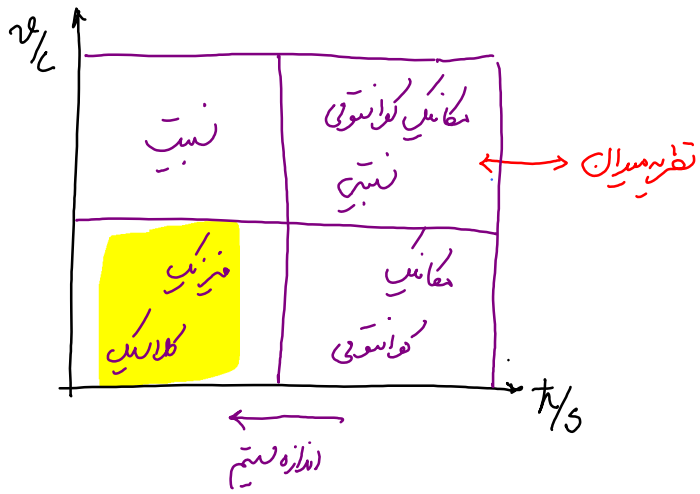
جلسه اول: دیدگاه کلاسیکی جهان ← مفهوم ذره ← مکانیک کلاسیک ← تابش جسم سیاه - اثر فوتوالکتریک

مفهوم موج ← امواج الکترومغناطیس و مقایسه موج

Concepts of Modern physics - Arthur Beiser - 6th edition

Modern physics for engineers - Jasprit singh

Grading: Midterm: 6 points Final: 12 points Exercise: 2 points




تقریب میدان

S: کنش $S = \int \underline{L}\, dt$ ← (action)

$T - U$ : لاگرانژی

واحد: $j \cdot s$ ← واحد: $j \cdot s$ : $\hbar$ ← واحد کنش

مراحل روش علمی: ۱- مشاهده ۲- سؤال ۳- فرضیه سازی ۴- مدل سازی ریاضی ۵- آزمایش ۶- نظریه

مفهوم ذره در کلاسیک - point like particle

قانون گرانش $\vec{F} = \frac{G m_1 m_2}{r^2} \hat{r}$ $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

قانون کولن $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$ $k = 8{,}988 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

ذره یعنی جزیی که شکل، ساختار و اندازه آن در یک زمینه خاص به حساب نیاید.

۱) اجسام تا حدی ریز هم دور باشند که موارد فوق قابل مشاهده نباشند.

۲) جسم صلب باشد ۳) جسم در حرکت انتقالی باشد.

در کلاسیک، ذرات تحت تأثیر دو نیرو هستند ← گرانش، الکترومغناطیس

در کلاسیک به دنبال جواب برای سؤالات زیر هستیم:

۱) مسیر حرکت ذره؟ ۲) محل فرود ذره؟ ۳) سرعت ذره؟

خصوصیات طبیعی ذرات:

| | | | |
|---|---|---|---|
| mass | $m$ | charge | $q$ |
| momentum | $p$ | Energy | $E = \frac{p^2}{2m} + V(x)$ |
| position | $x$ | ⋮ | |

قانون حاکم در کلاسیک ← قوانین نیوتون

مکانیک

نظات مهم در کلاسیک: ۱- هیچ کوانتش انرژی برای ذرات وجود ندارد و انرژی یک کمیت پیوسته است که از ۰ تا ∞ مقدار دارد.

۲- مشاهده پذیرها (انرژی، مکان و ...) بصورت دقیق قابل اندازه‌گیری هستند و خطای آزمایش به علت خطای دستگاههای اندازه‌گیری، محیط، شخص آزمایش کننده و ... است که می‌تواند به صفر میل کند.

۳- اندازه‌گیری روی مشاهده پذیرها هیچ اثری ندارد.

## معضل موج در کلاسیک

برای بررسی برهم‌کنش‌ها تحت میدانهای الکترومغناطیسی، به چهار معادله ماکسول احتیاج داریم:

$\vec{\nabla}\cdot\vec{B}=0 \rightarrow \vec{B}=\vec{\nabla}\times\vec{A}$ (۳) ← پتانسیل برداری

$\vec{\nabla}\cdot\vec{D}=\rho$ (۴) ; $\vec{D}=\epsilon\vec{E}$ ← گذردهی

$\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$

$\vec{\nabla}\times\vec{H}-\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}=\vec{J}$ (۱) ; $\vec{B}=\mu\vec{H}$ ← تراوایی

$\vec{B}=\vec{\nabla}\times\vec{A}$ ← پتانسیل برداری ، $-\vec{\nabla}\varphi$ ← پتانسیل اسکالر

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}+\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla}\times\vec{A})=0 \Rightarrow \vec{\nabla}\times\vec{E}+\vec{\nabla}\times\frac{\partial\vec{A}}{\partial t}=0 \Rightarrow \vec{\nabla}\times\left(\vec{E}+\partial\vec{A}/\partial t\right)=0$$

$$\Rightarrow \vec{E}=-\vec{\nabla}\varphi-\partial\vec{A}/\partial t \quad (۲)$$

* تمرین: نشان دهید با تبدیل روبرو در معادلات $\vec{B}=\vec{\nabla}\times\vec{A}$ ، $\vec{E}=-\vec{\nabla}\varphi-\frac{\partial\vec{A}}{\partial t}$ به صورت زیر، فیزیک مسأله عوض نمی‌شود:

$\vec{A}'=\vec{A}+\vec{\nabla}\chi$ ، $\varphi'=\varphi-\frac{\partial\chi}{\partial t}$ ← تبدیل سنج نامیده می‌شوند و تبدیل پیمانه‌ای عوض می‌شوند

(۱) $\rightarrow \vec{\nabla}\times\vec{B}/\mu-\epsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}=\vec{J}$ ← ۲ و ۳ / در خلا کار می‌کنیم

$$\Rightarrow \tfrac{1}{\mu_0}\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{A})-\epsilon_0\frac{\partial}{\partial t}(-\vec{\nabla}\varphi-\partial\vec{A}/\partial t)=0$$

$\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{A})-\nabla^2\vec{A}$

$$\Rightarrow -\tfrac{1}{\mu_0}\nabla^2\vec{A}+\tfrac{1}{\mu_0}\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{A})+\epsilon_0\vec{\nabla}\frac{\partial\varphi}{\partial t}+\epsilon_0\frac{\partial^2\vec{A}}{\partial t^2}=0$$

$$\tfrac{1}{\mu_0}\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}\cdot\vec{A}+\epsilon_0\mu_0\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right) \quad , \quad \vec{\nabla}\cdot\vec{A}+\tfrac{1}{c^2}\frac{\partial\varphi}{\partial t}=0 \text{ : پیمانه لورنتس}$$

($\epsilon_0\mu_0=\frac{1}{c^2}$)

$$\Rightarrow \tfrac{1}{\mu_0}\nabla^2\vec{A}-\epsilon_0\frac{\partial^2\vec{A}}{\partial t^2}=0 \Rightarrow \boxed{\nabla^2\vec{A}-\tfrac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{A}}{\partial t^2}=0}$$

(۱) : $\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \rho/\epsilon_0$ $\xrightarrow{(۲)}$ $\vec{\nabla}\cdot\left(-\vec{\nabla}\varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right) = \rho/\epsilon_0 \Rightarrow -\nabla^2\varphi - \frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla}\cdot\vec{A}) = \rho/\epsilon_0$

زیر به لورنتس : $-\frac{1}{c^2}\frac{\partial \varphi}{\partial t}$

$$\Rightarrow \boxed{\nabla^2\varphi - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} = -\rho/\epsilon_0}$$

معادله موج : $\nabla^2\psi - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = \text{Source}$ $\xrightarrow{\text{بدون}}$ $\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = 0$

حل معادله موج برای $\vec{A}$ : $\vec{A}(\vec{r},t) = \vec{A}_0\left\{\exp(i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)) + \exp(-i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t))\right\} = 2\vec{A}_0\cos(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)$

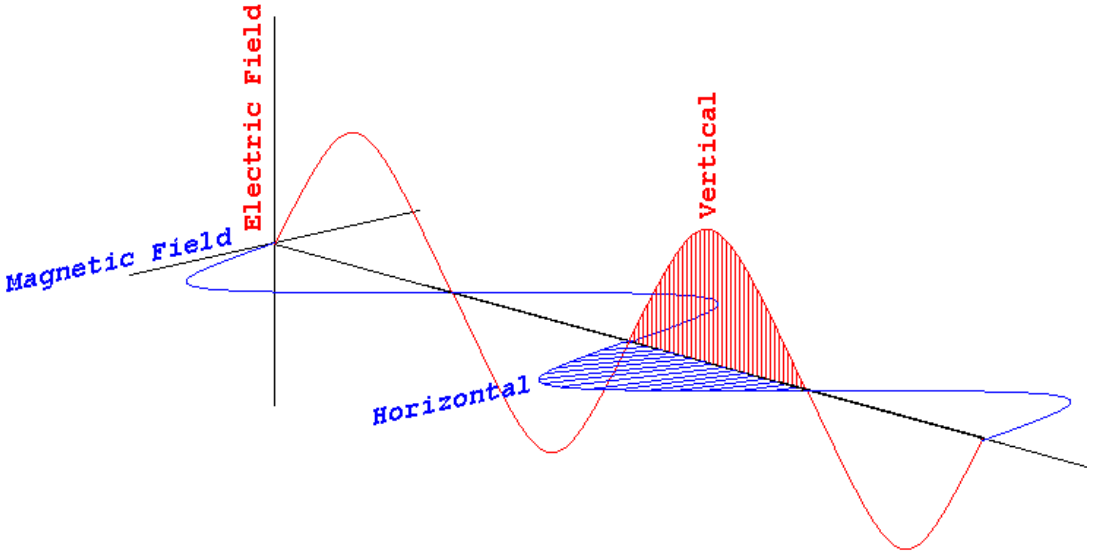
سرعت انتشار

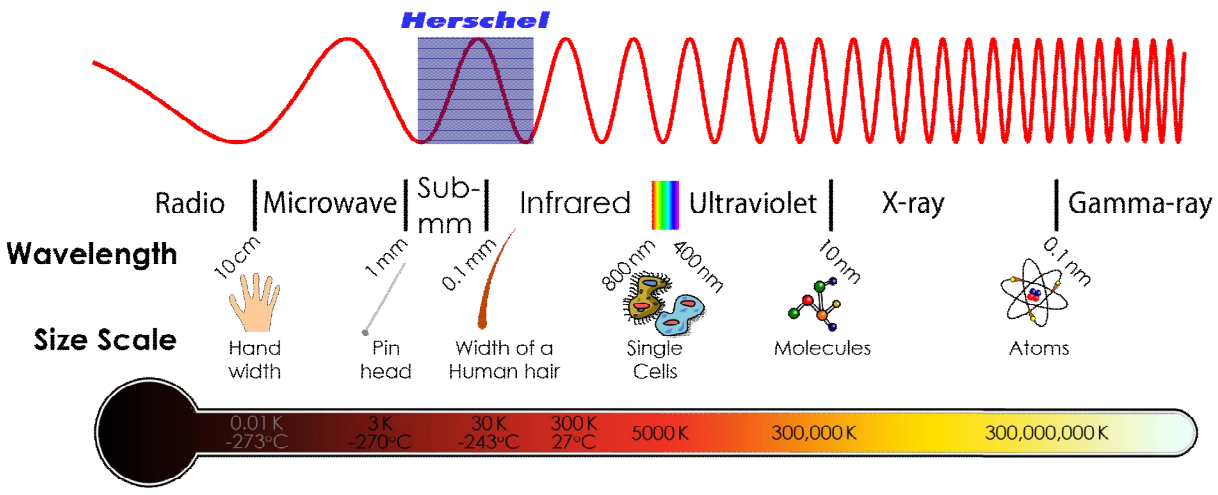
$\vec{B} = \vec{\nabla}\times\vec{A} = -2\vec{k}\times\vec{A}_0\sin(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)$

رابطه موج : $k = \omega/c$

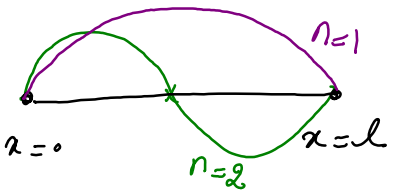
$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -2\omega\vec{A}_0\sin(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)$

$\varphi = 0$



مثال: طنابی به طول $L$ را در نظر بگیرید که دو طرف آن کاملاً بسته است. طول‌موج‌های مجاز حاصل در این طناب را با استفاده از شرایط مرزی بدست آورید.




$$\psi(x) = A\sin kx + B\cos kx$$

$$x=0 : \psi(x=0)=0 \Rightarrow B=0$$

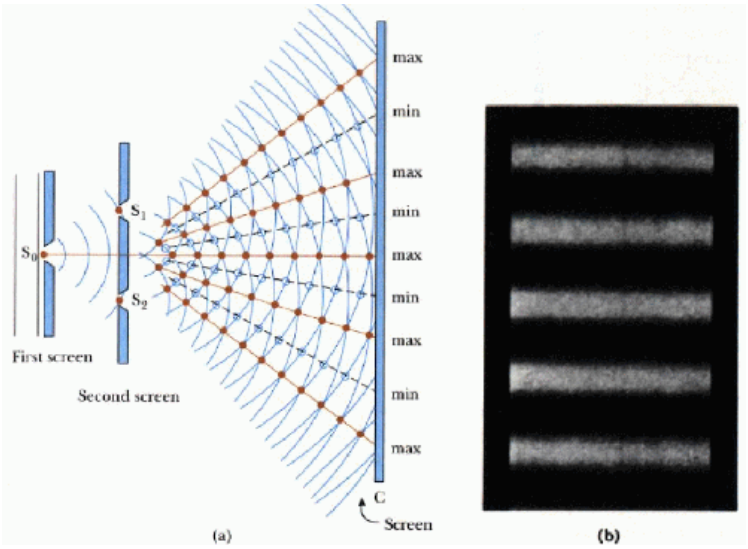
$$x=L : \psi(x=L)=0 \Rightarrow \sin kL = 0 \Rightarrow kL = n\pi \Rightarrow k = \frac{n\pi}{L}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{n\pi}{L}, \quad n = 1, 2, \cdots \Rightarrow$$ طول‌موج‌ها گسسته‌اند

$$n=1 \Rightarrow \lambda = 2L \qquad n=2 \Rightarrow \lambda = L$$

به علت شرایط مرزی، طول‌موج‌ها گسسته هستند و تنها طول‌موج‌هایی با قابل قبول بوده و بقیه ممنوع هستند.

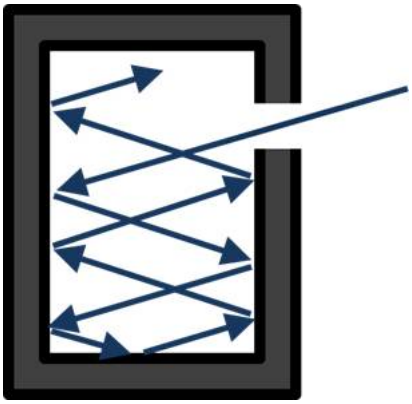
نتیجه‌گیری: ① ذرات موج و ذره در مکانیک کلاسیک کاملاً از هم جدا هستند. ذرات در یک‌جا خود نمی‌توانند از هم عبور کنند (اما امواج قابلیت برهم‌نهی و عبور از هم دارند). ② ذرات در مکان و زمان جایگزیده هستند (اما امواج در مکان و زمان گسترده شده‌اند و خصوصیت آن‌ها با مکان یا طول موج آن‌ها مشخص می‌شود). ③ انرژی ذرات همواره پیوسته است (اما امواج می‌توانند انرژی‌های گسسته داشته باشند).




برهم‌نهی امواج توسط ← یانگ در سال ۱۸۰۱ انجام شد.

## خصوصیات ذره‌ای امواج

### تابش جسم سیاه



همه اجسام در مقابل گرمای محیط، میزان انرژی دریافتی و انرژی تابشی‌شان یکسان است، می‌توان حدس زد که همه امواج را جذب می‌کنند که آن را جسم سیاه می‌نامیم.

در شکل مقابل، ۱ سوراخ‌ای وارد کاواک شده و داخل آن گیر افتاده است. اشعه‌ای که از داخل حفره بیرون می‌آید، نشان‌دهنده تابش جسم سیاه است.

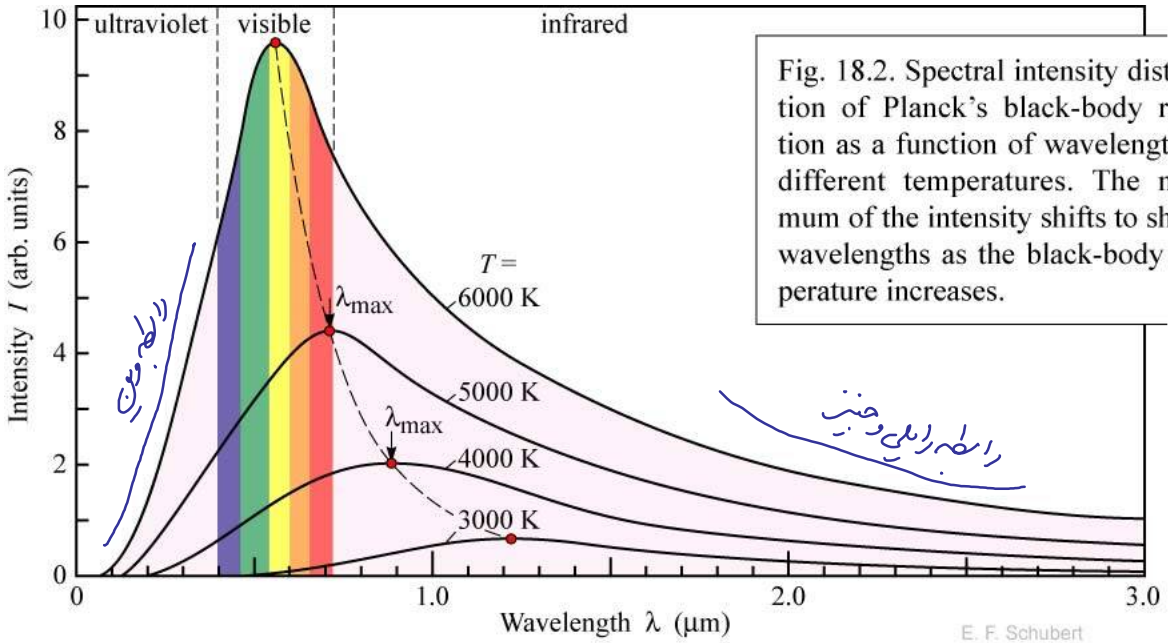



Fig. 18.2. Spectral intensity distribution of Planck's black-body radiation as a function of wavelength for different temperatures. The maximum of the intensity shifts to shorter wavelengths as the black-body temperature increases.

1884 سال : Wien : $u(\nu,T) = A\nu^3 e^{-B\nu/T}$ ⟵ ضرایب تجربی $B, A$

در فرکانس های زیاد یا طول موج های کم برقرار است.

چگالی انرژی در واحد فرکانس ⟵ واحد : $\frac{\text{انرژی}}{\text{فرکانس} \cdot \text{حجم}}$

1900 سال : Reileigh and Jeans : $u(\nu,T) = kT\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$ ; $k = 1{,}381 \times 10^{-23}\ J/K$ ثابت بولتزمن

در فرکانس های کم / طول موج های زیاد برقرار است

⇓ منجر به فاجعه فرانسس می شود.

planck : $u(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}\frac{h\nu}{\exp(h\nu/kT)-1}$ $h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ J.s$ ثابت پلانک

## اثر فوتوالکتریک

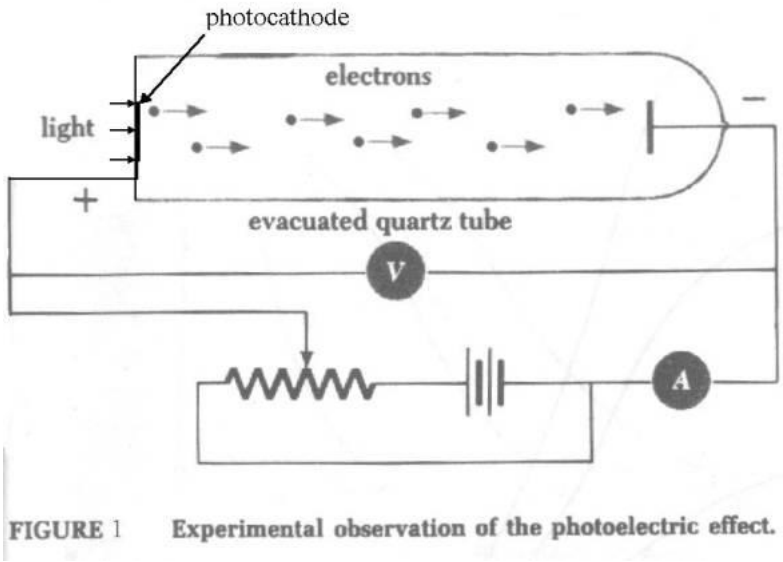
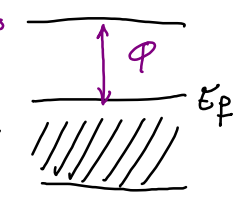



FIGURE 1 Experimental observation of the photoelectric effect.

مطالعات جامع در مورد این اثر توسط فیلیپ لنارد فیزیکدان آلمانی صورت گرفت.

$E = \varphi + K$ ⟵ انرژی فوتون ; $K$ ⟵ انرژی جنبشی الکترون ; $\varphi$ ⟵ تابع کار



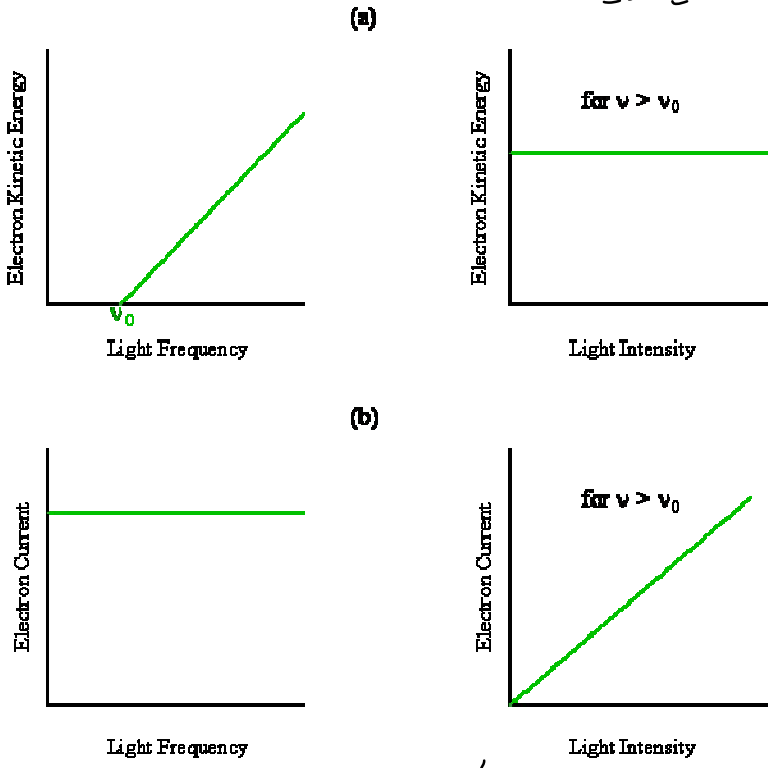
انتظارات از توصیفات کلاسیکی :

۱) هرچه شدت نور تابیده شده بیشتر شود، انرژی الکترون‌های کنده شده بیشتر است. زیرا شدت نور بیشتر به معنای دامنه بیشتر و در نتیجه نیروی بیشتر وارد بر الکترون‌هاست. هم چنین شدت نور بیشتر به معنای این است که الکترون‌های بیشتری کنده می‌شوند و سرعت بیشتری هم دارند. پس هر دوی اینها در افزایش جریان فوتو الکتریک موثرند. (شکل پایین سمت راست)

۲) مستقل از این که نور تابیده شده چه فرکانسی دارد، در صورتی که به اندازه کافی صبر کنیم، الکترون از سطح فلز کنده می‌شود. انتظار این است که وقتی نور به مدت کافی بتابد، e انرژی کافی جذب کند و بتواند خود را از قید هسته رها کند. (شکل پایین سمت چپ)

۳) بسته به شدت منبع نور و فاصله آن از سطح ماده، فاصله زمانی بین تابیدن نور و کنده شدن e می‌بایست از مرتبه دقیقه باشد.

مشاهدات :




۱) همواره یک فرکانس آستانه ($\nu_0$) وجود دارد که اگر فرکانس نور از این کمتر باشد، هر چقدر هم شدت نور را زیاد کنیم، الکترون کنده نمی‌شود.

۲) بعد از آن که فرکانس نور از $\nu_0$ بیشتر شد، انرژی e های کنده شده، بصورت خطی با فرکانس افزایش می‌یابد. (شکل بالا سمت چپ)

۳) افزایش شدت نور، انرژی (و انرژی) الکترون‌های کنده شده ندارد و فقط تعداد آنها را بیشتر می‌کند پس افزایش جریان خروجی داریم.

۴) هیچ گونه فاصله زمانی بین تابش نور و کنده شدن e وجود ندارد. بصورت تقریبی، این فاصله از $10^{-9}$ ثانیه کمتر است. (شکل بالا سمت راست)

- روش انیشتین برای حل این معما : نور بصورت بسته‌هایی (با انرژی $h\nu$) است که $\nu$ فرکانس نور تابیده شده است.

$$E = h\nu \Rightarrow h\nu = \Phi + K \; ; \quad \Phi = h\nu_0$$

($\nu_0$: فرکانس آستانه)