

تلاش در مسیر موفقیت



- دانلود گام به گام تمام دروس 
- دانلود آزمون های قلم چی و گاج + پاسخنامه 
- دانلود جزوه های آموزشی و شب امتحانی 
- دانلود نمونه سوالات امتحانی 
- مشاوره کنکور 
- فیلم های انگیزشی 

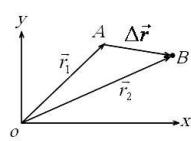
 Www.ToranjBook.Net

 [ToranjBook_Net](https://t.me/ToranjBook_Net)

 [ToranjBook_Net](https://www.instagram.com/ToranjBook_Net)

فصل اول: حرکت بر خط راست

صفحه ۱

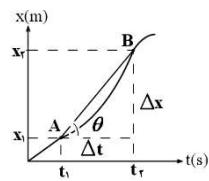


بردار مکان: برداری است که مبدأ مختصات را به مکان نهایی متحرک وصل می‌کند. (مثال r_1 و r_2)
بردار جابجایی: برداری است که مکان اولیه را به مکان نهایی متصل می‌کند. (Δr)

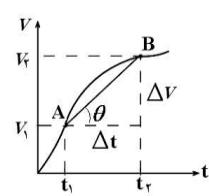
تندی متوسط و سرعت متوسط: تندی متوسط و سرعت متوسط دونده به صورت زیر تعریف می‌شوند و تندی متوسط، کمیتی نرده‌ای و

$$\text{سرعت متوسط، کمیتی برداری است. سرعت متوسط } s_{av} = \frac{l}{\Delta t} \quad \text{تندی متوسط } \vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

تعیین سرعت متوسط به کمک نمودار مکان زمان: سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه از زمان برابر شیب پاره خطی است که نقاط نظری آن دو لحظه در نمودار مکان زمان را به یکدیگر وصل می‌کند.



$$\left. \begin{aligned} v_{av} &= \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ \tan \theta &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_{av} = \tan \theta$$



شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای: شتاب متوسط برابر نسبت تغییر سرعت به بازه‌ی زمانی است که سرعت تغییر کرده است. شتاب متوسط را با

$$\bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad \left. \begin{aligned} \text{شتاب متوسط متوسط بین دو نقطه از نمودار سرعت-زمان برابر است با شیب خطی که آن دونقطه را به هم} \\ a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \end{aligned} \right\} \Rightarrow a_{av} = \tan \theta$$

شتاب لحظه‌ای شتابی است، که متحرک در هر لحظه دارد. و شتاب لحظه‌ای شیب نمودار سرعت زمان در هر لحظه است.

حرکت یکنواخت بر خط راست: حرکتی است که در آن همواره سرعت متحرک دارای اندازه و جهت ثابت باشد. شیب نمودار مکان زمان چنین حرکتی که همان سرعت است، همواره ثابت خواهد بود. در این نوع حرکت سرعت متوسط با سرعت لحظه‌ای برابر است. یعنی: $v_{av} = v$ معادله حرکت با سرعت ثابت به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\Rightarrow x = Vt + x_0$$

مساحت زیر سطح نمودار سرعت-زمان، برابر جابجایی است. مثلاً در نمودار نسبتاً پیچیده‌ی شکل زیر، برای محاسبه‌ی جابجایی مساحت‌های S_1 و S_3 را باهم جمع و نتیجه را منهای S_2 می‌کنیم زیرا S_2 زیر محور و منفی است.

شرط رسیدن دو متحرک به هم، در یک مسیر مستقیم الخط با یک اختلاف زمانی، این است که $X_A = X_B$ باشد.

حرکت بر خط راست با شتاب ثابت: اگر در حرکت در مسیر مستقیم شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن را حرکت با شتاب ثابت در مسیر مستقیم می‌نامیم. در این حالت شتاب لحظه‌ای و شتاب متوسط با هم برابرند. (یعنی $a_{av} = a$)

رابطه‌های اصلی در حرکت شتابدار با شتاب ثابت

$V = at + V_0$	$\Delta V = at$	معادله سرعت-زمان
$x = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t + x_0$	$\Delta x = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t$	معادله مکان-زمان
$x = \left(\frac{V_0 + V}{2} \right) t + x_0$	$\Delta x = \left(\frac{V_0 + V}{2} \right) t$	معادله مستقل از شتاب
$V^2 - V_0^2 = 2a(x - x_0)$	$V^2 - V_0^2 = 2a\Delta x$	معادله مستقل از زمان

معادله مکان-زمان در حرکت شتابدار با شتاب ثابت از درجه ۲ است، لذا نمودار آن یک سهمنی است. اگر انحنای (تقرع) این سهمنی رویه بالا باشد، شتاب مثبت و اگر انحنای (تفرع) این سهمنی رویه پایین باشد، شتاب منفی است.

حرکت تندرشونده، حرکت کندشونده: اگر در حرکت با شتاب ثابت شیب نمودار مکان-زمان در هر لحظه زیاد شود، حرکت تندرشونده است و اگر شیب نمودار در هر لحظه کم شود، حرکت کندشونده خواهد بود. در حالت کلی نتیجه می‌شود که اگر شتاب و سرعت در یک حرکت هم علامت باشند، آن حرکت تندرشونده خواهد بود و اگر شتاب و سرعت در یک حرکت غیر هم علامت باشند، آن حرکت کندشونده خواهد بود. یعنی:

$$\text{حرکت کندشونده} \rightarrow a \times V > 0$$

سقوط آزاد: (فقط ریاضی): هر گاه جسمی از یک ارتفاعی نسبت به سطح زمین سقوط کند اگر از مقاومت هوا صرف نظر شود، با شتاب ثابت $g/9/8$ متر بر مجدور ثانیه به سمت زمین سقوط می‌کند یعنی در هر یک ثانیه تقریباً ۱۰ متر بر ثانیه به سرعت حرکت جسم افزوده می‌شود، حرکت جسم در سقوط آزاد به سمت زمین شتابدار ثابت تندرشونده است و تنها نیروی وارد بر جسم همان نیروی وزن جسم است. سقوط آزاد یک حرکت شتابدار در امتداد محور قائم است. در حرکت سقوط آزاد برای سادگی در حل مسائل بهتر است نقطه پرتاب را مبدأ سنجش فرض کنیم ($y_0 = 0$) و جهت مثبت را رو به بالا در نظر بگیریم. اگر جسم رها شود یا سرعت اولیه صفر باشد ($V_0 = 0$)، معادله‌های حرکت سقوط آزاد به شکل ساده‌ی زیر در می‌آیند:

$$V = -gt \quad y = -\frac{1}{2} gt^2 \quad V^2 = -2gy \quad y = \frac{V}{2} t$$

سرعت در راستای عمودی، y جابجایی نسبت به محل سقوط آزاد، g شتاب جاذبه‌ی زمین که تقریباً ۱۰ است و t زمان است.

فصل دوم: دینامیک و حرکت دایره‌ای

دینامیک: علمی است با در نظر گرفتن نیرو به بررسی حرکت می‌پردازد.

تصویف نیرو: عملی است که باعث تغییر وضعیت حرکت جسم می‌شود یعنی وقتی به یک جسم نیرو وارد می‌شود سرعت و یا شکل جسم تغییر می‌کند. (برهم کنش (ثابت) دو جسم بر یکدیگر را نیرو نامند). (نیرو دارای اندازه و جهت است، بنابراین یک کمیت برداری است).

قانون اول نیوتون (قانون لختی): یک جسم حالت سکون یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آنکه تحت تأثیر نیرویی مجبور به تغییر آن حالت شود. یا: هرگاه بر جسمی نیرو وارد نشود (یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر شود) جسم اگر ساکن باشد همچنان ساکن می‌ماند و اگر دارای حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

لختی یا اینرسی: مقاومت اجسام در مقابل تغییر حرکت و سرعت را لختی یا اینرسی می‌نامند. این اصل مطابق با قانون اول نیوتون است. به همین علت قانون اول نیوتون درباره حرکت را قانون لختی نیز می‌نامند یا: تمایل اجسام برای حفظ حالت سکون یا حرکت یکنواخت روی خط راست، را لختی می‌گوییم.

قانون دوم نیوتون: اگر به یک جسم نیروهایی وارد شود، شتابی می‌گیرد که با برآیند نیروهایی وارد بر جسم (نیروی خالص وارد بر جسم) نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد یعنی:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m} \Rightarrow \vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

تکانه (اندازه حرکت): حاصل ضرب جرم جسم در سرعت آن، تکانه نام دارد و آن را با \vec{p} نشان می‌دهیم، که کمیتی برداری است. یکای تکانه در SI، $N \cdot s$ یا $kg \cdot m$ است.

$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

قانون دوم نیوتون بر حسب تکانه برای نیروی ثابت به صورت زیر دارد:

$$\Delta \vec{P} = F$$

یعنی نیروی خالص وارد بر جسم برابر با تغییر تکانه جسم تقسیم بر زمان تغییر آن است. همچنین از این رابطه نتیجه می‌گیریم که تغییر تکانه برابر با حاصل ضرب نیرو در مدت زمان تأثیر آن است.

برای بازه زمانی بزرگ به جای نیروی خالص باید نیروی خالص متوسط در فاصله زمانی مورد نظر را به کار برد. یعنی:

$$\Delta \vec{P} = F$$

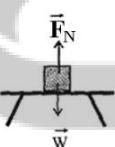
قانون سوم نیوتون: هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم هم به جسم اول نیرویی هم اندازه‌ی آن ولی در خلاف جهت وارد می‌کند (کنش) و نیرویی که جسم دوم وارد می‌کند (واکنش) نامیده می‌شوند. این دو نیرو همواره هم اندازه هم راستا و در سوی مخالف یکدیگرند و هریک بر جسم دیگر وارد می‌شود. یا: برای هر عملی، عکس العملی است مساوی با آن ولی در جهت مختلف

$$\vec{w} = m\vec{g}$$

نیروی وزن: وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود. جهت وزن و در نتیجه شتاب گرانشی همواره به طرف زمین (مرکز زمین) است. جرم یک جسم در مکان‌های مختلف ثابت است، اما وزن آن به مقدار g در آن مکان بستگی دارد. شتاب جاذبه (g) در سطح زمین تقریباً $9.8 N/kg$ است.

نیروی مقاومت شاره: وقتی جسمی در یک شاره (مایع یا گاز) قرار دارد و نسبت به آن حرکت می‌کند از طرف شاره نیرویی در خلاف جهت حرکت جسم، به آن وارد می‌شود که به آن نیروی مقاومت شاره می‌گویند. ویژگی‌ها: ۱) نیروی مقاومت شاره به بزرگی جسم، تندی آن و ... بستگی دارد. ۲) هر چه تندی جسم بیشتر باشد، نیروی مقاومت شاره بیشتر خواهد شد. ۳) اگر جسم در هوا حرکت کند، به این نیرو، نیروی مقاومت هوا می‌گویند.

نیروی عمودی سطح (نیروی عمودی تکیه‌گاه): نیروی عمودی سطح ناشی از تغییر شکل سطح تماس دو جسم است و با F_N نشان داده می‌شود. برای جسم روی سطح افقی F_N است مگر آنکه نیروی دیگری، عمود بر سطح وجود داشته باشد.



نیروی اصطکاک: وقتی تلاش می‌کنیم جسمی را روی سطحی به حرکت درآوریم، چه جسم حرکت کند و چه ساکن بماند، با مقاومتی روبه‌رو می‌شویم که به آن نیروی اصطکاک گویند. این نیرو در خلاف جهت حرکت بر جسم وارد می‌شود و از نیروهای الکترومغناطیسی بین اتم‌ها ناشی می‌شود. نیروی اصطکاک بین دو جسم به جنس سطح دو جسم، و زبری و نرمی آنها و بستگی دارد. **نیروی اصطکاک بر دو نوع است:** ۱- **نیروی اصطکاک ایستایی:** در این حالت جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد، کشیده شده اما ساکن می‌ماند. ۲- **نیروی اصطکاک جنبشی (لغزشی):** در این حالت جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد در حرکت است.

نیروی اصطکاک ایستایی دارای حداقلی است. اصطکاک ایستایی آستانه حرکت از رابطه روبرو به دست می‌آید.

$$f_{s,max} = \mu_s F_N$$

باشد جسم شروع به حرکت می‌کند. اصطکاک ایستایی آستانه حرکت از رابطه روبرو به دست می‌آید.

نمودار: ضریب اصطکاک ایستایی است و بستگی به جنس سطح تماس (زبری، صافی و ...)، رطوبت محیط و ... دارد و چون یک مقدار ثابت است واحد ندارد.

نیروی اصطکاک جنبشی: وقتی جسمی روی سطحی می‌لغزد از طرف سطح بر جسم، نیروی اصطکاک جنبشی وارد می‌شود که موادی با سطح و در خلاف جهت لغزش جسم است. آزمایش نشان می‌دهد که اندازه نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازه نیروی عمودی سطح است.

$$f_k = \mu_k F_N$$

نمودار: که در آن F_N نیروی عمودی سطح و μ_k ضریب اصطکاک جنبشی است. ضریب اصطکاک جنبشی مانند ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آنها و ... بستگی دارد و بدون واحد است.

نمودار: μ_k همواره از μ_s بزرگتر است لذا نیروی اصطکاک ایستایی از جنبشی بیشتر است. ($\mu_s < \mu_k$)

نیروی کشسانی (قانون هوک): اگر فنر را تحت اثر نیروی کشش یا فشارنده‌ی فنر می‌نامند. (نیروی F_e) می‌کند این نیرو را نیروی کشسانی یا نیروی بازگرداننده‌ی فنر می‌نامند.

$$F_e = k\Delta l$$

$$\Delta l = l - l_0$$

Δl تغییر طول فنر، l_0 طول اولیه فنر، F طول فنر در اثر نیروی F است. k ثابت فنر و از مشخصه‌های فنر است که ضریب سختی فنر نیز نامیده می‌شود. ثابت فنر به اندازه شکل و ساختار ماده‌ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد و واحد آن N/m است.

دوره زمان تناوب یا پریود: مدت زمانی است که متحرک روی مسیر دایره‌ای، یک دور کامل را طی می‌کند. دوره را با T نمایش می‌دهند و یکای آن در SI، ثانیه است. از آنجا که در این حرکت ذره محیط دایره ($2\pi r$) را با تندی (V) در زمان T طی می‌کند، داریم:

$$T = \frac{2\pi r}{V}$$

شتاب مرکزگرا و قانون دوم نیوتون: در حرکت دایره‌ای یکنواخت، اندازه سرعت ثابت است اما جهت آن دائم تغییر می‌کند. به همین دلیل حرکت دایره‌ای، حرکتی شتاب دار است. در حالتی که بازه زمانی خیلی کوچک انتخاب می‌شود، جهت ΔV به طرف مرکز دایره خواهد بود. پس جهت شتاب لحظه‌ای نیز به طرف مرکز خواهد بود. به

همین دلیل به آن شتاب مرکزگرا می‌گویند. شتاب مرکزگرا برابر است با:

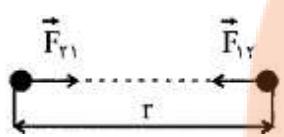
$$a_c = \frac{V^2}{r}$$

در حرکت دایره‌ای یکنواخت، شتاب جسم، همواره در راستای شعاع دایره و به طرف مرکز آن می‌باشد. طبق قانون دوم نیوتون، نیرو و شتاب، هم جهت با یکدیگر می‌باشند. در نتیجه در حرکت دایره‌ای یکنواخت، برآیند نیروهای وارد بر جسم (F_{net} ، به طرف مرکز دایره است.

قانون دوم نیوتون در حرکت دایره‌ای یکنواخت:

$$F_{net} = m \frac{V^2}{r}$$

نیروی گرانشی: نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مربع فاصله آنها از یکدیگر نسبت وارون دارد.



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

که در آن: m_1 : جرم جسم ۱ m_2 : جرم جسم ۲ r : فاصله بین دو جسم G : ثابت جهانی گرانش F : نیرو

❖ ثابت جهانی گرانش است که مقدار آن $G = 6/67 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$ است که مقداری بسیار کوچک می‌باشد. بنابراین نیروی گرانشی میان جسم‌های با جرم‌های کوچک قابل ملاحظه نیست.

❖ دو جرم همواره یکدیگر را می‌بایند. به عبارت دیگر نیروی گرانشی از نوع رانشی (دافعه) نیست.

چند نکته برای حل مسائل دینامیکی:

۱- ابتدا جسم را مشخص کرده و شکل ساده‌ای برای آن رسم می‌کنیم.

۲- نیروهایی که از طرف محیط به جسم وارد می‌شود مشخص (تعیین جهت و راستا) می‌کنیم. (دیگرام آزاد)

(نیروها عبارتند از وزن، عکس العمل تکیه‌گاه، اصطکاک، کشش نخ، نیروی موتور و غیره)

۳- دستگاه مختصاتی مناسب مشخص می‌کنیم. (جهت حرکت یا میل به حرکت، جهت + یکی از محورها است).

۴- با استفاده از قانون دوم نیوتون، شتاب حرکت یا مجهول دیگر مسأله را به دست می‌آوریم.

فصل سوم: نوسان و موج

نوسان دوره‌ای: حرکتی است که متحرک، پس از طی زمان معینی، به وضعیت اولیه برگشته و حرکت خود را از نو، آغاز می‌کند. مانند حرکت منظم قلب، حرکت تاب، حرکت زمین به دور خورشید و ...

حرکت هماهنگ ساده: به نوسان‌های سینوسی، حرکت هماهنگ ساده (SHM) گفته می‌شود. راین حرکت، متحرک، روی یک پاره خط، حول نقطه‌ی تعادل واقع در وسط پاره خط، حرکت رفت و برگشت، انجام می‌دهد. دو نمونه از حرکت هماهنگ ساده، عبارت از: ۱) حرکت آونگ، وقتی که، زاویه‌ی α خیلی کوچک باشد، ۲) حرکت نوسانی وزنه‌ی متصل به فنر.

دوره تناوب: در حرکت هماهنگ ساده، مدت زمانی که جسم، یک بار رفت و برگشت را انجام می‌دهد، دوره‌ی حرکت نامیده و آن را با T نشان می‌دهیم و واحد آن، ثانیه است. بسامد: در حرکت هماهنگ ساده، تعداد رفت و برگشت‌ها، در مدت ۱ ثانیه، بسامد حرکت است. (توجه کنید که در حرکت دایره‌ای، بسامد، تعداد دوره‌ای کامل در ۱ ثانیه بود).

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{یا} \quad T = \frac{1}{f}$$

تعداد نوسانات در مدت زمان t ثانیه (N) برابر است با:

$$N = f t = \frac{t}{T}$$

دامنه‌ی نوسان: در حرکت هماهنگ ساده، بیشترین فاصله‌ی نوسان‌گر از نقطه‌ی تعادل را دامنه‌ی حرکت نامیده و آن را با A نشان می‌دهیم و واحد آن متر می‌باشد.

(معادله مکان زمان در حرکت هماهنگ ساده) $x(t) = A \cos \omega t$

$$\textcircled{1} \quad \text{بسامد زاویه‌ای و برابر } 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{ است. یکای بسامد زاویه‌ای در SI, rad/s.}$$

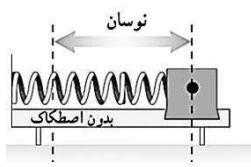
وقتی نوسانگر در $x = \pm A$ است، سرعت آن برابر با صفر است به این نقطه‌ها اصطلاحاً نقطه‌های بازگشت حرکت می‌گویند. وقتی $x = 0$ است (یعنی نوسانگر از نقطه تعادل گذرد) اندازه سرعت بیشینه است.

سامانه‌ی جرم فنر: دوره تناوب T ، بسامد f و بسامد زاویه‌ای ω برای هر سامانه‌ی جرم فنر، برابر است با:

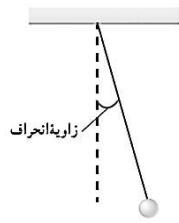
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{و} \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad , \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

❖ دوره تناوب سامانه‌ی جرم فنر با یک فنر معین ولی وزنه‌های متفاوت، با جذر جرم وزنه به طور مستقیم متناسب است

❖ دوره تناوب سامانه‌ی جرم فنر با یک وزنه معین ولی فنر های متفاوت، با جذر ثابت فنر به طور وارون متناسب است.



آونگ ساده: آونگ ساده شامل وزنه کوچکی به جرم m است که از نخ بدون جرم و کش نیامدنی به طول L که سر دیگر آن ثابت شده، آویزان است. اگر زاویه انحراف آونگ از وضع تعادل کوچک باشد، آونگ حرکت هماهنگ ساده خواهد داشت. دوره تناوب آونگ ساده فقط به شتاب گرانشی (g) و طول آونگ (L) بستگی دارد، و از رابطه زیر به دست می‌آید:

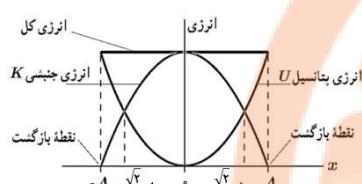


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1} \times \frac{g_1}{g_2}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

با توجه به رابطه دوره تناوب آونگ: دوره تناوب آونگ ساده به جرم و دامنه آن بستگی ندارد.

اگر اندازه‌گیری در محلی به غیر از زمین باشد، به جای g شتاب گاذبه در آن محل را قرار می‌دهیم. مثلاً اگر اندازه‌گیری در آسانسور باشد، به جای g , g' یعنی نتیجه‌ی شتاب خود آسانسور و شتاب زمین $(g' = g \pm a)$ را قرار می‌دهیم.

انرژی در حرکت هماهنگ ساده:



در سامانه جرم-فner انرژی پتانسیل (U) متناسب با x^2 است. بنابراین انرژی پتانسیل سامانه جرم فner در نقاط بازگشتی ($x = \pm A$) بیشینه و در نقطه تعادل ($x = 0$) برابر صفر است.

انرژی جنبشی (K) جرم فner به جرم قطعه متصل به فر و تندي آن بستگی دارد.

هرچه فاصله (x) بیشتر، انرژی پتانسیل بیشتر و هرچه سرعت (v) بیشتر، انرژی جنبشی بیشتر است.

$$\text{در دامنه } A \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ مقدار انرژی جنبشی و پتانسیل با هم برابر است.}$$

انرژی مکانیکی سامانه جرم فner ($E = U + K$): انرژی کل یک نوسانگر هارمونیک ساده با محدود بسامد، محدود دامنه و جرم نوسانگر رابطه مستقیم دارد.

$$E = \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = 2\pi^2 m A^2 f^2$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2$$

تشدید: اگر در نوسانگری نوسان‌های واداشته با بسامد طبیعی نوسانگر برابر شود (یعنی $f_d = f_0$), در چنین وضعیتی اصطلاحاً گفته می‌شود که برای نوسانگر تشید (روزناس) رخ داده است. در این حالت دامنه نوسان افزایش می‌یابد.

أنواع موج با توجه به محیط انتشار: ۱- **امواج مکانیکی:** این امواج برای انتشار، به محیط مادی نیاز دارند، بنابراین در خلا انتشار نمی‌یابند. مانند امواج صوتی، تشکیل موج بر سطح آب، موج ایجاد شده در طناب، فر و ... ۲- **امواج الکترومغناطیس:** این امواج در همه جا (مایعات، جامدات، گازها و خلا) منتشر می‌شوند. مانند نور، امواج رادیویی، اشعه‌ی گاما و

أنواع موج از لحاظ راستای ارتعاش: ۱) **امواج عرضی:** اگر راستای نوسان ذره‌های محیط، عمود بر راستای انتشار موج باشد، موج را عرضی می‌نامند.

۲) **امواج طولی:** اگر راستای نوسان ذره‌های محیط، موازی با راستای انتشار موج باشد، موج را طولی می‌نامند.

امواج مکانیکی عرضی، در محیط‌های منتشر می‌شوند که نیروی بین ذرات آن نسبتاً زیاد باشد. با این حساب، امواج مکانیکی عرضی، فقط در جسم‌های جامد و سطح مایع به دلیل کشش سطحی در سطح مایع ایجاد و منتشر می‌شوند. ولی امواج طولی در تمام حالات ماده، ایجاد و منتشر می‌شوند.

مشخصه‌های موج:

۱) **طول موج:** فاصله بین دو فرورفتگی مجاور، طول موج نامیده می‌شود و آن را با λ نشان می‌دهند. طول موج λ برابر با مسافتی است که موج در مدت دوره تناوب نوسان چشممه طی می‌کند.

۲) **دامنه (A):** بیشینه فاصله یک ذره از مکان تعادل، دامنه موج نامیده می‌شود که همان فاصله قله یا دره نسبت به سطح آرام یا ساکن است.

۳) **دوره تناوب (T):** مدت زمانی که هر ذره محیط یک نوسان کامل انجام می‌دهد دوره تناوب موج نامیده می‌شود که برابر با زمانی است که چشممه موج یک نوسان کامل انجام می‌دهد.

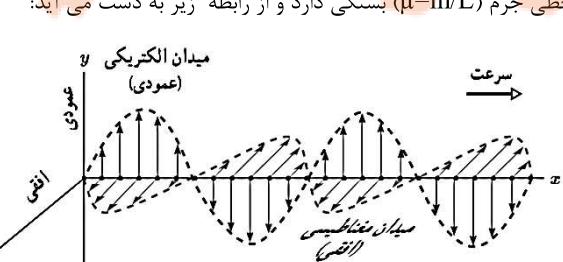
۴) **بسامد (f):** تعداد نوسان‌های انجام شده توسط هر ذره محیط در یک ثانیه بسامد موج نامیده می‌شود که برابر با بسامد چشممه موج نیز هست. پس: $f = \frac{1}{T}$

۵) **تندی انتشار موج (v):** اگر جبهه موج در مدت Δt مسافت Δx را طی کند، تندی انتشار موج از رابطه $\frac{\Delta x}{\Delta t} = v$ به دست می‌آید. از آنجا که طول موج λ در دوره T طی می‌شود، داریم: (تندی انتشار موج) $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$

عوامل مؤثر بر سرعت انتشار موج: سرعت انتشار موج در یک محیط، به ویژگی‌های فیزیکی آن محیط (جنس، دمای، فشار و ...) بستگی دارد، اما به شرایط فیزیکی چشممه موج (بسامد، دامنه، انرژی مکانیکی و ...) بستگی ندارد.

دقیق کنید که تندی ارتعاش (نوسان) که بیشینه‌ی آن $A\omega$ است را با تندی انتشار موج که مقداری ثابت است، اشتباہ کنید.

تندی انتشار موج عرضی در یک فner، تار یا ریسمان کشیده به نیروی کشش (F) و چگالی خطی جرم ($\mu = m/L$) بستگی دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید:



$$\mu = \rho A \Rightarrow V = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} \quad v = \sqrt{\frac{f}{\mu}} \quad (\text{تندی انتشار موج عرضی در تار یا فner})$$

$$\mu = \frac{m}{L} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{F \times L}{m}}$$

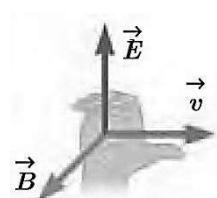
امواج الکترومغناطیسی: امواج الکترومغناطیسی از تغییر هم زمان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در فضا به وجود می‌آیند.

میدان الکتریکی \vec{E} همواره عمود بر میدان مغناطیسی \vec{B} است.

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی E و B همواره بر جهت حرکت موج عمود ند و در نتیجه موج الکترومغناطیسی، یک موج عرضی است. میدان‌ها با سامد یکسان و همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند.

جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را می‌توان مطابق شکل از قاعده دست راست تعیین کرد.

$$\text{جهت انتشار موج الکترومغناطیسی} (\vec{k}) \text{ هم جهت با بردار} (\vec{E} \times \vec{B}) \text{ است. همانند محورهای مختصات} (\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$$



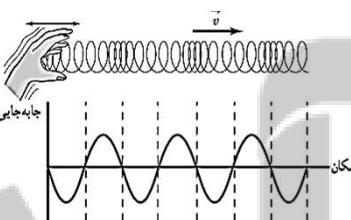
قرار داده که انگشت شصت دست راست در جهت \vec{E} باشد، آن گاه بردار \vec{k} از کفر دست راست خارج می‌شود.

تندی انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلا از رابطه $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ به دست می‌آید. که در آن تراوایی مغناطیسی خلا $\epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ و ضریب گذردهی الکتریکی خلا $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ است.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

نور هم یک موج الکترومغناطیسی است زیرا با تندی c منتشر می‌شود.

اماوج الکترومغناطیسی انرژی را صورت انرژی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منتقل می‌کنند.



مواج طولی و مشخصه‌های آن: در مورد مواج طولی، طول مواج برابر با فاصله بین دو تراکم (برای فنر، جمع شدگی) یا دو انبساط (برای فنر، بازشدگی) متواال است. همچنین دامنه مواج طولی با بیشینه جایه جایی از مکان تعادل است. برای امواج مکانیکی، تندی انتشار امواج طولی در یک محیط جامد بیشتر از تندی انتشار امواج عرضی در همان محیط است.

مواج صوتی: صوت یک مواج طولی است که توسط جسمی مرتعش (چشمچه صوت) تولید می‌شود. صوت فقط در محیط‌های مادی مانند گاز، مایع، یا جامد می‌تواند ایجاد و منتشر شود. امواج صوتی مجموعه‌ای از تراکم‌ها و انبساط‌ها تشکیل شده‌اند.

تندی انتشار صوت نیز مانند هر مواج مکانیکی دیگری با رابطه $I = P/V$ به سامد و طول مواج مربوط می‌شود و به ویژگی‌های فیزیکی محیط بستگی دارد. تندی صوت افزون بر جنس محیط به دما نیز بستگی دارد. عوامل سرعت صوت در جامدها بیشتر از مایع‌ها و در مایع‌ها بیشتر از گازها است.

شدت و تراز شدت صوت: شدت یک مواج صوتی (I) در یک سطح، برابر با آهنگ متوسط انرژی‌ای است که توسط مواج به واحد سطح، عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد یا از آن عبور می‌کند. که در آن P آهنگ متوسط انتقال انرژی و A مساحت سطحی است که صوت با آن برخورد می‌کند. بنابراین $I = \frac{P}{At} = \frac{P}{A}$ یکای شدت صوت، وات بر متر مربع (W/m^2) است.

شدت صوتی که از سطح کره‌ای به مساحت $A = 4\pi R^2$ عبور می‌کند، از رابطه‌ی روبرو به دست می‌آید.

شدت صوت مبنای آستانه‌ی شنوایی صوتی با سامد $10^{0.00} \text{ Hz}$ برابر گوش سالم است که برابر است با $I_o = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \frac{\mu\text{W}}{\text{m}^2}$

تراز شدت صوت یا شدت احساسی نسبی صوت: تراز شدت صوت، در واقع درک انسان را از بلندی صوت بیان می‌کند و عبارت از لگاریتم در پایه‌ی ده نسبت شدت آن صوت به شدت صوت مبنای که آن را با β نشان داده و واحد آن بدل می‌باشد:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_o} (\text{db})$$

هر بدل ۱۰ دسی بدل است. بنابراین:

$$\beta = \log \frac{I}{I_o} (b)$$

بلندی نسبی صوت: تفاضل تراز شدت دو صوت را بلندی نسبی آن‌ها گویند. اگر صوتی به شدت I_2 با تراز β_2 و صوتی دیگر با شدت I_1 با تراز β_1 شنیده شوند، اگر

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1}$$

$\beta_2 > \beta_1$ باشد، بلندی نسبی آن‌ها برابر است با:

$$\Delta\beta = 20 \log \frac{d_1}{d_2} \quad \text{در نتیجه:} \quad \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

از طرفی چون شدت نسبت عکس با مجدور فاصله دارد پس می‌توان نوشت:

ادراک شنوازی: با شنیدن هر تُن، دو ویژگی را می‌توان از هم متمایز ساخت: ارتفاع و بلندی هر دو به ادراک شنوازی ما مربوط می‌شوند. ارتفاع، بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند؛ مثلاً اگر چند دیپاژون با بسامدهای مختلف به طور یکسان نواخته شوند بسامد آنها را می‌توان از کمترین تا بیشترین مقدار تشخیص داد.

بلندی، شدتی است که گوش انسان از صوت درک می‌کند. اگر یک دیپاژون با بلندی متفاوت را با ضربه‌هایی متفاوت به ارتعاش واداریم، با آنکه بسامد صدایی که می‌شنویم تغییر نمی‌کند، اما صدای ای با بلندی متفاوت را حس می‌کنیم که این به شدت ضربه‌هاست.

بلندی متفاوت باشد است. شدت را می‌توان با یک آشکار ساز اندازه گرفت، در حالی که بلندی چیزی است که شما حس می‌کنید. دستگاه شنوازی انسان به بسامدهای متفاوت حساسیت‌های متفاوتی نشان می‌دهد، به طوری که بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گستره 2000 Hz تا 5000 Hz است، در حالی که گوش انسان قادر به شنیدن تُن‌های صدای 20000 Hz تا 2000 Hz است.

اثر دوپلر: تغییر بسامدی که در اثر حرکت نسی منبع صوت و شنونده ایجاد می‌شود را پدیده دیگر نیز اتفاق می‌افتد.

❖ اثر دوپلر نه تنها برای امواج صوتی بلکه برای امواج الکترومغناطیسی، مانند میکرومواج، موج‌های رادیویی و نور مرئی نیز برقرار است.

الف) چشممه متحرک و ناظر(شونونده) ساکن:

اگر ناظر ساکنی را روبرو مانیم در نظر بگیریم، این ناظر طول موج کوتاه تری را نسبت به وضعیتی که ماشین ساکن بود اندازه می‌گیرد، که این به معنی افزایش بسامد برای این ناظر است. در حالی که ناظر ساکن عقب ماشین طول موج بلندتری را نسبت به وضعیتی که ماشین ساکن بود اندازه می‌گیرد، که این به معنی کاهش بسامد برای این ناظر است.

ب) چشممه ساکن و ناظر(شونونده) متحرک:

در این حالت تجمع جبهه‌های موج در دو سوی چشممه یکسان است. اگر ناظر به طرف چشممه حرکت کند، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت زمان یکسان، با جبهه‌های موج بیشتری مواجه می‌شود که این منجر به افزایش بسامد صوتی می‌شود که ناظر می‌شنود. در حالی که اگر ناظر از چشممه دور شود، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت زمان یکسان، با جبهه‌های موج کمتری مواجه می‌شود که این منجر به کاهش بسامد صوتی می‌شود که ناظر می‌شنود.

اثر دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی: هر گاه چشممه موج الکترومغناطیسی نسبت به ناظر (آشکارساز) در حرکت باشد، بسامد و طول موج دریافتی از این چشممه تغییر می‌کند. وقتی چشممه نور از ناظر (آشکارساز) دور می‌شود، طول موج افزایش می‌یابد که به آن اصطلاحاً انتقال به سرخ می‌گویند و وقتی چشممه نور به ناظر نزدیک می‌شود، طول موج کاهش پیدا می‌کند که به آن اصطلاحاً انتقال به آبی می‌گویند.

فصل چهارم: برهم کنش‌های موج

بازتاب، شکست، پراش و تداخل برهم کنش‌های موج با محیط هستند.

بازتاب

پژواک صوت نمونه‌ای از بازتاب امواج مکانیکی است. خفاش برای یافتن طعمه از پژواک موج صوتی خود استفاده می‌کند. امواج الکترومغناطیسی (از جمله نور) نیز بازمی‌تابند.

❖ تولید صدا در آلات موسیقی، پژواک صداها، دیدن ماه، دیدن صفحه کتاب، گرم شدن مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی، جمع شدن امواج رادیویی در کانون آتن‌های بشقابی و ... مثال‌هایی از کاربرد بازتاب امواج در زندگی هستند.

❖ راویه بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی تابیده (فرودی) را زاویه تابش می‌نامند و با θ_i نشان می‌دهند.

❖ راویه بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی بازتابیده را زاویه بازتابش می‌نامند و با θ_r نشان می‌دهند.

❖ همواره زاویه بازتابش برابر با زاویه تابش است: یعنی $\theta_r = \theta_i$ که به آن، قانون بازتاب عمومی گفته می‌شود.

نمودار پرتویی همراه با جبهه‌های موج برای بازتاب امواج نخت از سطح مانع نشان داده شده است.

طرحی از جبهه‌های موج تابیده (خطوط تویر) و جبهه‌های موج بازتابیده (خطوط خطچین)

❖ اگر سطح بازتابنده نور همچون یک آینه، بسیار هموار باشد، بازتاب نور را بازتاب آینه‌ای یا منظم می‌گویند. نوع دیگر بازتابش، بازتاب پخششده یا نامنظم است.

پژواک: اگر صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش شنوندهای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می‌شنود، به چنین بازتابی پژواک می‌گویند. اگر تأخیر زمانی بین این دو صوت کمتر از 180° باشد، گوش انسان نمی‌تواند پژواک را از صوت مستقیم اولیه تمیز دهد.

مکان یابی پژواکی روشنی است که بر اساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین می‌کند. مکان یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر، در تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تعیین تندی آنها به کار می‌رود. همین طور در فناوری‌هایی نظیر اندازه‌گیری تندی شارش خون در رگ‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود.

همچنین در دستگاه سونار که در کشتی‌ها برای مکان یابی اجسام زیر آب به کار می‌رود، و در سونوگرافی نیز از مکان یابی پژواکی استفاده می‌شود. دستگاه لیتوتریپسی که از آن برای شکستن سنگ‌های کلیه، با کمک بازتابندهای بیضوی استفاده می‌شود.

شکست وقتی رخ می‌دهد که جهت پیشروی امواج در ورود به یک محیط جدید تغییر کند. شکست برای امواج مکانیکی نیز رخ می‌دهد.

- ❖ رنگ‌های رنگین کمان، تصویری که با کمک عینک می‌بینیم، تصاویری که با استفاده از عدسی‌های ابزارهای نوری مانند میکروسکوپ و دوربین دیده می‌شود، و ...
- ❖ مثال‌های رایجی از شکسته شدن امواج نوری در پیغامون ما است. این پدیده برای امواج صوتی نیز رخ می‌دهد ولی به اندازه امواج نوری اهمیت ندارد..
- ❖ امواج نه تنها با محیط بلکه با یکدیگر نیز بهم کنش می‌کنند. تداخل نمونه‌ای از بهم کنش امواج با یکدیگر است.

عبور یک تپ در طول طنابی را در نظر بگیرید که از دو بخش، یکی نازک و دیگری ضخیم، تشکیل شده است (شکل الف). وقتی این تپ از سمت بخش نازک به مرز دو بخش می‌رسد، بخشی از این تپ باز تابد و بخشی دیگر عبور می‌کند (شکل ب). برای یک موج سینوسی بسامد این دو موج همان بسامد موج فرودی است که توسط $\lambda = V/f$ طول موج کمتری نسبت به موج عبوری که تندی آن در قسمت ضخیم کمتر است، بنا به رابطه $V = \lambda f$ خواهد داشت.

(الف) تپ فرودی از سمت جب طاب وارد بعض ضخمتر آن می‌شود.

در حالاتی دو یا سه بعدی با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، تندی موج تغییر می‌کند و ممکن است جهت انتشار موج نیز تغییر کند و اصطلاحاً موج شکست پیدا کند. تندی امواج روی سطح آب به عمق آن بستگی دارد. با ورود موج به بخش کم عمق، تندی موج سطحی کاهش می‌یابد. روش ایست. آن بخش موج که زودتر به ناحیه کم عمق می‌رسد، چون با تندی کمتر حرکت می‌کند از بقیه موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد و بنابراین فاصله بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول موج کاهش می‌یابد و به این ترتیب جبهه‌های موج در مرز دو ناحیه تغییر جهت می‌دهند.

قانون شکست عمومی: برای جبهه‌های موج تختی به طور مایل به مرز دو محیط می‌رسند و سپس شکست پیدا می‌کنند. رابطه زیر برقرار است که به آن **قانون شکست عمومی** می‌گویند

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

اگر موجی از محیطی که در آن تندی موج کمتر است وارد محیطی شود که در آن تندی موج بیشتر است، زاویه شکست بزرگ‌تر از زاویه تابش می‌شود و بر عکس یعنی اگر سرعت موج در محیط دوم کمتر باشد زاویه شکست کوچک‌تر از زاویه تابش می‌شود.

شکست امواج الکترومغناطیسی: یک موج پرقدرت رادیویی، با بسامد بین ۳ تا ۳۰ مگاهرتز، به لایه یون سپهر(یونسفر) بالای جو که در ارتفاع ۸۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتری سطح زمین واقع است فرستاده می‌شود. این لایه به علت وجود یون‌ها و الکترون‌های آزاد، پلاسمایی را ایجاد می‌کند.

یون سپهر(یونسفر) چه امواجی را عبور میدهد و چه امواجی را بازتاب میدهد؟ چرا؟ یون سپهر در حالی که نور مرئی و تابش فروسرخ را عبور می‌دهد، امواج رادیویی با طول موج‌های بلند (با λ) بزرگ‌تر از حدود ۱۰ m را که در جهت‌های مناسبی به سوی این لایه ارسال شده باشند، به طرف زمین برミ‌گرداند. دلیل این اتفاق، یکنواخت نبودن چگالی الکترون‌های آزاد در این لایه و در نتیجه، تفاوت تندی امواج رادیویی در قسمت‌های مختلف آن است، به طوری که در سازوکاری مانند پدیده سراب، امواج را به سمت پایین باز می‌گرداند.

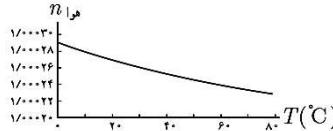
ضریب شکست: برابر با نسبت تندی نور در خالا به تندی نور در یک محیط است:

$$n = \frac{\text{تندی نور در خالا}}{\text{تندی نور در یک محیط}}$$

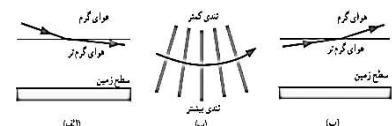
چون تندی نور در خالا بیشترین تندی ممکن است، ضریب شکست همواره بزرگ‌تر یا مساوی ۱ است (که ۱ مربوط به خالا است).

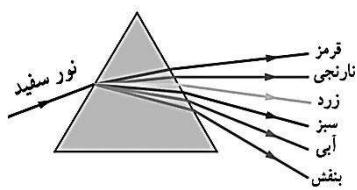
$$\text{قانون شکست اسلن} \quad n \cdot \sin \theta_1 = n_1 \cdot \sin \theta_2 \quad \text{در حالت کلی:} \quad \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

سواب: در روزهای گرم هوای سطح زمین نسبتاً داغ است. چگالی هوای افزایش دما کاهش می‌یابد که این سبب کاهش ضریب شکست می‌شود. با پایین آمدن هر چه بیشتر پرتوهای نظری جبهه‌های موج، آنها با ضریب شکست‌های کوچک‌تر و کوچک‌تری روبرو می‌شوند و در هر مرحله با دور شدن از خط عمود، بیشتر و بیشتر به سمت افق و در ادامه به سمت بالا خم می‌شوند. نوری که به چشم ما می‌رسد، به نظر می‌آید از

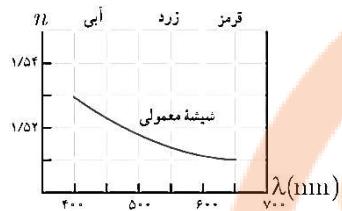


امتداد پرتوهای نشان داده شده است و این حس را ایجاد می‌کند که گویی از تصویری از جسم (مثلاً درخت) بر روی سطح زمین ایجاد شده است. چون این اتفاق وقتی می‌افتد که آب روی زمین است، تصور می‌شود آب روی زمین است.

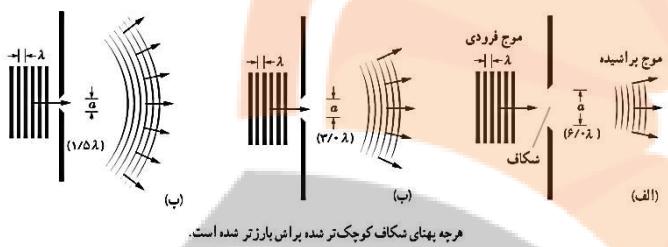




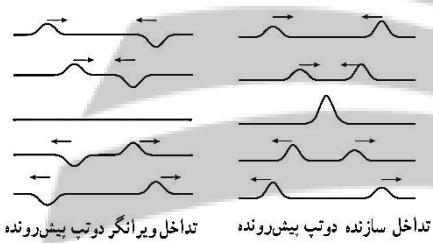
پاشندگی نور: وقتی باریکه نور سفید خورشید به وجهی از یک منشور می‌تابد، در عبور از منشور به رنگ‌های مختلفی تجزیه می‌شود. دلیل این پدیده آن است که ضریب شکست هر محیطی به جز خلاً به طول موج نور بستگی دارد. یعنی وقتی باریکه نوری شامل برتوهایی با طول موج‌های مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند. به این پخش شدگی نور، پاشندگی نور می‌گویند.



عموماً ضریب شکست یک محیط معین برای طول موج‌های کوتاه تر، بیشتر است. اگر مثلثاً دو باریکه نور آبی و قرمز با زاویه تابش یکسانی از هوا وارد شیشه شوند باریکه آبی بیشتر از باریکه قرمز خم می‌شود.



پراش موج: در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در حدود طول موج باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف‌ها عبور می‌کند، بهوضوح به اطراف مانع یا شکاف گسترش دهد می‌شود. به این پدیده که موج در عبور از یک شکاف با پهنایی از مرتبه طول موج، به اطراف گسترش دهد می‌گویند. پراش برای همه انواع موج اتفاق می‌افتد. اگر پراش نوری تکفam از یک شکاف باریک یا لبه‌ای تیز را روی یک پرده ملاحظه کنیم، همواره نوارهای تاریک و روشنی موسوم به نقش پراش را موازی با لبه‌های شکاف مشاهده می‌کنیم.



تداخل امواج
اصل برهm نهی امواج: وقتی چندین موج به طور هم زمان بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آنها برای مجموع اثرهای مجازی هر یک از آنها است.
به ترتیب موج‌ها با یکدیگر، تداخل می‌گویند. به بیان دیگر تداخل، ترکیب دو یا چند موج است که هم زمان از یک منطقه عبور می‌کنند.

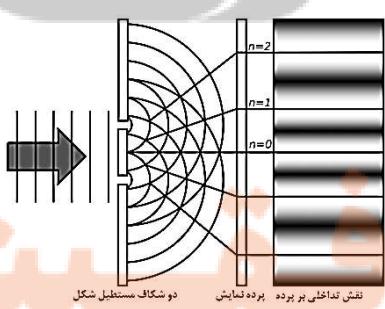
❖ اگر تپ‌ها هنگام همپوشانی تپ بزرگ‌تری را ایجاد کنند به آن **تداخل سازنده** می‌گویند، و اگر تپ‌ها هنگام همپوشانی اثر یکدیگر را حذف کنند به آن **تداخل ویرانگر** می‌گویند.

تداخل امواج سطحی آب: دو دسته موج دایره‌ای در سطح آب وقتی به هم می‌رسند، در برخی نقاط همیگر را تقویت می‌کنند و تداخل سازنده انجام می‌دهند و در برخی نقاط همیگر را تضعیف می‌کنند و تداخل ویرانگر انجام می‌دهند. به این ترتیب، در برخی نواحی روی سطح آب دامنه موج برایند بیشینه و در برخی ناحیه‌ها، کمینه است. چنین نقش متناوب یک درمیانی از بیشینه‌ها و کمینه‌ها را نقش تداخلی امواج سطحی آب می‌نامیم.

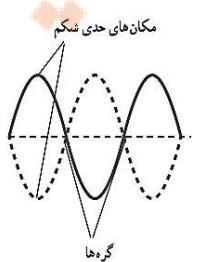
تداخل امواج صوتی: امواج صوتی نیز می‌توانند تداخل کنند. دو بلندگو که به یک مولد سیگنال الکتریکی متصل‌اند امواج سینوسی هم بسامدی را در فضای متنشر می‌کنند. با حرکت دادن میکروفون در امتداد خط فرضی نشان داده شده در شکل که در فاصله مناسبی از بلندگوها قرار دارد در می‌باییم که بلندگو صدا به طور متناوب کم و زیاد می‌شود. علت این پدیده براساس تداخل‌های سازنده و ویرانگر امواج صوتی توضیح داده می‌شود.

تداخل امواج نوری: توامیس یانگ طور تجربی ثابت کرد نور یک موج است. زیرا نور نیز مانند موج‌های سطحی آب، موج‌های صوتی و همه انواع موج‌های دیگر تداخل می‌کند.

آزمایش یانگ: نور حاصل از یک چشم‌های تکفam بر تک شکافی می‌تابد و دو شکاف S_1 و S_2 را روشن می‌کند. موج‌های حاصل از پراش نور توسط این دو شکاف با یکدیگر تداخل می‌کنند. روی پرده، نقطه‌های با تداخل سازنده، نوارها یا فریزهای روشن را تشکیل می‌دهند و نقطه‌های با تداخل ویرانگر نوارها یا فریزهای تاریک را تشکیل می‌دهند. نوارهای روشن و تاریک روی پرده که ناشی از تداخل‌های سازنده و ویرانگرند، نقش تداخلی خوانده می‌شود. با استفاده از آزمایش یانگ می‌توان طول موج نور به کار رفته در آزمایش را تعیین کرد.



موج ایستاده و تشدید در رسمنان کشیده: وقتی موج بازتابیده از انتهای ثابت با موج تابیده ترکیب شوند موجی برایند ایجاد می‌کنند که شکل آن از اصل برهm نهی حاصل می‌شود. مکان‌هایی در طول رسمنان که در اثر تداخل ویرانگر ساکن هستند، گره نامیده می‌شوند و مکانهایی که دامنه موج برایند در اثر تداخل سازنده بیشینه است، را شکم می‌گویند. نقش موج برایند را در این حالت، موج ایستاده می‌گویند.



❖ فاصله گره‌های مجاور از هم برابر با نصف طول موج ($\lambda/2$) و بنا براین فاصله گره‌ها از شکم‌ها مجاور برابر با ربع طول موج ($\lambda/4$) است.

❖ همیشه موج‌های تابیده و بازتابیده در محل گره‌ها یکدیگر را حذف می‌کنند (تداخل ویرانگر)، این دو موج در این نقطه‌ها (گره‌ها) کاملاً ناهم‌فاز (در فاز مخالف)‌اند. اما در مکان‌هایی که از شکم‌ها وضعیت موج‌های تابیده و بازتابیده در تمام لحظات به گونه‌ای است که همیگر را

توقیت می‌کنند (تدالع سازنده). در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم این دو موج در این نقاط هم‌فازند.

بسامدهای تشدیدی تار: در یک تار کشیده شده، در سامدهای معینی، تداخل موجب ایجاد موج ایستاده مشخص یا یک مُد نوسان در تار می‌شود. این بسامدهای تشدیدی خوانده می‌شوند. اگر تار در بسامدی غیر از بسامدهای تشدیدی نوسان کند موج ایستاده بارزی ایجاد نمی‌شود.

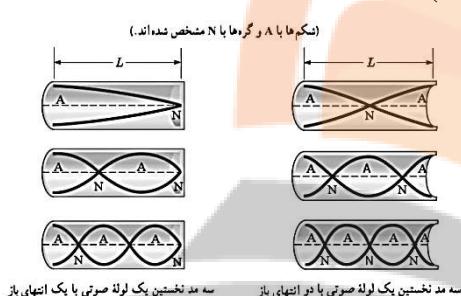
$$L = n \left(\frac{\lambda_n}{2} \right) \quad \Rightarrow \quad \lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (\text{طول موج‌های تشدیدی تار})$$

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L} \quad n=1,2,3, \dots \quad (\text{بسامدهای تشدیدی تار})$$

$$f_n = \frac{nv}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{اگر بجای } v \text{ رابطه آن را قرار دهیم:}$$

اختلاف بسامد دو هماهنگ متواالی برابر با بسامد هماهنگ اصلی است:

$$f_n = nf_1, \quad f_{(n+1)} = (n+1)f_1 \Rightarrow \Delta f = f_1$$



مداهای نوسان را با بسامدهای تشدیدی مشخص می‌کنند. پایین ترین بسامد را که مربوط به $n=1$ است، بسامد اصلی و مذ مرتبه به آن را مذ اصلی یا هماهنگ اول می‌گویند. بسامد هماهنگ دوم به ازای $n=2$ بسامد هماهنگ سوم به ازای $n=3$ و ... به دست می‌آید. به n عدد هماهنگ گفته می‌شود.

موج ایستاده و تشدید در لوله‌های صوتی: وقتی موج‌های صوتی در رهای درون لوله حرکت می‌کنند، از هر انتهای بازمی‌تابند و به درون لوله بازمی‌گردند، حتی اگر آن انتها باز باشد. اگر طول لوله مضرب های معینی از طول موج صوتی باشد، برهم نهی موج‌های پیش روئنه در جهت‌های مخالف، نقش موج ایستاده بارزی را در لوله ایجاد می‌کند. مانند تار در لوله‌های صوتی هم فاصله گره‌های مجاور از هم برابر با نصف طول موج ($\lambda/2$) و بنابراین فاصله گره‌ها از شکم‌های مجاور برابر با ربع طول موج ($\lambda/4$) است.

تشدید در بطری و تشدیدگر هلمهولتز: یک بطری مانند یک لوله صوتی با یک انتها باز است که بسامدهای تشدیدی معینی دارد. وقتی در دهانه یک بطری می‌دمیم گستره وسیعی از بسامدها ایجاد می‌شود. حال اگر یکی از این بسامدها با یکی از بسامدهای تشدیدی بطری منطبق باشد، یک موج صوتی قوی ایجاد می‌شود. تشدیدگرهای هلمهولتز نیز همانند لوله‌های صوتی بسامدهای تشدیدی معینی دارند و هرگاه بسامد یک صوت برابر با یکی از بسامدهای تشدیدی آنها باشد، تشدیدگر پاسخ قوی‌تری به این صوت می‌دهد.

فصل پنجم: آشنایی با فیزیک اتمی



حوزه‌های فیزیک، از جمله مکانیک نیوتونی، ترمودینامیک و نظریه الکترومغناطیس ماسکول امروزه به نام فیزیک کلاسیک شناخته می‌شود. نسبیت خاص (مریوط به مطالعه پدیده‌ها در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور)، نظریه نسبیت عام (مریوط به مطالعه هندسه فضا زمان و گرانش) و نظریه کوانتومی (مریوط به مطالعه پدیده‌ها در مقیاس‌های بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذره‌های سازنده آنها) سه نظریه فیزیک جدید هستند.

اثر فتوالکتریک و فوتون: وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطحی فلزی بتابد الکترون‌های از آن گسیل می‌شوند. این پدیده فیزیکی را، اثر فتوالکتریک و الکترون‌های از سطح فلز را فتوالکترون می‌نامند. در اثر فتوالکتریک الکترون‌ها، انرژی نور فرویدی را جذب می‌کنند و از سطح فلز خارج می‌شوند.

برای بررسی اثر فتوالکتریک از دستگاهی مطابق شکل رویرو استفاده می‌شود: در اثر فتوالکتریک، نوری تکفam با بسامدی به قدر کافی بالا، الکترون‌ها را از سطح صفحه فلزی T بیرون می‌آورد. این فتوالکترون‌ها، به طرف جمع کننده C می‌روند و جریانی را در مدار به وجود می‌آورند.

با افزایش شدت این نور، گالوانومتر عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد، حال آنکه آزمایش نشان می‌دهد که اگر بسامد نور فرویدی از مقدار معینی کمتر باشد، هر چقدر هم که شدت نور فرویدی افزایش یابد این پدیده رخ نمی‌دهد و گالوانومتر عبور جریانی را نشان نمی‌دهد.

توجیه فیزیک کلاسیک درباره فتوالکتریک: هنگام برهم کش موج الکترومغناطیس (نور فرویدی) با سطح فلز، میدان الکتریکی این موج، نیروی $F = -eE$ به الکترون‌های فلز وارد کند و آنها را به نوسان وادرد. به این ترتیب، وقتی دامنه نوسان برخی از الکترون‌ها به قدر کافی بزرگ شود انرژی جنبشی لازم را برای جدا شدن از سطح فلز بیدا می‌کنند.

مشکل فیزیک کلاسیک در توجیه اثر فتوالکتریک:

۱) بنا به این دیدگاه کلاسیکی، این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد در حالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.

۲) یکی دیگر از بسامدهای نظریه الکترومغناطیسی ماسکول این است که شدت نور با مربع دامنه میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی متناسب است ($E \propto I^2$). به این ترتیب انتظار می‌رود به ازای یک بسامد معین، اگر شدت نور فرویدی بر سطح فلز را افزایش دهیم باید الکترون‌ها با انرژی جنبشی بیشتری از فلز خارج شوند، نتیجه‌ای که تجربه آن را تأیید نمی‌کند.

اینشتین در نظریه فتوالکتریک فرض کرد که نور با بسامد f را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفت. هر بسته انرژی، که بعدها فوتون نامیده شد، دارای انرژی‌ای است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E = hf \quad \Rightarrow \quad E = \frac{hc}{\lambda}$$

در این رابطه h ثابت پلانک نامیده می‌شود و به طور تجربی معلوم شده است که مقدار آن $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.S}$ است.

در حالت کلی $E = nhf$ که n یک عدد صحیح مثبت است و معروف تعداد کوانتوم‌های انرژی (hf) می‌باشد و عدد کوانتومی نام دارد.

با مقایسه بزرگ انرژی را با یکای ژول می‌سنجیم. (ژول برابر انرژی بار ۱ کولنی، تحت ولتاژ ۱ ولت است $U = qV = q$). در قلمرو اتمی، ژول یکای بزرگی است و معمولاً از یکای کوچک‌تری به نام الکترون ولت (eV) استفاده می‌کنیم که با عبارت مقدار انرژی یک الکترون تحت ولتاژ ۱ ولت، تعریف می‌شود.

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$$

ثابت پلانک بر حسب $eV.s$ برابر است با

کمیت hc در بسیاری از محاسبه‌های این فصل لازم است. با جاگذاری مقدار آن داریم:

$$hc = 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 = 19.9 \times 10^{-26} J.m$$

اگر h را بر حسب $eV.s$ و سرعت نور را بر حسب nm برگزینیم داریم: $hc = 1240 eV.nm$ (بهتر است حفظ شود).

تفسیر کوانتومی پدیده فوتوالکتریک (نظریه اینشتین): هنگامی که نور به سطح فلز می‌تابد، یک فوتون با انرژی hf ، به طور کامل توسط فقط یک الکترون جذب شده و انرژی خود را به الکترون می‌دهد، بخشی از انرژی صرف کندن الکترون شده (W) و باقی مانده صرف انرژی جنبشی فوتوالکtron گسیل شده از سطح فلز می‌شود. (K)

$$hf = W + K$$

W کار انرژی لازم برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز و K انرژی جنبشی آنها پس از جدا شدن از سطح آن فلز است. انرژی جنبشی سریع ترین فوتوالکترون‌های گسیل شده از آن برابر خواهد بود با:

$$K_{max} = hf - W_o \quad (\text{معادله فوتوالکتریک})$$

W_o را تابع کار فلز می‌نامند که به جنس فلز بستگی دارد و کمینه کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از یک فلز معین است.

بسامد قطع f_0 (طول موج قطع): کمترین بسامدی (بلندترین طول موج) که می‌تواند اثر فوتوالکتریک را ایجاد کند. در این بسامد (طول موج) انرژی فوتون درست به اندازه‌ای است که بتواند فوتوالکترون را از جای بکنند و اضافه بر این چیزی نمی‌ماند که به شکل انرژی جنبشی ظاهر شود. اگر f کمتر از f_0 باشد ($f < f_0$) تک فوتون‌ها، انرژی کافی برای کندن فوتوالکترون نخواهند داشت و هیچ فرقی هم نمی‌کند که تعداد آن‌ها چقدر باشد، یعنی هیچ فرقی نمی‌کند که تابش نور چقدر شدید باشد.

$$K_{max} = 0 \Rightarrow hf_0 = W_o \Rightarrow f_0 = \frac{W_o}{h} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{W_o}$$

نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد نور فرودی به صورت شکل رویرو卓ت. وقتی بسامد نور فرودی بزرگ‌تر از f_0 یا مساوی با آن باشد فوتون‌ها می‌توانند الکترون‌ها را از فلز خارج کنند.

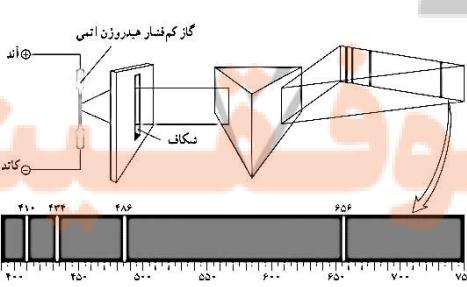
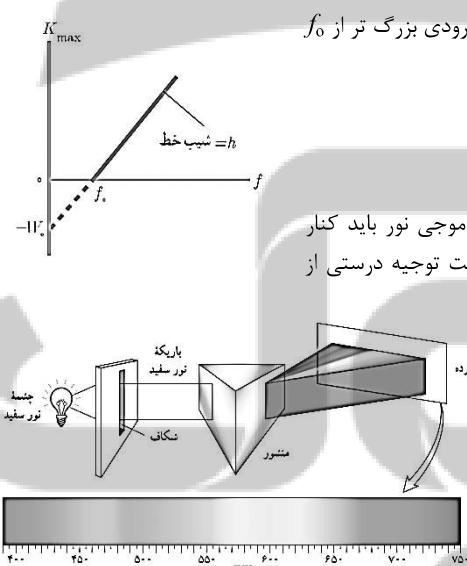
در بسامد آستانه الکترون بدون هیچ انرژی جنبشی‌ای در آستانه ترک فلز است.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_o} \quad f_0 = \frac{W_o}{h} \quad (\text{طول موج قطع})$$

شکست مدل موج الکترومغناطیسی در توضیح برخی پدیده‌ها مانند اثر فوتوالکتریک به این معنی نیست که مدل موجی نور باید کنار گذاشته شود. ولی، باید متوجه باشیم که مدل موجی، تمام ویژگی‌های نور را دربرنار و به همین دلیل قادر نیست توجیه درستی از تمامی پدیده‌های فیزیکی مرتبط با برهم کنش نور با ماده را ارائه کند.

طیف خطی: همه اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می‌کنند که به آن تابش گرمایی گفته می‌شود. اجسام در دماهای بالا از سطح خود نور مرئی گسیل می‌کنند. در دماهای معمولی، بیشتر تابش گسیل شده از سطح اجسام در ناحیه فروسرخ طیف قرار دارد.

برای یک جسم جامد، نظری رشته داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته‌ای از طول موج‌هاست که آن را طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته می‌نامند. تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است.



گازهای کم فشار و رقیق، که اتم‌های منفرد آنها از برهم کنش‌های قوی موجود در جسم جامد آزادند به جای طیف پیوسته، طیف گسیلی را گسیل می‌کنند که شامل طول موج‌های معینی است. این طیف گسیل معمولاً طیف گسیلی خطی یا به اختصار طیف خطی می‌نامند و طول موج‌های منحصر در آن، برای اتم‌های هر گاز منحصر به فرد هستند و سرنخ‌های مهمی را درباره نوع و ساختار اتم‌های آن گاز به دست می‌دهند.

طیف خطی ایجاد شده و همچنین رنگ نور گسیل شده، به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد.

طیف خطی هر عنصر، مانند اثر انگشت انسان‌ها، از ویژگی‌های منحصر به فرد هر اتم است. لذا به کمک طیف‌نمایی می‌توان عنصر را از هم تشخیص داد.

طیف گسیلی اجسام جامد ملتهب، پیوسته و مانند هم می‌باشند. لذا به کمک این طیف نمی‌توان عنصر را از یکدیگر تشخیص داد.

این که چرا هر عنصر طول موج‌های خاص خود را تابش می‌کند و این که چرا هر عنصر تنها طول موج‌های خاصی را جذب می‌کند و بقیه طول موج‌ها را جذب نمی‌کند از دیدگاه فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست.

رابطه‌ی ریدبرگ: طول موج تمامی خطوط طیف اتم ئیدروژن را با استفاده از رابطه‌ی زیر که به رابطه‌ی ریدبرگ مشهور است، به دست آورد:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{n} \right), \quad R_H = 1.09(nm)^{-1}, \quad n' < n$$

که در آن R_H ثابت ریدبرگ برای اتم ئیدروژن نامیده می‌شود. n شماره‌ی تراز بالاتر است که الکترون ابتدا روی آن قرار داشته و n' شماره‌ی تراز پایین‌تر است که الکترون روی آن فرود می‌آید. دقّت کنید که طول موج در این رابطه، برحسب نانومتر است.

به ازای هر مقدار معین n' ، مجموعه‌ی طول موج‌های به دست آمده از رابطه‌ی ریدبرگ- بالمر را یک رشته می‌نامند.

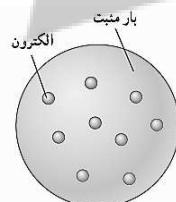
❖ به ازای کوچک‌ترین مقدار ممکن n (یعنی $n'+1$) در هر رشته، بلندترین طول موج خطوط آن رشته یا حد بالای رشته به دست می‌آید.

هر چه n بزرگ‌تر باشد، طول موج‌های کوتاه‌تری می‌شوند پس، به ازای $n \rightarrow \infty$ ، کوتاه‌ترین طول موج خطوط هر رشته یا حد پایین رشته پیدا می‌شود.

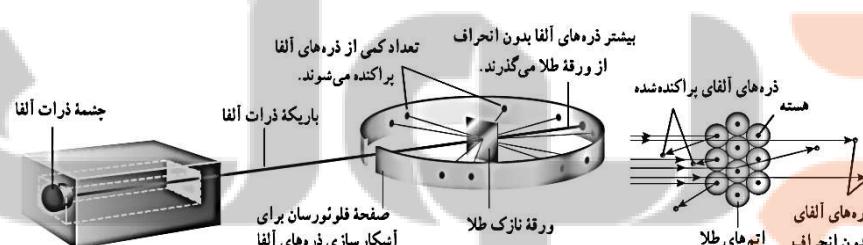
$$n = \infty \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\min}} = R_H \left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{\infty} \right) \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{n'}{R_H} \quad n = n'+1 \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\max}} = R_H \left(\frac{1}{n'} - \frac{1}{(n'+1)} \right)$$

به ازای $n=2$ رشته بالمر به دست می‌آید که در ناحیه مرئی طیف قرار دارد.

گستره‌ی طول موج	مقدارهای n	رابطه‌ی ریدبرگ	مقدار n'	نام رشته
فرابنفش	$n=2,3,4 \dots$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n} \right)$	$n'=1$	لیمان
فرابنفش و مرئی	$n=3,4,5 \dots$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{n} \right)$	$n'=2$	بالمر
فروسرخ	$n=4,5,6 \dots$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n} \right)$	$n'=3$	پاشن
فروسرخ	$n=5,6,7 \dots$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{n} \right)$	$n'=4$	براکت
فروسرخ	$n=6,7,8 \dots$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{n} \right)$	$n'=5$	پفوند



مدل اتمی تامسون (مدل کیک کشمشی): جزوی تامسون موفق به کشف الکترون و اندازه گیری نسبت بار به جرم (e/m) آن شد. در مدل تامسون، اتم همچون کره‌ای است که بار مثبت به طور همگن در سرتاسر آن گستردگی شده‌است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند. این مدل را گاهی مدل کیک کشمشی هم می‌گویند. در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون‌ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود. بسامدهای تابش گسیل شده از اتم، که مدل اتمی تامسون پیش‌بینی می‌کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.



نتیجه آزمایش رادرفورد: ارنست رادرفورد بازیکه‌ای از ذره‌های دارای بار مثبت (هسته اتم هلیم یا ذره آلفا) بر سطح ورقه‌ای نازک از جنس طلا فرو تاباند و نتیجه گرفت باید هسته‌ای چگال و دارای بار مثبت در مرکز هر اتم باشد.

بنابراین رادرفورد (مدل هسته‌ای اتم)، اتم دارای یک هسته بسیار چگال و کوچک (10^{-15} شاعع هسته) و با بار مثبت است که با تعدادی الکترون در فاصله‌هایی به نسبت دور احاطه شده است.

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

اشکالات مدل اتمی رادرفورد:

(۱) اگر الکترون‌ها در اطراف هسته، ساکن باشند، نیروی جاذبه الکتریکی بین هسته و الکترون‌ها، باعث می‌شود الکترون روی هسته سقوط کند. یعنی ساختار داخلی اتم، فرو می‌ریزد، در صورتی که اتم پایدار است.



(۲) اگر الکترون‌ها، مانند سیاره‌های منظومه‌ی خورشیدی، که به دور خورشید در حرکتند، به دور هسته در گردش باشند، طبق نظریه‌ی فیزیک کلاسیک که هر ذره‌ای باردار شتاب دار، نور گسیل می‌کند، چون الکترون به طور پیوسته شتاب دارد و طبق مبانی کلاسیکی، بسامد موج گسیل شده با بسامد دوران الکترون برابر است، لذا بایستی به طور پیوسته نور گسیل کند و چون انرژی از دست می‌دهد، شاعع مداری آن به طور پیوسته کاهش یافته و در نتیجه بسامد آن به طور پیوسته زیاد شده و درنهایت، ماریج وار به داخل هسته سقوط می‌کند، یعنی طیف اتمی بایستی پیوسته بوده و اتم پایدار نباشد، در صورتی که طیف اتمی، گسسته است و اتم پایدار می‌باشد.

نتیجه: الگوی اتمی رادرفورد از دو ایراد عمده رنج می‌برد:

۱) نمی‌تواند پایداری حرکت الکترون‌ها در مدارهای اتمی و در نتیجه پایداری اتم‌ها را توضیح دهد.

۲) قادر به توجیه طیف‌گسسته اتمی نیست.

موفقیت‌های مدل اتمی بور چیست؟ ۱) بور مدلی را برای اتم هیدروژن ارائه کرد که مسئله ناپایداری اتم را در مدل رادرفورد حل می‌کرد. ۲) معادله ریدبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن را به دست می‌آورد.

اصول مدل اتمی بور به صورت زیر است:

۱- مدارها و انرژی‌های الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسسته معینی مجاز هستند.

۲- وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. از این رو گفته می‌شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

۳- الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانا دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر E_U به یک حالت مانا با انرژی کمتر E_L که فوتون تابش می‌شود.

(شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن) $(r_n = a_0 n^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots, a_0 = 0.52 A)$
(ترازهای انرژی الکترون در اتم هیدروژن)

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{E_R}{n^2} \quad E_R = 2/17 \times 10^{-18} J = 13/6 eV$$

در این روابط n عدد کوانتومی نامیده می‌شود. a_0 شعاع کوچک ترین مدار در اتم هیدروژن که شعاع بور برای اتم هیدروژن نامیده می‌شود.

انرژی الکترون در $n=1$ برابر $E_1 = 13/6 eV$ است که اندازه آن را عموماً یک ریدبرگ می‌نامند و با نماد E_R نشان می‌دهند.

در این صورت انرژی فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است، یعنی:

$$E_U - E_L = hf \quad (\text{معادله گسیل فوتون از اتم})$$

$$E_U - E_L = \frac{hc}{\lambda}$$

بنا به مدل بور، وقتی الکترونی از مداری با انرژی بیشتر به مداری با انرژی کمتر جهش می‌کند یک فوتون گسیل می‌شود.

پایین ترین تراز انرژی، حالت پایه نامیده می‌شود تا از ترازهای بالاتر که حالت‌های برانگیخته نامیده می‌شوند متمایز باشد. در اتم هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون اغلب در حالت پایه قرار دارد. کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه، انرژی یونش الکترون نامیده می‌شود. انرژی یونش اتم هیدروژن $13/6 eV$ است.

فرانهوفر، با مشاهده دقیق طیف خورشید، خطهای تاریک نازکی را در آن کشف کرد. خطهای تاریکی که فرانهوفر در طیف خورشید کشف کرد، ناشی از جذب طول موج‌های مربوط به این خطها توسط گازهای جو خورشید و جو زمین پدید می‌آیند.

طیف جذبی خطی: برای مشاهده طیف‌های جذبی، نور یک چشمۀ نور سفید را از ظرفی حاوی گاز کم فشار هیدروژن اتمی (یا گاز عنصر دیگری) عبور داده و توسط منشور پاشیده می‌شود و طیف آن روی پرده تشکیل می‌شود. خطهای تاریک روی طیف، به طول موج‌هایی از نور سفید مربوط است که توسط اتم‌های گاز جذب شده‌اند.

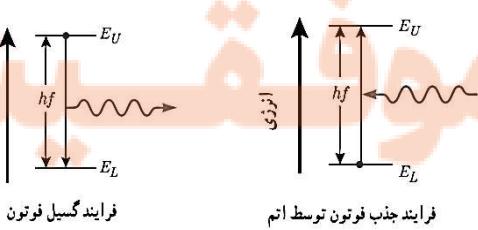
مطالعه و مقایسه همچنین طیف‌های گسیلی و جذبی عناصر مختلف نشان می‌دهد که:

۱) در طیف گسیلی و در طیف جذبی اتم‌های گاز هر عنصر، طول موج‌های معینی وجود دارد که از مشخصه‌های آن عنصر است. یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی همانند یکدیگر نیست.

۲) اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمای آنها به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آنها را تابش می‌کنند.

بر اساس مدل بور می‌بور می‌دانیم که خطهای گوناگون در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی وقتی به وجود می‌آیند که الکترون‌های اتم‌های هیدروژن، که به هر دلیلی برانگیخته شده‌اند، از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش کنند و فوتون‌هایی را گسیل کنند.

الکترون‌ها می‌توانند در جهت عکس گذار کنند، یعنی در فریندی که جذب فوتون خوانده می‌شود از ترازهای انرژی پایین تر به ترازهای انرژی بالاتر بروند در این حالت، اتم، فوتونی را که دقیقاً انرژی لازم برای گذار را دارد جذب می‌کند.



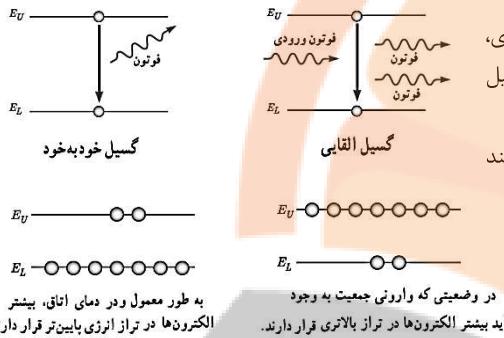
موفقیت‌های مدل بور: مدل بور تصویری از چگونگی حرکت الکترون‌ها به دور هسته ارائه می‌کند. این مدل در تبیین پایداری اتم، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی و محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن با موفقیت همراه است.

نارسایی‌های مدل بور:

- ۱) این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد به کار نمی‌رود، زیرا در مدل بور، نیروی الکتریکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می‌کند به حساب نیامده است.
- ۲) این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح دهد. برای مثال مدل بور نمی‌تواند توضیح دهد که چرا شدت خط قرمز با شدت خط آبی در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی با یکدیگر متفاوت است.
- اتم هیدروژن گونه به اتم هایی گفته می‌شود که تنها یک الکترون دارند.

لیزر

وقتی یک الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین تر جهش می‌کند یک فوتون گسیل می‌شود. فرایند گسیل خود به خود و یا گسیل القایی باشد.



در گسیل خود به خود فوتون در جهتی کاتورهای گسیل می‌شود. در حالی که در گسیل القایی یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (یا القای) می‌کند تا تراز انرژی خود را تغییر دهد و به تراز پایین تر برسد. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی های دو تراز یعنی $E_U - E_L$ یکسان باشد.

گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد: ۱) یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود. به این ترتیب این فرایند تعداد فوتون‌ها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند. ۲) فوتون گسیل شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند. ۳) اینکه فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتون‌هایی که باریکه لیزری را ایجاد می‌کنند هم بسامد، هم جهت و هم فاز هستند.

در گسیل القایی یک چشمۀ انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون‌ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخشش‌های شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا فراهم شود. اگر انرژی کافی به اتم‌ها داده شود، الکترون‌های بیشتری به تراز انرژی بالاتر برانگیخته خواهند شد، شرطی که به وارونی جمعیت معروف است. وارونی جمعیت الکترون‌ها در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبۀ پایدار نسبت به تراز پایین تر بسیار بیشتر باشند.

در این ترازها، الکترون‌ها مدت زمان بسیار طولانی‌تری (10^{-8} s) نسبت به حالت برانگیخته معمولی (10^{-18} s) باقی می‌مانند. این زمان طولانی‌تر، فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند.

فصل ششم (آشنایی با فیزیک هسته‌ای)

فیزیک هسته‌ای، شاخه‌ای از فیزیک است که در آن با ساختار، برهنگانش و واپاشی هسته‌های اتمی سروکار داریم. ساختار هسته: با کاوش درون اتم، در مرکز آن، هسته را می‌باییم که شعاع آن تقریباً $\frac{1}{100000}$ شعاع اتم است. هسته اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده است که به طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند. نوکلئون بار الکتریکی ندارد، و جرمش اندکی بیشتر از پروتون است.

تعداد پروتون‌های هسته را عدد اتمی (Z) می‌نامند و در عنصرهای مختلف متفاوت است. در یک اتم خنثی، تعداد پروتون‌های هسته با تعداد الکترون‌های دور هسته برابر است. تعداد نوکلئون‌های هسته، عدد نوکلئونی (N) نامیده می‌شود. همچنین مجموع تعداد کل پروتون‌ها و نوکلئون‌ها را عدد جرمی (A) می‌نامند. پس: $A = Z + N$. برای یک عنصر با نام شیمیایی X نام هسته به صورت $A_Z X N$ نشان داده می‌شود.

ایزوتوپ‌ها: ویژگی‌های هسته را تعداد پروتون‌ها و نوکلئون‌های آن تعیین می‌کند. خواص شیمیایی هر اتم را تعداد پروتون‌های هسته (عدد اتمی Z) تعیین می‌کند. به همین سبب هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوکلئون متفاوت دارند خواص شیمیایی یکسانی دارند، در نتیجه این هسته‌ها در جدول تناوبی عناصر هم مکان هستند و بنابراین ایزوتوپ (هم مکان) نامیده می‌شوند.

پایداری هسته: ابعاد هسته در مقایسه با ابعاد اتم بسیار کوچک‌تر است. با وجود این، بیشتر جرم اتم (بیش از ۹۹/۹ درصد آن) در هسته متمرکز شده است. با توجه به اینکه نیروی الکتروستاتیکی رانشی خلیق قوی بین پروتون‌های درون هسته، که بسیار به یکدیگر نزدیک‌اند، وارد می‌شود، تنها چیزی که مانع از هم پاشیدن هسته می‌شود نیروی هسته‌ای است. این نیرو نمی‌تواند گرانشی باشد، زیرا جاذبه حاصل از نیروی گرانشی بین نوکلئون‌ها، چنان ضعیف است که نمی‌توان با نیروی الکتروستاتیکی رانشی مقابله کند. **ویژگی‌های نیروی هسته‌ای:** ۱) نیروی هسته‌ای (یا ایش) است. ۲) نیروی هسته‌ای قوی‌تر از گرانشی و الکترواستاتیکی است. ۳) نیروی هسته‌ای، کوتاه بُرد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اثر می‌کند. ۴) نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی ریاضی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوکلئون، یا یک پروتون و یک نوکلئون وجود دارد. به همین دلیل از منظر نیروی هسته‌ای، تفاوتی بین پروتون و نوکلئون وجود ندارد و دلیل نام گذاری آنها با نام عام نوکلئون نیز همین است.

چرا با افزایش تعداد پرتونهای در عناصر سنگین تعداد نوکلئونها بیشتر از پرتونهای افزایش می‌یابد؟ برای پایداری هسته، باید نیروی دافعه الکتروستاتیکی بین پروتون‌ها با نیروی جاذبه بین نوکلئون‌ها، که ناشی از نیروی هسته‌ای است، موازن شده باشد. ولی به دلیل بلند بُرد بودن نیروی الکتروستاتیکی، یک پروتون تمام پروتون‌های درون هسته را دفع می‌کند، در حالی که یک پروتون یا یک نوکلئون، فقط تزدیک‌ترین نوکلئون‌های مجاور خود را با نیروی هسته‌ای جذب می‌کند. به همین دلیل وقتی تعداد پروتون‌های درون هسته افزایش یابد، اگر هسته بخواهد پایدار باقی بماند، باید تعداد نوکلئون‌های درون هسته نیز افزایش یابد.

انرژی بستگی هسته‌ای و ترازهای انرژی هسته: برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی لازم است. انرژی لازم برای این منظور، انرژی بستگی هسته‌ای نامیده می‌شود.

جرم هسته از مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل دهنده‌اش اندکی کمتر است. اگر این اختلاف جرم را که به آن کاستی جرم هسته گفته می‌شود، مطابق رابطه معروف اینشتین ($E=mc^2$ ، در مربع تندي نور) ضرب کنیم انرژی بستگی هسته‌ای به دست می‌آید. (c بر حسب متر بر ثانیه و m بر حسب کیلوگرم باشد، E بر حسب J خواهد بود).

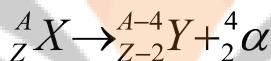
انرژی نوکلئون‌های واپسیه به هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های واپسیه به اتم، کوانتیدهند و نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار کنند. همچنان، همان طور که الکترون‌های اتم می‌توانند با جذب انرژی از تراز پایه به تراز برانگیخته بروند، نوکلئون‌ها نیز می‌توانند با جذب انرژی به ترازهای انرژی بالاتر بروند و در نتیجه هسته برانگیخته شود. هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه بر می‌گردد. انرژی فوتون گسیل شده، با اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه برابر است.

اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبه keV تا مرتبه MeV است، در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه eV است. از این‌رو، هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

پرتوزایی طبیعی: وقتی یک هسته ناپایدار یا پرتوزا خود به خود واپاشی می‌کند، نوع معینی از ذرات یا فوتون‌های پر از انرژی آزاد می‌شوند. این فرایند واپاشی، پرتوزایی طبیعی نامیده می‌شود. در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود: پرتوهای آلفا (α) پرتوهای بتا (β) و پرتوهای گاما (γ) در پرتوهای α کمترین نفوذ را دارند و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز ($1mm \approx 10/0.1mm$) متوقف می‌شوند، در حالی که پرتوهای β مسافت خیلی بیشتری را ($\approx 100mm$) در سرب نفوذ می‌کنند. پرتوهای γ بیشترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقه‌ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه‌ای ($\approx 1mm$) گذرند.

در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا مشاهده شده است که تعداد نوکلئون‌ها در طی فرایند واپاشی هسته‌ای پایسته است؛ یعنی تعداد نوکلئون‌ها، پیش از فرایند با تعداد نوکلئون‌ها پس از فرایند مساوی است.

واپاشی α : در این نوع واپاشی که در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد، ذرات باردار مثبت از جنس هسته اتم هلیم (He^4) از هسته‌ای اتم خارج می‌شود. معادله واکنش به صورت زیر است.



در این واکنش، X و Y دو عنصر متفاوت هستند، چون عدد اتمی متفاوت دارند.

واپاشی همراه با گسیل ذرهی بتا (β): این متدالول ترین نوع واپاشی در هسته‌ها است. در این واپاشی هسته ناپایدار با گسیل الکترون یا پوزیترون (ذرهای دارای جرم برابر جرم الکترون و با ریخته آن) به هسته‌ی جدیدی تبدیل می‌شود. ذرهی β از جنس الکترون (e^-) یا پوزیترون (e^+) است. اما هسته، الکترون یا پوزیترون ندارد. پس ذرهی β از کجا می‌آید؟ پاسخ آن است:

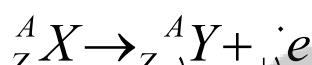
الف) (واپاشی β منفی) اگر در واپاشی، گسیل الکترون را داشته باشیم، یک نوترون در هسته، متلاشی شده و تبدیل به یک پروتون و یک الکترون می‌شود:

$$n \rightarrow p + e^-$$

به این ترتیب یک نوترون از هسته کم می‌شود و یک پروتون به آن اضافه می‌شود. بنابراین جرم هسته، تغییر جندانی نمی‌کند، ولی عدد اتمی یک واحد زیاد می‌شود:

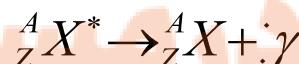


ب) (واپاشی β مثبت) اگر در واپاشی گسیل پوزیترون را داشته باشیم، یک پروتون هسته به نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود:



محصول این واپاشی، هسته‌ی عنصر جدیدی است که در جدول تناوبی قبل از X قرار دارد.

واپاشی γ : رفتنه از حالت برانگیخته به حالت پایه، همراه با گسیل ذرهی گاما (γ) (پرتو γ ، از جنس امواج الکترومغناطیسی است. جرم و بار پرتو γ صفر است. بنابراین با گسیل پرتو γ ، نه عدد جرمی تغییر می‌کند و نه عدد اتمی. اما هسته مقداری انرژی از دست می‌دهد و به حالت پایدارتری می‌رسد:

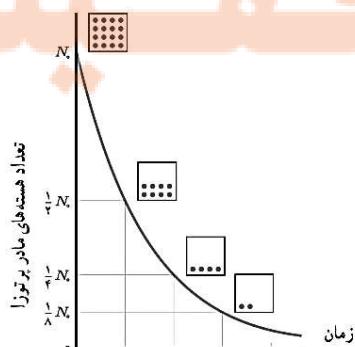


اگر یک هسته پرتوزا چند نوع تابش انجام دهد برای موازنی آن و به دست آوردن مجھول (X) باید نکات زیر را در نظر گرفت:

(۱) مجموع اعداد اتمی در دو سمت واکنش هسته‌ای باید یکسان باشد.

(۲) مجموع اعداد جرمی در دو سمت واکنش هسته‌ای باید یکسان باشد.

❖ در تمام واکنش‌های فوق، X هسته‌ی مادر و Y هسته‌ی دختر گویند.



نیمه عمر، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برستند.

نیمه عمر مادهٔ پرتوزا: نیمه عمر یک مادهٔ پرتوزا، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا طی آن نیمه از هسته‌های پرتوزاً موجود در آن واپاشیده شوند و آن را با $\frac{1}{2}$

نشان می‌دهند. در واقع نیمه عمر، به نوعی سرعتِ واپاشی یک ایزوتوپ را نشان می‌دهد.

پس از گذشت هر نیمه عمر، تعداد هسته‌های ایزوتوپ پرتوزاً اولیه، نصف می‌شود. بنابراین پس از گذشت n نیمه عمر، تعداد این هسته‌ها $\frac{1}{2^n}$ برابر می‌شوند.

بنابراین اگر پس از مدت زمان t ، تعداد هسته‌های مادهٔ رادیواکتیو از N_0 به N کاهش یابد، داریم:

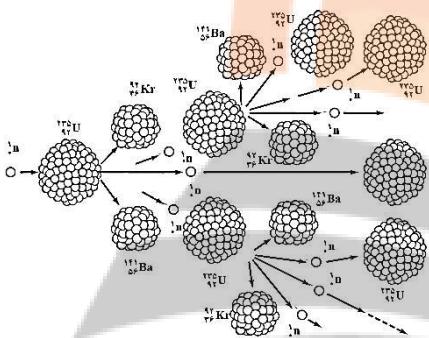
$$N = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow N' = N_0 - N, n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$$

(تعداد نیمه عمرها، تعداد هسته‌های باقی مانده و تعداد هسته‌های متلاشی شده است).

شکافت هسته‌ای: فرایند تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کمتر، شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود. در فرایند شکافت اورانیم، ترکیب‌های متفاوتی از هسته‌های کوچک‌تر همراه با تعدادی نوترون (بین ۲ تا ۵) به وجود می‌آید.

وقتی نوترونی با هسته اورانیم ^{235}U برخورد کند و جذب شود، هسته اورانیم شروع به ارتعاش می‌کند و تغییر شکل می‌دهد. ارتعاش تا وقتی ادامه می‌یابد که تغییر شکل چنان جدی شود که نیروی جاذبه هسته‌ای دیگر نتواند با نیروی دافعه الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته متوازن شود. در این هنگام، هسته به پاره‌هایی وامی‌پاشد که حامل انرژی (به طور عمدۀ انرژی جنبشی) هستند.

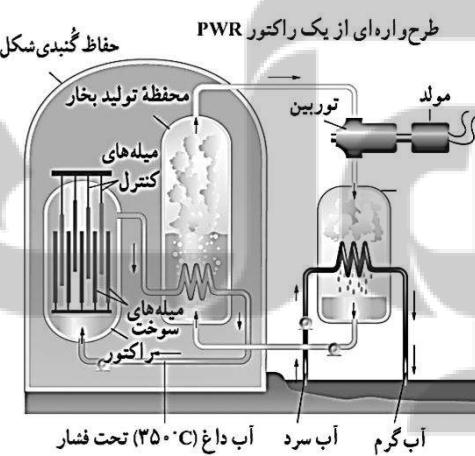
واکنش زنجیری: با جذب یک نوترون گند فرایند شکافت آغاز می‌شود. در این فرایند چند نوترون به وجود می‌آید. چون نوترون‌ها باز الکتریکی ندارند، هسته‌های دیگر آنها را دفع نمی‌کنند. نوترون‌ها پس از گند شدن، توسط هسته‌های دیگر جذب می‌شوند و باعث شکافت در تعداد بیشتری هسته اورانیم دیگر می‌شوند و واکنش به طور زنجیره‌ای ادامه می‌یابد.



در واکنش‌های شکافت هسته‌ای، جرم محصولات شکافت، کمتر از جرم هستهٔ مرکب است. این اختلاف جرم بنا به رابطه $mc^2 = E$ ، سبب آزاد شدن انرژی گرمایی زیادی می‌شود.

غنى سازی اورانیم: فرایند افزایش درصد یا غلظت ایزوتوپ ^{235}U در یک نمونه، غنى سازی گفته می‌شود.

بیشتر راکتورهای تجاری تولید برق، از اورانیمی استفاده می‌کنند که در آنها ایزوتوپ ^{235}U درصد غنى سازی شده است. در بیشتر راکتورهای پژوهشی، از سوختی استفاده می‌شود که در 20% درصد غنى سازی شده است.

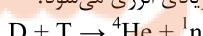


راکتورهای شکافت هسته‌ای: نوترون‌های آزاد شده در فرایند شکافت انرژی جنبشی زیادی دارند و با ایزوتوپ اورانیوم ^{235}U واکنش انجام نمی‌دهند. اگر بتوان نوترون‌های تند را به نحوی گند ساخت احتمال جذب آنها افزایش می‌یابد. آب معمولی، آب سنگین و گرافیت (اتم‌های کربن) به عنوان گندساز نوترون‌ها در واکنش‌های شکافت هسته‌ای استفاده می‌شوند.

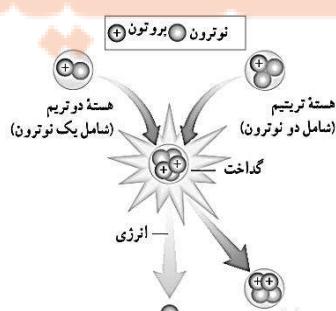
راکتورهای هسته‌ای افزون بر سوخت هسته‌ای و ماده گندساز دارای، میله‌های کنترل و شاره‌های (معمولًا آب) هستند که گرما را به خارج راکتور انتقال می‌دهند. با وارد کردن میله‌های کنترل، آهنگ واکنش شکافت، یعنی تعداد نوترون‌های موجود برای وجود آوردن شکافت، تنظیم می‌شود.

میله‌های کنترل معمولاً از مواد جذب کننده نوترون، مانند کادمیم یا بور، ساخته می‌شوند. **گداخت (همجوشی) هسته‌ای**

واکنش هسته‌ای که منشأ تولید انرژی در ستارگان و از جمله خورشید است، گداخت یا همجوشی هسته‌ای نام دارد. در فرایند گداخت هسته‌ای، دو هسته سبک (برای مثال دوتیریوم D و تریتیوم T) با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هسته سنگین تری به وجود می‌آورند. در واکنش گداخت، مجموع جرم محصولات فرایند، کمتر از مجموع جرم هسته‌های اولیه است. این اختلاف جرم سبب آزاد شدن مقدار زیادی انرژی می‌شود.



مشکلات در ساخت راکتور گداخت به این علت پیش می‌آید که دو هسته کم جرم باید به قدر کافی به هم نزدیک شوند تا نیروی کوتاه برد هسته‌ای بتواند آنها را کنترل نمکه دارد و واکنش گداخت انجام شود. ولی، هر هسته، باز مثبت دارد و هسته دیگر را دفع می‌کند، برای آنکه هسته‌ها با وجود این نیروی رانشی بسیار قوی، بتوانند به هم گداخته شوند، باید دما بسیار بالا باشد تا هسته‌ها با انرژی جنبشی زیادی به یکدیگر برخورد کنند. به همین دلیل، برای انجام این واکنش باید مقدار زیادی انرژی صرف کرد. به طور مثال، برای شروع واکنش دوتیریوم-تریتیم، به دمایی حدود دهها میلیون درجه سلسیوس نیاز است. دمایی از این مرتبه در ستارگان و خورشید وجود دارد.



تلاش در مسیر موفقیت



- دانلود گام به گام تمام دروس 
- دانلود آزمون های قلم چی و گاج + پاسخنامه 
- دانلود جزوه های آموزشی و شب امتحانی 
- دانلود نمونه سوالات امتحانی 
- مشاوره کنکور 
- فیلم های انگیزشی 

 Www.ToranjBook.Net

 ToranjBook_Net

 ToranjBook_Net