \equiv C-H$

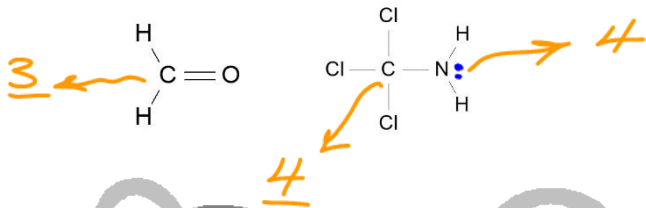
مثال: چه تعداد از اجسام زیر دارای مولکول قطبی و چه تعداد مولکول ناقطبی دارند:



قلمرو الکترونی: فضایی بادکنک مانند اطراف اتم مرکزی که در آن الکترون‌های ناپیوندی و



پیوندی حرکت می‌کنند:



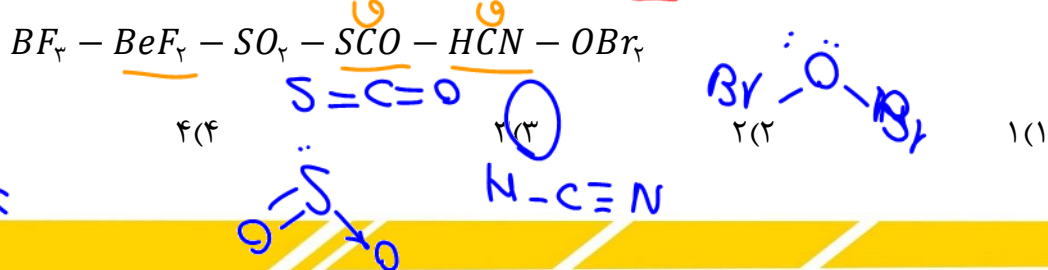
جفت الکترون ناپیوندی: ۱ قلمرو

پیوند یگانه، پیوند دوگانه، پیوند سه‌گانه: هر کدام ۱ قلمرو

شکل فضایی و زاویه پیوندی مولکول‌ها و بنیان‌ها

مدل فضا پر کن	مثال	زاویه پیوندی	شکل مولکول	جفت e ناپیوندی	تعداد قلمرو
	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	180°	خطی	۰	۲
	SO_3	120°	مثلث مسطح	۰	۳
	SO_2	$\approx 120^\circ$	خمیده ✓	۱	۳
	CCl_4	109°	چهار وجهی منتظم	۰	۴
	NH_3	$\approx 109^\circ$	هرمی	۱	۴
	H_2O	$\approx 109^\circ$	خمیده ✓	۲	۴

تست ۱: در چه تعداد از مولکول‌های زیر همه اتم‌ها در یک راستا قرار دارند؟ (خطی)

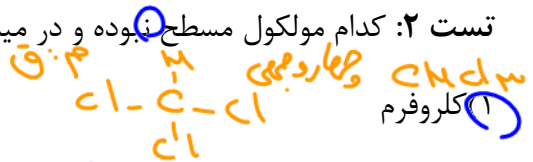


تست ۲: کدام مولکول مسطح بوده و در میدان الکتریکی جهت گیری می کند؟

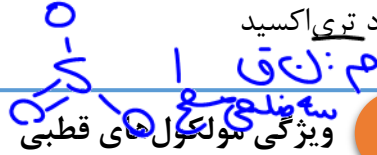
خفگی
۴: ۴

$s = C = S$

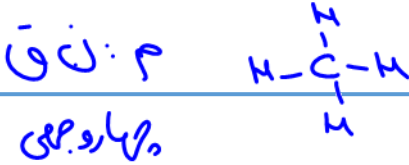
(۲) کربن دی سولفید



(۳) گوگرد تری اکسید



(۴) متان



۴- در میدان الکتریکی جهت گیری می کنند.

۱- در مولکول ها (حلال های) قطبی حل می شوند.

۵- گشتاور دو قطبی آن ها بزرگتر از صفر است. (۱۸)

۲- فاقد تقارن الکتریکی هستند.

۶- به سمت جسمی که بار القایی مثبت یا منفی دارد جذب می شود.

۳- نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی نامتقارن دارند.

نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی

ابزاری مناسب برای بررسی تراکم ابر الکترونی و بار الکتریکی یعنی توزیع الکترون ها روی اتم های سازنده یک گونه شیمیایی است. این نقشه به شیمی دان ها کمک می کند تا واکنش پذیری، قدرت اسیدی و بازی و... را برای گونه های شیمیایی پیش بینی و مقایسه کنند.

جایی که تراکم ابر الکترونی بیشتر است: رنگ قرمز یا دلتا منفی ($-\delta$)

جایی که تراکم ابر الکترونی کمتر است: رنگ آبی یا دلتا مثبت ($+\delta$)

مثبت

بررسی نقشه ی پتانسیل الکتروستاتیک مولکول های ۲ اتمی

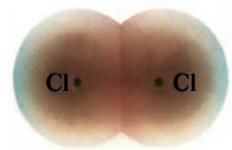
(ب) احتمال حضور جفت الکترون پیوندی در فضای بین دو هسته بیشتر است، گویی بیشتر وقت خود را آنجا می گذرانند، از این رو احتمال حضور آنها روی هسته ها، یکسان و متقارن است.

(آ) احتمال حضور جفت الکترون پیوندی پیرامون هسته اتم کلر بیشتر بوده زیرا خاصیت نافلزی آن بیشتر است، از این رو احتمال حضور الکترون های پیوندی روی هسته ها، یکسان و متقارن نیست.

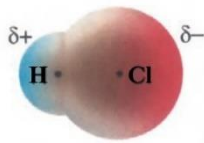
شکل ۶- نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی برای نمایش احتمال حضور الکترون ها در مولکول های دو اتمی (آ) ناجور هسته (ب) جور هسته. رنگ سرخ تراکم بیشتر و رنگ آبی تراکم کمتر بار الکتریکی را نشان می دهد.

با توجه به اینکه ساده ترین مولکول ها دو اتمی هستند دو حالت متصور است:

مولکول های دو اتمی جور هسته: در میدان الکتریکی جهت گیری نمی کنند، زیرا گشتاور دو قطبی آنها صفر بوده و مولکورهایی نا قطبی هستند (مانند Cl_2)



به عبارتی در نقشه پتانسیل الکتروستاتیک آنها توزیع یکنواخت و متقارن الکترون ها، نشانه ناقطبی بودن آنها است.



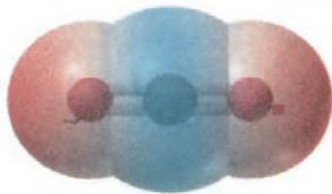
مولکول های دو اتمی ناجور هسته: در میدان الکتریکی جهت گیری می کنند، زیرا گشتاور دو قطبی آنها بزرگتر از صفر بوده و مولکول هایی قطبی هستند (مانند HCl)

به عبارتی در نقشه پتانسیل الکتروستاتیک آنها توزیع الکترون ها یکنواخت نبوده و تراکم ابر الکترونی روی اتم های سازنده آنها یکسان نیست و اتمی که تراکم ابر الکترونی روی آن بیشتر است باز جزئی منفی و با رنگ قرمز نمایش داده می شود و اتم دیگر بار جزئی مثبت داشته و با رنگ آبی نمایش داده می شود.

بررسی نقشه ی پتانسیل الکتروستاتیک مولکول های دارای اتم مرکزی



مثال ۱: بررسی نقشه پتانسیل الکتروستاتیک مولکول کربن دی اکسید:



در این مولکول خطی تراکم ابر الکترونی بر روی اتم های اکسیژن بیشتر از کربن است. از این رو به اکسیژن ها بار جزئی منفی و رنگ قرمز و به اتم کربن بار جزئی مثبت و با رنگ آبی نمایش می دهیم. هر چند هر دو پیوند قطبی می باشند، اما به دلیل توزیع متقارن بار الکتریکی

پیرامون اتم مرکزی، این مولکول متقارن بوده و در میدان الکتریکی جهت گیری نکرده و گشتاور دو قطبی آن صفر است.

مثال ۲: بررسی نقشه پتانسی الکتروستاتیک مولکول آب:



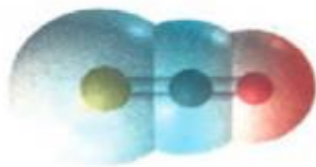
در این مولکول نیز تراکم ابر الکترونی روی اکسیژن بیشتر از اتم های هیدروژن می باشد (به ترتیب رنگ قرمز و آبی) و هر دو پیوند قطبی می باشند. اما این مولکول برخلاف CO2 در میزان الکتریکی جهت گیری می کند و گشتاور دو قطبی بزرگتر از صفر دارد و مولکولی قطبی است. زیرا مولکولی خمیده بوده و توزیع بار الکتریکی پیرامون اتم مرکزی متقارن و یکنواخت نیست.

نکته: یکی از عواملی که می تواند تقارن و توزیع یکنواخت بارهای الکتریکی را در مولکول های چند اتمی به هم بزند، وجود جفت الکترون های ناپیوندی روی اتم مرکزی است.

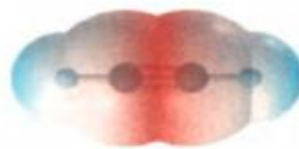
خود را بیازمایید

۱- شکل زیر نقشه پتانسیل مولکول های کربونیل سولفید (SCO) و اتین (C₂H₂) را نشان

می دهد. با توجه به آنها گشتاور دو قطبی کدام مولکول برابر یا صفر است؟ چرا؟



کربونیل سولفید

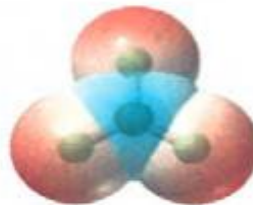


اتین

۲- با توجه به نقشه پتانسیل مولکول های آمونیاک و گوگرد تری اکسید به پرسش ها پاسخ دهید.



آمونیاک



گوگرد تری اکسید

آ) با بیان دلیل، هر یک از اتم ها را در نقشه های بالا با (δ+) و (δ-) نشان دار کنید.

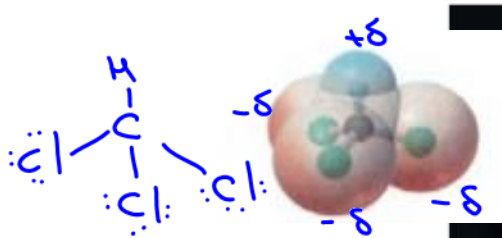
ب) کدام مولکول قطبی و کدام ناقطبی است؟ چرا؟

۳- با توجه به شکل های زیر با دلیل پیش بینی کنید کدام مایع، کلروفرم (CHCl₃) و کدام یک

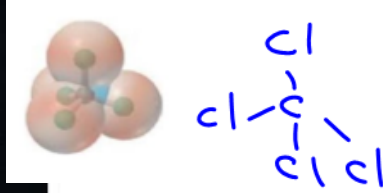
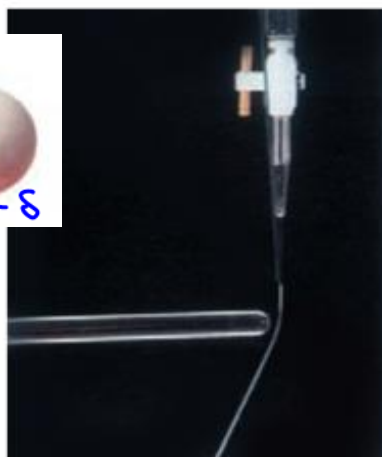
(تابع)

کربن تتراکلرید (CCl₄) است؟

(تابع)



قطبی
م



م
م

تست ۱: (ریاضی تیر ۱۴۰۳)



با توجه به مدل فضا پرکن مولکول‌های «آ» و «ب»، کدام موارد زیر درست است؟
الف: علامت بار جزئی اتم مرکزی در مولکول‌های «آ» و «ب» می‌تواند مشابه باشد.

ب: مولکول «آ»، را می‌توان به هریک از گونه‌های H_2O ، H_2S و Li_2O نسبت داد.

پ: اگر مولکول «ب»، CO_2 باشد و یکی از اتم‌های اکسیژن آن با گوگرد جایگزین شود، بار جزئی اتم مرکزی، تغییر می‌کند.

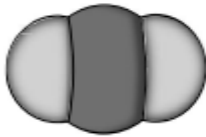
ت: اگر مولکول «آ»، SO_2 باشد و به ساختار آن، یک اتم اکسیژن اضافه شود، گشتاور دو قطبی مولکول، برابر صفر می‌شود.

(۱) «ب» و «ت»

(۲) «ب» و «پ»

(۳) «الف» و «ت»

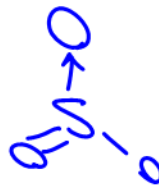
(۴) «الف» و «ب»



«ب»



«آ»



تست ۲: (تجربی تیر ۱۴۰۳)

کدام مورد، عبارت زیر را از نظر علمی، به درستی کامل می‌کند؟

«مولکول ، مولکول گوگرد تری‌اکسید»

(۱) آمونیاک - برخلاف - دارای اتم مرکزی با بار جزئی منفی است

(۲) اکسیژن دی‌فلوئورید - برخلاف - هشت جفت الکترون ناپیوندی دارد

(۳) نیتروژن تری‌فلوئورید - همانند - سه جفت الکترون پیوندی دارد

(۴) هیدروژن سولفید - همانند - دارای اتم مرکزی با بار جزئی منفی است

تست ۳: چند مورد از مطالب زیر در مورد مولکول SiF_4 درست است؟

• نسبت جفت الکترون ناپیوندی به پیوندی در آن ۳ می‌باشد.

• پیوندهای آن همانند مولکول قطبی هستند.

• در نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی آن اطراف مولکول به طور یکنواخت قرمز رنگ می‌باشد.

• گشتاور دو قطبی آن حدود صفر بوده و در میدان الکتریکی جهت‌گیری می‌کند.

• شکل آن مشابه مولکول‌های NF_3 و BF_3 می‌باشد.

۴(۴)

۳(۳)

۲(۲)

۱(۱)

نیروهای بین مولکولی

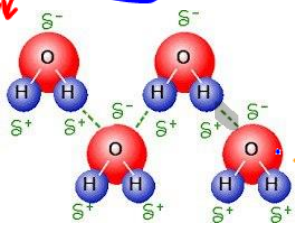
$$F = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$$

نیروهای بین مولکولی



(۱) پیوند هیدروژنی: اگر هر دو مولکول هیدروژن متصل به FON دارا باشند،

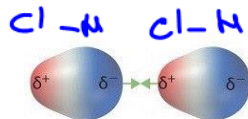
بین دو مولکول پیوند هیدروژنی ایجاد می شود.



(۲) نیروی واندروالسی:

چنان چه یک یا هر دو مولکول شرط پیوند هیدروژنی را نداشته باشند، نیروی بین آنها را واندروالسی گویند

که خود به سه دسته تقسیم می شود:



(الف) نیروی دو قطبی - دو قطبی: بین دو مولکول قطبی

(ب) نیروی دو قطبی - دو قطبی القایی: بین مولکول قطبی و ناقطبی

(پ) نیروی دو قطبی القایی - دو قطبی القایی: بین دو مولکول ناقطبی

نکته ۱: هر چه جرم و حجم مولکولها بیشتر باشد، نیروی واندروالسی بین مولکولها قوی تر می شود.

نکته ۲: به طور کلی پیوند هیدروژنی قوی تر از نیروی واندروالسی است.

نکته ۳: نیروهای بین مولکولی بسیار ضعیف هستند. از نظر قدرت و استحکام:



واندروالسی > هیدروژنی

تست: در کدام گزینه امکان ایجاد پیوند هیدروژنی وجود ندارد؟

(۱) بین مولکولهای CH_3OH

(۲) بین مولکولهای اتانویک اسید



(۳) بین مولکولهای آب و CH_2O

(۴) بین مولکولهای آب و آمونیاک

انحلال مواد مولکولی در آب

مولکولهای ناقطبی در آب انحلال ناپذیرند (CO_2 و Cl_2 و ...) مولکولهای قطبی در آب حل می شوند و اکثرا به حالت مولکولی حل شده و محلول آنها غیر الکترولیت است. (حل شدن مولکولی مانند: شکر، اتانول و...)

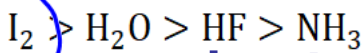
اما اسیدهای قوی در آب کاملا یونیده شده و محلول الکترولیت قوی ایجاد می کنند. (HCl و ...) و اسیدهای ضعیف در آب مولکولی - یونی حل شده و محلول آنها الکترولیت ضعیف خواهد بود. (HF و ...)

پایه

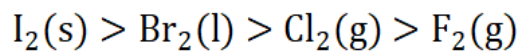
نقطه ذوب و جوش جامدات مولکولی

برای ذوب کردن و یا به جوش آوردن ترکیبات مولکولی، کفایت نیروهای بین مولکولی سست یا شکسته شوند (نه پیوندهای محکم کووالانسی) و به دلیل ضعیف بودن این نیروها، دمای ذوب و جوش ترکیبات مولکولی بسیار پایین و کمتر از سه دسته جامد دیگر می باشد (در دمای معمولی جامد یا مایع یا گازند).

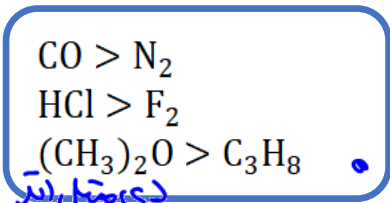
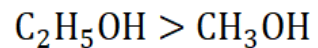
اولویت (۱) پیوند هیدروژنی: معمولاً مولکولی که امکان تشکیل پیوند هیدروژنی داشته باشد، نیروی بین مولکولی قوی-تر و در نتیجه دمای جوش بالاتر دارد.
مقایسه دمای جوش:



اولویت (۲) اگر دو مولکول مورد بررسی، هر دو هیدروژنی داشتند یا هر دو نداشتند، هر مولکولی که جرم و حجم بیشتر داشته باشد، نیروی بین مولکولی و دمای جوش بالاتری دارد.
مثال ۱: مولکول های گروه ۱۷:



مثال ۲: دو الکل اتانول و متانول:



اولویت (۳) در صورتی که دو مولکول جرم و حجم تقریباً برابر داشته باشند، نیروی بین مولکولی و دمای جوش مولکول قطبی بیشتر از مولکول ناقطبی خواهد بود.

نکته: I_2 به دلیل داشتن جرم و حجم زیاد، دمای ذوب و جوش بالاتری از موادی مانند H_2O دارد.

تست: چه تعداد از مطالب زیر درست است؟

- از نظر دمای ذوب: $C_2H_5OH > CH_3OH$ ✓
- از نظر دمای جوش: $CO_2 > N_2 > CO$ ✗
- از نظر قدرت نیروهای بین مولکولی: $I_2 > HF$ ✓
- نیروی بین مولکول های SO_2 و CO_2 از نوع دوقطبی القائی - دوقطبی القائی است. ✗
- هر جسمی که در دمای معمولی مایع یا گاز است، حتما ماده مولکولی است. ✗ (جواب)

۴(۴)

۳(۳)

۲(۲)

۱(۱)

نامگذاری جامدات مولکولی

به دلیل تنوع بسیار زیاد ترکیبات مولکولی، هر دسته نامگذاری خاص خود را دارد. مانند ترکیبات آلی (آلکان، آلکن، الکل و ...) و یا اسیدها (H_2SO_4 , HBr و ...)

برای نامگذاری مواد مولکولی دوتایی معمولی، ابتدا تعداد و نام عنصر سمت چپ و سپس تعداد و نام عنصر سمت راست را با پسوند «ید» می‌آوریم:

دی نیتروژن پنتا اکسید: N_2O_5

کربن تترا برمید: CBr_4

نکته: اصطلاحاتی مانند مولکول، فرمول مولکولی، نیروهای بین مولکولی صرفاً در مورد مواد مولکولی بیان می‌شود و در سه دسته جامد دیگر به دلیل نداشتن مولکول، قطعاً این واژه‌ها بی‌معنی است.

خود را بیازمایید

۱- با خط زدن واژه نادرست در هر مورد، عبارت زیر را کامل کنید.

در ساختار یک جامد کوالانسی، میان مولکولی همه اتم‌ها پیوندهای اشتراکی وجود دارد به همین دلیل چنین موادی نقطه ذوب بالایی دارند و دیرگداز هستند.

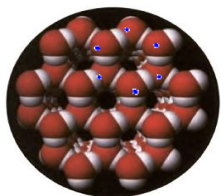
۲- واژه‌های شیمیایی رایج مانند ماده مولکولی، فرمول مولکولی و نیروهای بین مولکولی

را برای توصیف کدام مواد زیر می‌توان به کار برد؟ چرا؟

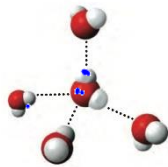
$C_6H_{14}(l)$, $SiO_2(s)$, $NaCl(s)$, $HF(g)$, $C(s)$ (گرافیت), $Cl_2(g)$

سال ۱۲

یخ (H_2O جامد):



• دانه برف یک سازه یخی طبیعی است که مبنای تشکیل آن حلقه‌های شش گوشه است.



۱- مشهورترین جامد مولکولی که در حالت جامد همانند جامدات کوالانسی شفاف، زیبا و سخت است.

۲- هر مولکول چهار پیوند هیدروژنی با چهار مولکول اطراف ایجاد می‌کند.

۳- هر اکسیژن با دو اتم هیدروژن (درون مولکول) پیوند اشتراکی با دو اتم هیدروژن

از دو مولکول مجاور، پیوند هیدروژنی ایجاد می‌کند.

۴- هر اتم هیدروژن با یک پیوند کوالانسی به اکسیژن مولکول خود

متصل شده و یک پیوند هیدروژنی با اکسیژن مولکول مجاور برقرار می‌کند.

۵- مولکول‌های آب در یخ و برف، حلقه‌های شش ضلعی ایجاد کرده و

شبکه‌ای همانند کندوی عسل را به وجود می‌آورند که در سه بُعد به طور منظم گسترش می‌یابد.

تست ۱: در کدام گزینه هیچ کدام از مولکولها در میدان مغناطیسی جهت گیری نمی کند؟

$CHCl_3, N_2, N_2O$ (۱)
 CCl_4, P_4, O_3 (۲)
 SO_2, CO, SCO (۳)
 Br_2, SO_3, C_2H_2 (۴)

$H-C \equiv C-H$
 $N \equiv N$
 $C=O$
 $S=C=O$

$H-O-H$
 $H-C \equiv C-H$
 $N \equiv N$
 $C=O$
 $S=C=O$

تست ۲: در کدام گزینه همه گونهها دارای پیوند کووالانسی هستند؟

CO_2, SiO_2, Al_2O_3 (۱)
 Fe, Si, SiC (۲)
 $NaOH, C_3H_8$ (۳) الماس
 $FeBr_3, NF_3$ (۴) گرافیت

$[O-M]^-$
 Na^+
 OH^-

- تست ۳: چه تعداد از مطالب زیر در مورد مواد مولکولی صادق است؟
- واحد سازنده آنها مولکول بوده که توسط پیوند کووالانسی به یکدیگر متصل می شوند. X
 - هر جسمی در دمای معمولی گاز یا مایع است، حتما جامد مولکولی است. X (مغز حیوان)
 - تنوع این مواد از سه دسته دیگر بیشتر بوده و اغلب ترکیبات آلی نیز مولکولی هستند
 - دمای ذوب و جوش آنها رابطه مستقیم با آنتالپی پیوند کووالانسی دارد. X
 - همه اتمها در آنها به آرایش الکترونی گاز نجیب رسیده اند. X

تست ۴: اگر فرمول فلئوئورید دو عنصر X و Y به شکل XF_3 و YF_4 باشد و مجموع الکترونهای ناپیوندی این دو مولکول به ترتیب ۲۰ و ۲۴ باشد، چه تعداد از عبارتهای زیر نادرست است؟

$F-X-F$
 $F-Y-F$

- هر دو مولکول ناقطبی بوده و نیروی بین مولکولی آنها از نوع واندروالسی است. X
- اتم Y با اکسیژن جامد مولکولی ایجاد کرده که همه اتمها در مولکول حاصله اکت هستند. X
- گشتاور دو قطبی XF_3 بزرگتر از صفر بوده و در آب محلول است. ✓
- در نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی هر دو مولکول، اتم مرکزی رنگ آبی دارد. ✓
- در هر دو مولکول پیوندها و مولکولها نامتقارن هستند. X

CO_2
 SiO_2
 GeO_2

- تست ۵: کدام گزینه درست است؟
- (۱) در ساختار یخ همانند گرافیت یک آرایش منظم و سه بعدی با تشکیل حلقههای شش گوشه وجود دارد. X
- سه بعدی
 دو بعدی

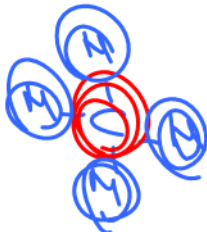
Dr. Hassan Poloui

۲) در جامدات مولکولی همانند جامدات کووالانسی، هر چه طول پیوند کووالانسی کمتر باشد، دمای ذوب و جوش بالاتر می‌رود. \times

۳) ترتیب دمای ذوب: $SiO_2 > I_2 > H_2O > SO_2$



۴) شکل و نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی مولکول‌های CH_4 و CCl_4 مشابه یکدیگر است.



تست ۶: (تجربی اردیبهشت ۱۴۰۳)

۲

کدام مورد دربارهٔ سیلیس و یخ درست است؟

هر دو سه‌بعدی

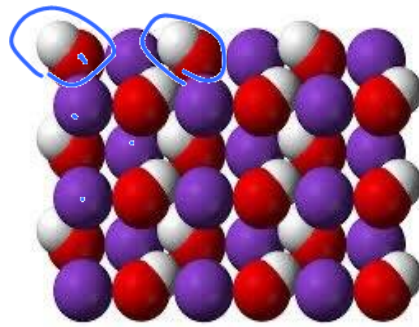
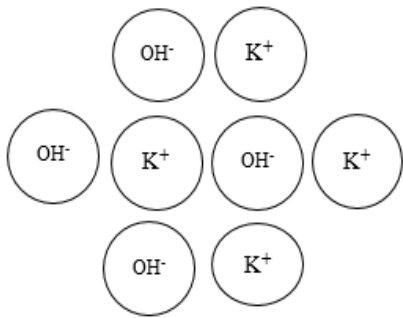
۱) ساختار سیلیس، سه‌بعدی و ساختار یخ، دو‌بعدی است.

۲) در سیلیس هر اتم سیلیسیم، با دو اتم اکسیژن، پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهد.

۳) سیلیس خالص، کدر و یخ، شفاف است و هر دو، ساختار شش‌گوشه دارند.

۴) ساختار یخ منظم است و مولکول‌های آب، شبکه‌ای مانند کندوی زنبور عسل به وجود می‌آورند.

جامدات یونی

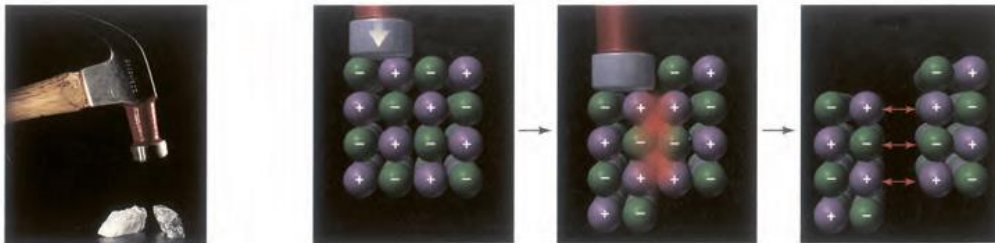


۱- شبکه بلور آن‌ها از چیدمان منظم کاتیون و آنیون تشکیل شده است.

۲- تشخیص: نافلز(ات) + فلز
 ۳- انواع جامدات یونی } باز
 اکسید فلز }
 نمک }

۴- جامدات یونی با وجودی که از کاتیون و آنیون ساخته شده‌اند، در کل خنثی هستند.

۵- ترکیبات یونی شکننده بوده و در اثر ضربه به صورت دو سطح صاف جدا می‌شوند زیرا در اثر ضربه، یون‌های موافق در کنار یکدیگر قرار گرفته و یکدیگر را دفع می‌کنند.



۶- یون NH_4^+ می‌تواند به جای فلز قرار گرفته و با آنیون‌های مختلف جامد یونی تشکیل دهد.

۷- اگر آنیون از یون چنداتمی (بنیان) ساخته شده باشد و یا کاتیون جامد یونی یون NH_4^+ باشد، ترکیب یونی علاوه بر پیوند یونی دارای پیوند اشتراکی نیز خواهد بود.



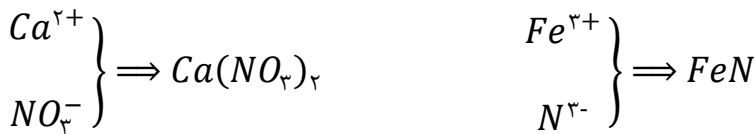
مانند: KOH ، $Fe(NO_3)_2$ ، NH_4Cl ، NH_4ClO_3 و ...

رسانایی: ترکیبات یونی در حالت مذاب و محلول رسانایی الکتریکی دارند (الکترولیت قوی). رسانایی این مواد باعث تغییر شیمیایی در آن‌ها می‌شود (برقکافت). در صورتی که رسانایی جامدات فلزی فرآیندی فیزیکی است.

۸- یون‌های منفی تک اتمی به آرایش گاز نجیب هم‌دوره خود می‌رسند. اما یون‌های مثبت (کاتیون) ممکن است به آرایش گاز نجیب قبل از خود برسند (گروه ۱، ۲، Al^{3+} ، Sc^{3+} و ...) و یا اصلاً به آرایش گاز نجیب نرسند (اکثر یون‌های فلزات واسطه).

۹- فرمول شیمیایی ترکیبات یونی فرمول تجربی است. (ساده ترین نسبت کاتیون و آنیون ترکیب یونی)

➤ **فرمول نویسی:** کاتیون را در سمت چپ و آنیون را در سمت راست نوشته و بار هر یک را آندیس دیگری قرار داده و در صورت امکان ساده می‌نماییم:

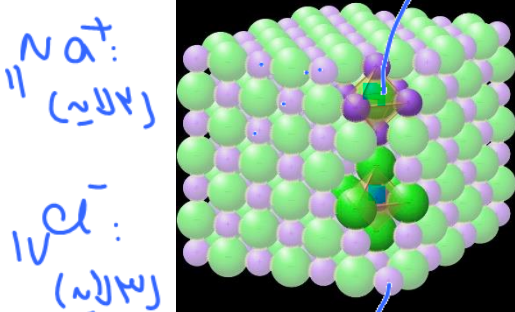


➤ **نام نویسی:** ابتدا نام کاتیون و سپس نام آنیون را می‌آوریم:

K_2S	پتاسیم سولفید	$Fe_2(SO_4)_3$	آهن III سولفات
$ZnCO_3$	روی کربنات	$NiPO_4$	نیکل III فسفات

مثال: در 0.39 گرم کلسیم فلئورید چند مول یون وجود دارد و چند مول الکترون برای تشکیل این مقدار نمک مبادله شده است؟ ($Ca = 40, F = 19 \frac{g}{mol}$)

Handwritten: $CaF_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2F^-$
 $0.39 \text{ g } CaF_2 \times \frac{1 \text{ mol}}{78 \text{ g}} = 0.005 \text{ mol}$
 $0.005 \text{ mol } CaF_2 \times 2 = 0.01 \text{ mol } e^-$



عدد کوئوردیناسیون: به شمار نزدیک‌ترین یون‌های ناهم‌نام پیرامون هر یون در شبکه بلور، عدد کوئوردیناسیون آن یون می‌گویند.

به عنوان مثال در سدیم کلرید که دارای شبکه بلوری مکعبی است، هر یون Na^+ توسط ۶ یون Cl^- احاطه شده است (عدد کوئوردیناسیون Na^+ برابر ۶ است) و هر یون Cl^- توسط ۶ یون Na^+ محاصره شده است (عدد کوئوردیناسیون Cl^- برابر ۶ است).

✓ عدد کوئوردیناسیون ترکیبات یونی می‌تواند متفاوت باشد، اما نسبت عدد کوئوردیناسیون یون‌ها در یک

جامد یونی را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\frac{\text{عدد کوئوردیناسیون آنیون}}{\text{اندریس کاتیون}} = \frac{\text{اندریس آنیون}}{\text{عدد کوئوردیناسیون کاتیون}}$$

به عنوان مثال نسبت فوق برای Al_2O_3 برابر با $\frac{2}{3}$ است.

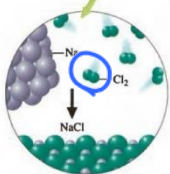
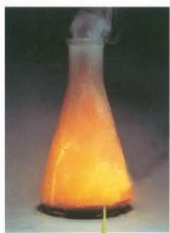
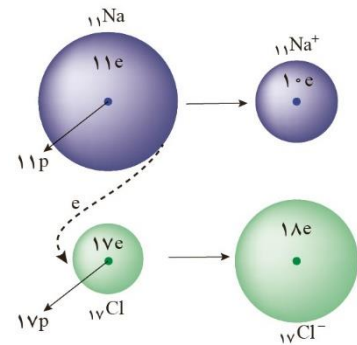
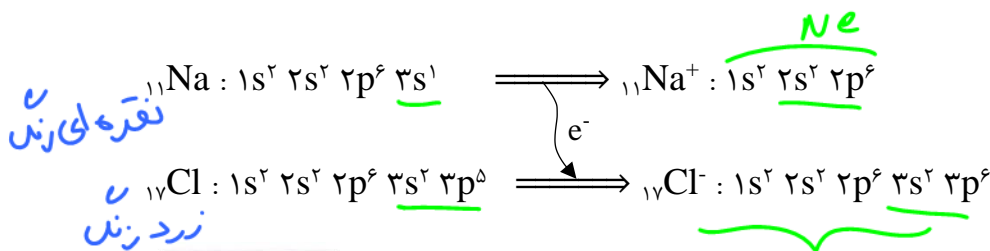
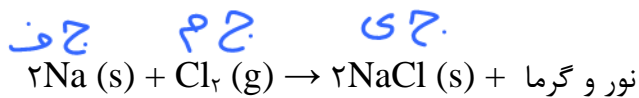
Handwritten: $Al_2O_3 \rightarrow 2Al^{3+}, 3O^{2-}$

مثال: اگر عدد کوئوردیناسیون کاتیون در کلسیم فلئورید برابر ۸ باشد، عدد کوئوردیناسیون آنیون آن چند است؟

$$\frac{F^- \text{ عدد}}{Ca^{2+} \text{ عدد}} = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{8}{F^- \text{ عدد}} = 8$$

بررسی تشکیل NaCl از Na (جامد فلزی) و Cl₂ (جامد مولکولی)

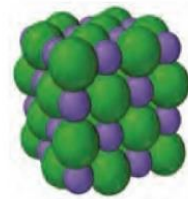
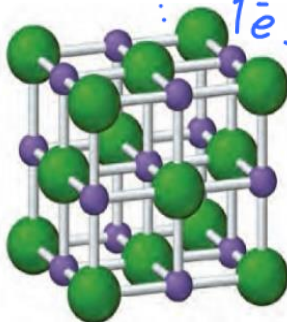
سدیم فلزی نقره‌ای رنگ بوده و همانند دیگر فلزات جاذبه هسته آن بر الکترون لایه ظرفیت (3s¹) کم می‌باشد. گاز کلر زرد رنگ بوده و دارای پیوند اشتراکی Cl - Cl می‌باشد و مانند مابقی نافلزات جاذبه هسته آن به الکترون‌های لایه ظرفیت (3s² 3p⁵) زیاد می‌باشد. در اثر مجاورت این دو با هم، ابتدا پیوند اشتراکی مولکولی کلر شکسته شده و اتم‌های کلر با یک الکترون منفرد ایجاد می‌شوند که این الکترون‌های منفرد الکترون لایه ظرفیت اتم‌های سدیم را جدا کرده و یون Na⁺ و Cl⁻ تولید می‌شود که با جاذبه یونی به یکدیگر متصل شده و جامدی سفید رنگ (نمک طعام) ایجاد می‌شود:



عوامل مؤثر در پهنای بندگی

- اولویت ۱: تعداد لایه ↑
- اولویت ۲: تعداد p ↓
- اولویت ۳: تعداد e⁻ ↑

$Na > Na^+$
 $Mg > Al$
 $O^2- > O^-$



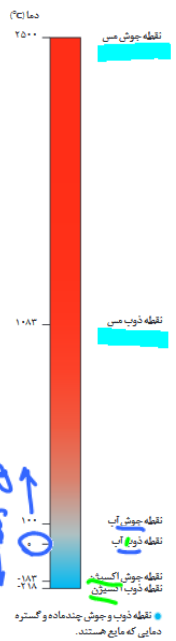
شکل ۹- آرایش یون‌ها در شبکه بلوری سدیم کلرید (آ) فضا پرکن (ب) گلوله و میله

در ترکیبات یونی نیروهای دافعه بین یون‌های هم‌نام و جاذبه بین یون‌های ناهم‌نام در تمام فاصله‌ها و جهت‌ها وجود دارد، اما نیروی جاذبه‌ی بین یون‌های ناهم‌نام **بزرگتر** از نیروهای دافعه‌ی بین یون‌های هم‌نام غلبه دارد.

مقایسه نقطه ذوب و جوش جامدات یونی، فلزی و مولکولی

۱- دمای ذوب و جوش جامدات یونی و فلزی بسیار بالاتر از جامدات مولکولی است. زیرا برای ذوب یا به جوش آوردن جامدات یونی و فلزی باید بر پیوند قوی یونی و فلزی غلبه کرد، اما در ترکیبات مولکولی کافی است نیروهای ضعیف بین مولکولی سست یا شکسته شوند.

۲- مطابق یک قاعده کلی، هر چه نیروهای جاذبه میان ذرات سازنده یک ماده خالص قوی تر باشد هم دمای ذوب و جوش جسم بالاتر می رود و هم تفاوت بین دمای ذوب و جوش آن بیشتر شده و در گستره (بازه) دمای بیشتری به حالت مایع باقی می ماند.

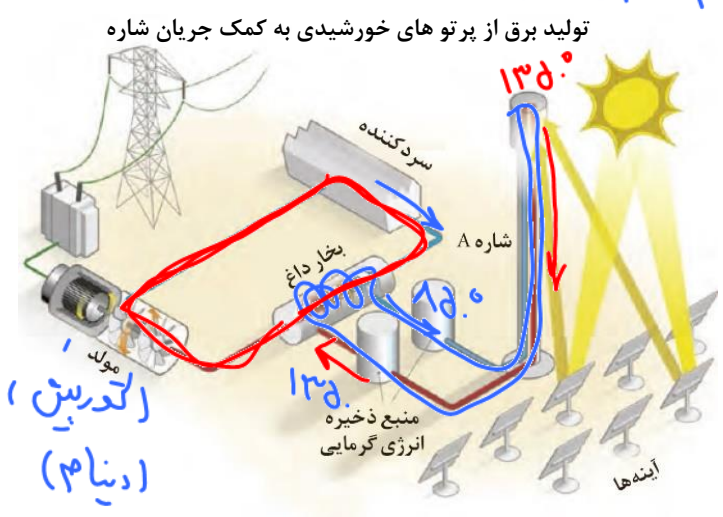


- NaCl**: بین گستره دمای ۸۰۱° سانتی گراد (نقطه ذوب) تا ۱۴۱۳° سانتی گراد (نقطه جوش) مایع است.
- Cu**: بین گستره دمای ۱۰۸۲° سانتی گراد (نقطه ذوب) تا ۲۵۰۰° سانتی گراد (نقطه جوش) مایع است.
- H₂O**: بین گستره دمای ۰° سانتی گراد (نقطه ذوب) تا ۱۰۰° سانتی گراد (نقطه جوش) مایع است.
- HF**: بین گستره دمای ۸۳°- سانتی گراد (نقطه ذوب) تا ۱۹° سانتی گراد (نقطه جوش) مایع است.
- O₂**: بین گستره دمای ۲۱۸°- سانتی گراد (نقطه ذوب) تا ۱۸۳°- سانتی گراد (نقطه جوش) مایع است.
- N₂**: بین گستره دمای ۲۱۰°- سانتی گراد (نقطه ذوب) تا ۱۹۶°- سانتی گراد (نقطه جوش) مایع است.

ماده	نقطه ذوب (°C)	نقطه جوش (°C)
N ₂	-۲۱۰	-۱۹۶
HF	-۸۳	۱۹
NaCl	۸۰۱	۱۴۱۳



هنرنمایی شاره (سیال) های مولکولی و یونی برای تولید برق ۱۳۵۰



- آینه های منعکس کننده پرتو های خورشیدی، نور را در برج گیرنده متمرکز می کنند.
- در برج گیرنده پرتوهای خورشیدی که در آن لوله های سدیم کلرید مذاب عبور می کنند (شاره یا سیال) دمای سدیم کلرید مذاب از حدود ۸۵۰°C تا حدود ۱۳۵۰°C بالا می رود.
- سدیم کلرید پراورزی در سیستمی بسته به سمت محفظه ی تولید کننده بخار آب حرکت

Dr. Hassan Palooi

می‌کند، در این محفظه لوله‌های NaCl مذاب به دور لوله‌های حاوی آب (H₂O) چرخیده و انرژی گرمایی NaCl به آب منتقل شده و باعث به جوش آمدن آب در لوله‌های سیستم بسته H₂O می‌شود.

۴- بخار آب پر انرژی به سمت توربین (مولد) جریان الکتریکی رفته و باعث تولید جریان الکتریکی در مولد شده و دمای آب کاهش یافته و مجدد به سمت محفظه‌ی اولیه حرکت می‌کند تا توسط سدیم کلرید مذاب مجدداً به دمای جوش برسد.

۵- سدیم کلریدی که دمای آن از ۱۳۵۰ °C به حدود ۸۵۰ °C رسیده است، مجدداً به برج گیرنده پرتوهای خورشیدی پمپ می‌شود تا با دریافت انرژی مجدداً به دمای بالاتر رسیده و چرخه مذکور مجدداً تکرار می‌شود.

✓ نکته: شاره‌ای که پرتوهای خورشیدی را دریافت می‌کند، می‌بایست در گستره دمای زیادی به حالت مایع باقی بماند تا بتواند انرژی گرمایی بیشتری را در خود ذخیره و منتقل کند، به همین دلیل از ترکیب یونی مانند (NaCl) استفاده می‌شود.

نست: کدام گزینه در مورد تولید برق خورشیدی به کمک شاره صحیح است؟

(۱) شاره‌ای که پرتوهای خورشیدی را دریافت می‌کند می‌بایست ترکیب یونی باشد تا در گستره دمای کمی به حالت مایع باشد.

(۲) نسبت N₂ به H₂O دمای ذوب و جوش پایین تر داشته و در گستره دمایی بیشتری مایع است.

(۳) شاره‌ای که توربین را به حرکت درمی‌آورد، بخار آب است.

(۴) دو شاره NaCl و H₂O در محفظه‌ی مورد نظر مدتی با هم مخلوط می‌شوند.

چگالی بار یون‌ها و روش‌های محاسبه آن

$$\text{چگالی بار یون} = \frac{\text{بار یون}}{\text{حجم یون}}$$

چگالی بار هر یون نشان‌دهنده مقدار بار یون در واحد حجم است (تراکم بار) که برای مقایسه میزان برهم کنش میان یون‌ها به کار می‌رود:

✓ در حد کتاب درسی و کنکور، به روش‌های زیر، چگالی **حدودی** بار یون‌ها را محاسبه می‌کنیم.

(۱) محاسبه حدودی چگالی بار یون (وقتی شعاع یون را داشته باشیم):

$$\text{چگالی بار یون} = \frac{\text{بار یون}}{\text{شعاع یون}}$$

اگر در تست مقدار دقیق شعاع د و یا چند یون را دادند می‌توان با استفاده از رابطه روبه‌رو، به طور حدودی چگالی بار آن‌ها را به دست آورده و با هم مقایسه کنیم.

مثال: اگر شعاع یون Na^+ و S^{2-} به ترتیب 10^2 و 184 پیکومتر باشد، چگالی بار آن‌ها را به دست آورید.

جواب: $\rho_{Na^+} = \frac{1}{10^2} = 9/8 \times 10^{-3}$ بار $\rho_{S^{2-}} = \frac{2}{184} = 1/0.9 \times 10^{-2}$

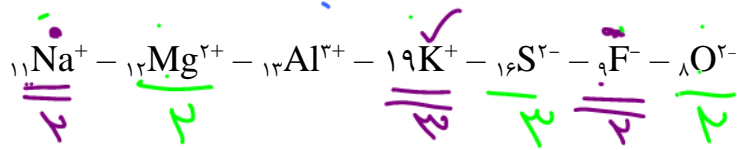
۲) محاسبه حدودی چگالی بار یون (وقتی شعاع یون را نداشته باشیم):

۱۲ سبترین بار یون هادارد.

به طور کلی اولویت ۱: هرچه قدر مطلق بار یونی بیشتر باشد، چگالی بار آن بیشتر است. اولویت ۲: اگر قدر مطلق بار دو یون یکسان بود، یونی که تعداد لایه کمتر دارد، چگالی بار بیشتر دارد. اولویت ۳: اگر تعداد لایه نیز یکسان بود، یونی که پروتون بیشتری دارد، چگالی بار بیشتر دارد.

مثال: چگالی بار یون‌های زیر را با هم مقایسه کنید:

لام یون → شعاع = ابعاد / بار



با هم بیندیشیم

۱- توضیح دهید چرا برای توصیف ترکیب‌های یونی در منابع علمی معتبر هیچ گاه واژه‌هایی مانند مولکول و فرمول مولکولی به کار نمی‌رود؟ چون سولول ندارند.

۲- جدول زیر اندازه شعاع برخی یون‌های متداول را در مقایسه با اندازه اتم سازنده آنها نشان می‌دهد. در مورد این جدول با یکدیگر گفت و گو کنید و روندهای موجود در آن را توضیح دهید.

دوره	گروه	۱۷	۱۶	۲	۱
دوم	F	۷۱.۱۳۳	O	۷۳.۱۴۰	Li
سوم	Cl	۹۹.۱۸۱	S	۱۰۲.۱۸۴	Na
				Mg	

شعاع: $A^+ > A > A^-$

لایه شعاع ← شعاع
 شعاع ← شعاع
 شعاع ← شعاع
 شعاع ← شعاع

۳- اگر هریون را کره‌ای باردار در نظر بگیرید، چگالی بار هم‌ارز با نسبت بار به حجم آن است. کمیتی که می‌تواند برای مقایسه میزان برهم‌کنش میان یون‌ها به کار رود. نسبت ساده‌تری که می‌توان به کاربرد، نسبت مقدار بار یون به شعاع آن است. با این توصیف جدول زیر را کامل کنید و به پرسش‌ها پاسخ دهید.

$\frac{\text{اجار}}{\text{شعاع}} = \text{چگالی بار}$

کاتیون	شعاع (pm)	نسبت بار به شعاع	آنیون	شعاع (pm)	نسبت بار به شعاع
Na ⁺	۱۰۲	۹/۸۰ × ۱۰ ^{-۲}	F ⁻	۱۳۳	۷/۵ × ۱۰ ^{-۳}
K ⁺	۱۳۸	۷/۲۴ × ۱۰ ^{-۲}	Cl ⁻	۱۸۱	۵/۵ × ۱۰ ^{-۳}
Mg ^{۲+}	۷۰۲	۲/۷۷ × ۱۰ ^{-۲}	O ^{۲-}	۱۴۰	۱/۴ × ۱۰ ^{-۲}
Ca ^{۲+}	۹۹	۲/۵۲ × ۱۰ ^{-۲}	S ^{۲-}	۱۸۴	۱/۰۹ × ۱۰ ^{-۲}

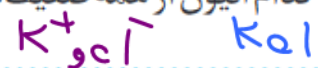
← K⁺ باریت و شعاع بیشتر
← Mg^{۲+} باریت و شعاع کمتر

ا) چگالی بار کدام کاتیون کمتر و کدام یک بیشتر است؟ چرا؟
ب) چگالی بار کدام آنیون کمتر و کدام یک بیشتر است؟ چرا؟

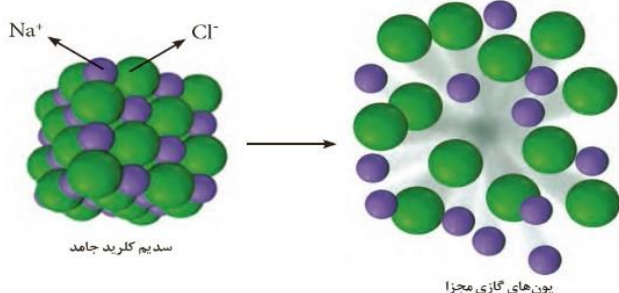
چرا؟ چون چگالی بار یون‌ها بد
Mg^{۲+} و O^{۲-}
چون چگالی بار یون‌ها بد

پ) پیش‌بینی کنید نیروی جاذبه میان کدام کاتیون با کدام آنیون از همه قوی‌تر است؟ چرا؟
ت) پیش‌بینی کنید نیروی جاذبه میان کدام کاتیون با کدام آنیون از همه ضعیف‌تر است؟ چرا؟

$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$



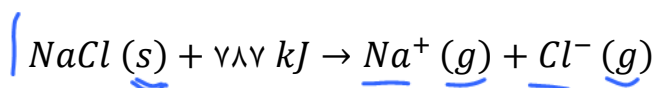
آنتالپی فروپاشی شبکه یا فروپاشی ΔH



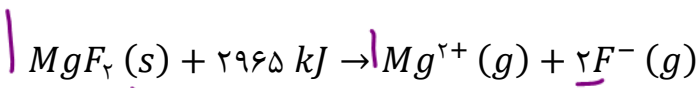
شکل ۱۰- فروپاشی شبکه یونی سدیم کلرید و تبدیل آن به یون‌های گازی مجزا

انرژی لازم در فشار ثابت برای فروپاشی ۱ مول جامد یونی و تبدیل آن به یون‌های گازی سازنده را آنتالپی فروپاشی شبکه یا آنتالپی فروپاشی گویند.

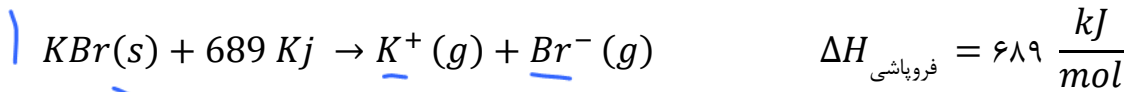
$\left(\frac{kJ}{mol}\right)$



$\Delta H_{\text{فروپاشی}} = 787 \frac{kJ}{mol}$



$\Delta H_{\text{فروپاشی}} = 2965 \frac{kJ}{mol}$



✓ نکته: هر چه چگالی بار یون بیشتر باشد، نیروی جاذبه میان یون ها قوی تر بوده، در نتیجه آنتالپی شبکه ترکیب یونی بیشتر شده و دمای ذوب و جوش آن بالاتر خواهد بود.

مقایسه آنتالپی شبکه و ذوب جامدات یونی

➤ روش ۱: مقدار شعاع یا چگالی بار یون ها را داشته باشیم:

در این صورت چگالی بار یک کاتیون و یک آنیون هر ترکیب یونی را با هم جمع کرده و هر ترکیبی که مجموع این عدد در آن بیشتر باشد، انرژی شبکه و ذوب بالاتری دارد.

مثال: اگر نسبت بار به شعاع یون های Na^+ ، Mg^{2+} ، F^- و O^{2-} به ترتیب برابر با $9/8 \times 10^{-3}$ ، 27×10^{-3} ، $7/5 \times 10^{-3}$ و 14×10^{-3} باشد، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب NaF ، Na_2O ، MgF_2 و MgO را مقایسه کنید.

جمع بار

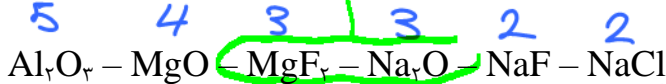
$NaF: 9,8 \times 10^{-3}$	$+ 7,5 \times 10^{-3} = 17,3 \times 10^{-3}$	①
$Na_2O: 9,8 \times 10^{-3}$	$+ 14 \times 10^{-3} = 23,8 \times 10^{-3}$	②
$MgF_2: 27 \times 10^{-3}$	$+ 7,5 \times 10^{-3} = 34,5 \times 10^{-3}$	③
$MgO: 27 \times 10^{-3}$	$+ 14 \times 10^{-3} = 41 \times 10^{-3}$	④

➤ روش ۲: مقدار شعاع یا چگالی بار یون ها را نداشته باشیم:

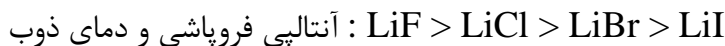
اولویت ۱: هر ترکیبی که جمع قدرمطلق بار یک کاتیون و یک آنیون بیشتری داشته باشد، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب بیشتری دارد.

اولویت ۲: چنانچه جمع قدرمطلق بار یون ها برابر بود، هر چه شعاع یون ها کوچک تر باشد (تعداد لایه کمتر)، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب بیشتری دارد.

مثال: آنتالپی فروپاشی شبکه و دمای ذوب ترکیبات یونی زیر را مقایسه کنید:



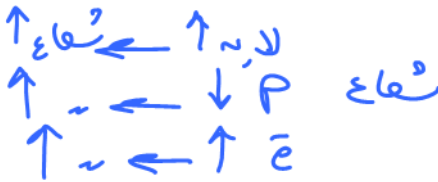
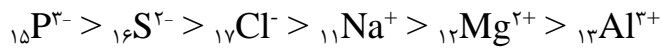
نکته ۱: در یک گروه از بالا به پایین به دلیل افزایش تعداد لایه ها، شعاع یونی هم همانند شعاع اتمی افزایش می یابد، در نتیجه آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب ترکیبات یونی حاصل از یون عناصر کاهش می یابد.



نکته ۲: هر چند در یک دوره از چپ به راست با ثابت ماندن تعداد لایه ولی افزایش تعداد پروتون، شعاع

اتمی کاهش می‌یابد، اما روند تغییر شعاع یونی در یک دوره منظم نیست.

به عنوان مثال شعاع یونی عناصر دوره سوم:



خود را بیازمایید

۱- در هر مورد با خط زدن واژه نادرست، هر یک از عبارات‌های زیر را کامل کنید:

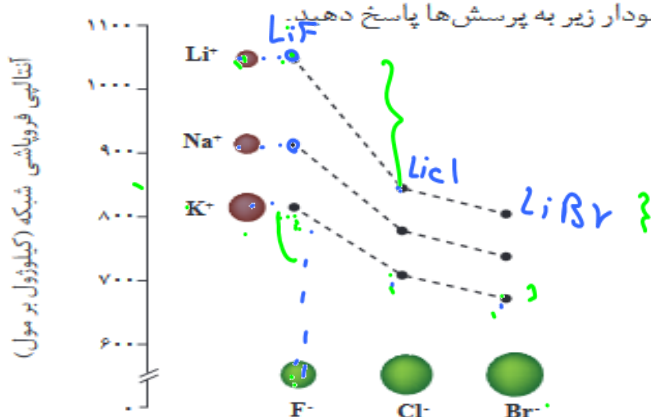
آ) آنتالپی فروپاشی، گرمای آزاد شده در فشار ثابت برای فروپاشی یک مول از شبکه یونی و تبدیل آن به اتم‌های گازی سازنده است.

ب) هر چه چگالی بار یون‌های سازنده یک جامد یونی کمتر باشد، شبکه آن آسان‌تر دشوارتر فروپاشیده می‌شود.

۲- با توجه به داده‌های متن درس پیش‌بینی کنید کدام آنتالپی فروپاشی شبکه را می‌توان

به KCl(s) نسبت داد؟ چرا؟ 717 kJmol^{-1} ، 649 یا 1037

۳- با توجه به نمودار زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.



ا) با افزایش شعاع کاتیون فلزهای قلیایی، آنتالپی فروپاشی شبکه چه تغییری می‌کند؟ توضیح دهید. **کمر چون فلز پائین با شعاع یونها رابطه عکس دارد.**
 ب) با افزایش شعاع آنیون هالید، آنتالپی فروپاشی شبکه چه تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

۴- با توجه به جدول زیر که آنتالپی فروپاشی شبکه را برای برخی ترکیب‌های یونی نشان می‌دهد، به پرسش‌ها پاسخ دهید.

آنیون \ کاتیون	F^-	O^{2-}
Na^+	۹۲۶	۲۴۸۸
Mg^{2+}	۲۹۶۵	۳۷۹۸

ا) درباره درستی جمله زیر گفت‌وگو کنید.

«آنتالپی فروپاشی شبکه هم با بار الکتریکی کاتیون و هم با بار الکتریکی آنیون، رابطه مستقیم دارد».

ب) آیا می‌توان میان آنتالپی فروپاشی شبکه و نقطه ذوب جامدهای یونی رابطه‌ای در نظر گرفت؟ توضیح دهید.



تست ۱: (تجربی تیر ۱۴۰۳)

اگر مجموع آنتالپی فروپاشی $MgO(s)$ و $KI(s)$ برابر **a**، $LiF(s)$ و $Al_2O_3(s)$ برابر **b**، $NaBr(s)$ و $AlF_3(s)$ برابر **c** برابر **c** باشد، کدام مقایسه درست است؟

- (۱) $b > a > c$ (۲) $b > c > a$ (۳) $c > b > a$ (۴) $c > a > b$

تست ۲: (ریاضی تیر ۱۴۰۳)
 $Al_2O_3 > AlF_3 > MgO > LiF > NaBr > KI$

با توجه به جدول تناوبی زیر (بخشی از جدول تناوبی عناصرها)، کدام موارد درباره ترکیب حاصل از واکنش دو عنصر داده شده (در شرایط مناسب) درست است؟

A						C	O	F
D						E	Z	J
								G
Li								Br

الف: آنتالپی فروپاشی شبکه: $D \text{ و } J < D \text{ و } G$

ب: گشتاور دو قطبی: $Z \text{ و } G > A \text{ و } J$

۳ «ب» و «پ» و «ت» و «الف» و «ا»

فرهنگی شبیه

Dr. Hassan Palooi



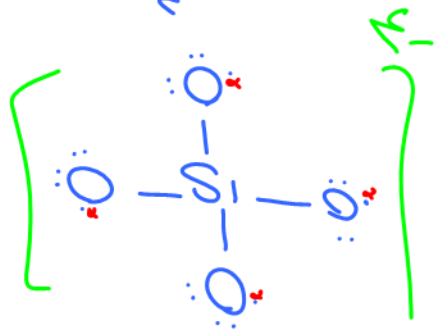
تست ۱: اگر تفاوت شما الکترون‌ها و نوترون‌ها در ${}^{A}X$ برابر ۱۲ باشد، یک واحد فرمولی از ترکیب X

با کدام آنیون زیر دارای اتم‌های بیشتری است؟
 (۱) سیلیکات $(\text{SiO}_3)_2^{4-}$
 (۲) هیدروکسید $(\text{OH})_2$
 (۳) کربنات CO_3^{2-}
 (۴) فسفات PO_4^{3-}

$n + p = 11$
 $n - e = 12 \rightarrow e = p \rightarrow n = 8 \rightarrow p = 11$

تست ۲: مقدارهای ۹۳۰، ۲۴۰۰، ۲۹۰۰ و ۳۸۰۰ (برحسب کیلوژول بر مول)، را به ترتیب از راست به چپ به انرژی فروپاشی شبکه بلور کدام جامد یونی می‌توان نسبت داد؟

- (۱) سدیم فلوئورید، منیزیم فلوئورید، سدیم اکسید، منیزیم اکسید
- (۲) منیزیم فلوئورید، سدیم فلوئورید، منیزیم اکسید، سدیم اکسید
- (۳) سدیم فلوئورید، منیزیم اکسید، سدیم اکسید، منیزیم فلوئورید
- (۴) سدیم فلوئورید، سدیم اکسید، منیزیم فلوئورید، منیزیم اکسید



تست ۳: چند مورد از مقایسه‌های زیر درست است؟

- چگالی بار: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$
- دمای ذوب: $\text{CaO} > \text{MgO} > \text{KCl} > \text{NaCl}$
- آنتالپی فروپاشی: $\text{MgO} > \text{K}_2\text{O} > \text{NaF} > \text{LiCl}$

شعاع یونی: $\text{S}^{2-} > \text{F}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

تست ۴: در کدام گزینه همه گونه‌ها در حالت مایع و محلول در آب رسانای برق هستند؟

- (۱) BeF_2 , K_2O , CuS
- (۲) Na_3N , NH_4Cl , HF
- (۳) AlF_3 , MgO , Fe

(۴) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, FeSO_4 , KBr

تست ۵: کدام عبارت نادرست است؟

- (۱) جامدهای یونی سخت هستند ولی در اثر ضربه در راستای معینی می‌شکنند.
- (۲) نسبت عدد کوئوردیناسیون کاتیون به آنیون در Na_3N برابر $\frac{1}{3}$ است.
- (۳) نیروی یونی در تمام جهات وجود دارد و قدرت آن از پیوند کووالانسی بیشتر است.
- (۴) در اثر عبور جریان برق از ترکیب‌های یونی مذاب یا محلول واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد.

تست ۶: چه تعداد از عبارات‌های زیر در جامدهای یونی صادق است؟

- در بلور آن‌ها تعداد کاتیون و آنیون برابر است.
- زیروند هر یون لزوماً بیانگر تعداد آن و بار یون دیگر است.
- بسیاری از آنها در حلال‌های قطبی مانند آب حل نمی‌شوند.
- فاقد پیوند اشتراکی هستند.
- در آن‌ها همه یون‌ها به آرایش الکترونی گاز نجیب می‌رسند.

تست ۷: کدام گزینه نادرست است؟

(۱) دمای ذوب: $MgF_2 > MgCl_2 > SO_2$ MF_2

(۲) رسانایی محلول ۱ مولار: $Ca(NO_3)_2 > CaSO_4 \approx HCl > HF$ $[H_2O] > [H_2O] > [H_2O]$

(۳) دمای ذوب: $SiC > CaO > CaF_2 > F_2$

(۴) تعداد پیوند کووالانسی در یک واحد از فرمول شیمیایی: $CH_4 > Ca(OH)_2 > CaF_2$

رسانایی: $↑$ رسانایی $↑$ (یون‌ها)

$Fe^{3+} : [Ar] 3d^5$ $FeCO_3$

Al_2F_6 MgO

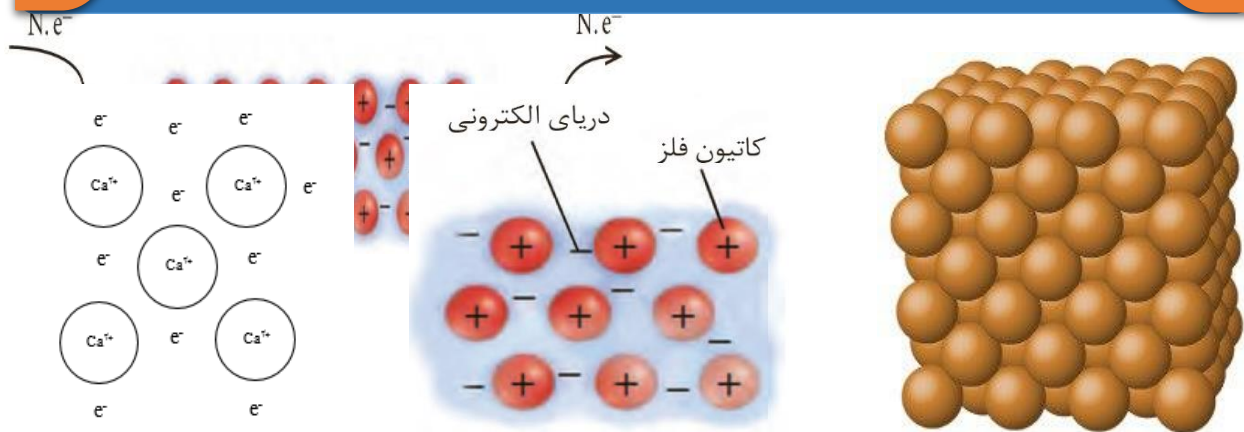
$Ca^{2+} + 2OH^-$ $Ca^{2+} + 2F^-$

تست ۸: کدام عبارت در مورد چهار دسته مواد (جامدات) نادرست است؟

- در دمای $25^\circ C$ فقط جامدات مولکولی و جیوه مایع یا گاز می‌توانند باشند.
- تنها جامدی که در حالت جامد رسانای برق می‌باشد، جامد فلزی است. (کدامینت و شبه فلزات)
- جامدات یونی در حالت مذاب و محلول و بعضی جامدات مولکولی در حالت محلول رسانای برق می‌باشند.
- واژه شبکه بلور در مورد هر چهار دسته آن‌ها تعریف می‌شود.

Dr. Hassan Plooi

جامدات فلزی



➤ شبکه بلور آن‌ها از کاتیون‌های فلزی در دریایی از الکترون‌های شناور تشکیل شده است.

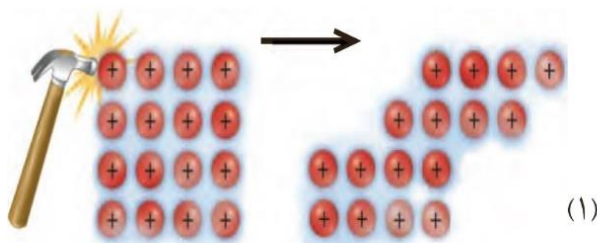
پیوند فلزی: در فلزات الکترون‌های لایه ظرفیت (الکترون‌های آزاد یا شناور) به طور آزادانه به دور همه کاتیون‌های فلزی حرکت کرده و سبب در کنار هم باقی ماندن کاتیون‌های فلزی می‌شوند. به عبارتی پیوند فلزی نیروی جاذبه‌ای است که از تاثیر متقابل بین الکترون‌های لایه ظرفیت و هسته اتم‌ها که بار مثبت دارند، به وجود می‌آید.

➤ **تشخیص:** فلز تنها و یا آلیاژ فلزات.

🔍 **نکته ۱:** بسیاری از ویژگی‌های فلزات از جمله چکش خوار بودن، رسانایی الکتریکی و گرمایی، جلائی فلزی به دلیل الکترون‌های آزاد لایه ظرفیت آن‌هاست.

نکته ۲: جامدات فلزی هم همانند سه دسته جامد دیگر در کل خنثی هستند. به عنوان مثال در بلور کلسیم به ازای هر یون Ca^{2+} دو عدد الکترون وجود دارد و در کل خنثی است.

➤ **توجیه چکش خوار بودن فلزات (شکل پذیری):** هرچند کاتیون‌ها در اثر ضربه جابه‌جا می‌شوند اما



چون الکترون‌های آزاد با سرعت زیاد در لایه-لایه کاتیون‌ها در شبکه بلور در حرکت هستند، در نتیجه مانند چسب کاتیون‌ها را در کنار هم قرار می‌دهند و مانع شکسته شدن بلور جامد فلزی می‌شوند.

➤ **توجیه رسانایی الکتریکی فلزات:** تنها

ماده‌ای که در حالت جامد رسانای برق است، جامدات فلزی و گرافیت هستند. زیرا در اثر قرار گرفتن یک فلز در بین قطب مثبت و منفی یک باتری یا مولد الکتریسیته، شمار مشخصی الکترون ($N.e^-$) از قطب

منفی وارد فلز شده و الکترون‌های آزاد فلز به همان تعداد از طرف دیگر فلز خارج شده و وارد قطب مثبت باتری یا مولد می‌شوند.

➤ **ویژگی مشترک فلزات:** جلای فلزی، رسانایی گرمایی و الکتریکی، شکل پذیری از جمله ویژگی‌های فیزیکی مشترک فلزات است.

➤ **از ویژگی‌های مشترک شیمیایی** فلزات می‌توان به تمایل به از دست دادن الکترون در واکنش‌ها و تبدیل به کاتیون (غیر از Be) اشاره کرد. در مورد عناصر واسطه نیز و تنوع اعداد اکسایش در اکثر آن‌ها و نیز رنگی بودن اغلب ترکیبات آن‌ها ذکر کرد.

📌 نکته ۱: فلزات دسته s (گروه ۱ و ۲) و نیز فلزاتی مانند Al، Sc و Zn دارای یک نوع یون و عدد اکسایش هستند.

نکته ۲: فلزات دسته d در ویژگی‌هایی مانند سختی، نقطه ذوب، تنوع اعداد اکسایش و یون پایدار با فلزات دسته sp تفاوت دارد.

- **شرط رسانایی جسم:** وجود ذره باردار (الکترون یا یون) شناور است.
- ✓ جامد مولکولی: اصولاً در هیچ حالتی رسانای الکتریکی نیستند. مگر محلول اسیدها، NH_3 و اکسید نافلزی.
 - ✓ جامد کووالانسی: گرافیت (C) و نیز حالت عنصری شبه فلزات (Ge, Si).
 - ✓ جامد یونی: در حالت مذاب (مایع) و محلول (فرآیند شیمیایی).
 - ✓ جامد فلزی: در حالت جامد و مذاب (فرایند فیزیکی).

➤ **دمای ذوب و سختی فلزات:**

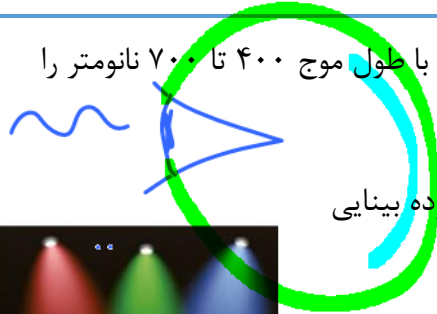
غیر از جیوه (Hg)، بقیه جامدات فلزی در دمای اتاق جامد هستند.

از نظر دمای ذوب و سختی: گروه ۱ > گروه ۲ > گروه ۱۳ > فلزات واسطه

دید رنگ‌ها

۴۱. بنفش خالص

۱- همان گونه که می‌دانیم چشم انسان فقط امواج الکترومغناطیس با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر را می‌تواند احساس کند.



۲- بنفش کوتاه‌ترین و قرمز بلندترین طول موج نور مرئی در محدوده بینایی انسان‌ها را دارند.



۳- اگر پرتو نوری همه ۷ رنگ نور مرئی را دارا باشد، آن نور به رنگ سفید احساس می‌شود.

۴- از مخلوط سه رنگ اصلی سبز، آبی و قرمز نیز نور سفید ایجاد می‌شود.

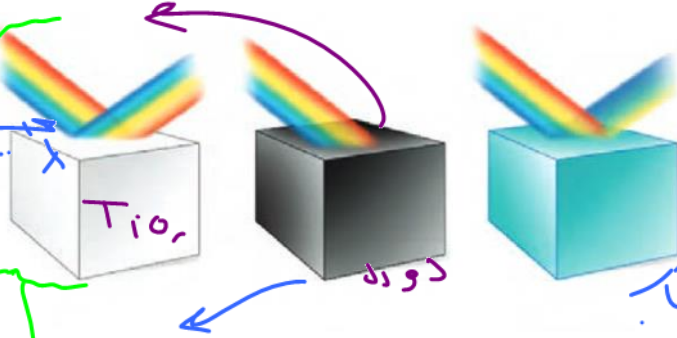
۵- اگر جسمی همه ۷ رنگ نور سفید را جذب کند (درصد جذب ۱۰۰٪ و یا درصد بازتابش ۰٪) آن جسم تیره یا سیاه دیده می‌شود. (مانند دوده)

۶- اگر جسمی همه ۷ رنگ نور سفید را بازتابش کند (درصد جذب ۰٪ و یا

درصد بازتابش ۱۰۰٪) به رنگ سفید دیده می‌شود (مانند TiO_2).

۷- آهن III اکسید (Fe_2O_3) به رنگ

قرمز دیده می‌شود. زیرا همه رنگ‌های نور سفید را غیر از قرمز را جذب می‌کند و فقط رنگ قرمز را



شکل ۱۱- تابیدن نور و دیدن مواد رنگی

رنگ دانه

بازتابش می‌کند.

سازنده اصلی یک ماده رنگی که به آن ماده رنگ می‌بخشد را رنگ دانه گویند. دوده، TiO_2 و Fe_2O_3 از جمله رنگ‌دانه‌های معدنی هستند. در گذشته انسان‌ها این مواد رنگی را از منابع طبیعی مانند گیاهان، جانوران و برخی کانی‌ها تهیه می‌کردند. اما امروزه علاوه بر رنگ‌دانه‌های طبیعی از رنگ‌دانه‌های مصنوعی نیز در صنایع نساجی، غذایی و ساختمانی استفاده می‌شود.

✓ رنگ‌هایی که برای پوشش سطح استفاده می‌شوند نوعی کلوئید هستند که علاوه بر زیبایی، مانع اکسایش یا واکنش مواد با جسم می‌شوند.

فلز وانادیم (V)

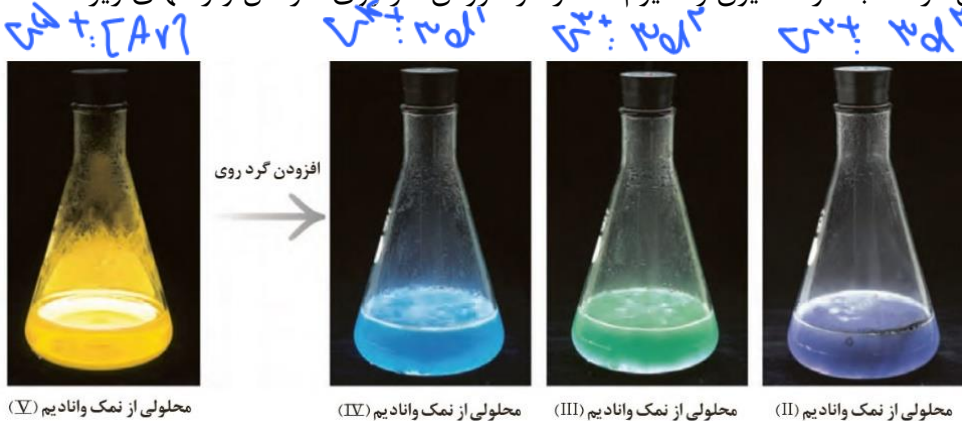
۱- سومین عنصر واسطه دوره چهارم و متعلق به گروه پنجم می باشد:



لايه ظرفيت

۲- وانادیم می تواند عدد اکسایش +۲، +۳، +۴ و +۵ داشته باشد که رنگ آن ها به ترتیب بنفش، سبز، آبی و زرد است.

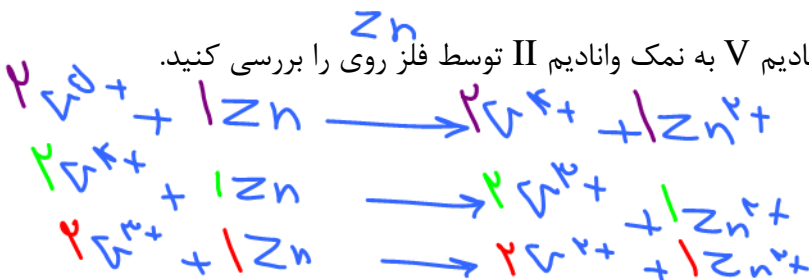
۳- چون رنگ هر یون متفاوت است، با کاهش هر یون، رنگ محلول آن تغییر می کند. به عنوان مثال با کاهش مرحله به مرحله یون وانادیوم V در اثر افزودن فلز روی، مراحل و رنگهای زیر مشاهده می شود.



بسیار

مثال: آرایش الکترونی وانادیم و یون های آن را رسم کنید.

مثال: مراحل کاهش یافتن نمک وانادیم V به نمک وانادیم II توسط فلز روی را بررسی کنید.



تست: مقدار ۱۳ گرم پودر روی با ۰/۲ مول یون V^{5+} واکنش می دهند، رنگ نهایی محلول کدام است؟

(Zn = ۶۵ gr.mol⁻¹)

زرد (۴)

آبی (۳)

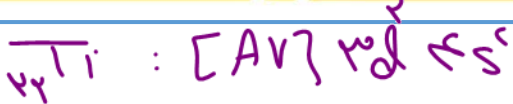
سبز (۲)



$$\frac{x_1}{1} = \frac{1/2}{2} \rightarrow x_1 = 11$$

$$Zn = 1/2 - 1 = 0,1$$

فلز تیتانیوم (Ti₂₂)



۱- تیتانیوم دومین عنصر واسطه دوره چهارم و متعلق به گروه ۴ می باشد که به دلیل نقطه ذوب بالا، چگالی پایین، مقاومت بالا در برابر خوردگی، واکنش اندک با آب دریا و مقاومت بالا در برابر سایش امروزه کاربرد زیادی در صنایع مختلف دارد. ویژگی های باور نکردنی مانند ماندگاری و استحکام مناسب باعث شده که آن را فلزی فراتر از انتظار بنامند.

۲- مقایسه تیتانیوم با فولاد:

فولاد	تیتانیوم	ماده ویژگی
۱۵۳۵	۱۶۶۷	نقطه ذوب (°C)
۷/۹۰	۴/۵۱	چگالی (g mL ⁻¹)
متوسط	ناچیز	واکنش با ذره های موجود در آب دریا
ضعیف	عالی	مقاومت در برابر خوردگی
عالی	عالی	مقاومت در برابر سایش

- ✓ مقاومت در برابر سایش: هر دو عالی
- ✓ مقاومت در برابر خوردگی: تیتانیوم عالی است ولی فولاد ضعیف

- ✓ واکنش با ذره های موجود در آب دریا: تیتانیوم ناچیز، ولی فولاد متوسط
- ✓ چگالی: تیتانیوم > فولاد
- ✓ نقطه ذوب: تیتانیوم < فولاد

۳- از تیتانیوم به دلیل کم بودن چگالی، بالا بودن نقطه ذوب و مقاومت در برابر سایش در موتور جت استفاده می شود.

۴- از تیتانیوم به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و واکنش پذیری ناچیز با ذره های آب دریا در پروانه کشتی ها استفاده می شود.

۵- از تیتانیوم به دلیل جلای زیبا و مقاومت در برابر خوردگی و چگالی به نسبت کم در بناهای زیبایی مانند موزهی کوگنهایم استفاده می شود.




۶- از تیتانیوم به دلیل مقاومت و استحکام بالا و چگالی کم در ساخت بدنه دوچرخه استفاده می شود.



(آ) سازه فلزی در ارتودنسی (ب) استنت برای رگ ها (پ) قاب عینک
 شکل ۱۲- برخی کاربردهای تیتانیوم

۷- از آلیاژ تیتانیوم و نیکل که به نام «نیتینول» یا آلیاژ هوشمند اطلاق می شود، در ساخت فرآورده های پزشکی و صنعتی مانند قاب عینک، ارتودنسی و استنت عروق استفاده می شود.

تست ۱: کدام عبارت نادرست است؟ 

- (۱) یون V^{4+} هم اکسنده و هم کاهنده است و در واکنش با فلز روی نقش اکسندگی ایفا می‌کند.
- (۲) آرایش الکترونی یون V^{3+} به $3d^2$ ختم می‌شود و سبز رنگ است.
- (۳) از آلیاژ نیکل و تیتانیوم در ساخت موزه کوگنهایم استفاده شده است.
- (۴) تیتانیوم نسبت به فولاد چگالی کمتر ولی مقاومت در برابر خوردگی و دمای ذوب بالاتر دارد.

تست ۲: چه تعداد از مطالب زیر در مورد جامدات فلزی درست است؟

- در فلزات گروه دوم تعداد الکترون‌های آزاد دو برابر فلزات گروه اول است. ✓
- همه فلزات واسطه دارای چندین عدد اکسایش و ترکیبات رنگی هستند. ✗
- از نظر واکنش‌پذیری و دمای ذوب: فلز دسته $d >$ فلز دسته $p >$ فلز دسته s ✓
- ویژگی‌هایی مانند رسانایی گرمایی و الکتریکی و شکل‌پذیری و چگالی زیاد فلزات واسطه به خاطر الکترون شناور لایه ظرفیت آن‌هاست. ✗

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

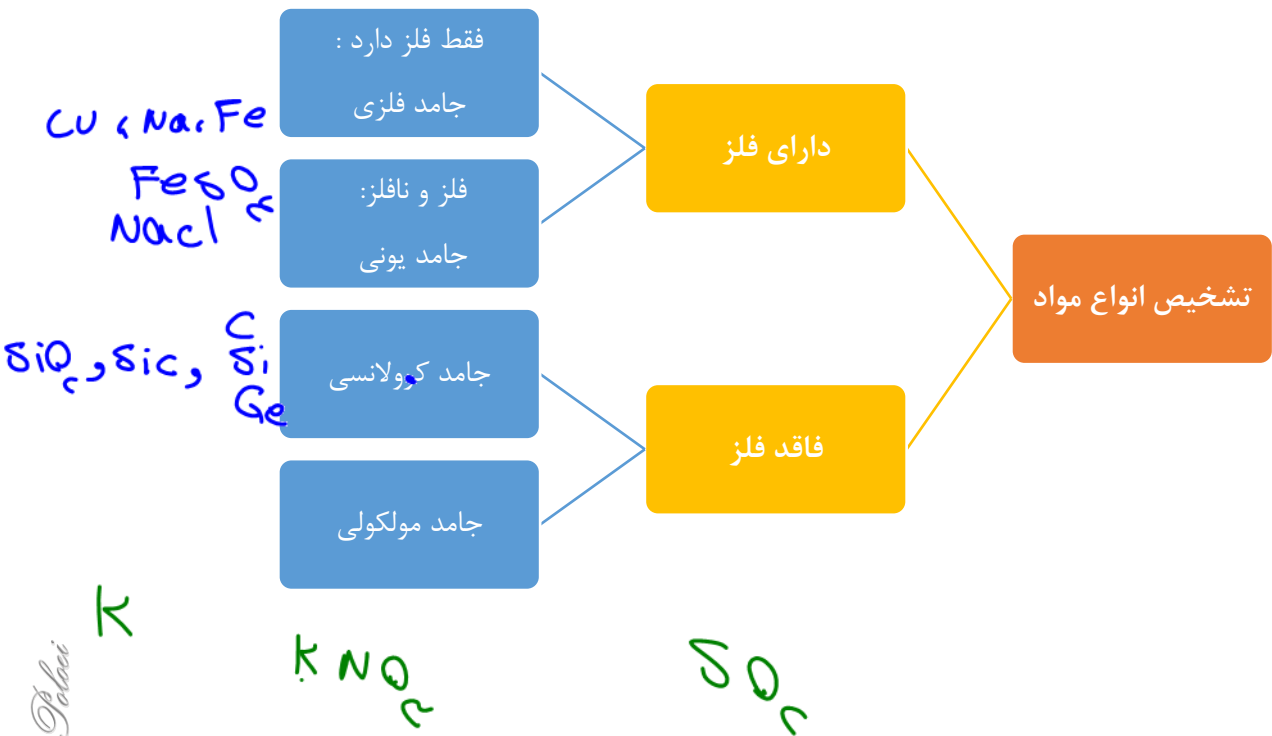
تست ۳: (ریاضی اردیبهشت ۱۴۰۳)

کدام موارد، درباره مقایسه ویژگی‌های فولاد و تیتانیوم درست است؟

- الف: نقطه ذوب: فولاد > تیتانیوم ✓
 - ب: شدت واکنش خوردگی: تیتانیوم > فولاد ✓
 - پ: مقاومت در برابر واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا: فولاد < تیتانیوم ✗
 - ت: میزان استفاده در ساخت پروانه کشتی: فولاد < تیتانیوم ✗
- (۱) «الف» و «ب» (۲) «الف» و «پ» (۳) «ب» و «ت» (۴) «پ» و «ت»

مقایسه خصوصیات چهار دسته مواد

ویژگی ماده	واحد سازنده بلور	روش تشخیص	نقطه ذوب	روش مقایسه نقطه ذوب	رسانایی الکتریکی	رسانایی گرمایی
جامد کووالانسی	اتم‌های متصل در شبکه غول-آسا	Ge, Si, C, SiO ₂ و SiC	بسیار بالا	آنتالپی پیوند (طول پیوند)	نارسانا (غیر از گرافیت و شبه فلزات)	دارند غیر از گرافیت
جامد مولکولی	مولکول	غیر از سه دسته دیگر	بسیار پایین	۱- پیوند هیدروژنی ۲- جرم و حجم	نارسانا (مگر اسید و اکسید نافلز و NH ₃ محلول)	X
جامد یونی	کاتیون و آنیون	فلز و نافلز	بالا	چگالی بار یونها	مذاب و محلول	X
جامد فلزی	کاتیون در دریای آزاد الکترون‌ها	فلز تنها یا آلیاژ آنها	فلز واسطه بالا و فلزات اصلی متوسط	فلز واسطه بیشتر از فلزات اصلی	مذاب و جامد	بالا



Dr. Hassan Talebi

تمرین های دوره ای

۱- با توجه به ۳۶ عنصر نخست جدول دوره ای عنصرها به پرسش های زیر پاسخ دهید.

(آ) عنصرهای کدام گروه ها جزو مواد مولکولی هستند؟

(ب) عنصرهای کدام گروه جزو مواد کووالانسی هستند؟

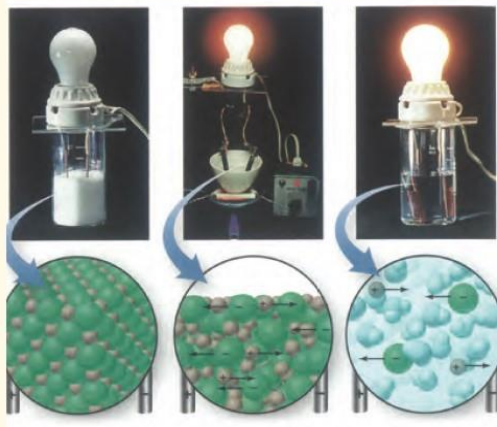
(پ) عنصرهای کدام دسته (s, p یا d) همگی فلزند؟

۲- سیلیسیم کربید (SiC) یک ساینده ارزان است که در تهیه سنباده به کار می رود.

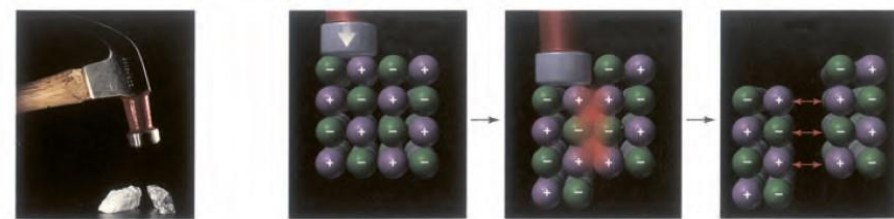
(آ) این ماده را در کدام دسته از مواد جای می دهید؟ چرا؟

(ب) سختی آن را در مقایسه با الماس و سیلیسیم پیش بینی کنید.

۳- هر یک از شکل های زیر رفتاری از مواد یونی را نشان می دهد. در هر مورد آن رفتار را با دلیل توصیف کنید.



(آ)



(ب)

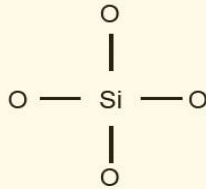
۴- برای هر یک از جمله های زیر دلیل بنویسید.

(آ) تنوع و شمار مواد مولکولی بیشتر از مواد کووالانسی است.

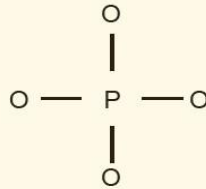
(ب) ترکیب هایی که در دما و فشار اتاق به حالت مایع هستند، جزو مواد مولکولی به شمار می روند.

(پ) ترتیب واکنش پذیری فلزهای پتاسیم، کلسیم و تیتانیوم به صورت $K > Ca > Ti$ است.

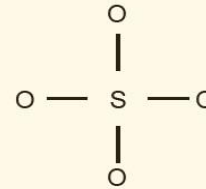
۵- سیلیسیم، فسفر و گوگرد از جمله عنصرهای اکسیژن دوست هستند به طوری که در طبیعت به شکل نمک های اکسیژن دار یافت می شوند. با توجه به ساختار لوویس آنیون های زیر به پرسش ها پاسخ دهید.



یون سیلیکات



یون فسفات

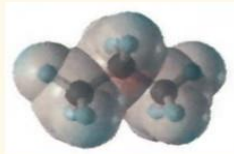


یون سولفات

آ) هریک از ساختارهای لوویس را با جفت نقطه ها کامل کرده سپس بار الکتریکی هر آنیون را مشخص کنید.

ب) فرمول شیمیایی نمک حاصل از این آنیون ها را با یون سدیم سپس یون کلسیم بنویسید.

۶- نقشه های پتانسیل الکتروستاتیکی پروپان و دی متیل اتر با جرم مولی نزدیک به هم به صورت زیر است. با توجه به آنها به پرسش ها پاسخ دهید.



پروپان

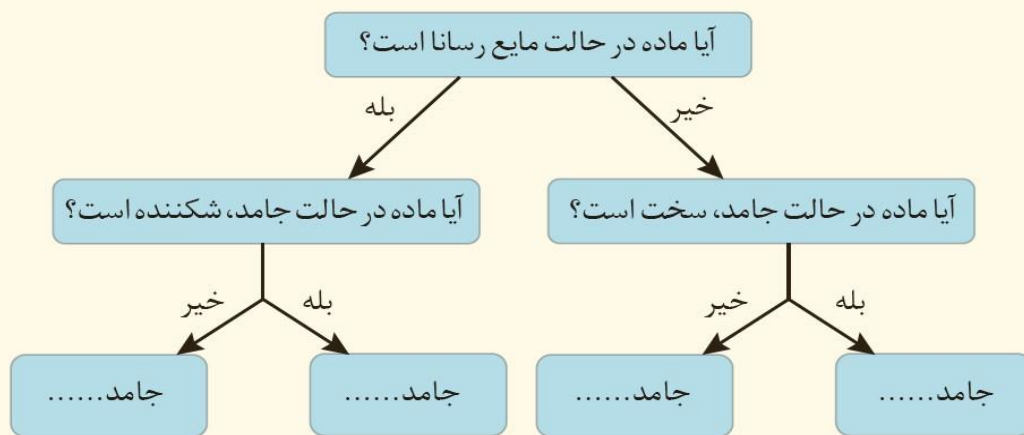


دی متیل اتر

آ) کدام یک در میدان الکتریکی جهت گیری نمی کند؟ چرا؟

ب) توضیح دهید کدام یک از این دو ماده گازی شکل، آسان تر به مایع تبدیل می شود؟

۷- گروهی از دانش آموزان همه مواد خالص را براساس رفتار آنها مطابق نمودار زیر دسته بندی کرده اند. با پر کردن جاهای خالی، نمونه ای برای هر جامد مثال بزنید.



تست جامع فصل



تست ۱: چه تعداد از مطالب زیر نادرست است؟ (با توجه به ۳۶ عنصر اول جدول تناوبی)

- عناصر گروه ۱۶ و ۱۷ ترکیب مولکولی هستند.
- عناصر گروه ۱۴ جامد کووالانسی بوده و کم و بیش رسانایی الکتریسیته و گرمایی دارند.
- همه عناصر دسته s و d جامد فلزی هستند.
- هیچ کدام از این عناصر به تنهایی نمی‌توانند جامد یونی تشکیل دهند.
- گازهای نجیب و کربن تنها نافلزات و بریلیم تنها فلزی است که توانایی تشکیل یون ندارند.

۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴)

تست ۲: کدام گزینه نادرست است؟

- (۱) از نظر تنوع مواد: مواد کووالانسی > مواد فلزی > مواد یونی > مواد مولکولی
- (۲) ترکیبات مولکولی به دلیل کم بودن جاذبه بین ذرات در دمای معمولی گاز یا مایعند.
- (۳) از نظر دمای ذوب و سختی: $\text{SiC} > \text{KF} > \text{K} > \text{H}_2\text{S}$
- (۴) مواد عنصری ممکن است هر نوع جامدی باشند غیر از جامد یونی

تست ۳: با توجه به جدول مقابل که بخشی از جدول تناوبی است، کدام گزینه نادرست است؟

گروه	۱	۲	۱۶	۱۷
دوره				
۲	A		C	
۳		B		D
۴	E		F	

- (۱) شعاع اتمی B بزرگ‌تر از D و شعاع یونی آن کوچک‌تر از D است.
- (۲) در بین عناصر F تا A بزرگ‌ترین شعاع یونی مربوط به یون پایدار عنصر F است.
- (۳) شعاع یونی عنصر B، کوچک‌تر از شعاع یونی عنصر C است.
- (۴) در یک دوره از چپ به راست شعاع یونی همانند شعاع اتمی کاهش می‌یابد.

تست ۴: با توجه به جدول تست ۳، چه تعداد از مطالب زیر نادرست است؟

- در حالت آزاد (ساده)، این شش عنصر یا جامد فلزی یا جامد مولکولی تشکیل می‌دهند.
- سه عنصر از میان این شش عنصر رسانای الکتریسیته هستند.
- از نظر دمای ذوب و سختی: $B > E > D > C$
- عناصر A، B، C و D به ترتیب ۱، ۲، ۶ و ۷ الکترون در آخرین زیرلایه دارند.
- چگالی بار یون عنصر B بیشتر از یون C می‌باشد.

۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴)

تست ۵: با توجه به جدول تست ۳، چه تعداد از مطالب زیر نادرست است؟

- (۱) ترکیب حاصل از دو عنصر B و C فرمول BC داشته و دمای ذوب کمتر از B دارد.
 - (۲) دمای ذوب FD_2 بیشتر از CD_2 بوده و هر دو ترکیب مولکولی قطبی هستند.
 - (۳) مواد A, B, E, A_2C و BF در حالت مذاب رسانای برق هستند.
 - (۴) D در حالت عنصری ترکیبی به فرمول D_2 ایجاد می کند که در میدان الکتریکی جهت گیری نمی کند.
- تست ۶: تعداد الکترون مبادله برای تشکیل $0/4$ گرم منیزیم اکسید، برابر با تعداد الکترون های پیوندی در چند مول کربونیل سولفید است؟ ($Mg = 24, O = 16 \text{ gr.mol}^{-1}$)

$$(1) \quad 2/5 \times 10^{-3} \quad (2) \quad 5 \times 10^{-3}$$

$$(3) \quad 2/5 \times 10^{-2} \quad (4) \quad 5 \times 10^{-2}$$

تست ۷: چه تعداد از مطالب زیر درست است؟

- گرافیت جامد کووالانسی سه بعدی است که از جنبه هایی شبیه جامد فلزی و مولکولی است.
- در N_2O_5, SiO_2, NH_4Cl پیوند کووالانسی وجود دارد.
- مقدار q در معادله مقابل انرژی شبکه $Al_2O_3(s)$ است: $Al_2O_3(s) + q \rightarrow 2Al(g) + \frac{3}{2}O_2(g)$.
- در نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی SO_2 و OCl_2 عنصر اکسیژن قرمز رنگ نشان داده می شود.
- از عنصر وانادیم به دلیل چگالی کمتر از فولاد و مقاومت در برابر خوردگی در پروانه کشتی ها استفاده می شود.

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)