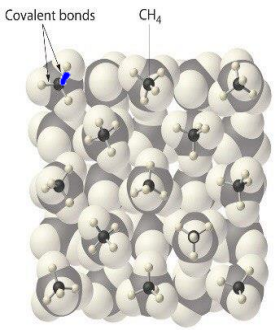
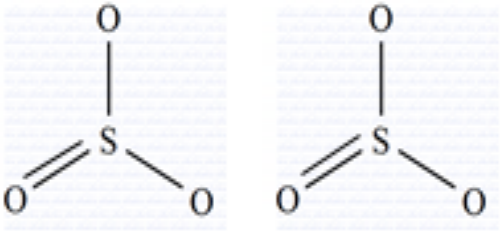
جامدات مولکولی





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

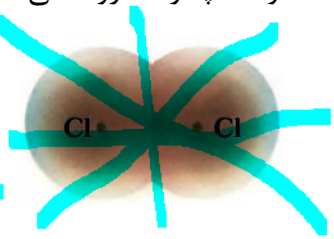
۲- **تشخیص**: جسمی که فلز و NH_4^+ نداشته باشد و جزو ۶ جامد کووالانسی نباشد،جامد مولکولی است.

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

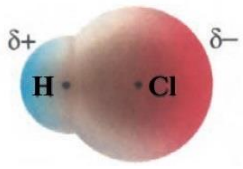
۴- اغلب ترکیبات آلی، بسیاری از مواد که در دمای معمولی جامدند و نیز هر جسمی که در دمای معمولی گاز یا مایع است (غیر از جیوه)، جامد مولکولی می‌باشند.

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 آنیون چند اتمی دارند نیز اتصال اتم‌ها در درونِ یون‌ها توسط پسوند کووالانسی است: $NH_4CL, Fe(OH)_2, NaNO_3$ و...

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 دو طرف پیوند یکسان بوده و پیوند متقارن و ناقطبی خواهد بود:



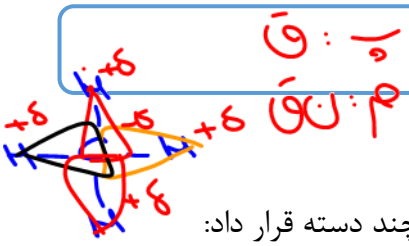
پیوند کووالانسی قطبی: اگر دو اتم نافلز یا شبه فلز متفاوت (ناجور هسته) باشند، تراکم و توزیع الکترون‌ها در اطراف اتم نافلزتر (الکترونگاتیوتر)، بیشتر بوده و بار جزئی منفی ($\sigma-$)داشته و می‌توان آن را با رنگ قرمز و سمت دیگر بار جزئی مثبت ($\sigma+$) داشته و می‌توان آن را با رنگ آبی نشان داد:

ترتیب قدرت نافلزی و الکترونگاتیوی:

F > O > N > Cl > Br > S > I > C > P > H > B > Be > فلزات

Dr. Hasan Palvei

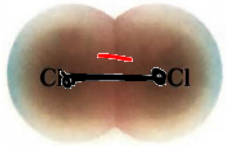
مولکول ناقطبی و قطبی



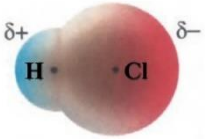
- چنان چه مولکول متقارن بود، ناقطبی وگرنه مولکول قطبی است.
- برای سادگی تشخیص مولکول قطبی و ناقطبی می‌توان مولکول‌ها را چند دسته قرار داد:

دسته۱: مولکول دو اتمی (فاقد اتم مرکزی)

قطبیت مولکول همانند قطبیت پیوند است؛ به عبارتی:



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

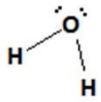


دو اتم متفاوت (اتم‌ها ناجور هسته) ← پیوند قطبی ← مولکول قطبی:

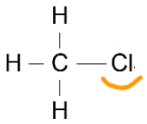
دسته۲: مولکول چند اتمی (دارای یک اتم مرکزی):

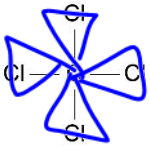
در صورتی که دو شرط زیر وجود داشته باشد، مولکول قطبی است:

۱-اتم مرکزی دارای جفت الکترون ناپیوندی باشد.



۲-به اتم مرکزی اتم‌های متفاوت متصل باشد.





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

دسته۳: مولکول چند اتمی (دارای بیش از یک اتم مرکزی):

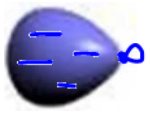
در این مولکول‌ها اگر اتصال اتم‌ها یکسان باشد (مانند هیدروکربن‌ها): مولکول ناقطبی است. $H-C\equiv C-H$

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

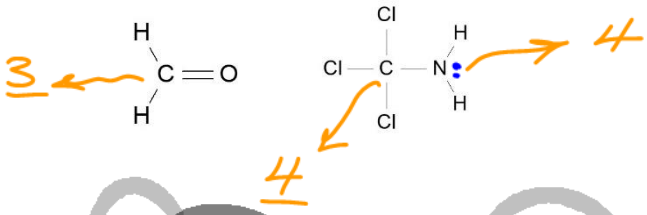
$$Br_2 - HBr - O_3 - BF_3 - SiCl_4 - SiO_2 - KCl$$

$$SOCl_2 - HCN - OCl_2 - P_4 - HClO_3 - CS_2 - C_3H_8$$

Dr. Hasan Palvi

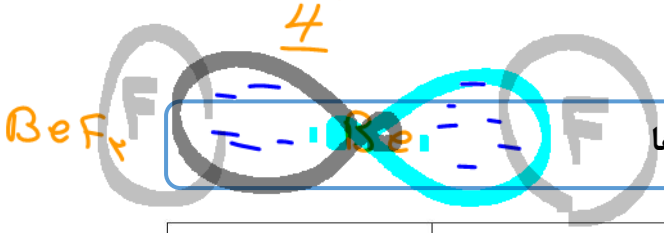


قلمرو الکترونی: فضایی بادکنک مانند اطراف اتم مرکزی که در آن الکترون‌های ناپیوندی و پیوندی حرکت می‌کنند:

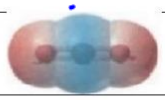
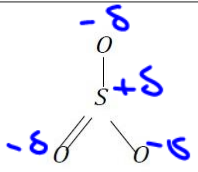
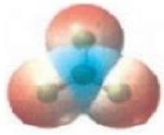
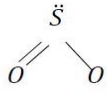
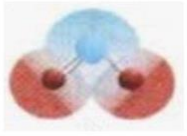
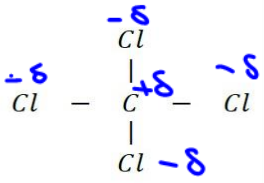
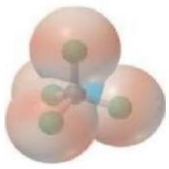
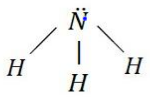


جفت الکترون ناپیوندی: ۱ قلمرو

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



شکل فضایی و زاویه پیوندی مولکول‌ها و بنیان‌ها

تعداد قلمرو	جفت e ناپیوندی	شکل مولکول	زاویه پیوندی	مثال	مدل فضا پر کن
۲	۰	خطی	۱۸۰°	$O=C=O$	
۳	۰	مثلث مسطح	۱۲۰°		
	۱	خمیده	≃ ۱۲۰°		
۴	۰	چهار وجهی منتظم	۱۰۹°		
	۱	هرمی	≃ ۱۰۹°		
	۲	خمیده	≃ ۱۰۹°		

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

$$BF_3 - BeF_2 - SO_2 - SCO - HCN - OBr_2$$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

Dr. Hasan Palvi

تست ۲: کدام مولکول مسطح نبوده و در میدان الکتریکی جهت‌گیری می‌کند؟

۱) کلروفرم ۲) کربن دی‌سولفید

۳) گوگرد تری‌اکسید ۴) متان

ویژگی مولکول‌های قطبی

۱-در مولکول‌ها (حلال‌های) قطبی حل می‌شوند.	۴-در میدان الکتریکی جهت‌گیری می‌کنند.
۲-فاقد تقارن الکتریکی هستند.	۵-گشتاور دو قطبی آن‌ها بزرگتر از صفر است.
۳-نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی نامتقارن دارند.	۶-به سمت جسمی که بار القایی مثبت یا منفی دارد جذب می‌شود.

نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی

ابزاری مناسب برای بررسی تراکم ابر الکترونی و بار الکتریکی یعنی توزیع الکترون‌ها روی اتم‌های سازنده یک گونه شیمیایی است. این نقشه به شیمی‌دان‌ها کمک می‌کند تا واکنش‌پذیری، قدرت اسیدی و بازی و... را برای گونه‌های شیمیایی پیش‌بینی و مقایسه کنند.

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

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

بررسی نقشه‌ی پتانسیل الکتروستاتیک مولکول‌های ۲ اتمی

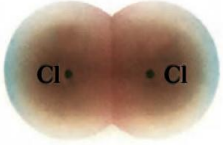
مثبت

آ) احتمال حضور جفت الکترون پیوندی پیرامون هستهٔ اتم کلر بیشتر بوده زیرا خاصیت نافلزی آن بیشتر است، از این رو احتمال حضور الکترون‌های پیوندی روی هسته‌ها، یکسان و متقارن نیست.

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

شکل ۶- نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی برای نمایش احتمال حضور الکترون‌ها در مولکول‌های دو اتمی
آ) ناجور هسته ب) جور هسته. رنگ سرخ تراکم بیشتر و رنگ آبی تراکم کمتر بار الکتریکی را نشان می‌دهد.

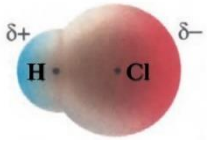
با توجه به اینکه ساده‌ترین مولکول‌ها دو اتمی هستند دو حالت متصور است:



مولکول‌های 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)

Dr. Hasan Palvi

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

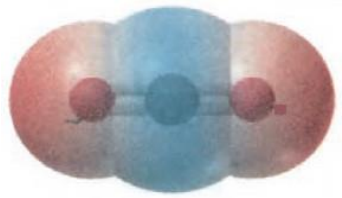


مولکول‌های دو اتمی ناجور هسته: در میدان الکتریکی جهت‌گیری می‌کنند، زیرا گشتاور دو قطبی آنها بزرگتر از صفر بوده و مولکول‌هایی قطبی هستند (مانند HCl)

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

بررسی نقشه‌ی پتانسیل الکتروستاتیک مولکول‌های دارای اتم مرکزی

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



در این مولکول خطی تراکم ابر الکترونی بر روی اتم‌های اکسیژن بیشتر از کربن است. از این رو به اکسیژن‌ها بار جزئی منفی و رنگ قرمز و به اتم کربن بار جزئی مثبت و با رنگ آبی نمایش می‌دهیم. هر چند هر دو پیوند قطبی می‌باشند، اما به دلیل توزیع متقارن بار الکتریکی پیرامون اتم مرکزی، این مولکول متقارن بوده و در میدان الکتریکی جهت‌گیری نکرده و گشتاور دو قطبی آن صفر است.

مثال ۲: بررسی نقشه پتانسی الکتروستاتیک مولکول آب:

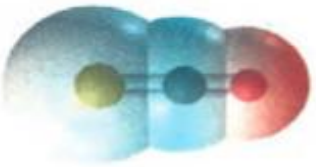
در این مولکول نیز تراکم ابر الکترونی روی اکسیژن بیشتر از اتم‌های هیدروژن می باشد (به ترتیب رنگ قرمز و آبی) و هر دو پیوند قطبی می‌باشند. اما این مولکول برخلاف CO_2 در میزان الکتریکی جهت‌گیری می‌کند و گشتاور دو قطبی بزرگتر از صفر دارد و مولکولی قطبی است. زیرا مولکولی خمیده بوده و توزیع بار الکتریکی پیرامون اتم مرکزی متقارن و یکنواخت نیست.

Dr. Hasan Palvei

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.

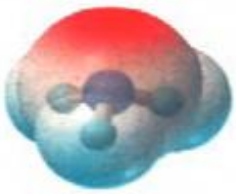
خود را بیازمایید

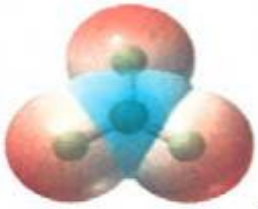
۱ـ شکل زیر نقشهٔ پتانسیل مولکول‌های کربونیل سولفید (SCO) و اتین (C_2H_2) را نشان می‌دهد. با توجه به آنها گشتاور دو قطبی کدام مولکول برابر با صفر است؟ چرا؟


کربونیل سولفید

اتین

۲ـ با توجه به نقشهٔ پتانسیل مولکول‌های آمونیاک و گوگرد تری‌اکسید به پرسش‌ها پاسخ دهید.

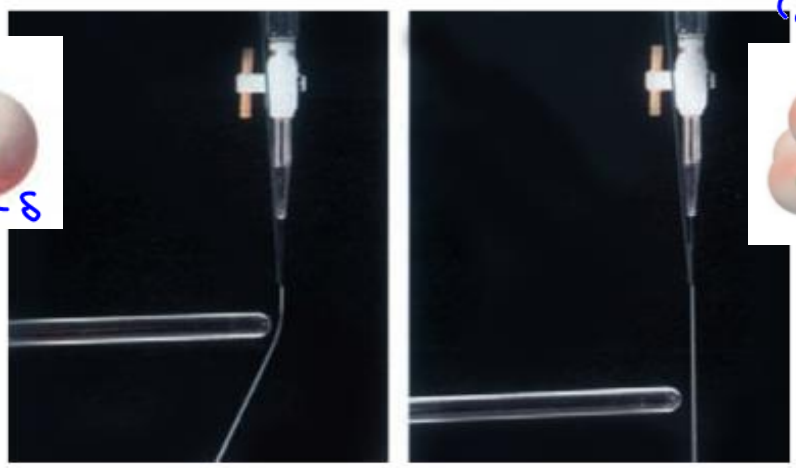

آمونیاک


گوگرد تری‌اکسید

آ) با بیان دلیل، هر یک از اتم‌ها را در نقشه‌های بالا با (δ+)و(δ−) نشان‌دار کنید.

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

۳ـ با توجه به شکل‌های زیر با دلیل پیش‌بینی کنید کدام مایع، کلروفرم ($CHCl_3$) و کدام‌یک کربن‌تتراکلرید (CCl_4) است؟



Dr. Hasan Palvei

تست ۱: (ریاضی تیر ۱۴۰۳)

با توجه به مدل فضا پُرکن مولکول‌های «آ» و «ب»، کدام موارد زیر درست است؟

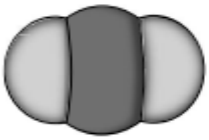
الف: علامت بار جزئی اتم مرکزی در مولکول‌های «آ» و «ب»، می‌تواند مشابه باشد.

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 دوقطبی مولکول، برابر صفر می‌شود.

۱) «پ» 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، به‌درستی کامل می‌کند؟

«مولکول ..... ، ..... مولکول گوگرد تری‌اکسید ..... .»

۱) آمونیاک ـ برخلاف ـ دارای اتم مرکزی با بار جزئی منفی است
۲) اکسیژن دی فلوئورید ـ برخلاف ـ هشت جفت الکترون ناپیوندی دارد
۳) نیتروژن تری فلوئورید ـ همانند ـ سه جفت الکترون پیوندی دارد
۴) هیدروژن سولفید ـ همانند ـ دارای اتم مرکزی با بار جزئی منفی است

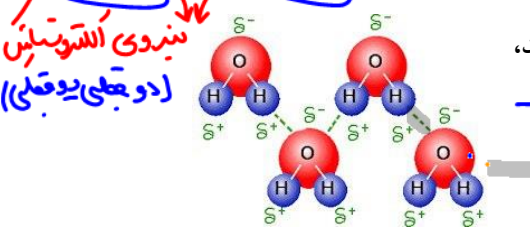
تست ۳: چند مورد از مطالب زیر در مورد مولکول SiF_4 درست است؟

- 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.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

Dr. Hasan Palvei

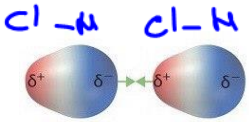
نیروهای بین مولکولی



۱)پیوند هیدروژنی: اگر هر دو مولکول هیدروژن متصل به FoN دارا باشند، بین دو مولکول پیوند هیدروژنی ایجاد می‌شود.

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 می‌شود:



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

نکته۱: هر چه جرم و حجم مولکول‌ها بیشتر باشد، نیروی واندروالسی بین مولکول‌ها قوی‌تر می‌شود.

نکته۲: به طور کلی پیوند هیدروژنی قوی‌تر از نیروی واندروالسی است.

نکته۳: نیروهای بین مولکولی بسیار ضعیف هستند. از نظر قدرت و استحکام:

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

۱) بین مولکول‌های CH_3OH

۲) بین مولکول‌های آب و CH_2O

۳) بین مولکول‌های اتانوئیک اسید

۴) بین مولکول‌های آب و آمونیاک

انحلال مواد مولکولی در آب

مولکول‌های ناقطبی در آب انحلال‌ناپذیرند (CO_2 و Cl_2 و ....)مولکول‌های قطبی در آب حل می‌شوند 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 می‌کنند. (HCL و....) و اسیدهای ضعیف در آب مولکولی – یونی حل شده و محلول آن‌ها الکترولیت ضعیف خواهد بود. (HF و...)

Dr. Hasan Palvei

نقطه ذوب و جوش جامدات مولکولی

برای ذوب کردن و یا به جوش آوردن ترکیبات مولکولی، کافیست 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 وکمتر از سه دسته جامد دیگر می‌باشد (در دمای معمولی جامد یا مایع یا گازند).

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

$$I_2 < H_2O > HF > NH_3$$

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: مولکول‌های گروه ۱۷:

$$I_2(s) > Br_2(l) > Cl_2(g) > F_2(g)$$

مثال ۲: دو الکل اتانول و متانول:

$$C_2H_5OH > CH_3OH$$

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.

$$CO > N_2$$
$$HCl > F_2$$
$$(CH_3)_2O > C_3H_8$$

نکته: ید (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 مولکول‌های CO_2 و SO_2 از نوع دوقطبی القائی – دوقطبی القائی است.
- هر جسمی که در دمای معمولی مایع یا گاز است، حتما ماده مولکولی است.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

Dr. Hasan Palvei

پایه

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:

کربن تترا برمید: CBr_4 دی نیتروژن پنتا اکسید: N_2O_5

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

خود را بیازمایید

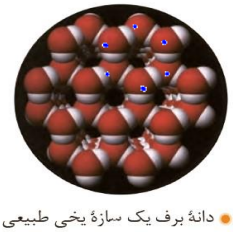
۱ـ با خط زدن واژه نادرست در هر مورد، عبارت زیر را کامل کنید.

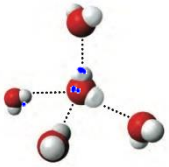
در ساختار یک جامد کووالانسی/مولکولی، میان همهٔ/شمار معینی از اتم‌ها پیوندهای اشتراکی وجود دارد به همین دلیل چنین موادی نقطهٔ ذوب بالایی/پایینی دارند و دیرگداز هستند.

۲ـ واژه‌های شیمیایی رایج مانند مادهٔ مولکولی، فرمول مولکولی و نیروهای بین مولکولی را برای توصیف کدام مواد زیر می‌توان به کار برد؟ چرا؟

$C_6H_{12}(l), SiO_2(s), NaCl(s), HF(g), C(s, \text{گرافیت}), Cl_2(g)$

سال ۱۲





دانهٔ برف یک سازهٔ یخی طبیعی است که مبنای تشکیل آن حلقه‌های شش‌گوشه است.

یخ (H_2O جامد):

۱-مشهورترین جامد مولکولی که در حالت جامد همانند جامدات کووالانسی 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 کووالانسی 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 می‌یابند.

Dr. Hasan Palvei

تست ۱: در کدام گزینه هیچ کدام از مولکول‌ها در میدان مغناطیسی جهت‌گیری نمی‌کند؟

۱) $CHCl_3, N_2, N_2O$

۲) CCl_4, P_4, O_3

۳) SO_2, CO, SCO

۴) Br_2, SO_3, C_2H_2

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

۱) CO_2, SiO_2, Al_2O_3

۲) Fe, Si, SiC

۳) $NaOH, C_3H_8$, الماس

۴) گرافیت, $FeBr_3, NF_3$

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 می‌شوند.
- هر جسمی در دمای معمولی گاز یا مایع است، حتما جامد مولکولی است.
- 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.
- همه اتم‌ها در آن‌ها به آرایش الکترونی گاز نجیب رسیده‌اند.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تست ۴: اگر فرمول فلوئورید 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؟

- هر دو مولکول ناقطبی بوده و نیروی بین مولکولی آن‌ها از نوع واندروالسی است.
- اتم Y با اکسیژن جامد مولکولی ایجاد کرده که همه اتم‌ها در مولکول حاصله اکتت هستند.
- 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.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

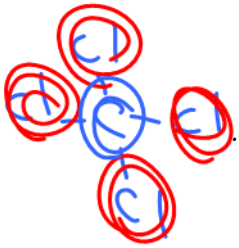
تست ۵: کدام گزینه درست است؟

۱) در ساختار یخ همانند گرافیت یک آرایش منظم و سه بعدی با تشکیل حلقه‌های شش گوشه وجود دارد.

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

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

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



تست ۶: (تجربی اردیبهشت ۱۴۰۳)

کدام مورد دربارهٔ سیلیس و یخ درست است؟

۱) ساختار سیلیس، سه‌بُعدی و ساختار یخ، دوبُعدی است.

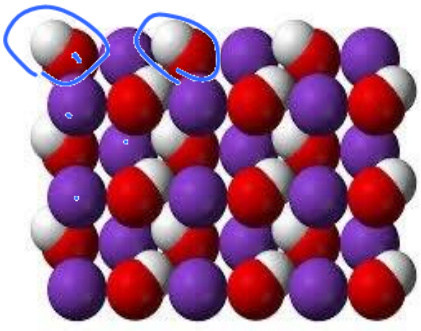
۲) در سیلیس هر اتم سیلیسیم، با دو اتم اکسیژن، پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهد.

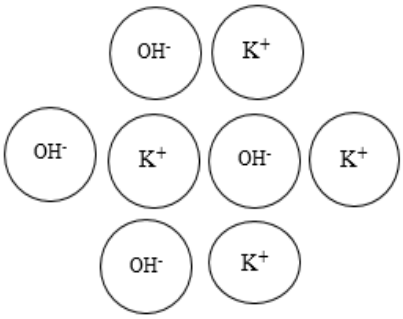
۳) سیلیس خالص، گذر و یخ، شفاف است و هر دو، ساختار شش‌گوشه دارند.

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

Dr. Hasan Palvei

جامدات یونی





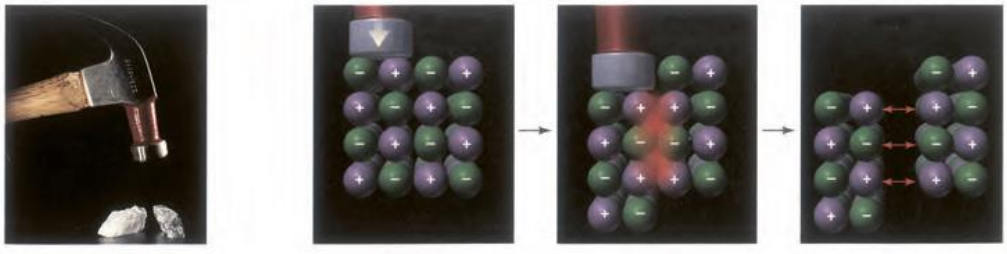
۱- شبکه بلور آن‌ها از چیدمان منظم کاتیون و آنیون تشکیل شده است.

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 می کنند.



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

۷- اگر آنیون از یون چندتامی (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).

Dr. Hasan Palvei

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

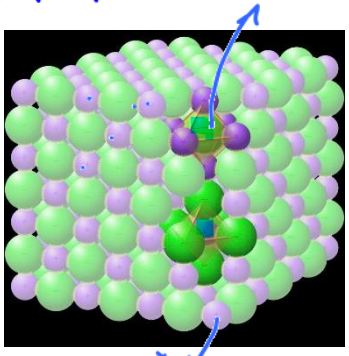
➢ **فرمول نویسی:** کاتیون را در سمت چپ و آنیون را در سمت راست نوشته و بار هر یک را اندیس دیگری قرار داده و در صورت امکان ساده می‌نماییم:

$$\left.\begin{matrix} Ca^{2+} \\ NO_3^- \end{matrix}\right\} \Longrightarrow Ca(NO_3)_2 \qquad \left.\begin{matrix} Fe^{3+} \\ N^{3-} \end{matrix}\right\} \Longrightarrow FeN$$

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

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

مثال: در ۰/۳۹ گرم کلسیم فلوئورید چند مول یون وجود دارد و چند مول الکترون برای تشکیل این مقدار نمک مبادله شده است؟ ($Ca = ۴۰ , F = ۱۹ \frac{g}{mol}$)



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 بلوریِ مکعبی است، هر یون Na^+ توسط ۶ یون Cl^- احاطه شده است (عدد کوئوردیناس Na^+ برابر ۶ است) و هر یون Cl^- توسط ۶ یون Na^+ محاصره شده است (عدد کوئوردیناس 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:

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

به عنوان مثال نسبت فوق برای Al_2O_3 برابر با $\frac{۲}{۳}$ است.

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

Dr. Hasan Palvei

بررسی تشکیل NaCl از Na (جامد فلزی) و Cl_2 (جامد مولکولی)

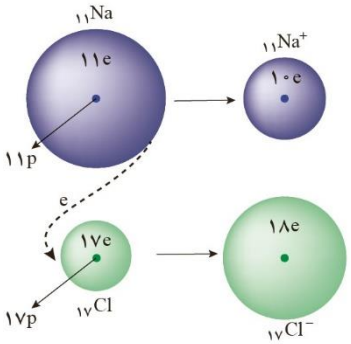
سدیم فلزی نقره‌ای رنگ بوده و همانند دیگر فلزات جاذبه هسته آن بر الکترون لایه ظرفیت ($3s^1$) کم می‌باشد. گاز کلر زرد رنگ بوده و دارای پیوند اشتراکی Cl – Cl می‌باشد و مانند مابقی نافلزات جاذبه هسته آن به الکترون‌های لایه ظرفیت ($3s^2\ 3p^5$) زیاد می‌باشد. در اثر مجاورت این دو با هم، ابتدا پیوند اشتراکی 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:

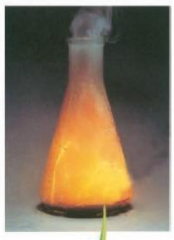
$$2Na\ (s) + Cl_2\ (g) \longrightarrow 2NaCl\ (s) + \text{نور و گرما}$$

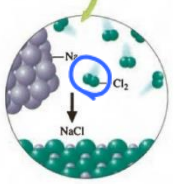
$$_{11}Na : 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1 \Longrightarrow {}_{11}Na^+ : 1s^2\ 2s^2\ 2p^6$$

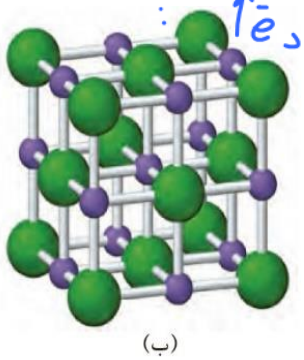
$$_{17}Cl : 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5 \Longrightarrow {}_{17}Cl^- : 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$$

(e^-)

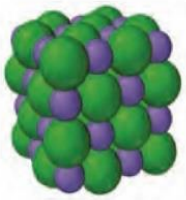








(ب)



(آ)

شکل ۹ـ 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 بر نیروهای دافعه‌ی بین یون‌های هم‌نام غلبه دارد.

Dr. Hasan Palvei

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 سُست یا شکسته شوند.

۲- مطابق یک قاعده کلی، هر چه نیروهای جاذبه میان ذرات سازنده یک ماده خالص قوی‌تر باشد هم دمای ذوب و جوش جسم بالاتر می‌رود و هم تفاوت بین دمای ذوب و جوش آن بیشتر شده و در گستره (بازه‌ی) دمای بیشتری به حالت مایع باقی می‌ماند.

NaCl : بین گستره دمای ۸۰۱° سانتی گراد (نقطه ذوب) تا ۱۴۱۳° سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.

Cu : بین گستره دمای ۱۰۸۳° سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا ۲۵۰۰° سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.

H_2O : بین گستره دمای ۰° سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا ۱۰۰° سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.

HF : بین گستره دمای ۸۳- سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا ۱۹° سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.

O_2 : بین گستره دمای ۲۱۸- سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا ۱۸۳- سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.

N_2 : بین گستره دمای ۲۱۰- سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا ۱۹۶- سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.

ماده	نقطه ذوب (°C)	نقطه جوش (°C)
N_2	-۲۱۰	-۱۹۶
HF	-۸۳	۱۹
NaCl	۸۰۱	۱۴۱۳

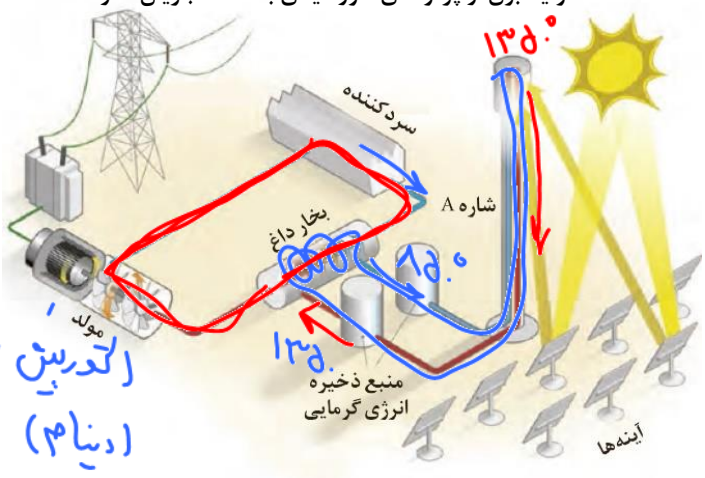
هنرنمایی شاره (سیال) های مولکولی و یونی برای تولید برق

۱- آینه های منعکس کننده پرتو های خورشیدی، نور را در برج گیرنده متمرکز می‌کنند.

۲- در برج گیرنده پرتوهای خورشیدی که در آن لوله‌های سدیم کلرید مذاب عبور می‌کنند (شاره یا سیال) دمای سدیم کلرید مذاب از حدود ۸۵۰ °C تا حدود ۱۳۵۰ °C بالا می‌رود.

۳- سدیم کلرید پرانرژی در سیستمی بسته به سمت محفظه‌ی تولید کننده بخارآب حرکت

تولید برق از پرتو های خورشیدی به کمک جریان شاره



Dr. Hasan Palvei

می‌کند، در این محفظه لوله‌های NaCl مذاب به دور لوله‌های حاوی آب (H_2O) چرخیده و انرژی گرمایی NaCl به آب منتقل شده و باعث به جوش آمدن آب در لوله‌های سیستم بسته H_2O 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 مجدد به دمای جوش برسد.

۵- سدیم کلریدی که دمای آن از ۱۳۵۰ °C به حدود ۸۵۰ °C رسیده است، مجدد به برج گیرنده پرتوهای خورشیدی پُمپ 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.

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

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

۲) N_2 نسبت به H_2O دمای ذوب و جوش پایین تر داشته و در گستره دمایی بیشتری مایع است.

۳) شاره‌ای که توربین ر ابه حرکت درمی‌آورد، بخار آب است.

۴) دو شاره NaCl و H_2O در محفظه‌ی موردنظر مدتی با هم مخلوط می‌شوند.

چگالی بار یون‌ها و روش‌های محاسبه آن

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

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

✓ در حد کتاب درسی و کنکور، به روش های زیر، چگالی **حدودی** بار یون ها را محاسبه می کنیم.

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

اگر در تست مقدار دقیق شعاع د ویا 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.

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

Dr. Hasan Palvei

مثال: اگر شعاع یون Na^{+} و S^{2-} به ترتیب ۱۰۲ و ۱۸۴ پیکومتر باشد، چگالی بار آن‌ها را به دست آورید.

جواب: $\rho_{S^{2-}}$ بار $= \frac{۲}{۱۸۴} = ۱/۰۹ \times ۱۰^{-۲}$ $\quad$ $\rho_{Na^{+}}$ بار $= \frac{۱}{۱۰۲} = ۹/۸ \times ۱۰^{-۳}$

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

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 بیشتری دارد.

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

$$_{11}Na^{+} - _{12}Mg^{2+} - _{13}Al^{3+} - _{19}K^{+} - _{16}S^{2-} - _{9}F^{-} - _{8}O^{2-}$$

با هم بیندیشیم

۱ـ توضیح دهید چرا برای توصیف ترکیب‌های یونی در منابع علمی معتبر هیچ‌گاه واژه‌هایی مانند مولکول و فرمول مولکولی به کار نمی‌رود؟

۲ـ جدول زیر اندازهٔ شعاع برخی یون‌های متداول را در مقایسه با اندازهٔ اتم سازندهٔ آنها نشان می‌دهد. در مورد این جدول با یکدیگر گفت‌وگو کنید و روندهای موجود در آن را توضیح دهید.

گروه / دوره	۱۷	۱۶	۲	۱
دوم	F ۱− ۷۱ ، ۱۳۳	O ۲− ۷۳ ، ۱۴۰		Li ۱+ ۱۵۲ ، ۷۶
سوم	Cl ۱− ۹۹ ، ۱۸۱	S ۲− ۱۰۲ ، ۱۸۴	Mg ۲+ ۱۶۰ ، ۷۲	Na ۱+ ۱۸۶ ، ۱۰۲

۳ـ اگر هریون را کره‌ای باردار در نظر بگیرید، چگالی بار هم‌ارز با نسبت بار به حجم آن است. کمیتی که می‌تواند برای مقایسهٔ میزان برهم‌کنش میان یون‌ها به‌کار 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.

کاتیون	شعاع (pm)	نسبت بار به شعاع	آنیون	شعاع (pm)	نسبت بار به شعاع
Na^+	۱۰۲	$۹/۸۰ \times ۱۰^{-۳}$	F^-	۱۳۳	$۷/۵ \times ۱۰^{-۳}$
K^+	۱۳۸	$۷/۲۴ \times ۱۰^{-۳}$	Cl^-	۱۸۱	$۵/۵ \times ۱۰^{-۳}$
$Mg^{۲+}$	۷۲	$۲/۷۷ \times ۱۰^{-۲}$	$O^{۲-}$	۱۴۰	$۱/۴ \times ۱۰^{-۲}$
$Ca^{۲+}$	۹۹	$۲/۰۲ \times ۱۰^{-۲}$	$S^{۲-}$	۱۸۴	$۱/۰۹ \times ۱۰^{-۲}$

آ) چگالی بار کدام کاتیون کمتر و کدام یک بیشتر است؟ چرا؟

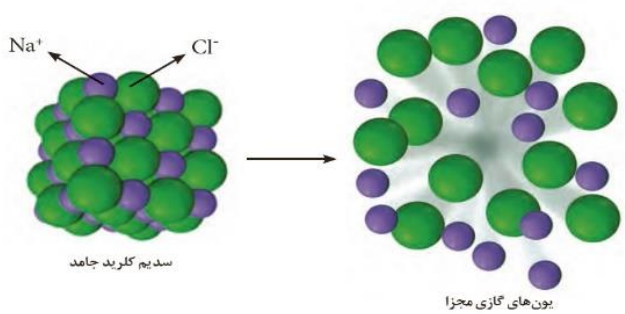
ب) چگالی بار کدام آنیون کمتر و کدام یک بیشتر است؟ چرا؟

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؟

آنتالپی فروپاشی شبکه یا $\Delta H_{\text{فروپاشی}}$

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



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

$$NaCl\,(s) + ۷۸۷\ kJ \rightarrow Na^+\,(g) + Cl^-\,(g) \qquad \Delta H_{\text{فروپاشی}} = ۷۸۷\ \frac{kJ}{mol}$$

$$MgF_۲\,(s) + ۲۹۶۵\ kJ \rightarrow Mg^{۲+}\,(g) + ۲F^-\,(g) \qquad \Delta H_{\text{فروپاشی}} = ۲۹۶۵\ \frac{kJ}{mol}$$

Dr. Hasan Palvei

$KBr(s) + 689\ Kj \rightarrow K^+(g) + Br^-(g)$ $\qquad \Delta H_{\text{فروپاشی}} = ۶۸۹\ \frac{kJ}{mol}$

✓ **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 یون‌ها 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 یون‌های Na^+ ، Mg^{2+} ، F^- و O^{2-} به ترتیب برابر با $۹/۸ \times ۱۰^{-۳}$ ، ۲۷×۱۰^{-۳} ، $۷/۵ \times ۱۰^{-۳}$ و ۱۴×۱۰^{-۳} باشد، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب NaF، $Na_۲O$، $MgF_۲$ و MgO را مقایسه کنید.

NaF: $۹/۸ \times ۱۰^{-۳} + ۷/۵ \times ۱۰^{-۳} = ۱۷/۳ \times ۱۰^{-۳}$

$Na_۲O$: $۹/۸ \times ۱۰^{-۳} + ۱۴ \times ۱۰^{-۳} = ۲۳/۸ \times ۱۰^{-۳}$

$MgF_۲$: $۲۷ \times ۱۰^{-۳} + ۷/۵ \times ۱۰^{-۳} = ۳۴/۵ \times ۱۰^{-۳}$

MgO: $۲۷ \times ۱۰^{-۳} + ۱۴ \times ۱۰^{-۳} = ۴۱ \times ۱۰^{-۳}$

➢ **روش ۲: مقدار شعاع یا چگالی بار یون‌ها 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.

NaCl (2) < NaF (2) < $MgF_۲$ (3) < $AlF_۳$ (4) : جمع بارها

اولویت ۲: چنانچه جمع قدرمطلق بار یون‌ها برابر بود، هرچه شعاع یون‌ها کوچک‌تر باشد (تعداد لایه کمتر)، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب بیشتری دارد.

$MgF_۲$: ۱۲+۹=۲۱ $\qquad$ $Na_۲O$: ۱۱+۸=۱۹

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

جمع بارها: 5 $\quad$ 4 $\quad$ 3 $\quad$ 3 $\quad$ 2 $\quad$ 2

$Al_۲O_۳ - MgO - MgF_۲ - Na_۲O - NaF - NaCl$

۲ $\quad$ ۲ $\quad$ ۲ $\quad$ ۲

فروپاشی: ۱ $\quad$ ۲ $\quad$ ۳ $\quad$ ۴ $\quad$ ۵ $\quad$ ۶

نکته ۱: در یک گروه از بالا به پایین به دلیل افزایش تعداد لایه‌ها، شعاع یونی هم‌مانند شعاع اتمی افزایش می‌یابد، در نتیجه آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب ترکیبات یونی حاصل از یون عناصر کاهش می‌یابد.

آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب : $LiF > LiCl > LiBr > LiI$

آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب : $LiF > NaF > KF > RbF$

Dr. Hasan Palvei

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:

$$_{15}P^{3-} > {}_{16}S^{2-} > {}_{17}Cl^{-} > {}_{11}Na^{+} > {}_{12}Mg^{2+} > {}_{13}Al^{3+}$$

خود را بیازمایید

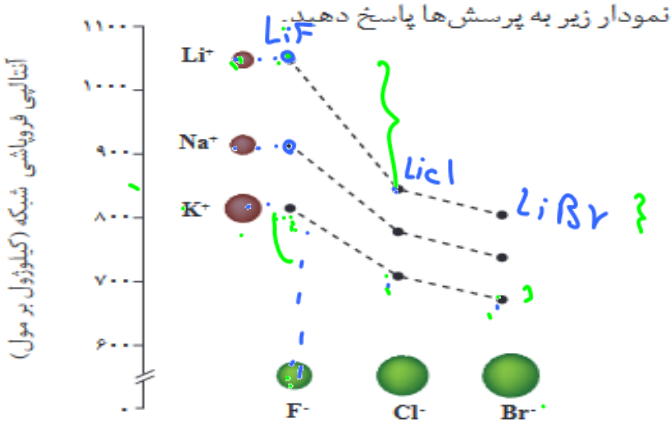
۱ـ در هر مورد با خط زدن واژه نادرست، هر یک از عبارت‌های زیر را کامل کنید:

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

ب) هر چه بار/چگالی بار یون‌های سازندهٔ یک جامد یونی کمتر باشد، شبکهٔ آن آسان‌تر/دشوارتر فروپاشیده می‌شود.

۲ـ با توجه به داده‌های متن درس پیش‌بینی کنید کدام آنتالپی فروپاشی شبکه را می‌توان به KCl(s) نسبت داد؟ چرا؟ ۷۱۷ kJmol⁻¹، ۶۴۹ یا ۱۰۳۷

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



Dr. Hasan Palvi

آ) با افزایش شعاع کاتیون فلزهای قلیایی، آنتالپی فروپاشی شبکه چه تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

ب) با افزایش شعاع آنیون هالید، آنتالپی فروپاشی شبکه چه تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

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

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

آ) درباره درستی جمله زیر گفت‌وگو کنید.

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

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

تست۱: (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 باشد، کدام مقایسه درست است؟

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

تست۲: (ریاضی تیر ۱۴۰۳)

با توجه به جدول تناوبی زیر (بخشی از جدول تناوبی عنصرها)، کدام موارد دربارهٔ ترکیب حاصل از واکنش دو عنصر داده‌شده (در شرایط مناسب) درست است؟

A																	
D												E		Z	J		
															G		

الف: آنتالپی فروپاشی شبکه: $J < D$ و $G < D$

ب: نقطهٔ جوش: $Z < E$ و $A < E$

پ: گشتاور دو قطبی: $G > E$ و $A < Z$

ت: شمار پیوند اشتراکی: $G > A$ و $J < Z$

۱) «الف» و «ب» ۲) «الف» و «ت» ۳) «ب» و «پ» ۴) «پ» و «ت»

Dr. Hasan Palvi

تست ۱: اگر تفاوت شما رالکترون‌ها و نوترون‌ها در ^{88}X برابر ۱۲ باشد، یک واحد فرمولی از ترکیب X با کدام آنیون زیر دارای اتم‌های بیشتری است؟

۱) سیلیکات ۲) هیدروکسید ۳) کربنات ۴) فسفات

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: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > Na^{+}$

دمای ذوب: $CaO > MgO > KCl > NaCl$

آنتالپی فروپاشی: $MgO > K_2O > NaF > LiCl$

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

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تست ۴: در کدام گزینه همه گونه ها 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) $Pb(NO_3)_2$, $FeSO_4$, 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.

Dr. Hasan Palvei

تست ۶: چه تعداد از عبارت‌های 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.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تست ۷: کدام گزینه نادرست است؟

۱) دمای ذوب: $MgF_2 > MgCl_2 > SO_2$

۲) رسانایی محلول ۱ مولار: $Ca(NO_3)_2 > CaSO_4 > HCl > HF$

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

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

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

۱) در دمای $25\,^{\circ}C$ فقط جامدات مولکولی و جیوه مایع یا گاز می‌توانند باشند.

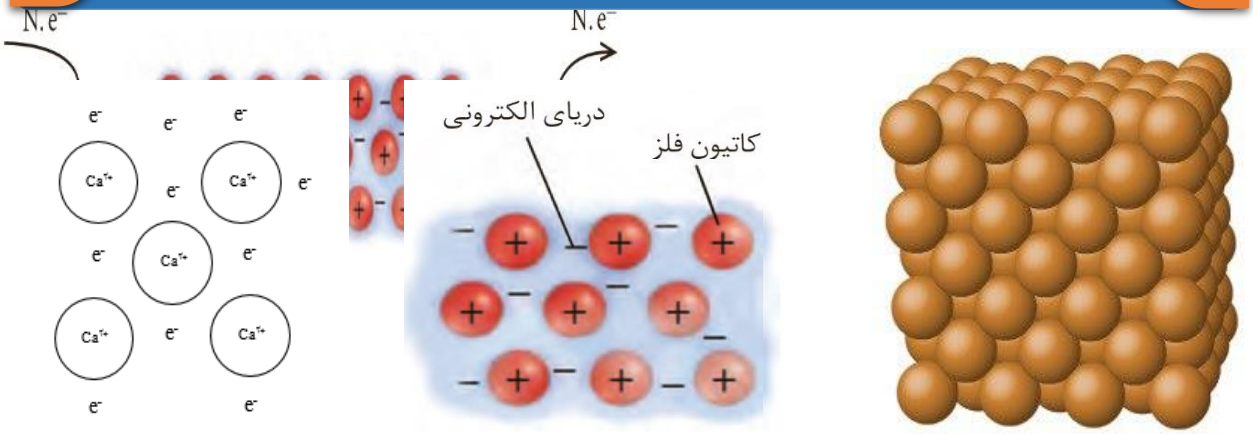
۲) تنها جامدی که در حالت جامد رسانای برق می‌باشد، جامد فلزی است.

۳) جامدات یونی در حالت مذاب و محلول و بعضی جامدات مولکولی در حالت محلول رسنای برق می‌باشند.

۴) واژه شبکه بلور در مورد هر چهار دسته آن‌ها تعریف می‌شود.

Dr. Hasan Palvei

جامدات فلزی



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

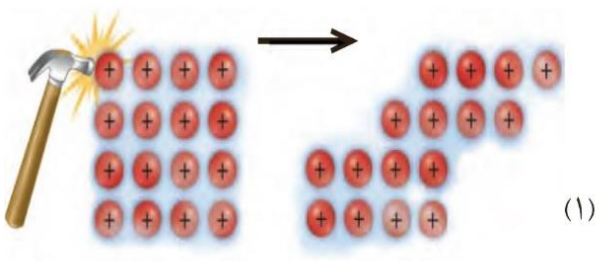
پیوند فلزی: در فلزات الکترون‌های لایه ظرفیت (الکترون‌های آزاد یا شناور) به طور آزادانه به دور همه کاتیون‌های فلزی حرکت کرده و سبب در کنار هم باقی ماندن کاتیون های فلزی می شوند.
به عبارتی پیوند فلزی نیروی جاذبه ای است که از تاثیر متقابل بین الکترونهای لایه ظرفیت و هسته اتم ها که بار مثبت درند، به وجود می آید.

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

نکته ۱: بسیاری از ویژگی‌های فلزات از جمله چکش خوار بودن، رسانایی الکتریکی و گرمایی، جلای 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 چکش‌خوار بودن فلزات (شکل‌پذیری):** هرچند کاتیون‌ها در اثر ضربه جابه‌جا می‌شوند اما چون الکترون‌های آزاد با سرعت زیاد در لابه‌لای 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.



(۱)

- **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

Dr. Hassan Palvei

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 ویژگی هایی 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

Dr. Hasan Palvei

دید رنگ‌ها

۱- همان‌گونه که می‌دانیم چشم انسان فقط امواج الکترومغناطیس با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر را می-تواند 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).

شکل ۱۱- تابیدن نور و دیدن مواد رنگی

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 بازتابش می‌کند.

رنگ دانه

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 می‌شوندف نوعی کلویید هستند که علاوه بر زیبایی، مانع اکسایش یا واکنش مواد با جسم می‌شوند.

Dr. Hasan Palvei

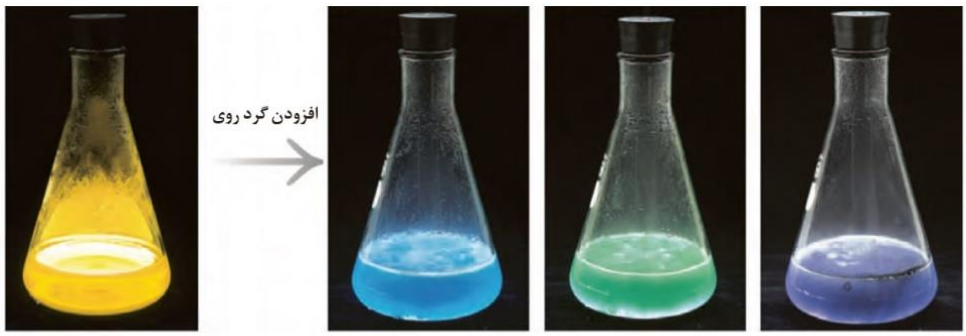
فلز وانادیم ($_{23}V$)

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

$_{23}V : [18Ar]3d^3\ 4s^2$

۲- وانادیم می‌تواند عدد اکسایش ۲+، ۳+، ۴+ و ۵+ داشته باشد که رنگ آن‌ها به ترتیب بنفش، سبز، آبی و زرد است.

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



مثال: آرایش الکترونی وانادیم و یون‌های 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 می‌دهند، رنگ نهایی محلول کدام است؟

$(Zn = 65\ gr.mol^{-1})$

۱) بنفش ۲) سبز ۳) آبی ۴) زرد

Dr. Hasan Palvei

فلز تیتانیم ($_{22}Ti$)

۱- تیتانیم دومین عنصر واسطه دوره چهارم و متعلق به گروه ۴ می‌باشد 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 تیتانیم با فولاد:

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

ویژگی / ماده	تیتانیم	فولاد
نقطه ذوب ($^{\circ}C$)	۱۶۶۷	۱۵۳۵
چگالی($g\,mL^{-1}$)	۴/۵۱	۷/۹۰
واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا	ناچیز	متوسط
مقاومت در برابر خوردگی	عالی	ضعیف
مقاومت در برابر سایش	عالی	عالی

- ✓ واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا: تیتانیم ناچیز، ولی فولاد متوسط
- ✓ چگالی : تیتانیم < فولاد
- ✓ نقطه ذوب: تیتانیم > فولاد

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

۴- از تیتانیم به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و واکنش‌پذیری ناچیز با ذره‌های آب دریا در پروانه کشتی‌ها استفاده می‌شود.

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

۶- از تیتانیم به دلیل مقاومت و استحکام بالا و چگالی کم در ساخت بدنه دوچرخه استفاده می‌شود.

۷- از آلیاژ تیتانیم و نیکل که به نام «نیتینول» یا آلیاژ هوشمند اطلاق می‌شود، در ساخت فرآورده‌های پزشکی و صنعتی مانند قاب عینک، ارتودنسی و استنت عروق استفاده می‌شود.

(آ) (ب) (پ)

آ) سازه فلزی در ارتودنسی ب) استنت برای رگ‌ها پ) قاب عینک

شکل ۱۲- برخی کاربردهای تیتانیم

Dr. Hasan Palvi

تست ۱: کدام عبارت نادرست است؟

۱) یون $V^{۴+}$ هم اکسنده و هم کاهنده است و در واکنش با فلز روی نقش اکسندگی ایفا می‌کند.

۲) آرایش الکترونی یون $V^{۳+}$ به $۳d^{۲}$ ختم می‌شود و سبز رنگ است.

۳) از آلیاژ نیکل و تیتانیم در ساخت موزه کوگنهایم استفاده شده است.

۴) تیتانیم 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.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تست ۳: (ریاضی اردیبهشت ۱۴۰۳)

کدام موارد، دربارهٔ مقایسهٔ ویژگی‌های فولاد و تیتانیم درست است؟

الف: نقطهٔ ذوب: فولاد < تیتانیم

ب: شدت واکنش خوردگی: تیتانیم < فولاد

پ: مقاومت در برابر واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا: فولاد < تیتانیم

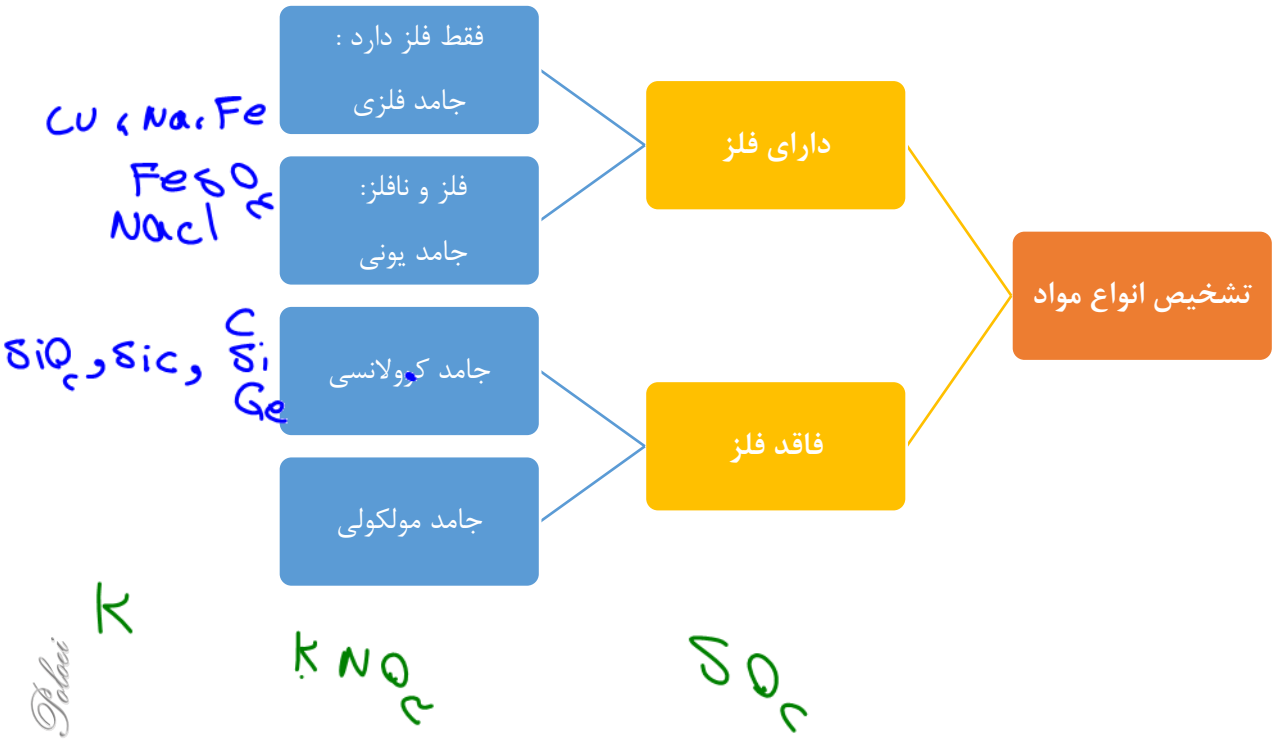
ت: میزان استفاده در ساخت پروانهٔ کشتی: فولاد < تیتانیم

۱) «الف» و «ب» ۲) «الف» و «پ» ۳) «ب» و «ت» ۴) «پ» و «ت»

Dr. Hasan Palvei

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	C، Si، Ge و SiO_2 SiC	بسیار بالا	آنتالپی پیوند (طول پیوند)	نارسانا (غیر از گرافیت وشبه 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)	×
جامد یونی	کاتیون و آنیون	فلز و نافلز	بالا	چگالی بار یونها	مذاب و محلول	×
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. Hasan Palvei

تمرین های دوره ای

تمرین‌های دوره‌ای

۱ـ با توجه به ۳۶ عنصر نخست جدول دوره‌ای عنصرها به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

آ) عنصرهای کدام گروه‌ها جزو مواد مولکولی هستند؟

ب) عنصرهای کدام گروه جزو مواد کووالانسی هستند؟

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

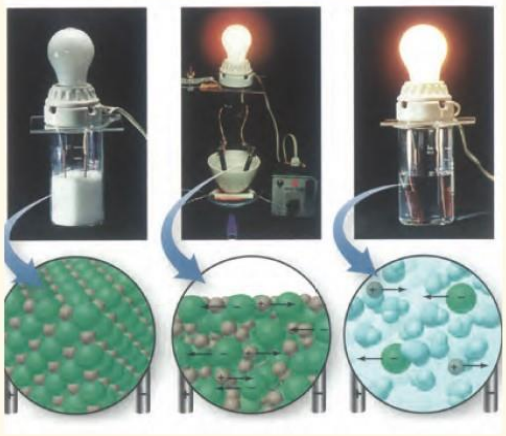
۲ـ سیلیسیم کربید (SiC) یک ساینده ارزان است که در تهیهٔ سنباده به‌کار می‌رود.

آ) این ماده را در کدام دسته از مواد جای می‌دهید؟ چرا؟

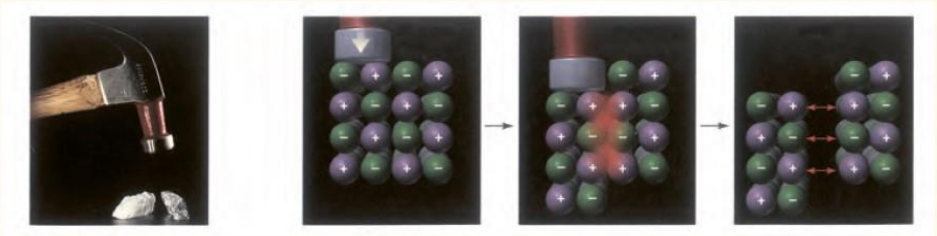
ب) سختی آن را در مقایسه با الماس و سیلیسیم پیش‌بینی کنید.

۳ـ هر یک از شکل‌های زیر رفتاری از مواد یونی را نشان می‌دهد. در هر مورد آن رفتار را با دلیل توصیف کنید.

آ)



ب)



۴ـ برای هر یک از جمله‌های زیر دلیل بنویسید.

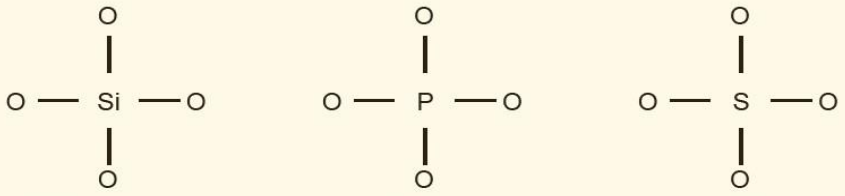
آ) تنوع و شمار مواد مولکولی بیشتر از مواد کووالانسی است.

ب) ترکیب‌هایی که در دما و فشار اتاق به حالت مایع هستند، جزو مواد مولکولی به شمار می‌روند.

پ) ترتیب واکنش‌پذیری فلزهای پتاسیم، کلسیم و تیتانیم به صورت $_{19}K > _{20}Ca > _{22}Ti$ است.

Dr. Hassan Palvei

۵ـ سیلیسیم، فسفر و گوگرد از جمله عنصرهای اکسیژن‌دوست هستند به طوری که در طبیعت به شکل نمک‌های اکسیژن‌دار یافت می‌شوند. با توجه به ساختار لوویس آنیون‌های زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.



یون سیلیکات　　یون فسفات　　یون سولفات

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

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

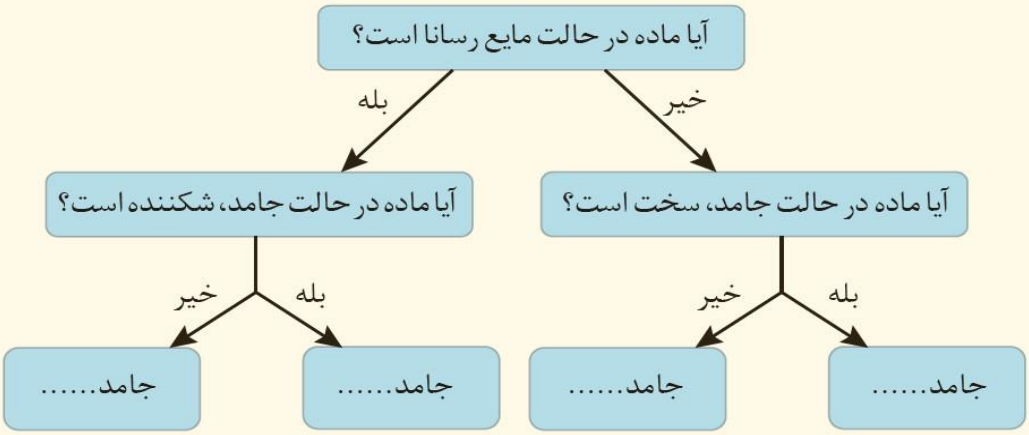
۶ـ نقشه‌های پتانسیل الکتروستاتیکی پروپان و دی‌متیل‌اتر با جرم مولی نزدیک به هم به صورت زیر است. با توجه به آنها به پرسش‌ها پاسخ دهید.

پروپان　　دی متیل اتر

آ) کدام یک در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمی‌کند؟ چرا؟

ب) توضیح دهید کدام یک از این دو مادهٔ گازی‌شکل، آسان‌تر به مایع تبدیل می‌شود؟

۷ـ گروهی از دانش‌آموزان همهٔ مواد خالص را براساس رفتار آنها مطابق نمودار زیر دسته‌بندی کرده‌اند. با پر کردن جاهای خالی، نمونه‌ای برای هر جامد مثال بزنید.



Dr. Hasan Palvi

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 وبیش رسانایی الکتریسیته و گرمایی دارند.
- همه عناصر دسته s و d جامد فلزی هستند.
- هیچ کدام از این عنصار 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: $SiC > KF > K > H_2S$
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 / دوره	۱	۲	۱۶	۱۷
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) دربین 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

Dr. Hasan Palvei

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 می‌کند که در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمی‌کند.

تست ۶: تعداد الکترون مبادله برای تشکیل ۰/۴ گرم منیزیم اکسید، برابر با تعداد الکترون‌های پیوندی در چند مول کربونیل سولفید است؟ ($Mg = ۲۴ , O = ۱۶ \ gr.mol^{-1}$)

۱) $۲/۵ \times ۱۰^{-۳}$
۲) ۵×۱۰^{-۳}
۳) $۲/۵ \times ۱۰^{-۲}$
۴) ۵×۱۰^{-۲}

تست ۷: چه تعداد از مطالب زیر درست است؟

- گرافیت جامد کووالانسی سه بعدی است که از جنبه‌هایی شبیه جامد فلزی و مولکولی است.
- در NH_4Cl، SiO_2، N_2O_5 پیوند کووالانسی وجود دارد.
- مقدار q در معادله مقابل انرژی شبکه Al_2O_3 (s) است: $Al_2O_3 \ (s) + q \rightarrow ۲Al \ (g) + \frac{۳}{۲} O_2 \ (g)$
- در نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی SO_3 و OCl_2 عنصر اکسیژن قرمز رنگ نشان داده می‌شود.
- از عنصر وانادیم به دلیل چگالی کمتر از فولاد و مقاومت در برابر خوردگی در پروانه کشتی‌ها استفاده می‌شود.

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

Dr. Hasan Palvei