***** این از اون مقدمه ها نیست که نخونی چیزه زیادی از دست ندیدآآآآآآ ! *****

معلم فیزیکه در حال صحبت درباره ی مدیریت زمان، برای بعضی از دانش آموزاش، بود.
برای تفهیم موضوع، مثالی زد که هیچ وقت اونو فراموش نکنن.
اون همونطور که روبروی این بچه ها نشسته بودو مشغول بحث بود،به شوخی گفت: "خیل خوب، دیگه وقت امتحانه "!
بعد یک کوزه سنگی دهن گشادو از زیر میزش بیرون آوردو ، اونو رو میز گذاشت.
بعد حدود دوازده تا قلوه سنگ که هر کدام به اندازه ی یه مشت بودو یکی یکی و با دقت داخل کوزه چید.
وقتی کوزه پر شد و دیگه هیچ سنگی تو اون جا نگرفت از بچه ها پرسید: "آیا کوزه پره؟"
همه با هم گفتند: بله
معلمه گفت " :واقعاً؟"
بعد یک سطل ماسه از زیر میزش در آورد. یه خورده از ماسه ها رو روی سنگ های داخل کوزه ریخت و کوزه رو تکون داد تا دونه های ماسه، خودشونو تو فضای خالی بین سنگا جا بدن.
یه بار دیگه پرسید: "آیا کوزه پره؟"
این بار کلاس از اون جلوتر بود. یکی از بچه ها جواب داد: " احتمالا نه"
معلمه گفت: "خوبه" و بعد یه سطل شن ریزه رو از زیر میز بیرون آورد و شن ریزه ها رو داخل کوزه ریخت.
شن ریزه ها تو فضای خالی بین سنگا و دونه های ماسه جا گرفتن.
همون موقع یه پارچ آبم آوردو شروع به ریختن آب تو کوزه کرد تا وقتی که کوزه لب به لب پر شد.
بعد رو به کلاس کرد و پرسید :"کی می تونه بگه نکته ی این مثال تو چی بود؟"
یکی از بچه ها، مشتاقانه دستش رو بلند کرد و گفت: " این مثال می خواد به ما بگه که برنامه ی زمانی ما هر چقدرم که فشرده باشه، اگه واقعا زیاد تلاش کنیم همیشه می تونیم کارای بیشتری تو اون بگنجونیم. "
معلمه جواب داد:"نه" ! نکته این نیست،
حقیقتی که این مثال به ما یاد می ده اینه که، اگه سنگای بزرگو اول نذارید، هیچ وقت فرصت پرداختن به اونارو نخواهید یافت.
سنگای بزرگ زندگی شما چیا هستن؟
" تحصیلتون، رویاهاتون، محبوبیتتون، انگیزه های با ارزشتون، زمانی برای خودتون، سلامتی تون و... "
یادتون باشه که اول این سنگا ی بزرگو بذارید، در غیر این صورت هیچ وقت به اونا دست نخواهید یافت.
اگه با کارآی کوچیک (شن و ماسه) خودتونو خسته کنید، زندگی خودتونو با کارآی کوچیکی که اهمیت زیادی ندارن پر می کنید و هیچ وقت زمان کافی و مفید برای کارآی بزرگ و مهم (سنگ های بزرگ) نخواهید داشت.
هر صبح و شبی که یه این مثال فکر کردی، این سوالو از خودت بپرس:
"سنگ های بزرگ زندگی من کدومآن؟" اول اونارو داخل کوزه ی زندگیت بچین.

شاید این خلاصه درسها یکی از سنگای بزرگ کنکور فیزیکت بشه! این طور نیست؟
بعد خوندنش می تونی نظرتو برام بفرستی.

amin@physicist.net

۱) صوت موج مکانیکی طولی است و برای انتشار حتماً نیاز به یک محیط مادی دارد (در خلاء منتشر نمی‌شود.)

۲) گوش انسان اصوات بین بسامد ۲۰Hz تا ۲۰kHz را می‌تواند بشنود. (صوت‌های با بسامد کم‌تر از ۲۰Hz را فرو صوت و بالاتر از ۲۰kHz را فراصوت گویند. از امواج فراصوت در پزشکی و صنعت استفاده‌های زیادی می‌شود.)

۳) معمولاً هر چه تراکم ماده‌ای که موج را منتقل می‌کند (محیط انتشار) بیش‌تر باشد ← سرعت انتقال صوت بیش‌تر خواهد بود.
($V_{جامد} > V_{مایع} > V_{گاز}$) زیرا تپ ایجاد شده در زمان کمتری به نقطه‌های مجاور خود منتقل می‌شود

۴) با افزایش دما سرعت انتشار صوت در مایعات و جامدات کاهش می‌یابد ولی در گازها با افزایش دما سرعت انتشار صوت افزایش می‌یابد.

۵) سرعت انتشار صوت در یک محیط تنها به جنس محیط و دمای آن بستگی دارد.

۶) در عبور صوت از دو محیط متفاوت، بسامد موج ثابت می‌ماند ولی سرعت انتشار صوت و در نتیجه طول موج آن تغییر می‌کند.

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{v_2}{v_1}$$

۷) سرعت انتشار موج در گازها برابر است با:

$$V=\sqrt{\gamma\frac{RT}{M}}$$

که در آن: $\gamma=\frac{C_{MP}}{C_{MV}}$ (ضریب اتمیسیته گاز که برای گازهای مختلف بسته به تعداد اتم‌ها متفاوت است).

(T: دمای مطلق برحسب کلوین. M: جرم مولکولی. R: ثابت گازها برابر $8/314\ \frac{J}{mol.k}$)

نکته: $\gamma=\frac{C_{MP}}{C_{MV}}=\begin{cases}\text{مولکولهای تک‌اتمی} & \frac{5}{3}\\ \text{مولکولهای دو اتمی} & \frac{7}{5}\\ \text{مولکولهای چند اتمی} & \frac{9}{7}\end{cases}$,

۸) طبق رابطه‌ی $v=\sqrt{\gamma\frac{RT}{M}}$ ، تنها دما روی سرعت تأثیرگذار است و اگر فشار و یا حجم به گونه‌ای تغییر کنند که دما ثابت بماند، سرعت تغییری نخواهد کرد.

$$\frac{v_2}{v_1}=\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

۹) **لوله‌های صوتی:** در لوله‌های صوتی با تشکیل موج ایستاده صوت تشکیل می‌شود.

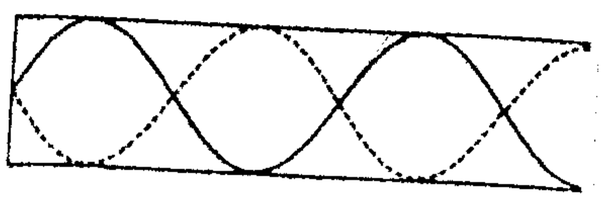
نکته: دو نوع لوله‌ی صوتی داریم: ۱) لوله‌ی باز ـ ۲) لوله‌ی بسته

الف) **یک انتها باز و انتهای دیگر بسته:** در این حالت در انتهای باز شکم و در انتهای بسته گره تشکیل می‌شود.

(n کمترین تعداد بین گره و شکم در هر حالتی است.)

$$\lambda_{(2n-1)}=\frac{4L}{(2n-1)}\qquad n=1,2,3,\ldots$$

$$f_{(2n-1)}=(2n-1)\frac{V}{4L}=(2n-1)f_1$$



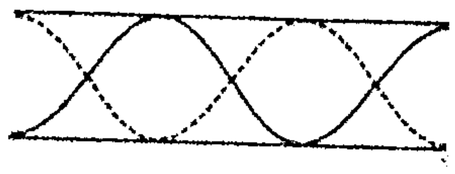
همانطور که ملاحظه می‌شود فقط **هماهنگ‌های فرد** صوت اصلی ایجاد می‌شود. این حالت‌ها نوسان‌های طبیعی هوای داخل لوله‌ی صوتی که یک انتهای آن بسته است به شمار می‌روند.

amin@physicist.net

ب) **هر دو انتهای لوله باز است:** در این حالت در هر **دو** انتها شکم تشکیل می‌شود.

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

✪در این حالت تمام هماهنگ‌ها در این لوله ایجاد می‌شود. که همان بسامدهای طبیعی هوای داخل لوله $(f_1, 2f_1, \ldots)$ است.



$$f_n = \frac{V}{\lambda_n} = n\frac{V}{2L} = nf_1$$

توجه: نحوه‌ی تشکیل موج ایستاده در لوله‌ی باز، دقیقاً مثل طناب دو سر باز و نحوه‌ی تشکیل موج ایستاده در لوله‌ی بسته، دقیقاً مثل طناب یک سر بسته و یک سر باز است.

برای یادآوری می‌توانید به فصل موج مراجعه کنید.

۱۰) **شدت صوت:** مقدار انرژی‌ای که در واحد زمان به واحد سطح عمود بر راستای انتشار می‌رسد. (شار انرژی صوتی)

واحد آن وات بر مترمربع $(\frac{W}{m^2})$ است.

$$I = \frac{E}{At} = \frac{P}{A}$$

(E: انرژی صوت (J ژول) و A: مساحت عبور (m^2 متر مربع) t: زمان عبور انرژی (s ثانیه) و P توان صوت (W وات))

✪اگر از دو منبع مختلف استفاده کردیم و خواستیم شدت‌صوت آنها را با هم مقایسه کنیم داریم:

$$I \propto E = \frac{1}{2}mA^2\omega^2 = \frac{1}{2}mA^2(2\pi f)^2 =$$

$$2\pi^2 mA^2 f^2 \Rightarrow I \propto A^2 f^2$$

(A: در اینجا دامنه‌ی چشمه است)

$$I \propto \frac{1}{A} = \frac{1}{4\pi r^2} \Rightarrow I \propto \frac{1}{r^2}$$

(A: در اینجا مساحت سطح کره است)

$$\Rightarrow I \propto \frac{A^2 f^2}{r^2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \left[\frac{A_2}{A_1} \times \frac{f_2}{f_1} \times \frac{r_1}{r_2}\right]^2$$

۱۱) **تراز شدت صوت:** درک انسان را از بلندی صوت بیان می‌کند و عبارت است از لگاریتم (در پایه‌ی ده) نسبت شدت آن صوت به شدت صوت مبنا:

$$\beta = \text{Log}\frac{I}{I_0}\,(B) \text{ بل و } \beta = 10\,\text{Log}\frac{I}{I_0}\,(dB) \text{ دسی‌بل}$$

✪ هر بل ده دسی‌بل است.

نکته: I_0 **شدت صوت مبنا:** برابر است با آستانه‌ی شنوایی گوش سالم در بسامد ۱۰۰۰ هرتز $(10^{-12}\frac{W}{m^2})$

نکته: کم‌ترین شدت صوتی که یک انسان معمولی می‌تواند بشنود را آستانه‌ی شنوایی می‌گویند.

نکته: آستانه‌ی شنوایی به بسامد صوت بستگی دارد و در افراد مختلف اندکی متفاوت است ولی برای بیشتر صوت‌های معمولی حول و حوش I_0 است. پس اگر در مسئله‌ای از آستانه‌ی شنوایی صحبتی به میان آمد و نمودار آن داده نشد آنرا همان I_0 در نظر بگیرید.

نکته: آستانه‌ی دردناکی، بیشترین شدت صوتی است که یک انسان معمولی می‌تواند بشنود بدون اینکه گوش او آسیب ببیند، آستانه‌ی دردناکی هم به بسامد صوت بستگی دارد و برای افراد مختلف اندکی متفاوت است ولی برای صوت‌های معمولی حول و حوش $I = 1\frac{W}{m^2}$ است.

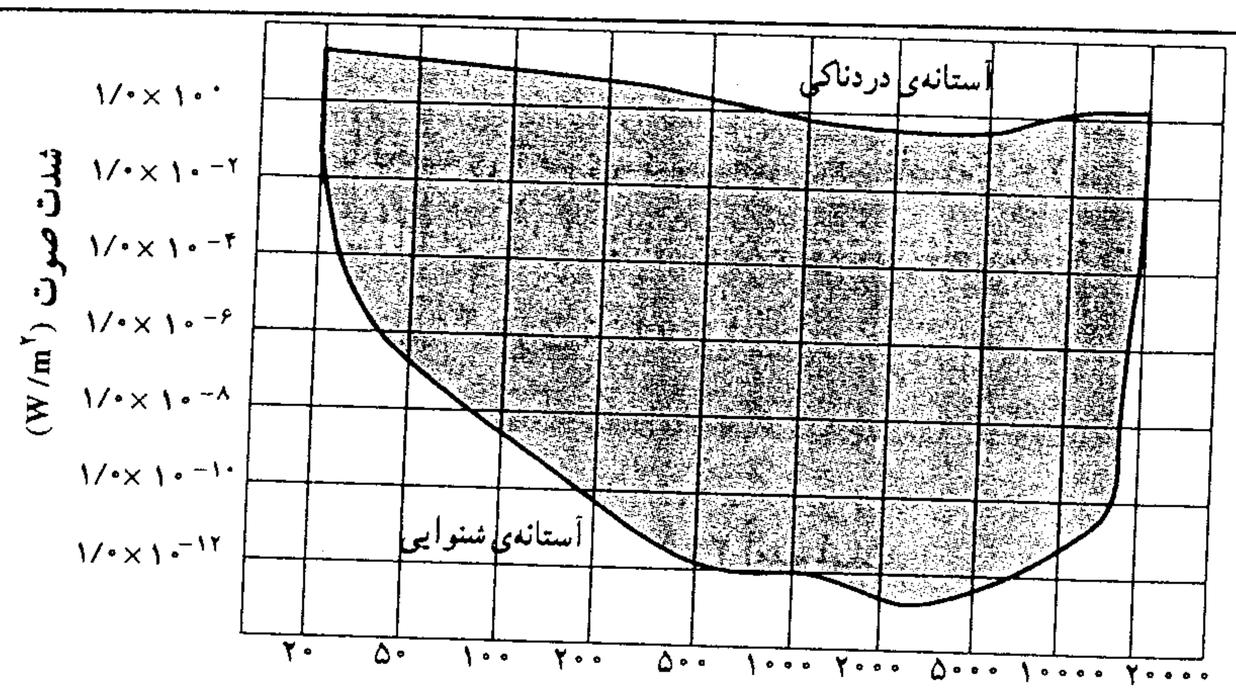
نتیجه: ترازشدت صوت برای آستانه‌ی شنوایی:

$$\beta = \log\frac{I_0}{I_0} = \log 1 = 0$$

ترازشدت صوت برای آستانه‌ی دردناکی:

$$\beta = \log\frac{1}{10^{-12}} = \log 10^{-12} = 12\ B$$

amin@physicist.net



نمودار شدت صوت در آستانه‌ی شنوایی و دردناکی، تابعی از **بسامد** است. انسان فقط بسامدهای بین ۲۰Hz تا ۲۰/۰۰۰Hz را می‌تواند بشنود ولی این به معنی آن نیست که در این محدوده از بسامد، تمامی شدت صوت‌ها را می‌تواند بشنود. بلکه هر بسامدی آستانه‌ی شنوایی و دردناکی خاص خود را دارد.

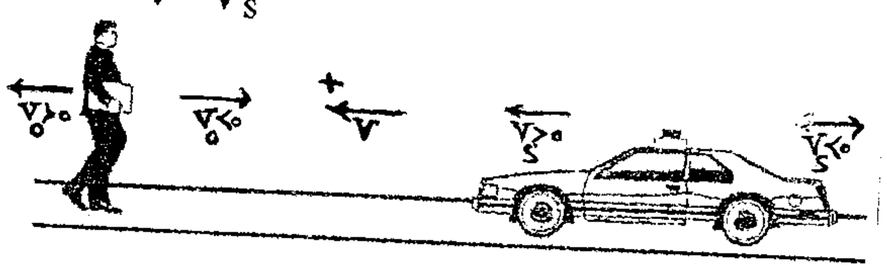
۱۲) اکثر اوقات اختلاف تراز شدت صوت بین دو نقطه مطرح است که در این صورت:

$$\beta_2-\beta_1=10\log\frac{I_2}{I_1}\quad\text{(برحسب بل dB)}\qquad \beta_2-\beta_1=\log\frac{I_2}{I_1}\quad\text{(برحسب بل B)}$$

۱۳) **اثر دوپلر** عبارت است از: تغییر بسامد صوت شنیده شده توسط شنونده در اثر حرکت نسبی با منبع صوت.

هرگاه چشمه‌ی صوت و ناظر هر دو در حرکت باشند، بسامدی که ناظر می‌شنود از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$f_o=\frac{V-V_o}{V-V_s}f_s$$



در این رابطه جهت V، سرعت صوت به طرف ناظر (SO) را مثبت می‌گیریم و V_s و V_o را از روی این علامت مثبت، تعیین علامت می‌کنیم.

طول موج فقط به حرکت **چشمه** وابسته است و اصلاً ربطی به حرکت شخص ندارد. بنابراین در مقایسه‌ی طول موج ($V_o=0$) در نظر گرفته می‌شود. به شرطی که V_s با علامت وارد شود.

$$\frac{f_o}{f_s}=\frac{\lambda_s}{\lambda_o}=\frac{V-0}{V-V_s}\Rightarrow\lambda_o=\frac{V-V_s}{V}\lambda_s$$

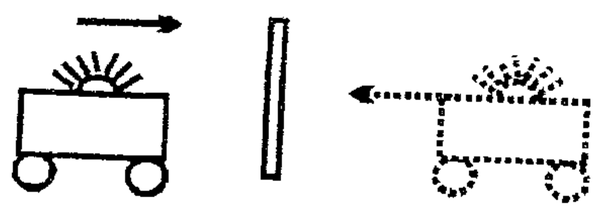
در جلوی منبع داریم: $\lambda_o=\frac{V-V_s}{V}\lambda_s$

در پشت منبع داریم: $\lambda_o=\frac{V+V_s}{V}\lambda_s$

نکته: اگر منبع ساکن باشد طول موج انتشار همواره همان λ_s است و ربطی به سرعت شنونده ندارد.

نکته: ممکن است شخص شنونده همراه با منبع حرکت صوت باشد که در این صورت سرعت منبع و سرعت شخص یکسان است. و لذا $f_o=f_s$ یعنی شنونده همان بسامدی را می‌شنود که چشمه تولید می‌کند.

نکته: در مسئله‌ای که منبع صوت به دیوار نزدیک شود و بازگشت صوت از دیوار مورد سؤال قرار می‌گیرد باید توجه کرد که می‌توان فرض کرد همانند تصویر مجازی در آینه تخت در نقطه مقابل دیوار، منبع در حال نزدیک شدن است.



amin@physicist.net

(امواج الکترومغناطیس)

معادلات ماکسول:

چهار اصل پایه تئوری الکترومغناطیس ماکسول بصورت زیر است :

۱) اگر از یک هادی جریان الکتریسیته عبور کند در اطراف هادی ، میدان مغناطیسی پدید می آید.

۲) براساس قانون فارادی ، تغییر شار مغناطیسی بر حسب زمان در یک مدار بسته ، جریانی را در مدار القا می کند.

۳) میدان الکتریکی متغیر نسبت به زمان سبب ایجاد میدان مغناطیسی می شود (B ← متغیر E)

۴) میدان مغناطیسی متغیر نسبت به زمان سبب ایجاد میدان الکتریکی می شود (E ← متغیر B)

* خصوصیات امواج الکترومغناطیس

۱) امواجی هستند که برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند .

۲) انتشار آنها در حالتی که هیچ ماده ای وجود نداشته باشد یعنی خلاء با بیشترین سرعت ممکن صورت می گیرد . (سرعت نور: $3\times10^{8}\ \frac{m}{s}$ ، $3\times10^{5}\ \frac{km}{s}$)

۳) از نوع امواج عرضی هستند به عبارتی در امواج طولی الکترومغناطیس تشکیل نمی شود.

۴) طیف این امواج یک طیف پیوسته است یعنی تمام طول موج ها در آن یافت می شود.

۵) این امواج با چشم قابل رؤیت نمی باشند (به غیر از نور مرئی که با چشم قابل مشاهده است)

* امواج الکترومغناطیس مجموعه دو میدان نوسانی الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم E و B می باشند یعنی :

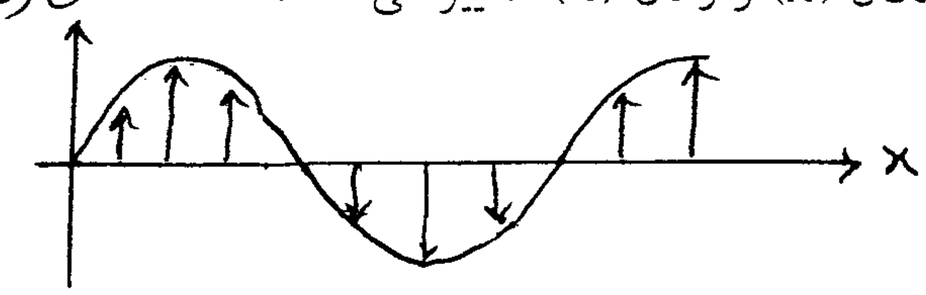
اولاً : راستای میدان الکتریکی بر راستای میدان مغناطیسی عمود است .

ثانیاً : میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی هر دو بر راستای انتشار موج عمود هستند. ← به همین دلیل به این امواج ... می گویند

ثالثاً : این دو میدان الکتریکی و مغناطیسی هم فازند یعنی در هر نقطه هر دو میدان همزمان با هم بیشینه یا کمینه می شوند.(

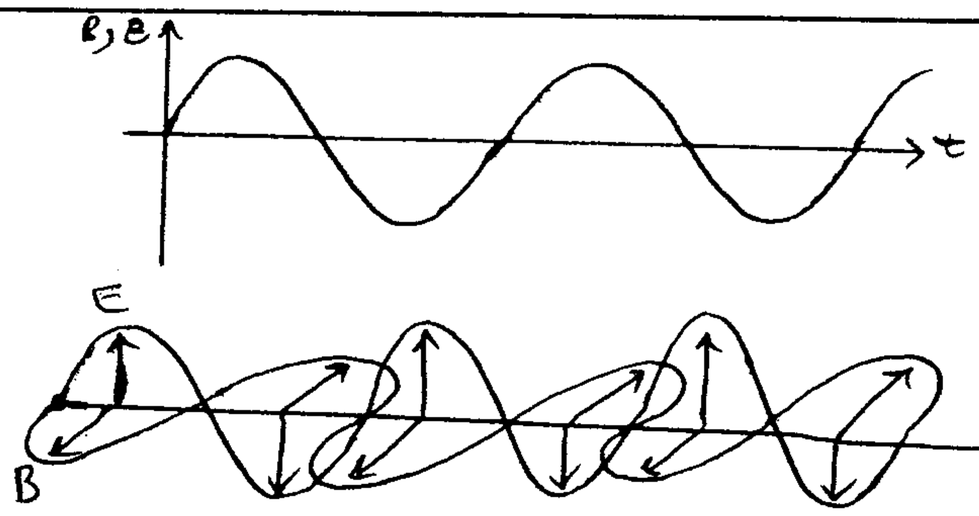
غیر از محیط های فلزی)

Note : موجهای الکترو مغناطیس مانند موجهای مکانیکی در مکان (X) و زمان (t) تغییر می کنند.



- نمودار میدان الکتریکی (مغناطیسی) – مکان یک موج الکترومغناطیسی در امتداد محور X در یک لحظه از زمان

amin@physicist.net



- نمودار میدان الکتریکی (مغناطیسی) – زمان یک موج الکترومغناطیس در یک نقطه از محو X

- نمودار میدان الکترومغناطیس - مکان

قانون دست راست: چهارانگشت دست راست: E
کف دست راست : B
جهت انتشار موج (C) با انگشت شست دست راست.

Note: در موج های مکانیکی ، ذره های تشکیل دهنده محیط نوسان می کنند اما در موج های الکترومغناطیس میدان های الکتریکی و مغناطیسی در هر نقطه از فضا بطور نوسانی تغییر می کنند (متغیر هستند)

* رابطه اصلی امواج الکترومغناطیس

بین طول موج ، بسامد و سرعت این امواج در خلاء رابطه زیر صدق می کند.

طول موج (m)
سرعت نور $(\frac{m}{s})$ ← $c = \lambda . f$ → بسامد (Hz)

Test: طول موج یک موج الکترومغناطیس با بسامد 5×10^{8} MHZ (مگاهرتز)درخلاء چند میکرومتراست (سراسری تجربی ۸۰)

۱) ۶ ۲) ۶۰۰ ۳) ۰/۶ ۴) ۶۰

Note: چند واحد فرعی مهم

$1\mu m = 10^{-6} m$	میکرون
$1nm = 10^{-9} m$	نانو
$1A^{\circ} = 10^{-10} m$	انگستروم

Note: وقتی یک موج الکترومغناطیس از محیطی مانند هوا وارد محیط دیگری مانند شیشه می شود بسامد آن ثابت می ماند بنابراین سرعت و طول موج آن به نسبت مستقیم کاهش می یابد.

$$v = \lambda f \rightarrow \text{ثابت} = f \quad v \propto \lambda \rightarrow \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Test: طول موج یک نور تکرنگ در محیط A با ضریب شکست ۴ برابر ۳۰۰۰ انگستروم است طول موج این نور در محیط B با ضریب شکست ۳ چند میکرون می باشد.

۱) 4×10^{3} ۲) 4×10^{7} ۳) 4×10^{-1} ۴) $\frac{4}{3} \times 10^{7}$

amin@physicist.net

Note: سرعت و طول موج یک موج الکترومغناطیس در محیطی به ضریب شکست n در مقایسه با خلاء بصورت زیر محاسبه می شود.

طول موج خلاء $\lambda = \frac{1}{n}\lambda$ طول موج محیط

سرعت نوردر خلاء $v = \frac{1}{n}c$ سرعت نور در محیط

Test: نوری با بسامد f ، طول موج λ و سرعت c در خلاء حرکت می کند اگر این پرتو وارد محیط شفافی به ضریب شکست n شود در این محیط بسامد، طول موج و سرعت آن به ترتیب از راست به چپ کدامند (سراسری ریاضی ۸۱)

۱) $f, n\lambda, \frac{c}{n}$ ۲) $\frac{f}{n^2}, \frac{\lambda}{n}, \frac{c}{n}$ ۳) $\frac{f}{n}, \lambda, \frac{c}{n}$ ۴) $f, \frac{\lambda}{n}, \frac{c}{n}$

* سرعت انتشار امواج الکترومغناطیس:

در امواج الکترومغناطیس اگر ε_0 ضریب گذردهی خلاء و μ_0 ضریب تراوائی مغناطیسی خلاء باشد سرعت این امواج در خلاء از رابطه زیر حاصل می شود:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \begin{cases} \varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12}\ c^2/Nm^2 \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ Tm/A \end{cases}$$

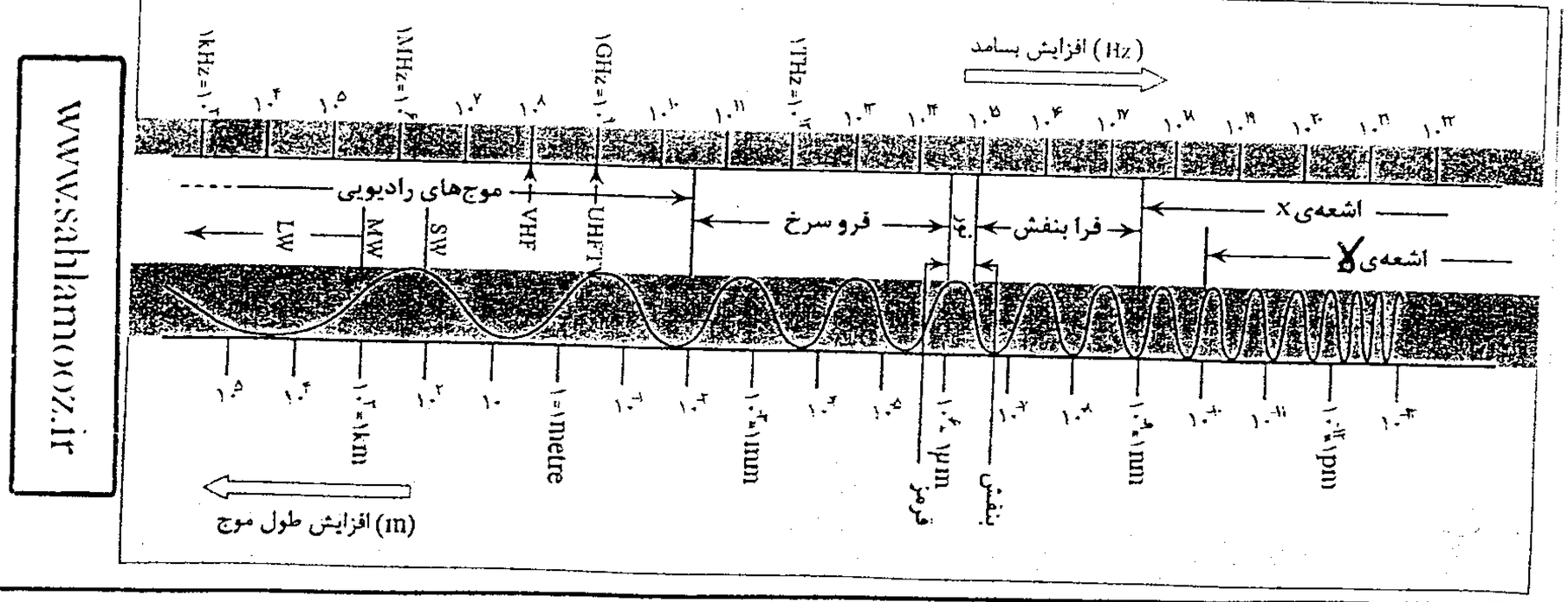
با قرار دادن دو مقدار ε_0 و μ_0 در فرمول مقدار c برابر $3 \times 10^8\ m/s$ حاصل می شود.

Test: ε_0 ضریب گذردهی الکتریکی و μ_0 تراوائی مغناطیسی خلاء است اگر سرعت نور در خلاء برابر $(\mu_0 \varepsilon_0)^k$ باشد . k کدام است (سراسری ریاضی ۸۲)

۱) ۲ ۲) -۲ ۳) $\frac{1}{2}$ ۵) $-\frac{1}{2}$

طیف امواج الکترومغناطیس :

به ترتیب زیر می باشد:



امواج الکترومغناطیسی تشکیل یک طیف پیوسته می‌دهند. یعنی در میان امواج الکترومغناطیس هر طول موجی را می‌توان یافت به شرط آن‌که بین کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج الکترومغناطیسی باشد.

۱) از چپ به راست طول مَوج افزایش می یابد. ۲) از چپ به راست پریود افزایش می یابد.

۳) از چپ به راست بسامد کاهش می یابد. ۴) از چپ به راست انرژی کاهش می یابد.

۵) از چپ به راست سرعت انتشار یکسان است و تغییری نمی نماید.

چند نکته‌ی مهم:

۱- امواج رادیویی خود از چند نوع تشکیل شده‌اند که تعدادی از آن‌ها به ترتیب افزایش طول موج به شرح زیر است:
LW > MW > SW VHF > UHF

۲- امواج نورانی خود از رنگ‌های مختلفی تشکیل شده است که تعدادی از آن‌ها به ترتیب افزایش طول موج به شرح روبه‌رو است:
بنفش < نیلی < آبی < سبز < زرد < نارنجی < قرمز

۳- بلندترین طول موج نور مرئی مربوط به نور قرمز و برابر $\lambda = ۰/۷\ \mu m$ و کوتاه‌ترین طول موج نور مرئی مربوط به نور بنفش و برابر $\lambda = ۰/۴\ \mu m$ است.

۴- محدوده‌ی اشعه‌ی γ و اشعه‌ی x مقداری اشتراک دارد. در این محدوده‌ی مشترک با یک طول موج و بسامد مشخص هم می‌توان اشعه‌ی x یافت هم اشعه‌ی γ. تفاوت در نحوه‌ی تولید آن‌هاست. در فصل بعد می‌خوانید که اشعه‌ی γ از هسته‌ی اتم و اشعه‌ی x از الکترون‌های نزدیک به هسته ساطع می‌شوند.

۵- هرچه بسامد یک موج الکترومغناطیسی بیش‌تر باشد، نفوذپذیری و انرژی آن بیش‌تر خواهد بود.

۶- هرچه طول موج یک موج الکترومغناطیسی بیشتر باشد، دوره‌ی تناوب و سرعت آن در محیط مادی بیش‌تر خواهد بود.

۷- هنگامی که نور از یک محیط به‌طور مایل به محیط دیگری وارد می‌شود شکست پیدا می‌کند. هرچه بسامد نوری بیش‌تر باشد، شکست آن هم بیش‌تر خواهد بود. بنابراین ضریب شکست یک محیط تنها به جنس محیط بستگی ندارد بلکه به بسامد نور نیز ربط دارد. هرچه بسامد نور بیش‌تر باشد سرعت آن در محیط کم‌تر است پس ضریب شکست بیش‌تر خواهد بود $(n = \frac{c}{v})$

Note: هرگاه موجی در یک محیط حرکت نماید سرعت انتشار آن ثابت است (مانند امواج الکترومغناطیس در خلاء)

بنابراین بسامد با طول موج آن رابطه عکس پیدا می نماید.

$$v \text{ ثابت} \quad v = \lambda f \longrightarrow \lambda \propto \frac{1}{f}$$

* نکات مرتبط با نور مرئی:

$$\frac{۱}{\text{پریود}} \propto \frac{۱}{\text{طول موج}} \propto \text{ضریب شکست در منشور} \propto \text{میزان انحراف منشور} \propto \text{انرژی} \propto \text{بسامد}$$

پریود	طول موج	ضریب شکست منشور	انحراف در منشور	انرژی	بسامد	نور
Max	Max	min	min	min	Min	قرمز
...	...	...	...	...	...	بنفش

amin@physicist.net

📖 Test: اگر سرعت انتشار و پریود موج فرو سرخ به ترتیب V_1, T_1 باشد و سرعت انتشار و پریود موج فرابنفش به ترتیب V_2, T_2 باشد کدام مورد صحیح است؟

۱) $T_2 \rangle T_1, V_1 \rangle V_2$

۲) $T_1 \rangle T_2, V_1 \rangle V_2$

۳) $T_2 \rangle T_1, V_1 = V_2$

۴) $T_1 \rangle T_2, V_1 = V_2$

☑ یه جدول خیلی مهم تو کتاب درسی هست در مورد برخی از ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی. پیشنهاد می‌کنم حتماً تا جایی که می‌تونید اونرو خوب بخونید. ازش سؤال زیاد اومده ...

جدول ۲ـ ۱ـ نحوه‌ی تولید، آشکارسازی و کاربرد طیف موج‌های الکترومغناطیس

نام وحدود طول موج	چشمه	وسایل آشکارسازی	بعضی از ویژگی‌های خاص و کاربرد
پرتو گاما (γ) $1Pm = 10^{-12}\ m$	هسته‌ی مواد رادیو اکتیو و پرتوهای کیهانی	شمارش‌گر گایگر- مولر و فیلم عکاسی	فوتون‌های با انرژی بسیار بالا و با قدرت نفوذ بسیار زیاد، خیلی خطرناک کاربرد: بافت‌های سرطانی را از بین می‌برد، برای پیدا کردن ترک در فلزات، برای ضد عفونی کردن تجهیزات و وسایل
پرتوی ایکس (x) $100Pm = 10^{-10}\ m$	لامپ پرتو x	فیلم عکاسی و صفحه‌ی فلوئورسان	فوتون‌های بسیار پرانرژی و با قدرت نفوذ زیاد، خیلی خطرناک کاربرد: استفاده در پرتونگاری، استفاده در مطالعه‌ی ساختار بلورها، معالجه‌ی بیماری‌های پوستی
فرابنفش (uv) $10\ nm = 10^{-8}\ m$	خورشید، جسم‌های خیلی داغ، جرقه‌ی الکتریکی، لامپ بخار جیوه	فیلم عکاسی، فوتوسل	ویژگی‌ها: توسط شیشه جذب می‌شود، سبب بسیاری از واکنش‌های شیمیایی می‌شود، یاخته‌های زنده را از بین می‌برد. کاربرد: لامپ‌های uv در پزشکی
نور مرئی $0/6\mu m = 6\times10^{-7}\ m$ **(سبز)**	خورشید، جسم‌های داغ، لیزرها	چشم، فیلم عکاسی، فوتوسل	ویژگی‌ها: در دیدن اجسام نقش اساسی دارد، برای رشد گیاهان و عمل فتوسنتز نقش حیاتی دارد. کاربرد: درسیستم‌های مخابراتی (لیزر و تارهای نوری) مورد استفاده قرار می‌گیرد.
فرو سرخ (IR) $100\mu m = 10^{-4}\ m$	خورشید، جسم‌های گرم و داغ	فیلم‌های مخصوص عکاسی	ویژگی: هنگامی که جذب می‌شود، پوست را گرم می‌کند. کاربرد: برای گرم کردن، برای فیلم‌برداری و عکاسی در مه و تاریکی، عکاسی IR توسط ماهواره‌ها
رادیویی $3\ m(VHF)$	اجاق‌های مایکروویو، آنتن‌های رادیویی و تلویزیونی	رادیو و تلویزیون	کاربرد: در آشپزی، رادیو، تلویزیون، مخابرات ماهواره‌ای و در رادارها برای آشکار سازی هواپیما، موشک و کشتی

Note: تمامی امواج الکترو مغناطیس بجز امواج رادیوئی در مقابل انواع فیلم عکاسی خود را آشکار می سازند.

Note: چشم فقط امواج الکترو مغناطیس مرئی را می تواند آشکار سازد.

Note مهم: تفاوت ونحوی تشخیص امواج γ از X چیست؟ همانطور که گفتیم نحوه‌ی تولید آنها راهی برای تشخیص آنهاست

amin@physicist.net

• نحوه تولید امواج الکترو مغناطیس

عامل اصلی ایجاد امواج الکترو مغناطیس ذرات .....باردار شتابدار..... هستند .

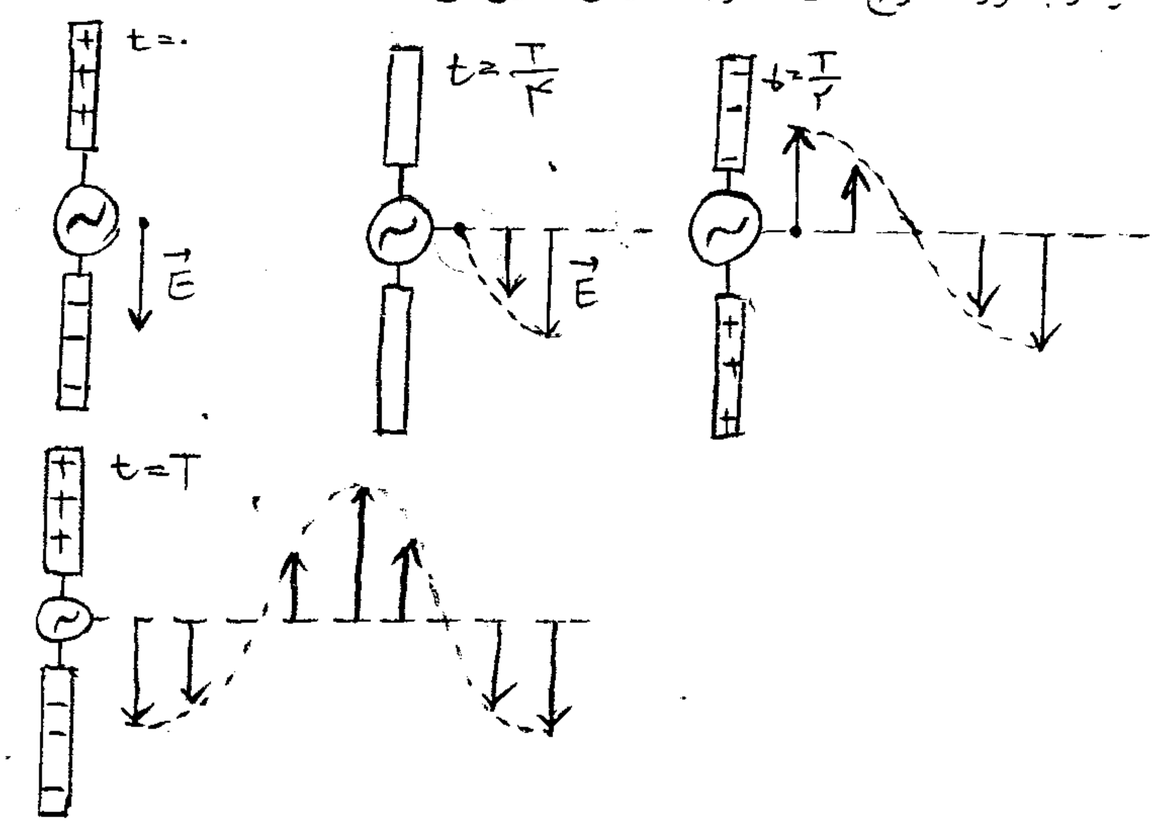
Test : موج های الکترو مغناطیس چه نوعند و کدام ویژگی را دارند .

۱) موج های طولی ، حامل بار الکتریکی نیستند ۲) موج های عرضی ، حامل بار الکتریکی نیستند

۳) موج های عرضی ، حامل بار الکتریکی می باشند ۴) موج های طولی ، حامل بار الکتریکی می باشند .

پاسخ : امواج الکترومغناطیسی از ذرات باردار شتابدار بوجود آمده و حامل بار الکتریکی نیستند

Note: وقتی ذره بارداری شتابدار می شود بخشی از انرژی خود را بصورت موج های الکترومغناطیس گسیل می کند.



(تشکیل موج های الکترومغناطیس توسط آنتن)

در آنتن یک منبع ولتاژ متناوب (AC) برای ایجاد نوسان بار الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد در نتیجه ذرات شتابدار می شوند.

ولتاژ خروجی این مولد سینوسی است در نتیجه بار روی میله دائما تغییر می کند .

۱) در لحظه $t=0$ بار روی میله بالائی بیشینه.و مثبت و روی میله پائینی بیشینه و منفی است (جهت میدان بطرف پائین)

۲) در لحظه $t=T/4$ میدان صفر می شود زیرا بارها کاهش می یابند .

۳) در لحظه $t=T/2$ مجددا بارها زیاد شده و بیشینه شده و جای آنها عوض می شود (جهت میدان عوض شده و به طرف بالا) و غیره

۴) تغییر بارهای الکتریکی در میله ها سبب ایجاد جریان الکتریکی در میله ها می شود .

۵) در اثر این جریان یک میدان مقناطیسی در اطراف میله تولید می شود که بر میدان الکتریکی عمود است .

۶) با گسترش این دو در میدان E ، B عمود بر هم امواج الکترو مغناطیس حاصل می شود .

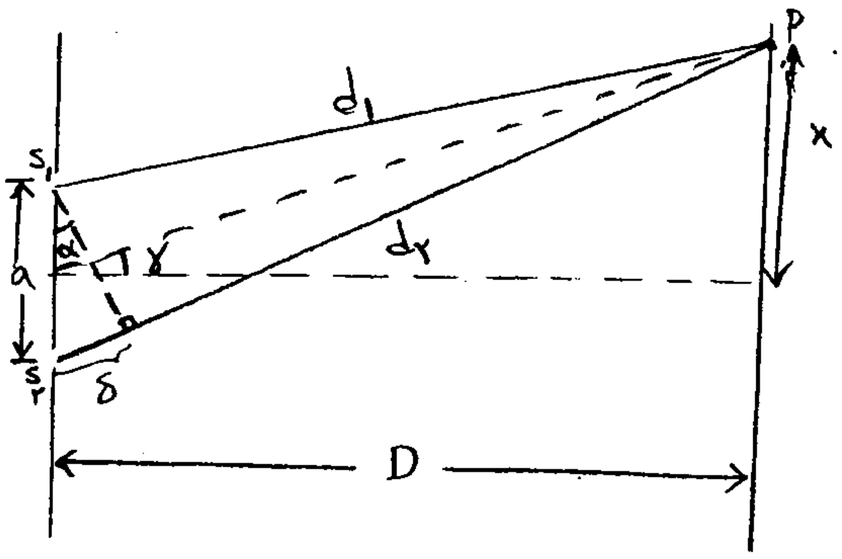
• شرط تداخل امواج نورانی

امواج هم فاز و هم بسامد نور می توانند عمل تداخل را انجام دهند . چون در نور عملا نمی توانیم دو منبع نوری هم فاز و هم بسامد داشته باشیم جلوی یک منبع نوری دو شکاف باریک ایجاد می کنیم نور منبع پس نور از صفحه شکافها به دو منبع نوری هم فاز و هم بسامد مبدل می شود که می توانند عمل تداخل را انجام دهند (مثل آزمایش یانگ)

amin@physicist.net

• آزمایش یانگ

اگر پرده ای در مقابل صفحه شکافها قرار دهیم نوارهای تداخلی تاریک و روشن بر روی پرده مشاهده می شود . نوار مرکزی مقابل صفحه دو شکاف سفید بوده . و بنام نوار روشن مرکزی خوانده می شود .



فاصله دو شکاف ← a فاصله پرده تا صفحه دو شکاف ← D

طول موج نور آزمایش ← λ شماره نوار روشن یا تاریک ← n یا m

فاصله نوار روشن یا تاریک تا نوار مرکزی ← x

۱- **نوار های روشن** : این نوارها در محل هائی تشکیل می شوند که اختلاف راهشان تا دو منبع نوری مضرب زوج (مضرب صحیح $\frac{n}{2}$) است و دو نوری که در این نقاط بهم می رسند اثر سازنده روی یکدیگر دارند . $\delta = 2n\frac{\lambda}{2}$

۲) **نوارهای تاریک** : این نوارها در محل هایی تشکیل می شوند که اختلاف راهشان تا دو منبع نوری مضرب فرد $\frac{\lambda}{2}$ است و دو نوری که در این نقاط بهم می رسند اثرو یرانگر روی یکدیگر دارند . $\delta = (2m-1)\frac{\lambda}{2}$

• رابطه پایه در آزمایش یانگ

$tg\alpha = tg\gamma$

$\Rightarrow \sin\alpha = tg\gamma \rightarrow \frac{\delta}{a} = \frac{x}{D} \rightarrow x = \frac{D}{a}\delta$

$tg\alpha = \sin\alpha$: ازآنجایی چون α کوچک

$\delta = \begin{cases} n\lambda & \text{روشن} \quad n=0,1,2,\dots \\ (2m-1)\frac{\lambda}{2} & \text{تاریک} \quad m=1,2,\dots \end{cases}$

نوار روشن :
- اختلاف راه دو موج : $\delta = 2n\frac{\lambda}{2} = n\lambda$
- اختلاف زمان دو موج : $\Delta t = 2n\frac{T}{2} = nT$
- اختلاف فاز دو موج : $\Delta\phi = 2n\pi$

فرمول : $\lambda = \frac{ax}{n d} = \text{عکس نادر}$

نوار تاریک :
- اختلاف راه دو موج : $\delta = (2m-1)\frac{\lambda}{2}$
- اختلاف زمان دو موج : $\Delta t = (2m-1)\frac{T}{2}$
- اختلاف فاز دو موج : $\Delta\phi = (2m-1)\pi$

فرمول : $\lambda = \frac{ax}{(m-0/5)D}$

amin@physicist.net

Test : اختلاف راه دو پرتو نوری که در آزمایش دو شکاف یانگ به یک نقطه رسیده اند ۳ برابر طول موج است این پرتو ..... نوار ..... است .

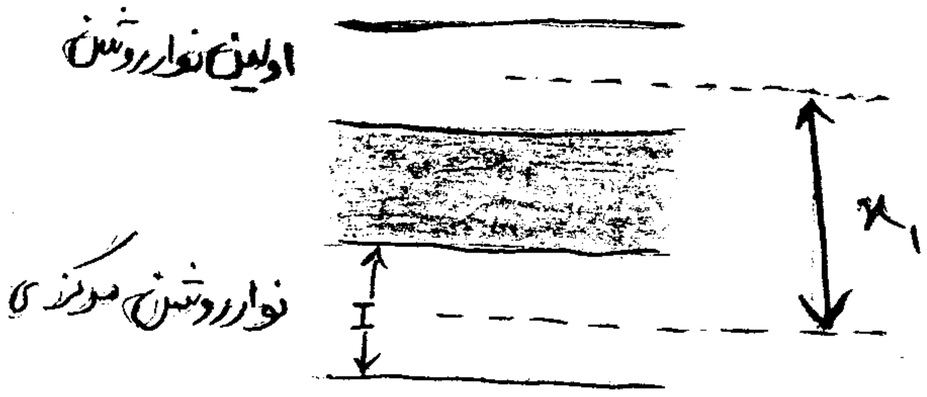
۱) سومین – تاریک ۲) دومین – تاریک ۳) چهارمین – روشن ۴) سومین – روشن

Test : در آزمایش یانگ طول موج نور مورد آزمایش ۴۰۰ نانومتر است اختلاف زمان رسیدن دو پرتو نور به محل نوار روشن سوم چند ثانیه است :

۱) 4×10^{-6} ۲) 4×10^{-12} ۳) 4×10^{-15} ۴) 2×10^{-15}

• فاصله دو نوار متوالی از یکدیگر

اگر در فرمول نوار روشن بجای $n=1$ قرار دهیم x_1 بدست می‌آید که به ۳ عنوان خوانده می شود :



x_1 ——— فاصله اولین نوار روشن تا نوار مرکزی
فاصله دو نوار روشن متوالی
فاصله دو نوار تاریک متوالی

$$\lambda = \frac{an}{nD} \rightarrow \quad \lambda = \frac{ax_1}{1\times D} \rightarrow x_1 = \frac{\lambda D}{a}$$

* عرض دو نوار تداخلی (I)

۱) در آزمایش یانگ عرض تمامی نوارهای تاریک و تمامی نوارهای روشن با یکدیگر برابر است .

۲) عرض هر نوار (I) برابر نصف مقدار x_1 می باشد .

$$I = \frac{x_1}{2} \Rightarrow I = \frac{\lambda D}{2a}$$

ارتباطات:
*۱ عرض هر نوار تداخلی با طول موج رابطه مستقیم دارد . $I \propto \lambda$
*۲ عرض هر نوار تداخلی با فاصله پرده از شکاف رابطه مستقیم دارد . $I \propto D$
*۳ عرض هر نوار تداخلی با فاصله دو شکاف رابطه عکس دارد. $I \propto \frac{1}{a}$

$$\boxed{\frac{I'}{I} = \frac{\lambda'}{\lambda} \times \frac{D'}{D} \times \frac{a}{a'}}$$

Note: اگر آزمایش یانگ را یکبار با نور قرمز و بار دیگر با نور بنفش انجام دهیم عرض نوار تداخلی با نور ..... بیشتر است . (چون طول موج نور قرمز نسبت به بنفش بیشتر می باشد)

Note: چون ضریب شکست هر محیطی از هوا بزرگتر است ($n>1$) اگر آزمایش یانگ را غیر از هوا در محیط دیگری انجام دهیم عرض نوارها ..... می شود مثلاً اگر آزمایش در آب به ضریب شکست $\frac{4}{3}$ انجام شود عرض هر نوار $\frac{3}{4}$ برابر می شود.

* فاصله دو نوار از یکدیگر

گر در تست فاصله دو نوار معین از یکدیگر را بخواهند ابتدا با توجه به روشن یا تاریک بودن نوار و شماره آن فاصله هر نوار را

ا نوار مرکزی محاسبه و سپس :

۱) اگر دو نوار در یک طرف نوار مرکزی قرار داشته باشند تفاضل این دو فاصله را محاسبه می کنیم

$$\Delta x = |x_1 - x_2|$$

۲) اگر دو نوار در طرفین نوار مرکزی باشند ،مجموع این دو فاصله را محاسبه می کنیم.

$$\Delta x = x_1 + x_2$$

مثال: در سوال مطرح شده در بالا مطلوبست: ← منظورم همون معنی قبل!

الف) فاصله نوار روشن سوم از یک طرف نوار مرکزی تا نوار روشن هفتم از طرف دیگر نوار مرکزی

ب) فاصله نوار روشن سوم از یک طرف نوار مرکزی تا نوار تاریک هشتم از همان طرف نوار مرکزی

Test: در آزمایش یانگ طول موج نور مورد آزمایش ۶۰۰۰ انگستروم و فاصله نوار روشن دهم تا نوار مرکزی ۱۲ میلیمتر

ست اگر این آزمایش عیناً با نوری بطول موج ۴۰۰۰ انگستروم انجام شود عرض نوار تداخلی چقدر می شود.

۱) ۰/۶mm ۲) ۲mm ۳) ۰/۴mm ۴) ۰/۳mm

Note: هنگامی که آزمایش یانگ با دو نور مختلف انجام شود و دو نوار معینی از این دو نور بر روی پرده بر یکدیگر منطبق شوند در این صورت هر دو نوار تا نوار روشن مرکزی فاصله مساوی دارند و ۳ حالت پیش می آید: $x_1 = x_2$

۱) شرط آنکه نوار روشن n ام نور اول بر نوار روشن n' ام نور دوم منطبق شود: $n\lambda = n'\lambda' \rightarrow \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{n'}{n}$

۲) شرط آنکه نوار تاریک m ام نور اول بر نوار تاریک m' ام نور دوم منطبق شود: $\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{m' - 0/5}{m - 0/5}$ ← $(2m-1)\frac{\lambda}{2} = (2m'-1)\frac{\lambda'}{2}$

۳) شرط آنکه نوار روشن n ام نور اول بر نوار تاریک m ام نور دوم منطبق شود: $\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{m - 0/5}{n}$

مثال: آزمایش یانگ را با دو نور به طول موج های λ و λ' انجام داده ایم مشاهده نمودیم که پنجمین نوار روشن نور اول بر هشتمین نوار تاریک نور دوم منطبق شده است نسبت λ به λ' چقدر است.

amin@physicist.net

Note☜ : ۱) آزمایش یانگ همواره باید با یک پرتو تک رنگ انجام شود.

۲) اگر در آزمایش یانگ از نور سفید استفاده شود در محلی که برای یک رنگ نور

نوار روشن داریم برای رنگ دیگر نوار تاریک ممکن است داشته باشیم و همین

موجب بی نظمی می شود. (امّا نوار روشن مرکزی تغییری نخواهد کرد.)

* فاصله n نوار متوالی از یکدیگر

۱) فاصله n نوار متوالی از یکدیگر برابر $(n-1)\lambda$ می باشد.

۲) فاصله n نوار روشن متوالی از یکدیگر یا n نوار تاریک متوالی از یکدیگر برابر $\frac{(n-1)\lambda}{2}(n-1)$ می باشد.

مثال : در آزمایش یانگ فاصله دو شکاف نورانی از یکدیگر برابر ۲mm و فاصله پرده از دو شکاف برابر ۱m است اگر

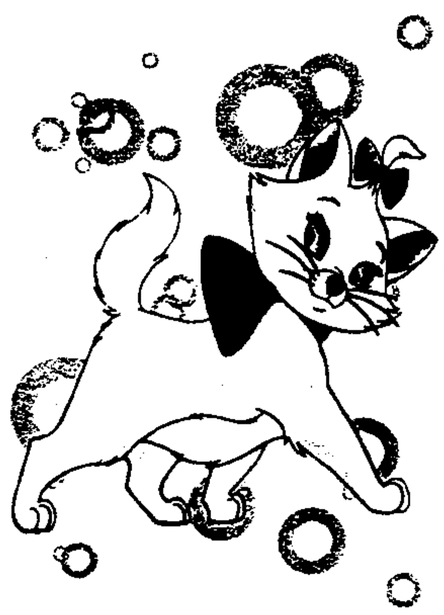
طول موج نور مورد آزمایش برابر $6000A^{\circ}$ باشد به سوالات زیر پاسخ دهید.

a) فاصله چهار نوار متوالی را از یکدیگر ۱) ۰/۹mm ۲) ۰/۴۵mm ۳) ۰/۱۵mm ۴) ۰/۳mm

b) فاصله چهار نوار تاریک متوالی از یکدیگر ۱) ۰/۹mm ۲) ۰/۴۵mm ۳) ۰/۱۵mm ۴) ۰/۶mm

c) اگر پهنای هر نوار در هوا ۰/۴mm باشد فاصله ۳ نوار متوالی از یکدیگر چقدر است ($n_{آب}=\frac{4}{3}$)

۱) ۰/۹mm ۲) ۰/۴mm ۳) ۰/۶mm ۴) ۱/۲mm



amin@physicist.net

۱) فیزیک نوین: مجموعه قانون‌ها و نظریه‌هایی که به توجیه پدیده‌هایی می‌پردازد که با فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست.

شالوده‌ی فیزیک نوین:
۱) نسبیت: مربوط به مطالعه‌ی پدیده‌ها در سرعت‌های بسیار زیاد و نزدیک به سرعت نور است.
۲) کوانتوم: مربوط به مطالعه‌ی پدیده‌ها در مقیاس‌های بسیار کوچک مثل مولکول‌ها، اتم‌ها و ذره‌های ریزی که اتم‌ها را می‌سازند.

۲) تابش از سطح اجسام: از سطح همه‌ی اجسام در هر دمائی موج‌های الکترومغناطیسی گسیل می‌شود. گسیل موج‌ها الکترومغناطیسی از سطح جسم‌ها را تابش گرمایی نیز می‌نامند.

* اگر بین طول موج‌هایی که در یک طیف وجود دارد فاصله‌ای نباشد آن طیف را پیوسته گویند. (مثل طیف نور سفید عبور داده شده از منشور)
* هنگامی که یک جسم گرم می‌شود خواص امواج ساطع شده توسط آن نیز تغییر می‌کند.
* تابش گسیل شده از هر جسم به دمای آن و برخی از خصوصیت‌های سطح آن بستگی دارد و در آن همه‌ی طول موج‌ها از فروسرخ و مرئی و فرابنفش به صورت یک طیف پیوسته وجود دارد.
* در دمای اتاق بیشتر تابش گسیل شده دارای طول موج‌هایی در ناحیه‌ی فروسرخ است که ما با چشم نمی‌بینیم و فقط گرمای آن را حس می‌کنیم. و با بالا رفتن دما این طول موج‌ها کوتاه‌تر شده و جسم بیشتر نور مرئی از خود گسیل می‌کند.
* هر جسم بخشی از انرژی تابشی فرودی بر سطح خود را جذب می‌کند و بقیه را یا بازمی‌تاباند و یا از خود عبور می‌دهد.

۳) ضریب جذب: نسبت مقدار انرژی تابشی جذب شده توسط هر جسم به انرژی تابش فرودی را ضریب جذب آن جسم می‌نامند و آن را با a_λ نشان می‌دهند.

$$a_\lambda = \frac{\text{انرژی تابشی جذب شده با طول موج } \lambda}{\text{انرژی تابشی فرودی با طول موج } \lambda}$$

نکته: ضریب جذب هر جسم به خصوصیات سطح آن جسم بستگی دارد و مقدار آن برای طول موج‌های متفاوت یکسان نیست.

نکته: همواره $0 \le a_\lambda \le 1$ که بهترین جذب کننده جسمی است که تمام تابش فرودی را جذب کند و برای آن $a_\lambda = 1$ می‌باشد.

۴) جسم سیاه: جسمی که بتواند همه‌ی طول موج‌های تابش فرودی را به طور کامل جذب کند و برای همه‌ی طول موج‌ها $a_\lambda = 1$ باشد.

شدت تابشی یک جسم: مقدار کل انرژی موج‌های الکترومغناطیسی‌ای که در بازه‌ی زمانی یک ثانیه از واحد سطح آن جسم گسیل می‌شود و این انرژی هم به دما و هم به ویژگی‌های سطح آن جسم بستگی دارد.

نکته: هر چه ضریب جذب یک جسم بالاتر باشد، تابندگی آن بیش‌تر خواهد بود. بنابراین جسم سیاه دارای بالاترین شدت تابشی در هر دما است.

نکته: (جسم سیاه بهترین گسیل کننده موج‌های الکترومغناطیس و همچنین بهترین جذب کننده‌ی این امواج است).

نکته: جسم سیاه با جسم‌های به رنگ سیاه فرق دارند. جسم‌های به رنگ سیاه همه‌ی ***نور مرئی‌ای*** را که بر آنها می‌تابد، جذب می‌کنند. پس هر جسم سیاه رنگ الزاماً جسم سیاه نیست، چون ممکن است ضریب جذب آن برای طول موج‌های غیرمرئی کمتر از یک باشد.

* برای ایجاد جسم سیاه، در سطح یک جسم توخالی سوراخ ریزی ایجاد می‌کنند. سطح این سوراخ با تقریب بسیار خوبی ویژگی جسم سیاه را دارد، یعنی همه‌ی تابش فرودی را جذب می‌کند و پرتو ورودی به آن، شانسی برای خروج از آن ندارد و در هر فرود بر دیواره‌های درونی کاواک (فضای درونی جسم توخالی) بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهد.

۵) تابندگی جسم سیاه:

* مقدار تابش گسیل شده را تابندگی گویند. تابندگی یک جسم در هر طول موج برابر است با مقدار انرژی موج‌های الکترومغناطیسی با طول موج‌های مشخص λ در واحد زمان از واحد سطح جسم گسیل می‌شود.

هر چه دمای جسم بالاتر باشد، بیشینه‌ی منحنی، یعنی طول موجی که با بیش‌ترین تابندگی گسیل می‌شود، به طرف طول موج‌های کوتاه‌تر می‌رود، علاوه بر این شدت تابشی کل گسیل شده نیز با افزایش دما، بیش‌تر می‌شود. (مساحت زیر سطح نمودار برای هر دما برابر است با شدت تابشی)

* یک جمله‌ی غلط: هرچه دما بالاتر باشد، تابندگی بیشتر است. (چون به طول موج هم بستگی دارد)

* یک جمله‌ی درست: هرچه دما بالاتر می‌رود شدت تابش بیشتر می‌شود. (چون مساحت زیر نمودار افزایش می‌یابد)

نکته: با افزایش دمای جسم، طول موج مربوط به بیشترین مقدار تابندگی توسط جسم از مادون قرمز به سمت فرابنفش جابجا می‌شود.

شدت تابشی : R

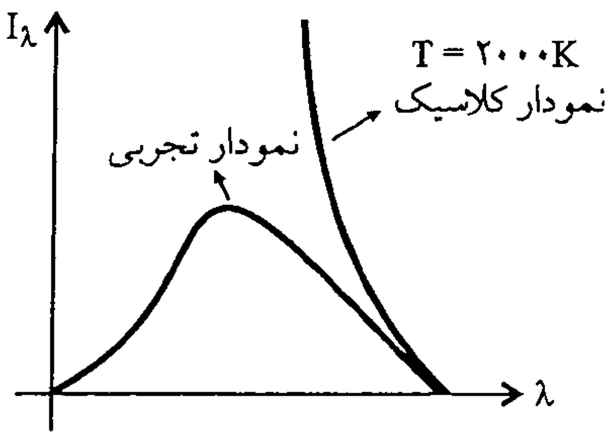
تابندگی در هر طول موج : I_λ

$$\text{مساحت } S = \int I_\lambda \, d\lambda = R$$

۶) ناتوانی فیزیک کلاسیک:

* حرکت شتابدار ذرات باردار منجر به گسیل موج الکترومغناطیسی در فضا می‌شود. تابش گرمایی از سطح یک جسم نیز از نوسان‌های ذره‌های بارداری که درون جسم و در نزدیکی سطح آن واقع‌اند، سرچشمه می‌گیرد.

* فیزیکدانان با به کار بردن قانون‌ها و مفهوم‌های فیزیک کلاسیک (مثل مورد فوق) نتوانستند منحنی‌های تجربی را توجیه کنند.



محاسبات کلاسیک پیش‌بینی می‌کند که مقدار انرژی تابشی گسیل شده با طول موج کوتاه باید نامتناهی باشد، در حالی که نمودار تجربی محدود بودن این مقدار را نشان می‌دهد.

* یک مورد ناسازگاری دیگر آن‌که، با توجه به محاسبات کلاسیک منحنی تابندگی برحسب طول موج هیچ مقدار بیشینه‌ای ندارد (دارای اکسترمم نیست) ولی همان‌طور که منحنی تجربی نشان می‌دهد، این منحنی یک مقدار بیشینه دارد.

* پلانک با ارائه‌ی نظریه‌ی کوانتومی خود درباره‌ی تابش توانست نتیجه‌های تجربی به دست آمده را توجیه کند.

اساس نظریه‌ی پلانک بر این فرض استوار بود که انرژی تابشی جسم کوانتومی است.

۷) کمیت کوانتومی:

تعداد کوانتوم (عدد کوانتوم)

کمیت کوانتوم ← $q = ne$ → پایه کوانتوم (q برحسب e کوانتیده است)

کمیت‌های فیزیکی:
۱) گسسته (کوانتومی): [بار یک ذره، تعداد دانش‌آموزان، تعداد سکه‌های تلفن و ...] تنها می‌توانند مقدارهای خاصی را اختیار کنند. کمترین مقدار یک کمیت کوانتومی را مقدار پایه یا «کوانتوم» آن کمیت می‌خوانند.
۲) پیوسته (قد افراد، انرژی، مساحت یک زمین، حجم یک ظرف): هر مقداری را می‌تواند اختیار کند.

۸) نظریه پلانک درباره‌ی تابش: $h\nu$ کوانتوم انرژی تابشی است که در آن $h = ۶/۶۳ \times ۱۰^{-۳۴}\ Js$ ثابت پلانک است. و ν بسامد موج گسیل شده است. n عدد کوانتومی و برابر تعداد فوتون تابشی است.

* انرژی که جسم به صورت موج‌های الکترومغناطیسی گسیل می‌کند، همواره مضرب درستی از یک مقدار پایه است و این مقدار پایه به بسامد موج الکترومغناطیسی بستگی دارد. انرژی یک موج الکترومغناطیسی با بسامد ν برابر است با: $E = nh\nu$

* در این رابطه به جای $\nu = \frac{C}{\lambda}$ هم می‌توان قرار داد.

$$E = nh\frac{C}{\lambda}$$

* نتیجه آن‌که، چون انرژی‌ای که یک الکترون در اتم می‌تواند جذب یا گسیل کند کوانتومی است، پس الکترون در گسیل یا جذب انرژی نمی‌تواند هر مقداری را گسیل یا جذب کند. یعنی انرژی گسیل شده یا جذب شده توسط الکترون گسسته است.

۹) الکترون ولت: یک الکترون ولت برابر تغییر مقدار انرژی یک الکترون تحت ولتاژ یک ولت است. حال آن‌که یک ژول تغییر مقدار انرژی بار الکتریکی یک کولن تحت ولتاژ یک ولت است.

انرژی	بار
۱ j	۱ C
؟	$۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$

$$\Rightarrow\ ? = ۱\ eV = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ j$$

amin@physicist.net

* ثابت پلانک برحسب eV.s برابر است با:

۱ eV.s	$۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ j.s
؟	$۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}$ j.s

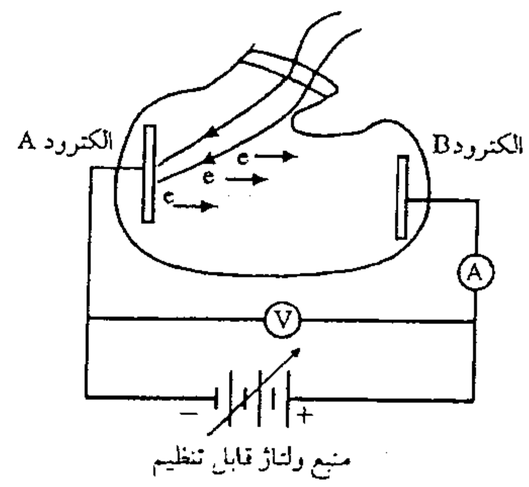
$\Rightarrow ؟ = ۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}$ eV.s

مثال: کوانتوم رنگ معینی از نور مرئی، برابر ۵×۱۰^{-۱۹} j است. رنگ این نور را مشخص کنید.

حل: نور بنفش

$E=h\nu \Rightarrow ۵\times۱۰^{-۱۹}=۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\times\nu \Rightarrow \nu = ۷/۵\times۱۰^{۱۴}$ Hz

۱۰) پدیده‌ی فوتوالکتریک: هرتز مشاهده کرد که وقتی نوری با طول موج بسیار کوتاه (مثلاً نور فرابنفش) به کلاهک فلزی یک الکتروسکوپ باردار منفی می‌تابد، باعث تخلیه‌ی الکتروسکوپ می‌شود.

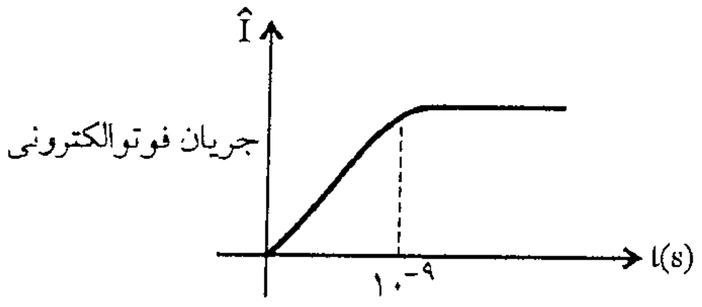


این تخلیه‌ی الکتریکی، به دلیل جداشدن الکترون‌ها از سطح کلاهک فلزی روی داده است.

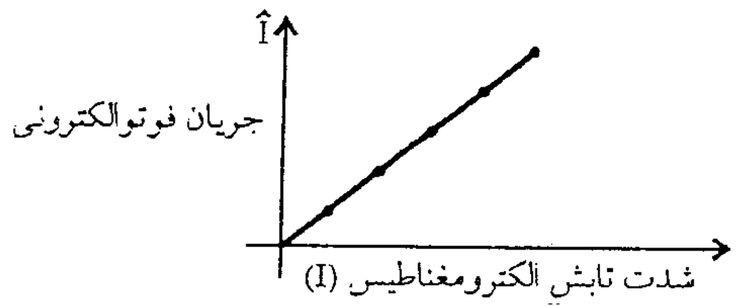
جداکردن الکترون‌ها از سطح یک فلز توسط تاباندن نور بر آن را پدیده‌ی فوتوالکتریک و الکترون‌های گسیل شده از سطح فلز را فوتوالکترون می‌نامند.

در دستگاه مقابل، اگر نوری بر الکترود A نتابد هر قدر هم که ولتاژ بالا باشد، جریانی در مدار مشاهده نمی‌شود. ولی هنگامی که نوری با بسامد مناسب به الکترود A بتابد جریان در مدار برقرار می‌شود.

تاباندن نور باعث جداشدن فوتوالکترون‌ها از سطح الکترود A و گسیل آن‌ها شده است. اگر این الکترون‌ها انرژی جنبشی کافی را داشته باشند، به الکترود B می‌رسند و جریان برقرار می‌شود.



نکته: جریان فوتوالکترونی در زمانی بسیار کوتاه برقرار می‌شود که فیزیک کلاسیک قادر به توجیه آن نیست.



نکته: با افزایش تعداد فوتون‌ها (افزایش شدت تابش الکترومغناطیس) جریان فوتوالکتریکی افزایش می‌یابد.

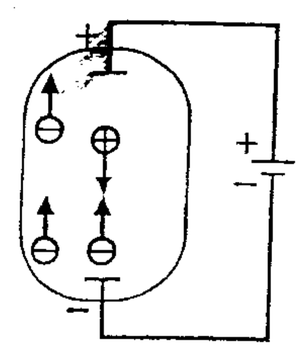
اگر $h\nu$ از $w_۰$ کوچکتر باشد، هیچ الکترونی از فلز خارج نمی‌شود.

۱۱) طیف نمایی: در این بحث طیف گسیل شده از اتم‌ها را که بر مبنای فیزیک کلاسیک قابل تعبیر نیست، بیان می‌کنیم.

نیوتون برای نخستین بار با گذراندن نور خورشید از منشور «طیف نور سفید» را تشکیل داد. نیوتون نشان داد که نور سفید آمیزه‌ای از رنگ‌های مختلف است. اکنون می‌دانیم نور سفید از طول موج‌های مختلف ($۰/۴\ \mu m$ مربوط به نور بنفش تا $۰/۷\ \mu m$ مربوط به نور قرمز) تشکیل شده است و طیف آن یک طیف پیوسته است.

۱۲) طیف اتمی:

* دیدیم که تابش گرمایی که از سطح جسم جامد گسیل می‌شود، دارای طیف پیوسته است.
* نوع دیگری از تابش، تابش توسط لامپ‌های حاوی بخار بسیار رقیق عنصرها است.
* این لامپ به صورت لوله‌های باریک شیشه‌ای هستند که درون آن‌ها یک گاز رقیق در فشار کم وجود دارد و الکترود آند و کاتد در دو انتهای لوله قرار دارند. اگر بین این دو الکترود ولتاژ بالایی برقرار شود، اتم‌های گاز درون لامپ شروع به گسیل نور می‌کنند.



amin@physicist.net

* نوری که از لامپ‌های حاوی بخار عنصرهای متفاوت گسیل می‌شود، با یکدیگر متفاوت‌اند.
* طیف اتمی جیوه، خط‌هایی در ناحیه فرابنفش دارد و یک لامپ بخار جیوه مقدار زیادی نور فرابنفش نیز گسیل می‌کند.
* درون لامپ‌های فلورسان (مهتابی) بخار جیوه وجود دارد اما دیواره‌ی درونی این لامپ‌ها با پوشش نازکی از یک ماده‌ی شیری رنگ (مخلوطی از بورات کادمیوم، سیلیکات روی و تنگستات کلسیم) پوشانده شده است و این ماده طوری است که اگر نور تکفام در ناحیه‌ی فرابنفش بر آن بتابد، از خود نور سفید گسیل می‌کند.
* طیف نور گسیل شده از بخارهای عناصر به صورت زمینه تاریک و چند خط روشن است که این خطوط برای هر عنصر منحصر به فرد و معرف آن عنصر است.
* طیف اتمی حاصل از نور گسیل شده از بخار عنصرها را طیف گسیلی (نشری) آن اتم‌ها گویند.

۱۳) طیف جذبی: اگر نور سفید را از داخل بخار یک عنصر عبور دهیم، در نور سفید خطوط تاریکی ایجاد می‌شود. که این خطوط همان طول موج‌هایی را دارند که در طیف اتمی بخار عنصر تابش می‌کند.

نکته: طیف جذبی و طیف اتمی یک عنصر مکمل یکدیگر هستند.

نکته: طیف نور خورشید یک طیف جذبی است چراکه عناصر اطراف جو خورشید بعضی از خطوط (خطوط فرانهوفر) را حذف کرده‌اند.

مطالعه‌ی طیف‌های گسیلی و جذبی عنصرهای مختلف نشان می‌دهد که:
۱) هم در طیف گسیلی و هم در طیف جذبی هر عنصر طول موج‌های معینی وجود دارد که از ویژگی‌های مشخصه‌ی آن عنصر است. یعنی طیف‌های گسیلی و جذبی هیچ دو عنصری مثل هم نیست. (مثل اثر انگشت افراد می‌تواند برای شناسایی اتم‌ها به کار رود)
۲) اتم هر عنصر دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کند، که اگر دمای آن به اندازه‌ی کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگری برانگیخته شود، آن‌ها را تابش می‌کند.

* تهیه و بررسی طیف‌های گسیلی و جذبی را طیف نمایی می‌نامند.

۱۴) درک سازوکار جذب و گسیل نور به وسیله اتم‌ها از دیدگاه کلاسیک ساده است، زیرا بنابر نظریه‌ی کلاسیکی، یک اتم در صورتی نور گسیل می‌کند که به طریقی (مانند بالا بردن دما، برخورد با سایر اتم‌ها یا توسط میدان‌های الکتریکی) به الکترون‌های آن انرژی داده شود، در نتیجه الکترون‌ها با به دست آوردن انرژی ارتعاش می‌کنند و موج‌های الکترومغناطیسی به وجود می‌آید و نور گسیل می‌کنند امّا فیزیک کلاسیک در خصوص طیف اتمی نمی‌تواند موارد زیر را توجیه کند:
الف) چرا اتم‌های همه عناصر، امواج با طول موج یکسان گسیل نمی‌کنند؟
ب) چرا هر عنصر طول موج خاص خود را دارد؟
در مورد جذب نور هم، از دیدگاه کلاسیک، می‌توان گفت که وقتی نور به یک اتم می‌تابد، نوسان میدان الکتریکی ناشی از نور فرودی، باعث می‌شود که الکترون‌های اتم شروع به ارتعاش کنند و نور فرودی را جذب کنند. ولی فیزیک کلاسیک در خصوص طیف جذبی نمی‌تواند توجیه کند که؛ چرا هر عنصر تنها طول موج‌های خاص را از نور سفید جذب می‌کند و بقیه طول موج‌ها را جذب نمی‌کند.

۱۵) رابطه ریدبرگ ـ بالمر: اگر در اتم هیدروژن، الکترونی از تراز بالاتر n (تراز مبدأ) به تراز پائین‌تر n' (تراز مقصد) بیاید، آن گاه انرژی خود را به شکل فوتون آزاد می‌کند که طول موج تابش شده برابر است با:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

(R_H ثابت ریدبرگ برای اتم هیدروژن و برابر $\frac{1}{100}\,nm^{-1}$)

* منظور از رشته یا سری تمام طول موج‌هایی است که از مبدأهای متفاوت بر مقصد خاصی ختم می‌شوند.

نکته: هر چه تراز n بالاتر و n' پایین‌تر باشد (اختلاف n و n' زیاد باشد) آن گاه طول موج گسیل شده کوچک‌تر و بسامد آن بیش‌تر است و در نتیجه انرژی موج گسیل شده بیش‌تر خواهد بود.

* فقط رشته‌ی بالمر قابل دیدن است.

amin@physicist.net

نام رشته	مقدار n' (تراز مقصد)	رابطه‌ی ریدبرگ مربوط	مقدارهای n (تراز مبدأ)	گستره‌ی طول موج
لیمان	۱	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=2,3,4,...$	فرابنفش
بالمر	۲	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=3,4,5,...$	فرابنفش و مرئی
پاشن	۳	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=4,5,6,...$	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=5,6,7,...$	فروسرخ
پفوند	۵	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=6,7,8,...$	فروسرخ

افزایش طول موج

کاهش طول موج

مثال: کمترین بسامد گسیل شده در رشته‌ی براکت چند برابر کمترین بسامد گسیل شده در رشته پفوند است؟

حل:

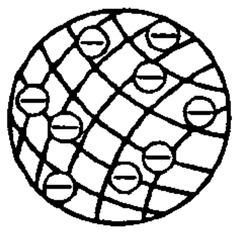
$$\frac{\nu_{\min}\ \text{براکت}}{\nu_{\max}\ \text{پفوند}}=\frac{\frac{C}{\lambda}\ \text{براکت}}{\frac{C}{\lambda}\ \text{پفوند}}=\frac{\frac{1}{16}-\frac{1}{n^2}}{\frac{1}{25}-\frac{1}{n'^2}}=\frac{\frac{1}{16}-\frac{1}{25}}{\frac{1}{25}-\frac{1}{36}}=\frac{9\times36}{16\times11}=\frac{81}{44}$$

* وجود خط‌های طیفی متفاوت برای اتم‌ها و رابطه‌ی ساده و دقیقی مثل رابطه‌ی ریدبرگ برای طیف اتم هیدروژن، لزوم داشتن الگویی برای اتم را نشان می‌دهد. الگویی که بتوان به کمک آن این نتیجه‌های تجربی را توجیه کرد.

۱۶) الگوهای اتمی:

۱ـ تامسون: این دانشمند موفق به کشف الکترون شد و نخستین الگوی اتمی را به صورت زیر ارائه داد که اتم به صورت توزیع کروی یکنواختی از جرم و بار مثبت در نظر گرفته شد که الکترون‌ها (بار منفی) مانند کشمش‌های درون یک کیک کشمشی درون آن قرار دارند.

رادرفورد با آزمایش‌های خود به نتایجی ناسازگار با مدل فوق رسید و نشان داد که بار مثبت اتم باید در بخش کوچکی در مرکز اتم متمرکز باشد.



۲ـ رادرفورد: همه‌ی بار مثبت اتم در یک ناحیه‌ی مرکزی با حجم بسیار کوچکی به نام هسته متمرکز شده است و اطراف آن را الکترون‌ها با بار منفی، در فاصله‌ای زیاد احاطه کرده‌اند، به گونه‌ای که می‌توان گفت فضای بین هسته و الکترون‌ها خالی است.

ولی چون، وی در مدل خود هیچ اشاره‌ای به چگونگی حرکت الکترون‌ها نکرد، یک اشکال پیش می‌آید:

* اگر الکترون‌ها، نسبت به هسته ساکن باشند، باید تحت تأثیر نیروی ربایشی الکتریکی، روی هسته سقوط کنند و اتم ناپایدار باشد و ساختار داخلی آن در هم فرو ریزد که این موضوع خلاف واقعیت است.

* اگر هم فرض کنیم که الکترون‌ها به دور هسته در گردش باشند، باز هم این حرکت پایدار نمی‌ماند، چون؛ حرکت الکترون به دور هسته یک حرکت شتابدار توسط یک ذره‌ی باردار است و بنابر نظریه‌ی الکترومغناطیسی کلاسیک باید این الکترون، موج الکترومغناطیسی گسیل کند و بسامد موج گسیل شده با بسامد حرکت مداری الکترون برابر است.

با گسیل موج الکترومغناطیسی، از انرژی الکترون کاسته می‌شود و این کاهش انرژی با توجه به آن‌چه در مبحث حرکت دایره‌ای دیدیم، باعث می‌شود که شعاع مدار الکترون به دور هسته کوچکتر و بسامد حرکت آن بیشتر شود، در نتیجه بسامد موج الکترومغناطیس گسیل شده نیز به تدریج زیاد می‌شود.

به این ترتیب باید طیف موج الکترومغناطیسی گسیل شده از اتم، پیوسته باشد و الکترون پس از گسیل‌های متوالی موج‌های الکترومغناطیسی روی هسته بیفتد.

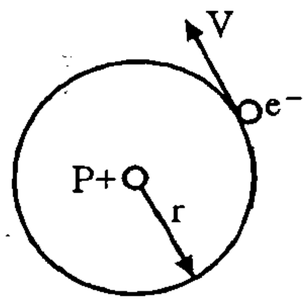
تذکر: اشکال مدل اتمی رادرفورد ۱) عدم توجیه پایداری اتم ۲) عدم توجیه طیف گسسته اتمی بود.

۳ـ بور: برای حل مشکل ناپایداری الگوی اتمی رادرفورد و با توجه به طیف گسسته‌ی تابش شده از اتم‌ها و رابطه‌ی تجربی ریدبرگ ـ بالمر برای طیف اتم هیدروژن، با الهام از نظریه‌های کوانتومی پلانک و اینشتین الگویی برای اتم هیدروژن که یک الکترون دارد، ارائه کرد.

* بور پیشنهاد کرد که قانون‌های مکانیک و الکترومغناطیس کلاسیک، در مقیاس‌های اتمی باید همراه با فرضیه‌هایی در نظر گرفته شود که عبارتند از:

۱) الکترون، تنها روی مدارهای دایره‌ای با شعاع‌های معینی حرکت می‌کند. این مدارها «مدارهای مانا» نامیده می‌شوند.

* الکترونی به جرم m و بار e ـ به دور پروتون در حال گردش است. نیروی مرکزگرای این حرکت ناشی از ربایش الکتریکی بین الکترون و هسته است و شتاب حرکت الکترون $\frac{V^2}{r}$ (شتاب حرکت دایره‌ای) می‌باشد. پس با استفاده از قانون دوم نیوتن داریم:



$$F_E = k\frac{e^2}{r^2} = m\frac{V^2}{r} \qquad (1$$

انرژی پتانسیل الکترون در میدان الکتریکی هسته برابر است با:

$$u(r) = \int_r^\infty F(r).dr = -\int_r^\infty \frac{ke^2}{r^2}dr = -ke^2\frac{r^{-1}}{-1}\Big|_r^\infty = 0 - \frac{ke^2}{r} = -\frac{ke^2}{r} \qquad (2$$

انرژی جنبشی آن نیز از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$k = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}\frac{ke^2}{r}$$

در نتیجه انرژی کل الکترون روی یک مدار مانا با شعاع r برابر است با:

$$E = k + u = \frac{1}{2}\frac{ke^2}{r} - \frac{ke^2}{r} = -\frac{ke^2}{2r}$$

* با توجه به این رابطه مبدأ را ∞ + (فاصله‌های خیلی دور) در نظر می‌گیریم و انرژی آن برابر صفر است و هرچه به پروتون نزدیک می‌شویم انرژی منفی‌تر می‌گردد.

۲) الکترون در حین حرکت روی یک مدار مانا، برخلاف نظریه‌ی الکترومغناطیسی کلاسیک، تابشی گسیل نمی‌کند. در این وضعیت می‌گوییم الکترون در یک «حالت مانا» است.

۳) شعاع مدارهای مانا مقدارهای مشخص گسسته‌ای می‌تواند داشته باشد. اگر شعاع این مدار را برابر a_0 بگیریم، شعاع‌های مجاز از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$r_n = a_0 n^2$ که در آن n ***عدد طبیعی*** است. $n = 1$ و ۲ و ۳ و ...

* بور برای کوچکترین شعاع مدار الکترون در اتم هیدروژن (a_0) مقدار زیر را به دست آورد که شعاع اتم بور نیز نامیده می‌شود.

$$a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 mke^2} = 0/0529 \text{ nm}$$ (h ثابت پلانک، k ثابت کولن، e بار الکترون، m جرم الکترون)

این مقدار انرژی را یک **ریدبرگ** گویند. $E = 13/6$ eV

$$E_n = -\frac{ke^2}{2r_n} = -\frac{ke^2}{2a_0 n^2} = -\boxed{\frac{2\pi^2 mk^2e^4}{h^2}} \times \frac{1}{n^2} \qquad n = 1, 2, ...$$

* بدین ترتیب الکترون تنها مجاز است انرژی برابر یکی از مقدارهایی که از رابطه‌ی فوق به دست آمد، داشته باشد.

* هر یک از این مقدارهای مجاز را یک تراز انرژی می‌نامند.

amin@physicist.net

۴) الکترون تنها هنگامی می‌تواند تابش الکترومغناطیس گسیل کند که از یک حالت مانا با انرژی E_{n_1} به حالت مانای دیگر با انرژی کمتر E_{n_2} $(n_2<n_1)$ برود. به عبارت دیگر از یک تراز انرژی بالاتر به یک تراز انرژی پایین‌تر برود.

در این صورت انرژی فوتون موج الکترومغناطیسی گسیل شده برابر اختلاف انرژی بین دو تراز است. یعنی:

$$E_{n_1} - E_{n_2} = h\nu$$

* اگر الکترون اتم هیدروژن، در مدار اول ($n = 1$) باشد، می‌گوییم در حالت پایه قرار دارد.

* مدارهای با انرژی بالاتر از E_1 را ***حالت‌های برانگیخته*** می‌خوانند.

* انرژی چند حالت مختلف: این مقدارها، مقدارهای مجاز انرژی الکترون در اتم هیدروژن‌اند.

$$E_n = -\frac{E_R}{n^2} \rightarrow \begin{cases} n=1 \rightarrow E_1 = -1 & \text{ریدبرگ} \\ n=2 \rightarrow E_2 = -\frac{1}{4} & \text{ریدبرگ} \\ n=3 \rightarrow E_3 = -\frac{1}{9} & \text{ریدبرگ} \end{cases}$$

* الگوی بور با فرض مانا بودن مدارها مشکل ناپایداری در الگوی رادرفورد را برطرف کرد و با فرض وجود ترازهای گسسته‌ی انرژی مشکل طیف گسسته را برطرف نمود.

$$\nu = \frac{E_{n_1} - E_{n_2}}{h} \Rightarrow \frac{C}{\lambda} = \frac{E_{n_1} - E_{n_2}}{h} \rightarrow \frac{1}{\lambda} = \boxed{\frac{E_R}{Ch}} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$$

برابر است با ثابت ریدبرگ R_H

نکته: دو نفر با رابطه‌های محاسباتی (تئوری) کارهای تجربی دو نفر دیگر را تأیید کردند.

* رابطه‌ی تئوری اینشتین ← نمودارهای تجربی میلیکان

* رابطه‌ی تئوری بور ← رابطه‌ی تجربی ریدبرگ ـ بالمر

* جذب تابش الکترومغناطیسی و وجود خط‌های جذبی در طیف اتمی اتم هیدروژن را نیز می‌توان به کمک الگوی بور برای اتم هیدروژن توجیه کرد.

اگر انرژی الکترون را در حالتی که کاملاً از قید هسته رها شده است $(\infty \rightarrow r)$ برابر صفر بگیریم، انرژی آن روی مدارهایی که مقدار کم‌تری دارد، باید منفی باشد.

* مقدار انرژی را که یک الکترون می‌گیرد تا از قید هسته اتم آزاد شود، انرژی بستگی الکترون گویند و این مقدار انرژی بسته به اینکه الکترون روی کدام مدار قرار دارد متفاوت است.

اگر اتمی در هسته‌ی خود دارای Z پروتون باشد و یک الکترون به دور آن بگردد، آن‌گاه:

$$E_n = -E_R \frac{Z^2}{n^2}$$

نتیجه مهم: بیشترین مقدار انرژی بستگی هسته برای هیدروژن صفر و کمترین مقدار آن E_1 است.

نکته: در حالت کلی برای آن که عنصری با عدد اتمی Z مشمول نظریه‌ی بور شود، باید به تعداد $(Z-1)$ بار یونیده شود.

۴ ـ مدل ابر الکترونی: الگوی بور، هیچ اطلاعاتی درباره‌ی تعداد فوتون‌هایی که با یک بسامد معین گسیل می‌شوند نمی‌دهد و نیز برای اتم‌هایی با تعداد الکترون‌های بیشتر از یک پاسخی ندارد. الگوی ابر الکترونی یا الگوی اوربیتالی (شیمی) پاسخگوی این سؤالات است.

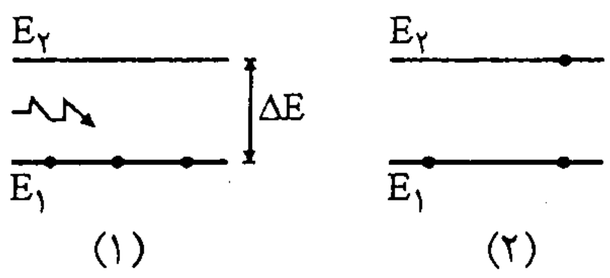
در این الگو نیز الکترون‌ها حالت‌های کوانتومی خاصی دارند که هر یک با یک مقدار معین انرژی و یا یک تراز معین انرژی مشخص می‌شود و الکترون تنها با تغییر دادن تراز انرژی خود فوتون گسیل یا جذب می‌کند.

۱۷) لیزر

برهم‌کنش‌های مختلف بین فوتون و اتم:

الف) حالت برانگیخته اتم: هرگاه الکترون با کسب مقدار معینی انرژی (مثلاً توسط یک فوتون) از حالت n_1 به حالت n_2 $(n_2 > n_1)$ منتقل شود به آن حالت برانگیختگی می‌گوییم.

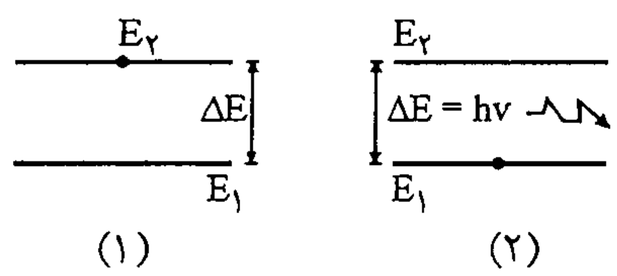
(* برانگیخته) اتم* ← فوتون + اتم



همانند شکل، الکترون واقع در تراز E_1 با گرفتن انرژی $h\nu$ از فوتون به تراز E_2 منتقل شده. البته $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$

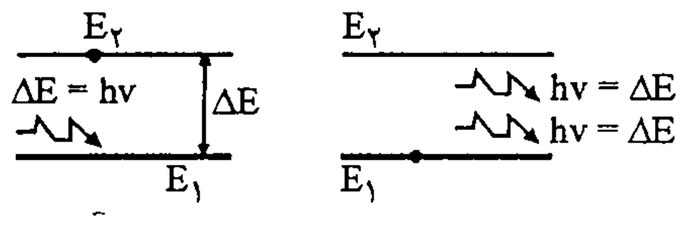
ب) گسیل خودبخودی: هرگاه الکترون یک اتم با گسیل یک فوتون به تراز انرژی پایین‌تر برود. (البته $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$)

فوتون + اتم ← اتم*



ج) گسیل القایی (گسیل تحریک شده): در این برهم‌کنش، اتم ابتدا در حالت برانگیخته است. یک فوتون با انرژی $h\nu$ که برابر اختلاف انرژی دو تراز اتم است، اتم برانگیخته را وامی‌دارد تا با گسیل یک فوتون دیگر با همان بسامد، به حالت پایین‌تر، یا حالت پایه، برود. این برهم‌کنش به صورت زیر است:

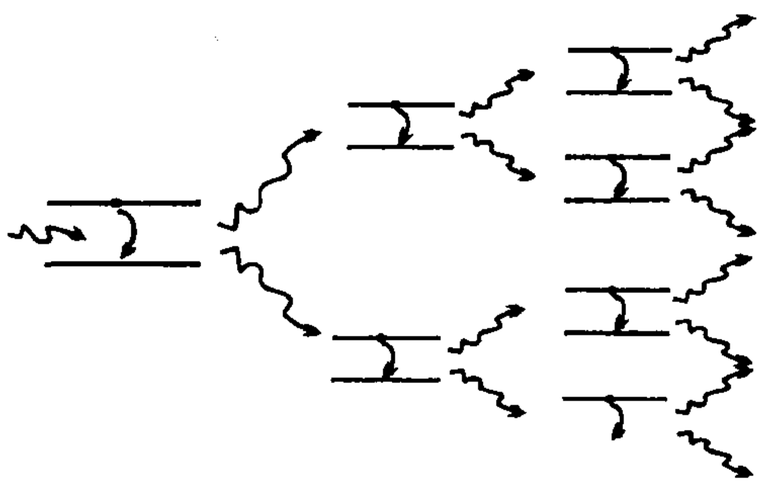
۲ فوتون + اتم ← فوتون + اتم



* اکنون مجموعه‌ای از اتم‌های یکسان، که همگی در یک حالت برانگیخته‌اند، در اختیار داریم، فوتونی با انرژی مناسب به اتم اول فرود می‌آوریم و سبب گسیل القایی یک فوتون هم‌جهت، هم فاز و هم انرژی با فوتون فرودی می‌شود. به این ترتیب دو فوتون که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی کاملاً مشابه‌اند وجود دارند. هریک از این دو فوتون باعث فرآیند گسیل القایی دیگری می‌شوند و ... ، این فرآیند دو برابر شدن تعداد فوتون‌ها در هر مرحله، ادامه می‌یابد تا باریکه‌ی شدیدی از فوتون‌ها که همگی هم جهت و هم‌فاز و هم انرژی‌اند، ایجاد شود. این باریکه را یک باریکه‌ی لیزری می‌نامند.

☜ **نکته ضروری:** اگر اتم برانگیخته به حال خود هم گذاشته شود، سرانجام با تابش یک فوتون به حالت پایین‌تر یا پایه می‌رود ولی این روش فوایدی دارد.

☜ **نکته:** فواید گسیل القایی عبارت است از: ۱) کمک به گذار سریع الکترون تحریک شده ۲) ایجاد فوتونی، هم فاز، هم جهت و هم انرژی با فوتون فرودی.



محیط لیزری

amin@physicist.net

مواد از جهت عبور جریان الکتریکی
- رسانا: مقاومت الکتریکی کم (الکترونهای آزاد، موجب رسانا بودن ماده است)
- نیم‌رسانا: موادی که مقاومت الکتریکی آن‌ها بین رساناها و نارساناها است.
- نارسانا: مقاومت الکتریکی زیاد، الکترونها کاملاً به هسته‌ها مقید است و درنتیجه حرکت آزادانه ندارند.

نکته: افزایش دما سبب افزایش مقاومت رساناها و کاهش مقاومت نیم رساناها می‌شود.

* در فلزات، برخی از الکترون‌ها به راحتی از اتم خود جدا می‌شوند و می‌توانند آزادانه درون جسم حرکت کنند که آنها را الکترون‌های آزاد می‌نامند و شارش بار در رساناها به حرکت این الکترون‌ها مربوط می‌شود.

در رساناها مقاومت از رابطه‌ی $R = \rho \frac{L}{A}$ به دست می‌آید که ....

۱) هر ماده مقاومت ویژه‌ی الکتریکی (ρ) مخصوص به خود دارد.

۲) هر چه مقاومت ویژه‌ی الکتریکی یک جسم کمتر باشد آن جسم رسانای الکتریکی بهتری است.

به عنوان مثال مقاومت ویژه‌ی نقره‌ی خالص (رسانا) و تفلون (نارسانا) در دمای اتاق به ترتیب $۱/۶\times۱۰^{-۸}$ اُهم متر و $۱۰^{۱۴}$ اُهم متر است و این دو عدد اختلاف زیادی دارند و پاره‌ای از مواد هم مثل ژرمانیوم و سیلیسیوم دارای مقاومت ویژه‌ای بین مقاومت رساناها و نارساناها دارند که ***نیمه رسانا*** نام دارند و ویژگی‌های جالب توجهی دارند.

* در ساده‌ترین مدل، یک جسم جامد به صورت مجموعه‌ای از اتم‌ها می‌باشد. اگر در این جسم الکترون‌ها به هسته‌ی خود مقید باشند به طوری که نتوانند از ربایش الکترو استاتیکی آنها رها شوند ماده نارسانا (عایق) و یا اگر برخی از الکترون‌ها بتوانند از قید هسته آزاد شوند و در نتیجه بار الکتریکی را منتقل کنند، ماده رساناست.

* این مدل نمی‌تواند به بسیاری از پرسش‌ها درباره‌ی رسانش پاسخ دهد. از جمله:

۱ـ مواد نیمه رسانا چه ویژگی دارند که هم با رساناها و هم با نارساناها تفاوت دارند؟

ـ مثلاً افزایش دما باعث افزایش مقاومت ویژه‌ی رساناها می‌شود ولی مقاومت ویژه‌ی نیمه رساناها راکاهش می‌دهد.

۲ـ چرا الکترون در برخی از شرایط مقید به هسته می‌مانند و در برخی شرایط نه؟

ـ مثلاً چراکربن وقتی به شکل الماس متبلور می‌شود نارساناست ولی به صورت گرافیت رسانای الکتریکی است.

۳ـ چرا رسانش الکتریکی، رساناهای مختلف نیز فرق دارد و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی متفاوتی دارند؟

* برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها نیاز به مدل کامل‌تری برای یک جسم جامد داریم که نظریه‌ی نواری جسم جامد نام دارد.

)نظریه‌ی نواری و ویژگی‌های آن

الف) ویژگی‌های نظریه نواری:

۱) ترازهای انرژی الکترون‌ها در جسم جامد مانند مدارهای اتمی، مقادیر انرژی ویژه خود دارند.

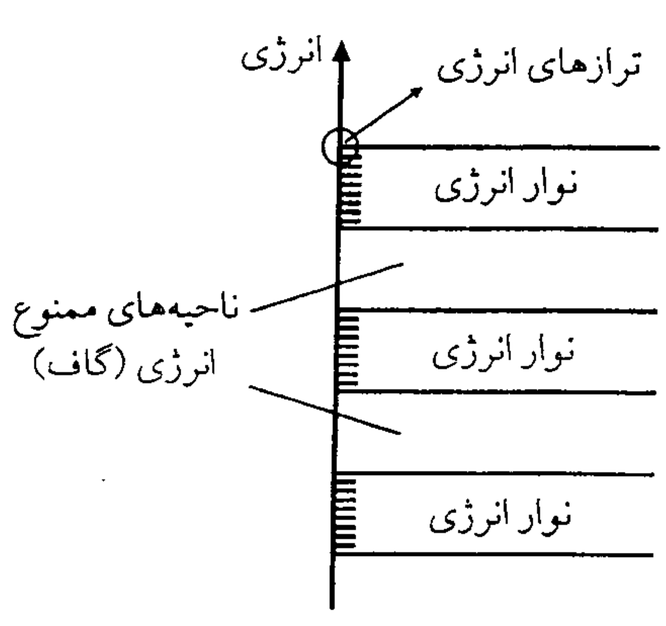
۲) ترازهای انرژی الکترون‌ها در جسم جامد نیز همانند ترازهای اتمی گسسته‌اند.

۳) هر تراز انرژی تنها توسط یک الکترون می‌تواند اشغال شود.

۴) ترازهای انرژی در جسم جامد تشکیل نوارهایی می‌دهند که هر نوار شامل تعداد بسیار زیادی ترازهای گسسته که (از نظر مقدار انرژی) بسیار نزدیک به هم هستند.

ب) گاف انرژی: بین بالاترین تراز انرژی در یک نوار و پایین‌تر تراز انرژی در نوار بعدی، اختلاف انرژی زیادی وجود دارد و هیچ تراز انرژی در آن وجود ندارد. که به آن گاف انرژی یا ناحیه‌ی ممنوع گویند.

ج) الکترون‌ها چگونه بین ترازهای مختلف انرژی توزیع می‌شوند؟



amin@physicist.net

* پر شدن تراز‌ها به صورت زیر انجام می‌شود.

۱) الکترون‌ها از پایین‌ترین تراز در نوار اول به ترتیب شروع به پر کردن تراز‌ها می‌کنند.

۲) هیچ دو الکترونی با هم در یک تراز قرار نمی‌گیرند.

۳) پس از آن که تراز‌های انرژی در نوار اول پر شد، الکترون‌ها، تراز‌های انرژی در نوار دوم را به ترتیب پرمی‌کنند.

۴) تعداد تراز‌هایی که از نوار آخر پر می‌شوند بستگی به تعداد الکترون‌ها در نوار دارد که این نوار می‌تواند پر یا بخشی پر باشد.

۵) در برانگیختگی‌های گرمایی، الکترون‌ها با کسب انرژی به تراز‌های بالاتر که خالی هستند می‌روند.

د) در یک اتم، الکترون می‌تواند با جذب مقداری انرژی (که درست برابر است با اختلاف انرژی بین ترازی که اشغال کرده است با یک تراز خالی بالاتر) به تراز بالاتر برود. همین فرآیند در جسم جامد نیز روی می‌دهد، که آن را گذار الکترون از یک تراز به تراز انرژی دیگر می‌نامند.

انواع گذار الکترون: { ۱) گذار درون نواری: گذار الکترون از یک تراز به تراز خالی دیگر در همان نوار
۲) گذار بین نواری: گذار الکترون از یک تراز به تراز خالی دیگر در نوار انرژی بالاتر

* گذار درون نواری به انرژی کمتری نیاز دارد و تنها در صورتی ممکن است انجام شوند که بخشی از نوار پر باشد.

* برای گذار بین نواری به آنچنان انرژی زیادی نیاز است که حتی با برقراری اختلاف پتانسیل در دو سر رسانا و ایجاد میدان الکتریکی در داخل آن نیز این نوع گذار اتفاق نمی‌افتد و به همین دلیل الکترون‌های نوارهای پر سهمی در رسانش الکتریکی ندارند. زیرا با انرژی‌ای که در میدان الکتریکی می‌توانند به دست آورند، نمی‌توانند نوار خود را ترک کنند و درون نوار پر هم تراز خالی برای گذار وجود ندارد.

* پس، تنها آن دسته از الکترون‌ها در رسانش الکتریکی نقش دارند که در نوارهای بخشی پر هستند.

دو نکته‌ی مهم:

۱ـ وقتی می‌گوییم الکترون تغییر تراز می‌دهد، منظورمان این است که الکترون انرژی خود را به مقدار معینی افزایش داده است، نه این که الکترون از جایی درون جسم جامد به جای دیگر رفته است.

۲ـ انرژی موردنیاز الکترون برای انجام گذار بین ترازهای مختلف در یک جسم جامد از سه طریق تأمین می‌شود:

۱) میدان الکتریکی‌ای که جسم جامد در آن قرار گرفته است. ۲) برانگیختگی گرمایی ۳) تحریکات خارجی مثل اشعه γ و x

۳ رسانش الکتریکی در مدل ساختار نواری: براساس چگونگی ساختار نوارها، (پر یا بخشی پر) مواد خواص مختلف به خود می‌گیرند که هر یک به خوبی توجیه کننده‌ی ویژگی‌های الکتریکی آنهاست.

* توجه داشته باشید که شرط رسانایی وجود و یا ایجاد نوار بخشی پر است.

الف) جسم رسانا؛ در جسم رسانا نوار بخشی پر وجود دارد.

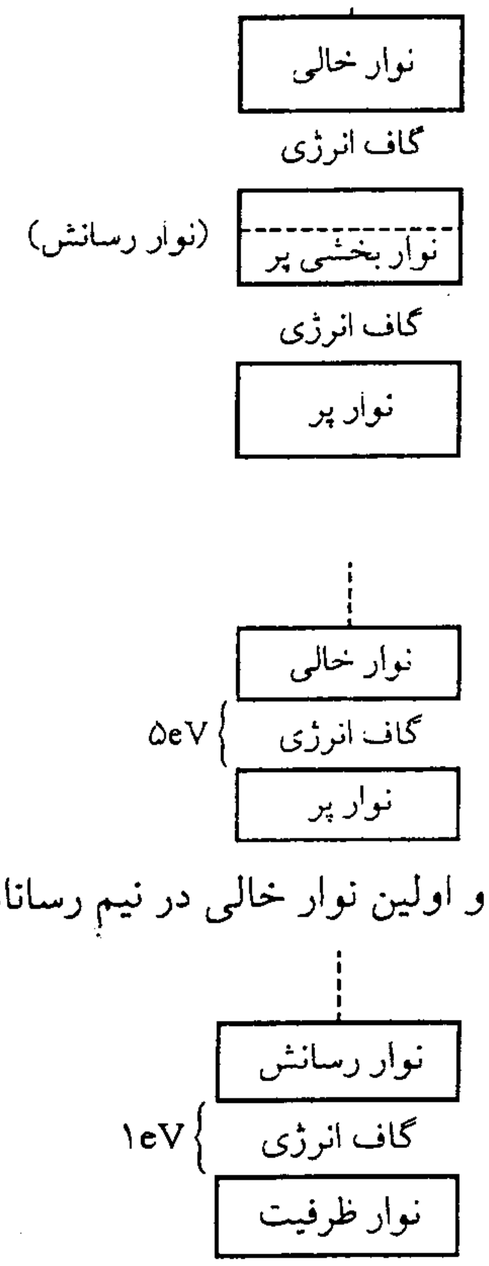
نکته: نوار بخشی پر را نوار رسانش و الکترون‌های موجود در آن را الکترون‌های رسانش گوییم.

نکته: تعداد الکترون‌های نوار رسانش در یک رسانای فلزی زیاد است.

ب) جسم نارسانا؛ در جسم نارسانا، نوار بخشی پر وجود ندارد و گاف انرژی بین آخرین نوار پر و اولین نوار خالی در نارساناها بزرگ است و هیچ الکترونی نمی‌تواند برانگیخته شود و از نوار پر به نوار خالی برود و رساننده الکتریکی شود.

ج) جسم نیم‌رسانا؛ مانند نارساناها دارای نوار بخشی پر نیستند ولی گاف انرژی بین آخرین نوار پر و اولین نوار خالی در نیم رساناها کوچک است.

نکته: در نیم رساناها، بالاترین نوار پر را نوار ظرفیت و پایین‌ترین نوار خالی را نوار رسانش می‌گوییم.



نکته: کوچک بودن گاف انرژی بین نوار ظرفیت و نوار رسانش موجب می‌شود که تعدادی از الکترون‌های نوار ظرفیت در دمای اتاق نیز، با برانگیختگی گرمایی، انرژی لازم برای گذار بین نواری از نوار ظرفیت به نوار رسانش را به دست آورند و به نوار رسانش بروند.

۱ـ افزایش دما سبب افزایش مقاومت ویژه‌ی رساناها می‌شود. عامل ایجاد مقاومت الکتریکی در رساناها برخورد الکترون‌های آزاد با اتم‌های در حال نوسان است؛ هرچه دما بالاتر رود این نوسان‌ها پردامنه‌تر می‌شود و در نتیجه مقاومت ویژه‌ی الکتریکی بالا می‌رود.

* در نیمرساناها هرچه دما افزایش یابد، مقاومت ویژه الکتریکی کاهش می‌یابد.

* در دماهای بسیار پایین، نیمرساناها نوار ظرفیت کاملاً پر و نوار رسانش کاملاً خالی دارد، پس هیچ‌کدام از نوار ظرفیت و نوار رسانش، در رسانش شرکت ندارند و نیمرسانا مثل یک نارساناست.

حال اگر دما افزایش یابد، تعدادی از الکترون‌ها از نوار ظرفیت به نوار رسانش می‌روند. در نتیجه هم تعداد کم الکترون در نوار رسانش و هم چند تراز خالی در نوار ظرفیت در رسانش الکتریکی شرکت می‌کنند و از مقاومت ویژه‌ی الکتریکی آن کاسته می‌شود.

۲ـ هر جا از انتقال بار الکتریکی سخن گفته‌ایم، الکترون‌ها را به عنوان حاملان بار معرفی کرده‌ایم. برخی از نیمرساناها به گونه‌ای رفتار می‌کنند که گویی حاملان بار الکتریکی در آنها علاوه بر الکترون، ذره‌هایی با جرمی از مرتبه‌ی الکترون ولی با بار مثبت هستند.

* الکترون‌هایی که در نوار ظرفیت مانده‌اند، نیز در رسانش سهم دارند، پس از آنکه تعدادی از الکترون‌ها به نوار رسانش می‌روند، چند تراز خالی در نوار ظرفیت پیدا می‌شود، این جای خالی الکترون در نوار ظرفیت را **حفره** می‌نامند.

* الکترون‌های نوار ظرفیت می‌توانند با کسب مقدار نسبتاً کمی انرژی، از تراز خود به یکی از این ترازهای خالی گذاری انجام دهند و در رسانش شرکت کنند.

* این گذار الکترون از تراز اولیه‌ی خود به تراز خالی، مشابه آن است که حفره از تراز قبلی خود به تراز اولیه‌ی الکترون رفته است و می‌توانیم به جای آنکه بگوییم «الکترون، گذار درون نواری انجام داده است» بگوییم «حفره تراز خود را تغییر داده است» و به جای آنکه گذار تعداد بسیار زیاد الکترون‌های نوار ظرفیت را در نظر بگیریم، گذار تعداد کم حفره‌ها را بررسی کنیم و در نتیجه توضیح پدیده‌ها بسیار ساده‌تر می‌شود.

* هنگامی که یک نیمرسانا در میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، الکترون‌های نوار رسانش در خلاف جهت میدان و حفره‌های نوار ظرفیت در جهت میدان حرکت می‌کنند.

* نیمرسانایی که ناخالصی نداشته باشد، تعداد الکترون‌های موجود در نوار رسانش و تعداد حفره‌های موجود در نوار ظرفیت باهم برابرند. چنین نیمرسانایی را ***نیمرسانای ذاتی*** **می‌گویند.**

آلایش نیمرساناها: افزودن مقدار کمی ناخالصی به نیمرسانا را گویند.

روش ازدیاد حاملان بار (الکترون‌های نوار رسانش و حفره‌های نوار ظرفیت):
۱ـ افزایش دما
۲ـ اضافه کردن ناخالصی به نیمرسانا: با این کار مقاومت کم می‌شود و رسانش الکتریکی بهتر انجام می‌شود.

* ناخالصی یعنی اتم‌هایی که از جنس اتم‌های نیمرسانای ذاتی (اتم‌های میزبان) نباشند.

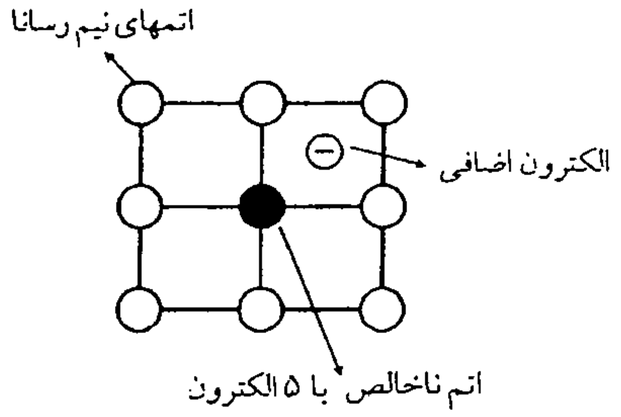
* اگر در یک نیمرسانا، رسانش بیشتر به دلیل وجود ناخالصی باشد، نیمرسانا را غیر ذاتی می‌گویند.

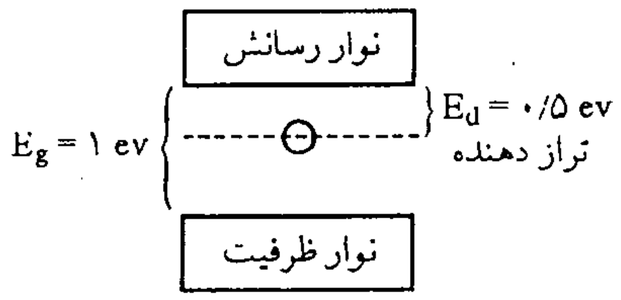
آلایش به دو روش:
۱) اتم ناخالص، یک الکترون ظرفیت بیشتر از اتم‌های نیمرسانای ذاتی داشته باشد. (نوع n)
۲) اتم ناخالص، یک الکترون ظرفیت کمتر از اتم‌های نیمرسانای ذاتی داشته باشد. (نوع p)

مثال: اگر در سیلیسیوم و ژرمانیوم را که چهار الکترون ظرفیت دارند و نیمرسانا هستند، یک اتم ناخالص ۵ یا ۳ ظرفیتی وارد کنیم، نیمرسانای آلائیده (غیرذاتی) به ترتیب نوع n یا p خواهیم داشت.

* در نیمرسانای نوع n (افزودن یک اتم آرسنیک ۵ ظرفیتی به سیلیسیوم)، حضور اتم ناخالصی ساختار نواری را تغییر می‌دهد. به این ترتیب که الکترون پنجم بر روی ترازی قرار می‌گیرد به نام ***تراز دهنده***، که در فاصله‌ی بسیار کمی زیر نوار رسانش قرار دارد و تنها مقدار کمی انرژی برای برانگیخته کردن الکترون و بردن آن از این تراز به نوار رسانش کافی است. در نتیجه در نوار رسانش علاوه بر الکترون‌های ذاتی، یک الکترون دیگر نیز خواهیم داشت. این نوع اتم‌های ناخالصی را که یک الکترون اضافی به نوار رسانش می‌دهند، ناخالصی دهنده گویند. (بیشتر حاملان بار در آنها از نوع منفی negative هستند.)

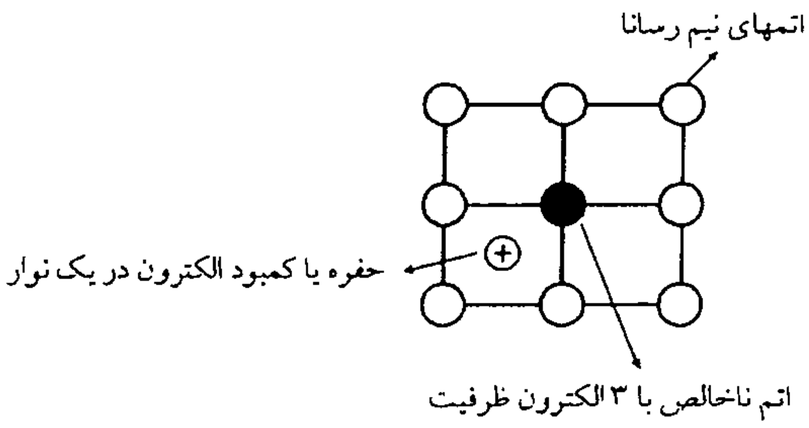
amin@physicist.net

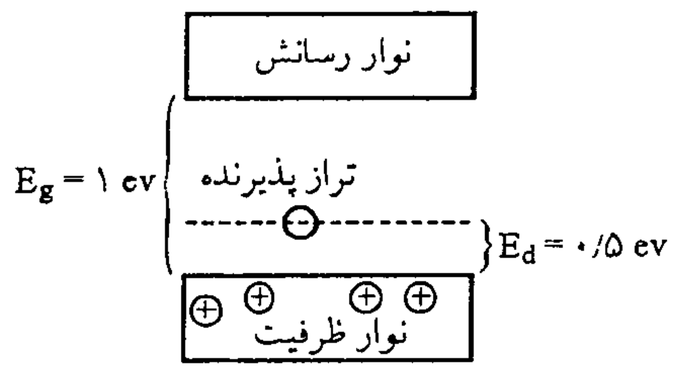




* در نیمرسانای نوع p (افزودن یک اتم ناخالص سه ظرفیتی ایندیوم یا آلومینیوم به سیلیسیم): برای کامل شدن پیوند بین اتم‌ها یک الکترون کمبود داریم. الکترون‌های موجود در نوار ظرفیت نیمرسانا با جذب مقدار کمی انرژی جای این الکترون را پر می‌کنند، که این عمل باعث می‌شود یک حفره‌ی اضافی در نوار ظرفیت ایجاد شود. در نتیجه در نوار ظرفیت علاوه بر تراز خالی مربوط به الکترون‌هایی که به نوار رسانش رفته‌اند، یک تراز خالی یا حفره‌ی اضافی نیز خواهیم داشت که آنرا تراز **پذیرنده** می‌نامند.

* تراز پذیرنده در فاصله‌ی بسیار کمی در بالای نوار ظرفیت قرار دارد. به گونه‌ای که در دمای اتاق، الکترون‌های نوار ظرفیت انرژی کافی برای گذار به تراز پذیرنده را در دسترس دارند. در نتیجه‌ی این گذار، یک حفره‌ی اضافی در نوار ظرفیت ایجاد می‌شود. (بیشتر حاملان بار در آنها از نوع مثبت Positive هستند.)





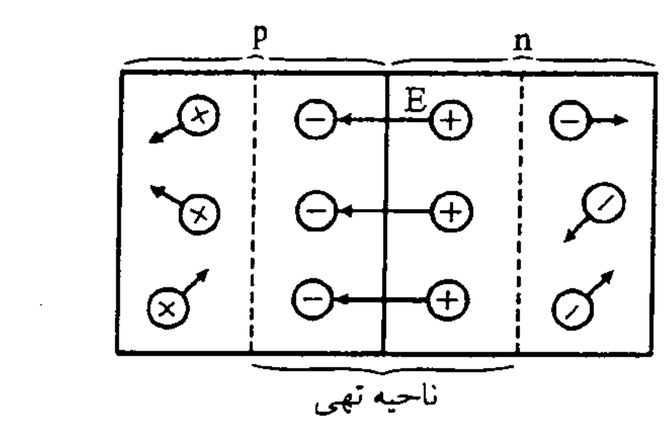
* افزودن مقدار بسیار کم ناخالص به یک نیمرسانا بر مقاومت آن تأثیر عمده می‌گذارد.

* تراکم‌های ناخالصی نوعاً در حدود یک اتم ناخالصی به ازای هر صد میلیون اتم از جنس ماده‌ی نیمرساناست.

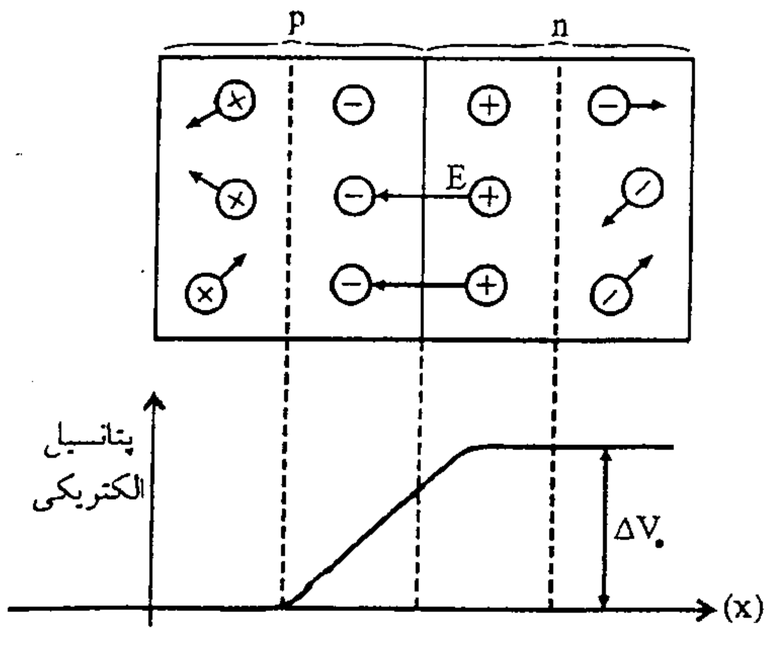
* در هر دو مورد پیوند بین عناصر از نوع کووالان است.

۴) دیود: اگر یک نیم‌رسانای نوع n را به یک نیم‌رسانای نوع p وصل کنیم، دیود تشکیل می‌شود الف) مهمترین خاصیت آن این است که جریان الکتریکی را تنها در یک جهت می‌تواند عبور دهد.

ب) در محل پیوندگاه (محل اتصال p و n) الکترون‌ها از n به p و حفره‌ها از p به n می‌آیند و تشکیل میدان الکتریکی داخلی می‌دهند که دیگر الکترون‌ها و حفره‌ها نمی‌توانند جابجا شوند. حال برای ایجاد جریان (حرکت الکترون‌ها) باید یک اختلاف پتانسیل اضافی اعمال کنیم که اگر سمت مثبت پتانسیل به p و سمت منفی آن به n متصل باشد، جریان عبور می‌کند (پیش ولت موافق) و اگر سمت مثبت پتانسیل به n و سمت منفی آن به p وصل شود (پیش‌ولت مخالف) جریان عبور نمی‌کند.



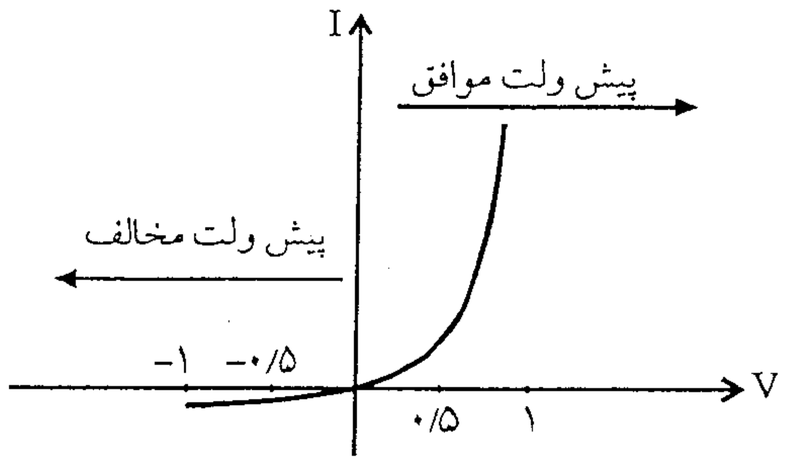
ج) نمودار پتانسیل الکتریکی دیود:



amin@physicist.net

نکته: می‌توان فرض کرد که دیود در پیش‌ولت موافق، مقاومت کم و پیش‌ولت مخالف، مقاومت بسیار بالایی دارد.

د) نمودار جریان عبوری برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده بر دو سر دیود:



نکته: دیود مقاومت غیر اهمی است.

یعنی از قانون اُهم پیروی نمی‌کند.

مقاومت اُهمی: منحنی تغییرات جریان برحسب ولتاژ برای آنها از قانون اُهم پیروی می‌کنند و به صورت خط راستی است که شیب خط آن ثابت و برابر عکس مقاومت است.

ابر رساناها

* افزایش دما سبب افزایش مقاومت ویژه‌ی رساناها می‌شود $\xleftarrow{\text{توجیه}}$ در اجسام جامد اتم‌ها و یون‌ها در دمای بالاتر از صفر مطلق به طور دائم در حال ارتعاش هستند، هر چه دما بالاتر رود دامنه‌ی این ارتعاش‌ها بیشتر می‌شود که در نتیجه‌ی آن الکترون‌های رسانش مشکل‌تر می‌توانند از بین آن‌ها عبور کنند.

* اگر ارتعاش‌های اتمی تنها ساز و کار مقاومت در مقابل حرکت الکترون‌ها باشد، باید انتظار داشته باشیم که با کاهش دما و رسیدن به صفر مطلق، مقاومت ویژه‌ی رسانا هم به تدریج و به آرامی به سمت صفر میل کند. در حالی که آزمایش‌ها نشان می‌دهد در عمل وضعیت به این صورت نیست و دو نوع رفتار بسیار متفاوت در مقاومت ویژه‌ی الکتریکی جامدهای بسیار سرد دیده می‌شود.

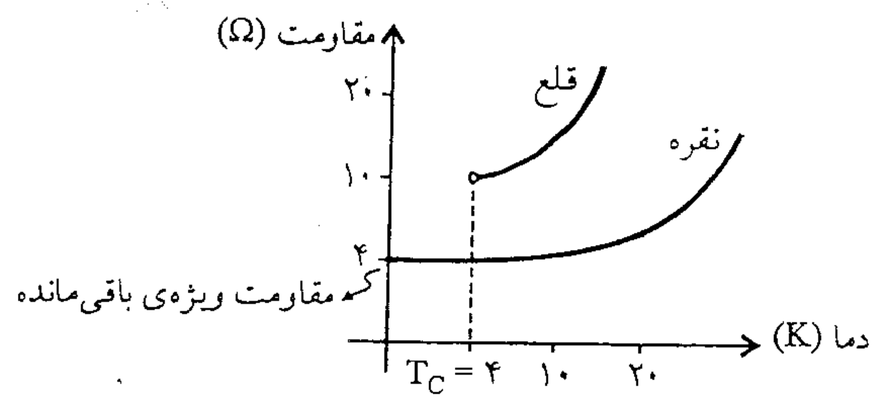
۱) مقاومت ویژه‌ی نمونه‌ای مانند نقره با سرد شدن، به تدریج کاهش می‌یابد ولی در دماهای کمتر از $20k$ این کاهش مقاومت متوقف می‌شود و مقاومت ثابت می‌ماند $\xleftarrow{\text{علت}}$ علاوه بر ارتعاش‌های اتمی، بی نظمی‌هایی که در ترتیب قرارگرفتن اتم‌ها ممکن است وجود داشته باشد باعث می‌شود که مقاومت ویژه هیچ‌گاه به صفر نرسد.

* این‌گونه بی‌نظمی‌ها در ساختار جسم جامد را ***ناکاملی*** می‌نامند. ناکاملی‌ها حتی وقتی که ارتعاش‌های اتمی هم متوقف شود، باعث مقاومت در مقابل حرکت الکترون‌ها می‌شوند.

* مقدار مقاومت ویژه‌ی الکتریکی یک رسانای فلزی در صفر مطلق را ***مقاومت باقی‌مانده*** می‌نامند.

۲) مقاومت ویژه‌ی نمونه‌ی دیگری از جنس قلع (که در دماهای بالا بیشتر از مقاومت ویژه‌ی نقره است) در دمایی حدود ۴ کلوین افت سریع پیدا می‌کند و ناگهان صفر می‌شود و در این وضعیت می‌گوییم قلع ***ابر رسانا*** شده است و دمایی را که در آن «افت سریع مقاومت ویژه» روی می‌دهد، دمای بحرانی می‌نامند و با T_c نمایش می‌دهند و T_c را دمای گذار به حالت ابر رسانی نیز می‌نامند.

* دمای گذار به ابر رسانایی برای رساناهای مختلف یکسان نیست و هر عنصر یا آلیاژ دمای گذار ویژه‌ی خود را دارد.



۵) ساختار هسته

* ابعاد هسته‌ی اتم در حدود $10^{-15}m$ است که از ابعاد اتم (حدود $10^{-10}m$) بسیار کوچکتر است.

* هسته‌ی هر اتم از Z پروتون تشکیل شده که آنرا عدد اتمی گویند و از آن‌جایی که مقدار مشخص نوترون در هسته بار ندارد، پس بار کل هسته $+Ze$ است. (تعداد نوترون‌های موجود در هسته را عدد نوترونی گویند و با N نمایش می‌دهند)

* اتم از نظر الکتریکی خنثی است، پس تعداد پروتون‌های موجود در هسته‌ی یک اتم با تعداد الکترون‌های آن اتم برابر میباشد.

* پروتون‌ها و نوترون‌ها را به طورکلی نوکلئون می‌نامند و تعداد کل نوکلئون‌های هر هسته را عدد جرمی می‌نامند و آن را با A نمایش می‌دهند. $A=Z+N$

* نماد شیمیایی یک اتم $_{Z}^{A}X_{N}$ ≡ هسته‌ی اتم X

* اتم هر عنصر، تعداد پروتون‌های مشخصی دارد و هیچ دو اتمی که از یک جنس نباشد تعداد پروتون‌های برابر هم ندارد. از این رو Z به طور کامل مشخص می‌کند که هسته مربوط به کدام اتم است.

* **ایزوتوپ‌ها:** تعداد نوترون‌های موجود در هسته‌ی اتم یک ماده‌ی شیمیایی معین برخلاف تعداد پروتون‌های آن ثابت نیست. از این‌رو هسته‌ی یک عنصر معین راکه تعداد نوترون‌های متفاوت و در نتیجه عدد جرمی متفاوت دارند، ایزوتوپ‌های آن عنصر می‌نامند و با نام همان هسته مشخص می‌کنند. (به جز هیدروژن)

مثال: کربن $_{۶}^{۱۲}C$ (۹۸/۹ درصد فراوانی)، $_{۶}^{۱۳}C$ (۱/۱ درصد)، $_{۶}^{۱۴}C$ (در طبیعت موجود نمی‌باشد)
در طبیعت — فروانی در طبیعت

* هیدروژن: $_{۱}^{۱}H$ هیدروژن معمولی (۹۹/۹۸۵ درصد فراوانی) سبک‌ترین و متداول‌ترین ایزوتوپ

$_{۱}^{۲}H$ دوتریوم و با نماد $_{۱}^{۲}D$ نمایش می‌دهیم (۰/۰۱۵ درصد فراوانی) بسیار نادر است.

$_{۱}^{۳}H$ تریتیوم و با نماد $_{۱}^{۳}T$ نمایش می‌دهیم (به ازای هر $10^{۸}$ اتم هیدروژن معمولی یک ایزوتوپ $_{۱}^{۳}T$ داریم.)

نیروی هسته‌ای:

با توجه به آن‌که هسته از نوترون‌های بی‌بار و پروتون‌های با بار مثبت تشکیل شده آنها باید همدیگر را دفع کنند، امّا نیرویی که این نوکلئون را در کنار هم نگه می‌دارد چیست؟

از آن‌جایی که نوترون بی بار است، نیروی الکتریکی بین آنها وجود ندارد و چون پروتون‌ها بار مثبت دارند، پس نیروی الکتریکی بین آنها رانشی است. از طرفی نیروی گرانشی بین نوکلئون‌ها آن قدر کوچکتر از نیروهای رانشی الکتریکی بین پروتون‌هاست که می‌توان آن را نادیده گرفت.

$$\begin{cases} F_g = G\dfrac{m_p\, m_p}{r^2} \rightarrow F_g = 10^{-11}\times\dfrac{10^{-27}\times 10^{-27}}{r^2} \\ F_E = k\dfrac{q_p\, q_p}{r^2} \rightarrow F_E = 10^{9}\times\dfrac{10^{-19}\times 10^{-19}}{r^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F_E}{F_g} = 10^{36} \Rightarrow F_g \ll F_E$$

* دانشمندان نتیجه گرفتند که باید نیروی ربایش دیگری بین نوکلئون‌ها وجود داشته باشد تا آن‌ها را در کنار یکدیگر نگه دارد، و این نیرو را ***نیروی هسته‌ای*** نامیدند. این نیرو بسیار کوتاه برد است و تنها بین نوکلئون‌هایی که به فاصله‌ی کم از یکدیگر قرار دارند [در حدود ۲ فتومتر (۲fm)] قابل ملاحظه است. ($1fm = 10^{-15}m$)

نیروی ربایشی دو پروتون که به فاصله‌ی کم از یکدیگر قرار دارند. بسیار قوی‌تر از نیروی رانش الکتریکی بین آنهاست. از این‌رو این نیروی هسته‌ای را، نیروی قوی نیز می‌نامند.

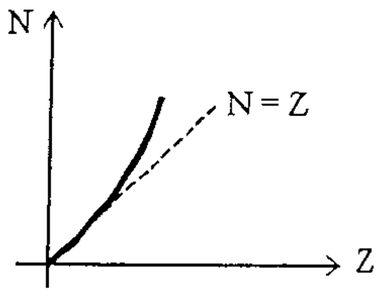
* نیروی رانش بین پروتون‌ها سعی بر از هم پاشاندن (واپاشی) هسته دارد اما نیروی ربایشی هسته‌ای بر این نیرو غلبه دارد، در نتیجه هسته پایدار می‌ماند.

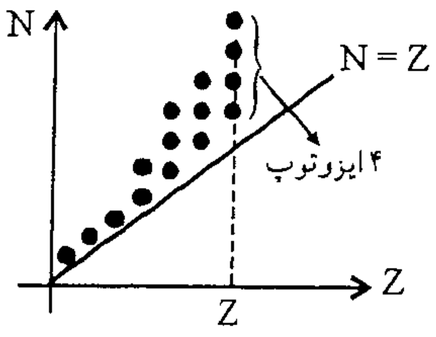
* هرچه تعداد نوکلئون‌های یک هسته بیشتر باشد، هسته بزرگتر و فاصله‌ی بین نوکلئون بیشتر می‌شود. در نتیجه تعادل بین نیروها به هم می‌خورد و هسته ناپایدار می‌شود. با گذشت زمان در هسته‌ی ایزوتوپ‌های ناپایدار تغییراتی صورت می‌گیرد و آن‌ها به هسته‌های پایدارتر تبدیل می‌شوند و این تغییرات خود به خود رخ می‌دهد. و این تغییرات برای برخی ایزوتوپ‌ها سریع و برای برخی دیگر بسیار کند است.

* عدد اتمی عنصرهایی که در طبیعت وجود دارند $1 \le Z \le 92$ و عدد نوترونی آنها در گستره‌ی $0 \le N \le 146$ قرار دارد.

* در عناصر، با افزایش Z، ابتدا تعداد $N=Z$ است ولی در عناصر بزرگتر و ناپایدارتر تعداد نوترون‌ها به مراتب از تعداد پروتون‌ها بیشتر می‌شود. $(N \ge Z)$ و در نتیجه منحنی Z برحسب N روبه سمت بالا می‌رود.

* اگر بخواهیم در این نمودار تعداد ایزوتوپ‌های یک عنصر را مشخص کنیم کافی است در یک Z مشخص خطی به موازات محور N ها رسم کنیم و تعداد نقاط روی خط مورد نظرمان را بشماریم.





* تمام عنصرهایی که عدد اتمی آنها بزرگ‌تر از $Z=83$ است، ناپایدارند و به تدریج از کره‌ی زمین ناپدید می‌شوند. رادیوم، توریوم، اورانیوم از جمله‌ی این عنصرها هستند.

*** راه‌های ایجاد ایزوتوپ‌های ناپایدار:**

۱) در راکتورهای هسته‌ای به طور مصنوعی می‌توان آنها را ایجاد کرد.

۲) ذرات پر انرژی فضایی (پرتوهای کیهانی) هنگام رسیدن به زمین و برخورد با هسته‌های پایدار آنها را ایجاد می‌کنند.

انرژی بستگی هسته

* اندازه‌گیری دقیق جرم هسته، نشان داده است که جرم هسته (M_X) از مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل دهنده‌ی آن کمتر است.

$$M_X < ZM_p + NM_n$$

* بنابر نظریه‌ی انیشتین، جرم و انرژی صورت‌های مختلف یک کمیت فیزیکی‌اند، بنابراین می‌توانند تحت شرایطی به یکدیگر تبدیل شوند. ($E = mC^2$، E انرژی، m جرم و C سرعت نور است.)

* بنابر نظریه‌ی نسبیت و با توجه به رابطه‌ی انیشتین، دو اصل پایستگی جرم و پایستگی انرژی در یک اصل به صورت زیر بیان می‌شود.

مجموع کل جرم و انرژی در برهم کنش‌ها پایسته می‌ماند.

* اختلاف جرم بین هسته و نوکلئون‌های موجود در آن (Δm) به انرژی تبدیل شده است. به عبارت دیگر هنگامی که نوکلئون‌ها در هسته گرد هم آمده‌اند مقداری انرژی از دست داده‌اند که آن را ***انرژی بستگی هسته*** می‌نامند و با B نشان می‌دهند.

$$B = \Delta M C^2 \rightarrow B = [ZM_p + NM_n - M_X]C^2$$

(M_X: جرم هسته، M_n جرم هرنوترون و M_p جرم هرپروتون)

* اگر بخواهیم نوکلئون‌های تشکیل دهنده‌ی هسته را از یکدیگر دور کنیم، باید مقداری انرژی برابر انرژی بستگی هسته، به هسته بدهیم.

* هرچه انرژی بستگی یک هسته بیشتر باشد، آن هسته پایدارتر است.

* ترازهای انرژی هسته: انرژی نوکلئون‌ها در هسته نیز مانند انرژی الکترون‌ها در اتم، کوانتیده است ولی فاصله بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته بسیار بیش از فاصله‌ی بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم است.

* نوکلئون‌ها می‌توانند مانند الکترون‌ها در اتم، با دریافت انرژی از نوترون‌ها یا پروتون‌های پرانرژی به تراز بالاتر بروند و هسته برانگیخته شود.

* انرژی واکنش‌های شیمیایی در حدود چند الکترون ولت است و به همین دلیل هسته‌ی اتم‌ها در واکنش‌های شیمیایی دخالت ندارند و برانگیخته نمی‌شوند.

۵) پرتوزایی (رادیواکتیویته)

* هسته‌های ناپایدار با گذشت زمان با گسیل پرتوهایی واپاشیده و به هسته‌های سبک‌تر تبدیل می‌شوند.

این خاصیت هسته‌ها را پرتوزایی و هسته‌های ناپایدار و برانگیخته‌ای را که توانایی گسیل پرتوها را دارند هسته‌های پرتوزا گویند.

پرتوزایی به سه روش صورت می‌گیرد:

۱) واپاشی همراه با گسیل ذره‌ی آلفا (α): ذره‌ی α هسته‌ی هلیم $[{}^{4}_{2}He]$ است که دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده است.

۲) واپاشی همراه با گسیل ذره‌ی آلفا (β): از جنس الکترون است و در نوع مثبت از جنس پوزیترون است.

۳) رفتن هسته از حالت برانگیخته به حالت پایه همراه با گسیل ذره‌ی گاما (γ): این پرتو از جنس موج‌های الکترومغناطیسی با طول موج بسیار کوتاه است.

۱) $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

۲) $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-} \quad \text{و} \quad {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e^{+}$$

۳) $${}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

* در گسیل، β، یک نوترون به پروتون تبدل می‌شود و برای حفظ پایستگی بار، یک الکترون گسیل می‌دارد.

* در واقع می‌توان این گونه توجیه کرد که گویی نوترون از یک پروتون و یک الکترون تشکیل شده است. به همین دلیل است که از لحاظ بار الکتریکی خنثی است و جرم آن اندکی از جرم پروتون بیشتر است.

واکنش‌های فوق از دو قاعده پیروی می‌کنند:

۱) مجموع عددهای اتمی Z در دو طرف واکنش یکسان است.

۲) مجموع عددهای جرمی A در دو طرف واکنش یکسان است.

* این دو قاعده در تمام واکنش‌های هسته‌ای برقرار است.

۶) نیم عمر ماده‌ی پرتوزا:

* در یک قطعه از ماده‌ی پرتوزا، تعداد بسیار زیادی هسته‌ی پرتوزا وجود دارد. هرچه زمان بگذرد تعداد هسته‌های پرتوزای باقی‌مانده کم می‌شود و این تغییرات را با کمیتی به نام نیم عمر بیان می‌کنند: «نیم عمر یک ماده‌ی پرتوزا مدت زمانی است که طی آن نیمی از هسته‌های پرتوزای موجود در آن واپاشیده شوند.» و آن را با $T_{\frac{1}{2}}$ نشان می‌دهند.

* نیم عمر عناصر مختلف با یکدیگر تفاوت زیادی دارد و رابطه‌ی زیر بین جرم‌ها برقرار است.

جرم باقی‌مانده $\rightarrow$ $m' = m_{\circ} - m$ $\leftarrow$ جرم واپاشی شده

جرم باقی‌مانده $\leftarrow$ $m = \dfrac{m_{\circ}}{2^{\frac{t}{T}}}$ $\leftarrow$ جرم اولیه‌ی ماده

مدت زمان سپری شده

نیم عمر آن ماده

۷) واکنش‌های هسته:

۱) فرآیند پرتوزایی: یک هسته می‌تواند با گسیل پرتو آلفا یا بتا به هسته‌ی دیگری تبدیل شود.

۲) شکافت هسته‌ای: فرآیند جذب نوترون توسط اورانیوم ۲۳۵ و تشکیل هسته‌ی سنگین ناپایدار و تجزیه‌ی آن به دو یا چند هسته‌ی سبک‌تر را شکافت هسته‌ای می‌نامند.

amin@physicist.net

* به عبارت دیگر شکافت هسته‌ای، یک واکنش هسته‌ای است که طی آن یک هسته‌ی سنگین به دو هسته با جرم کمتر شکافته می‌شود.
* اگر یک نوترون به هسته‌ی اورانیوم ۲۳۵ برخورد کند، به احتمال زیاد آن را جذب می‌کند و به اورانیوم ۲۳۶ تبدیل می‌شود. اورانیوم ۲۳۶ ناپایدار است و تمایل زیادی به واپاشی و تجزیه به دو یا چند هسته با جرم کمتر دارد.

$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}u \rightarrow {}^{236}_{92}u^{*} \rightarrow {}^{138}_{56}Ba + {}^{95}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n $$

نوترون

* در فرآیند شکافت هسته‌ای مجموعه‌های متنوعی از محصولات شکافت ممکن است تولید شوند. مثلاً در شکافت اورانیوم ۲۳۵ در حدود ۹۰ محصول مختلف به دست می‌آید. هسته‌های حاصل از شکافت را پاره‌های شکافت نیز می‌نامند.
* جرم محصولات حاصل از شکافت از مجموع جرم اولیه‌ی هسته به اضافه‌ی جرم نوترونی که با آن برخورد کرده کمتر است.
این تفاوت جرم به انرژی تبدیل می‌شود. قسمت عمده‌ی این انرژی در آغاز به صورت انرژی جنبشی پاره‌های شکافت است. پاره‌های شکافت به سرعت انرژی خود را به محیط اطراف منتقل می‌کنند که در نهایت سبب افزایش بسیار زیاد دمای محیط می‌شود.
* انرژی حاصل از شکافت ۱kg اورانیوم ۲۳۵ معادل انرژی حاصل از سوختن 10^{7}kg زغال سنگ و یا $2/25\times10^{6}$ لیتر نفت است.
* **راکتور هسته‌ای:** دستگاهی که در آن واکنش هسته‌ای صورت می‌گیرد و انرژی آزاد شده در فرآیند شکافت به صورت‌های دیگر انرژی تبدیل می‌شود.
انرژی هسته‌ای: انرژی حاصل از واکنش شکافت هسته‌ای را گویند.
ضعف و مشکلات استفاده از انرژی هسته‌ای: ۱) پاره‌های شکافت، خود به شدت ناپایدارند و برای رسیدن به حالت پایدار، مقدار زیادی پرتو گسیل می‌کنند. این هسته‌ها برای پایدار بودن به تعداد نوترون کمتری نیاز دارند، در نتیجه این هسته‌ها با واپاشی بتازا به هسته‌های پایدارتر تبدیل می‌شوند. پس این پاره‌ها به ناچار پرتوزا هستند.
۲) برخی از این پاره‌های ناپایدار، نیم عمر بسیار طولانی دارند و در نتیجه در طبیعت انباشته می‌شوند.
* **غنی سازی اورانیوم:** بالا بردن درجه‌ی خلوص اورانیوم ۲۳۵ در مخلوط ایزوتوپ‌های اورانیوم را غنی سازی گویند.
* اورانیوم ۲۳۵ در معادن اغلب همراه با ایزوتوپ دیگر اورانیوم مثل اورانیوم ۲۳۸ که پایدار است یافت می‌شود به طوری که ۹۹/۳ درصد اورانیوم طبیعی از اورانیوم ۲۳۸ و تنها ۰/۷ درصد آن از اورانیوم ۲۳۵ تشکیل شده است و برای جداکردن این دو ایزوتوپ، از تفاوت جرم بین این دو ایزوتوپ استفاده می‌شود که این روش‌ها بسیار دشوار و پر هزینه‌اند.

amin@physicist.net