به نام پروردگار مهربان

HANDBOOK

فرمول‌نامه فیزیک

دهم ▪ یازدهم ▪ دوازدهم

فرمول‌ها ▪ تعاریف ▪ تصاویر

▪ حسن محمدی ▪ لاله بهادری
▪ مدیر و ناظر علمی گروه فیزیک: نصراله افاضل

مهروماه
لقمه

فصل سوم
دهم

ویژگی‌های فیزیکی ماده

۲۰ فشار در جامدات

$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

P : فشار (Pa)

A : مساحت سطح (m^2)

$F_{\perp}$: نیروی عمودی وارد بر سطح فرضی A (N)

۸

نکته: یک پاسکال (Pa) معادل یک نیوتون بر مترمربع (N/m^2) است.

۲۱ فشار در شاره‌ها

$$P = \frac{F}{A}$$

F : نیروی عمود وارد بر سطح A (N)

A : سطحی که نیروی F بر آن اثر می‌کند. (m^2)

۲۲ فشار در شارهٔ ساکن

$$P_2 = P_1 + \rho g h$$

P_1 و P_2 : به ترتیب فشار در سطح پایین و بالای شاره (Pa)

ρ : چگالی (kg/m^3)

g : شتاب گرانش (m/s^2)

h : فاصله تا سطح مایع (m) (با فاصله از کف ظرف اشتباه نشه!)

۹

۲۳ فشار مطلق (کل)

$$P = P_{\circ} + \rho gh$$

$P_{\circ}$: فشار در سطح شاره (Pa)

h : عمق یا فاصلهٔ قائم تا سطح (مرز) شاره (m)

۱۱ و ۱۰

کاربرد: فشار در نقطه‌ای در عمق h از سطح مایع از این رابطه به‌دست می‌آید.

نکته: اگر چند مایع در یک ظرف وجود داشته باشند، فشار در کف ظرف برابر مجموع فشار مایع‌ها است.

$$P_{\text{کل مایع}} = P_{\text{مایع ۱}} + P_{\text{مایع ۲}} + \cdots$$

هرچه عمق بیشتر بشه، فشار بیشتر می‌شه.

۲۴ فشار ناشی از مایع یا فشار پیمانه‌ای

$$P_g = \rho gh$$

h : عمق نقطه‌ای درون مایع از سطح آزاد آن (m)

ρ: چگالی مایع (kg / m^3)

۱۲ و ۱۱

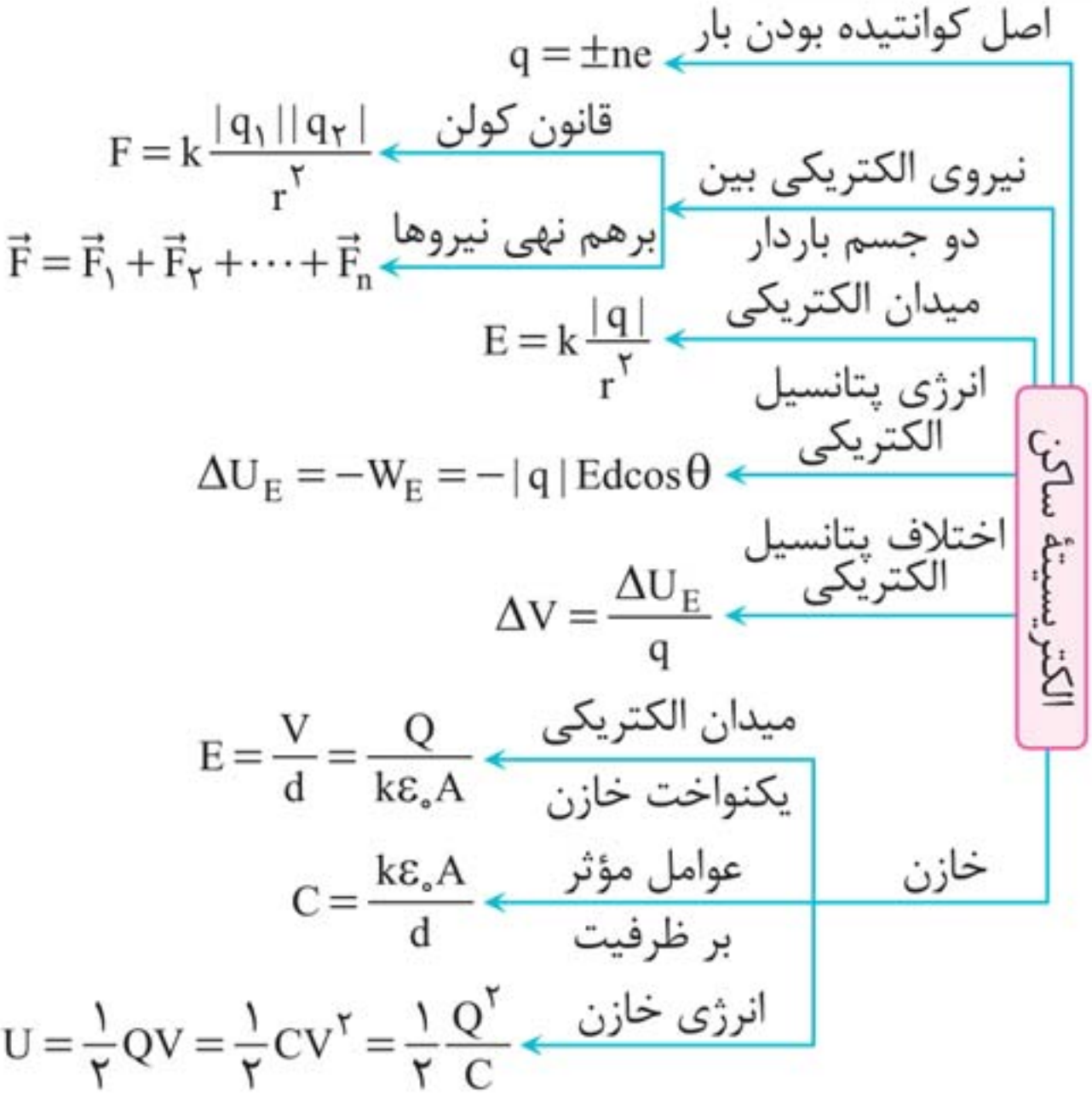
نکته:
- در نقاط هم‌تراز افقی و ساکن مایع، فشار یکسان است. (در مسائل لوله‌های U شکل، فشار نقاط هم‌تراز را برابر می‌گذاریم، و مسئله را حل می‌کنیم.
- اگر مایع در مسائل مربوط به لوله‌های U شکل در یک طرف به اندازه x پایین یا بالا برود، در طرف دیگر به اندازهٔ ۲x بالا یا پایین می‌رود.

کاربرد: رابطهٔ بین ولتاژ و جریان اولیه و ثانویهٔ مبدلی شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت که دور یک هستهٔ آهنی (فرومغناطیس نرم) پیچیده شده‌اند.

نکته: برای کاهش تلفات توان الکتریکی از مبدل افزاینده استفاده می‌شود که ولتاژ ثانویه را افزایش می‌دهد و در نتیجه جریان ثانویه کاهش می‌یابد.

برای دریافت مسائل کاربردی فرمول‌های یازدهم، بارکد مقابل را با گوشی هوشمندتان اسکن کنید.

درخت فرمول



فصل دوم دوازدهم
دینامیک و حرکت دایره‌ای

۱۴۰ قانون دوم نیوتون

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

F_{net} : برآیند نیروها (N) $\quad$ a : شتاب جسم (m/s^2)

نکته: بردار نیرو و شتاب همیشه هم‌جهت هستند.

۱۴۱ نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه

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

μ_s : ضریب اصطکاک ایستایی

F_N : نیروی عمودی سطح (N)

۵۸ و ۵۶

۱۴۲ نیروی اصطکاک جنبشی

$$f_k = \mu_k \cdot F_N$$

μ_k : ضریب اصطکاک جنبشی

F_N : نیروی عمودی سطح (N)

۵۸ و ۵۶

نکته:
- نیروی اصطکاک جنبشی به‌سرعت جسم بستگی ندارد.
- سطح چه افقی باشد و چه شیب‌دار، نیروی اصطکاک همیشه در خلاف جهت حرکت است.

◂ نیروی اصطکاک ایستایی همواره کوچک‌تر و یا مساوی $f_{s,max}$ است. $(f_s \le \mu_s F_N)$

۱۴۳ نیروی تکیه‌گاه (نیروی سطح بر جسم)

$$R = \sqrt{f^2 + F_N^2}$$

f : نیروی اصطکاک (N)

F_N :نیروی عمودی سطح (N)

۵۸ و ۵۷

نکته: ◂ نیروی اصطکاک (f)، در واقع مؤلفهٔ نیروی سطح در راستای موازی سطح است.

◂ برای جسم ساکن، نیروی اصطکاک ایستایی خلاف جهت نیرویی است که می‌خواهد جسم را به حرکت درآورد، همچنین در آن $f_s = F$ است.

۱۴۴ قانون هوک

$$F_e = k\Delta x$$

k : ثابت فنر (N/m)

Δx : تغییر طول فنر (m)

F_e : نیروی کشسانی فنر (N)

۵۷

کاربرد: نیروی کشسانی فنری با ثابت k که به اندازهٔ Δx تغییر طول داده است.

کاربرد: اگر اختلاف تراز شدت صوت I_1 , I_2 را بخواهیم، از این رابطه استفاده می‌کنیم.

تکنیک: هرگاه اختلاف تراز شدت صوت در فاصلهٔ d_1 و d_2 مورد سؤال باشد از رابطهٔ $\Delta\beta = (20\,dB)\log\frac{d_1}{d_2}$ استفاده می‌کنیم.

برهم‌کنش‌های موج

۱۸۹ زاویهٔ انحراف در بازتاب امواج

$$D = 180^\circ - 2\theta_i$$

θ_i : زاویهٔ تابش

کاربرد: زاویهٔ پرتوی بازتابیده نسبت به امتداد پرتوی تابیده است.

۱۹۰ قانون شکست عمومی

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

θ_2 و θ_1 : به‌ترتیب زاویهٔ شکست و تابش

v_2 و v_1 : به‌ترتیب تندی انتشار موج شکست‌یافته و فرودی

۷۳

نکته: اگر پرتوی موج بر سطح جدایی دو محیط عمود باشد ($\theta_i = 0$)، پرتوی تابش بدون شکست وارد محیط دوم می‌شود و جهت انتشار آن تغییر نمی‌کند.

◂ هنگام شکست موج، بسامد موج تغییری نمی‌کند.

۱۹۱ طول موج و قانون شکست عمومی

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$$

λ_1 و λ_2 : طول موج در ناحیهٔ شفاف ۱ و ۲

کاربرد: این رابطهٔ ترکیبی، برای سرعت بخشیدن به حل مسائلی است که با طول موج و تندی و زوایای تابش و شکست همزمان سروکار داریم.

نکته: در هر محیطی که تندی انتشار موج بیشتر باشد، پرتو از خط عمود دورتر است.

۱۹۲ ضریب شکست یک محیط شفاف

$$n = \frac{c}{v}$$

c : تندی نور در خلأ $(c = 3\times10^8\ m/s)$

v : تندی نور در یک محیط (m/s)

۱۹۳ قانون شکست اسنل

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

n_1 و n_2 : ضریب شکست محیط ۱ و ۲

۷۴ و ۷۷

برهم‌کنش‌های موج

بازتاب موج

- قانون بازتاب عمومی: $\theta_i = \theta_r$
- زاویهٔ انحراف پرتو ورودی و خروجی در آینهٔ متقاطع:
  $0 \le \alpha \le 90 \rightarrow D = 2\alpha$
  $90 \le \alpha \le 180 \rightarrow D = 2(180 - \alpha)$

ویژهٔ ریاضی

- سرعت انتشار موج عرضی: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{FL}{m}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = \frac{2}{d}\sqrt{\frac{F}{\pi\rho}}$

شکست موج

- مقایسهٔ طول موج: $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1}$
- قانون شکست عمومی: $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$
- عبور نور از محیط‌های متوالی: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3 \cdots$
- شکست موج الکترومغناطیسی: $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{n_1}{n_2}$
- ضریب شکست: $n = \frac{c}{v}$

تداخل امواج

- تداخل امواج نوری:
  پهنای نوار روشن = پهنای نوار تاریک
  $\frac{W_2}{W_1} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$

تشدید در تار موج ایستاده

- مد اصلی، هماهنگ اول: $L = \frac{\lambda_1}{2}$
- هماهنگ دوم: $L = \frac{2\lambda_2}{2}$
- هماهنگ سوم: $L = \frac{3\lambda_3}{3}$

بسامدهای تشدید

- $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$, $f_n = n f_1$
- طول موج‌های تشدید: $\lambda_n = \frac{2L}{n}$

آشنایی با فیزیک اتمی

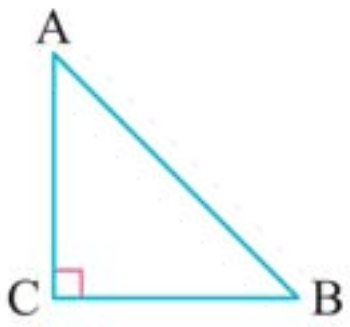
- انرژی فوتون
  - $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$
  - انرژی موج الکترومغناطیسی: $E = nhf = nh\frac{c}{\lambda}$
  - توان تابشی نور تکفام: $P = \frac{E}{t} = \frac{nhf}{t}$
- اثر فوتوالکتریک
  - قانون پایستگی انرژی: $hf = W + K$
  - تابع کار فلز: $W_0 = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$
  - معادلهٔ فوتوالکتریک (ویژهٔ ریاضی)
    - $K_{max} = hf - W_0$
    - برحسب f_0: $K_{max} = h(f - f_0)$
    - برحسب λ_0: $K_{max} = hc(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0})$
- طیف‌های اتمی
  - طول موج‌های گسیلی هیدروژن اتمی
  - رابطهٔ ریدبرگ: $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2})$
  - بلندترین طول موج: n': معلوم $= n + n' + 1$
  - کوتاه‌ترین طول موج: $n = \infty$ و n': معلوم
- مدل‌های اتمی
  - مدل اتمی بور
    - شعاع مولدهای الکترون: $r_n = a_0 n^2$
    - ترازهای انرژی الکترون: $E_n = \frac{-13/6eV}{n^2}$
    - انرژی یونش: $\text{انرژی یونش} = \frac{E_R}{n^2}$
    - معادلهٔ گسیل فوتون: $E_U - E_L = hf$

آشنایی با فیزیک هسته‌ای

- رابطهٔ انیشتین: $E = mc^2$
- پرتوزایی طبیعی
  - آلفا: $_Z^A X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He \leftarrow (\alpha)$
  - بتا
    - پوزیترون: $_Z^A X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_1^0e^+ \leftarrow (\beta^+)$
    - الکترون: $_Z^A X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^0e^- \leftarrow (\beta^-)$
  - گاما (γ): $_Z^A X \rightarrow {}_Z^A X + \gamma$
- نیمه‌عمر (ویژهٔ ریاضی)
  - هسته‌های پرتوزای باقیمانده: $N = \frac{N_0}{2^n}$
  - تعداد نیمه‌عمرهای سپری شده: $n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$

یادآوری‌های ریاضی

۲۲۲ رابطهٔ فیثاغورس در مثلث قائم‌الزاویه



$$\overline{AB}^{۲} = \overline{AC}^{۲} + \overline{BC}^{۲}$$

نکته: اعداد فیثاغورثی:

$۲,۳ \rightarrow ۵$

$۱۲,۵ \rightarrow ۱۳$

۲۲۳ حجم چند شکل هندسی پرکاربرد

$$V_{\text{مکعب}} = a^{۳}$$

$$V_{\text{مکعب مستطیل}} = abc$$

$$V_{\text{استوانه}} = \pi r^{۲} h$$

$$V_{\text{استوانهٔ تو خالی}} = \pi(r_o^{۲} - r_i^{۲})h$$

$$V_{\text{هرم یا مخروط}} = \frac{۱}{۳} S_{\text{قاعده}} \times h$$

$$V_{\text{کره}} = \frac{۴}{۳}\pi r^{۳}$$

۲۲۴ برایند بردارها

بردارها هم‌جهت : $\vec{F}_{\text{خالص}} = \vec{F}_{۱} + \vec{F}_{۲}$

بردارها خلاف جهت : $\vec{F}_{\text{خالص}} = |\vec{F}_{۱} - \vec{F}_{۲}|$

بردارها عمود برهم : $\vec{F}_{\text{خالص}} = \sqrt{\vec{F}_{۱}^{۲} + \vec{F}_{۲}^{۲}}$

بخش دوم

تعاریف

فصل اول
دهـم

فیزیک و اندازه‌گیری

قانون فیزیکی

دانشمندان توصیف و توضیح پدیده‌هایی که دامنهٔ وسیعی را در برمی‌گیرند و رابطهٔ بین برخی از کمیت‌های فیزیکی را توصیف می‌کنند، از گزاره‌های کلی و در عین حال مختصر استفاده می‌کنند، که به آن **قانون فیزیکی** می‌گویند؛ مانند: قانون نیوتون، قانون گازها و ...

اصل فیزیکی

برای دامنهٔ محدودتری از پدیده‌های فیزیکی که عمومیتِ کمتر از قانون را دارند، استفاده می‌شود؛ مانند: اصل پاسکال

مدل‌سازی

فرایندی که طی آن یک پدیدهٔ فیزیکی آن قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم باشد و طی آن اثرهای جزئی را نادیده می‌گیریم، (مدل‌ها در طی زمان ثابت باقی نمی‌مانند)؛ مانند: سقوط آزاد یک توپ که اثر مقاومت هوا را بر آن نادیده بگیریم.

کمیت فیزیکی

هر چیز قابل اندازه‌گیری را گویند؛ مانند: جرم، طول و ...

کمیت نرده‌ای

کمیت‌هایی هستند که برای بیان آن تنها از یک عدد و یکای مناسب استفاده می‌کنیم؛ مانند: مسافت، زمان و ...

کمیت‌برداری

کمیت‌های جهت‌دار هستند و برای بیان آن‌ها علاوه بر عدد (بزرگی) و یکای مناسب، باید جهت (راستا و سو) نیز بیان شود و از قاعدهٔ جمع برداری پیروی می‌کنند؛ مانند: سرعت، جابه‌جایی، شتاب و ...

کمیت اصلی

هفت کمیت که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهد را کمیت اصلی می‌نامند. (طول ـ جرم ـ زمان ـ دما ـ مقدار ماده ـ جریان الکتریکی ـ شدت روشنایی)

کمیت و یکای اصلی

برای برخی کمیت‌های مهم (کمیت‌های اصلی)، یکاهایی تعریف شده که به طور مستقل تعریف می‌شوند و یکای آن‌ها را **یکای اصلی** می‌نامند.

کمیت و یکای فرعی

کمیت‌هایی که برحسب کمیت‌های اصلی تعریف می‌شوند، **کمیت فرعی** و یکای آن‌ها که برحسب یکاهای اصلی بیان می‌شوند را **یکاهای فرعی** گویند؛ مانند: سرعت، فشار، توان و ...

نمادگذاری علمی

برای سهولت بیان اندازهٔ هر کمیت فیزیکی بسیار بزرگ یا بسیار کوچک از **نمادگذاری علمی** استفاده می‌کنیم و به سه قسمت مطابق زیر بیان می‌شود.

مانند: $۱۳۸۸۰۰۰\,s \xrightarrow{\text{نماد علمی}} ۱/۳۸۸ \times ۱۰^{۶}\,s$

دقت وسیلهٔ اندازه‌گیری

کمترین مقداری که یک وسیلهٔ اندازه‌گیری برحسب ساختار آن می‌تواند اندازه بگیرد، **دقت اندازه‌گیری** آن وسیله می‌نامیم.

فصل دوم
دوازدهم

دینامیک و حرکت دایره‌ای

تعاریف

نیرو

حاصل برهم‌کنش یا اثر متقابل دو جسم به یکدیگر و کمیتی برداری است.

تعادل ایستایی

اگر جسمِ در حال تعادل، ساکن باشد، می‌گوییم **تعادل ایستایی** است.

تعادل دینامیکی

اگر جسمِ در حال تعادل، در حرکت یکنواخت باشد، می‌گوییم جسم در **تعادل دینامیکی** است.

لَختی

خاصیتی است که اجسام میل دارند وضعیت خود را در حالتی که نیروی خالص وارد بر آنها صفر است، حفظ کنند، که به این خاصیت **لَختی** می‌گویند؛ در واقع **لختی** اجسام متناسب با جرم آن‌ها است.

نیروهای کنش و واکنش

هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی هم‌اندازه و هم‌راستا اما در خلاف جهت وارد می‌کند، این جفت نیرو، **کنش و واکنش** نامیده می‌شود.

نیروی وزن

وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود.

بخش سوم

تصاویر

فصل اول
یازدهم

الکتریسیتهٔ ساکن

تصاویر

بار الکتریکی

(الف)

(ب)

- بسیاری از پدیده‌های اطراف شما منشأ الکتریکی دارند.

از جمله پدیده‌های با منشأ الکتریکی: آذرخش. شکل (الف)

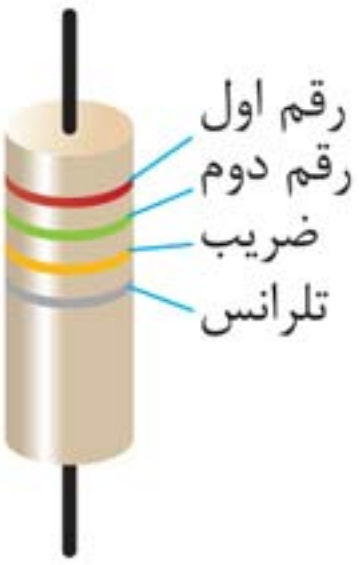
- درخشش لامپ کوچک، آنچه اتم‌ها را به شکل مولکول پیوند می‌دهد، پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب (شکل ب)، قابلیت چسبیدن نوار سلوفان به ظرف، بالا رفتن مارمولک از دیوار و ...

روش مالش در ایجاد بار الکتریکی

- در ایجاد بار به روش مالشی، دو جسم خنثی به اندازهٔ برابر، اما مخالف یکدیگر باردار می‌شوند.
- مالش سبب کنده شدن الکترون از جسمی و انتقال آن به جسم دیگر می‌شود.
- جسمی که الکترون‌خواهی بیشتری دارد (اجسام پایین‌تر در جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی)، الکترون می‌گیرد و بارش منفی می‌شود. جسمی که الکترون دهی بیشتری دارد (اجسام بالاتر در جدول) الکترون می‌دهد و بارش مثبت می‌شود.

مقاومت ترکیبی

ویژهٔ ریاضی



- مواد تشکیل دهنده: کربن، برخی نیم‌رساناها و یا لایه‌های نازک فلزی.

مقدار مقاومت:

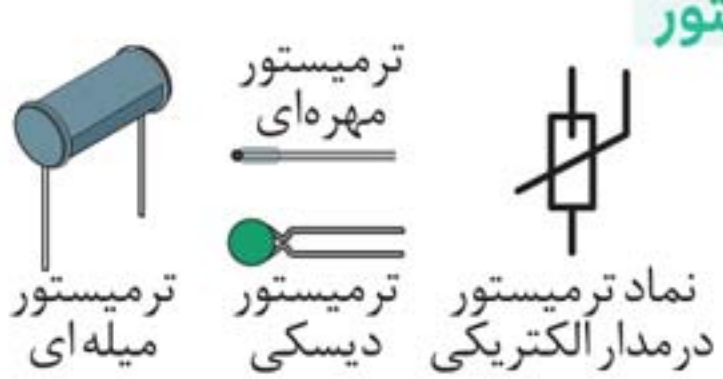
$$R = \overline{ab} \times 10^{n} \pm R \times \text{تلرانس}$$

ab: رقم رقم دوم اول — n: ضریب

تلرانس: مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت برحسب درصد است.
(تلرانس کد رنگ طلایی ۵٪، نقره‌ای ۱۰٪ و بی‌رنگ ۲۰٪)

ترمیستور

ویژهٔ ریاضی



(الف)

(ب)

- این مقاومت حساس به دما است.
- کاربرد: به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما مانند زنگ خطر آتش و دماپاها و دماسنج‌ها.
- طرح ترمیستور: دیسکی، مهره‌ای و میله‌ای که بسیار هم کوچک هستند. (شکل الف)
- انواع ترمیستورها: NTC و PTC

مقاومت‌های نوری (LDR)

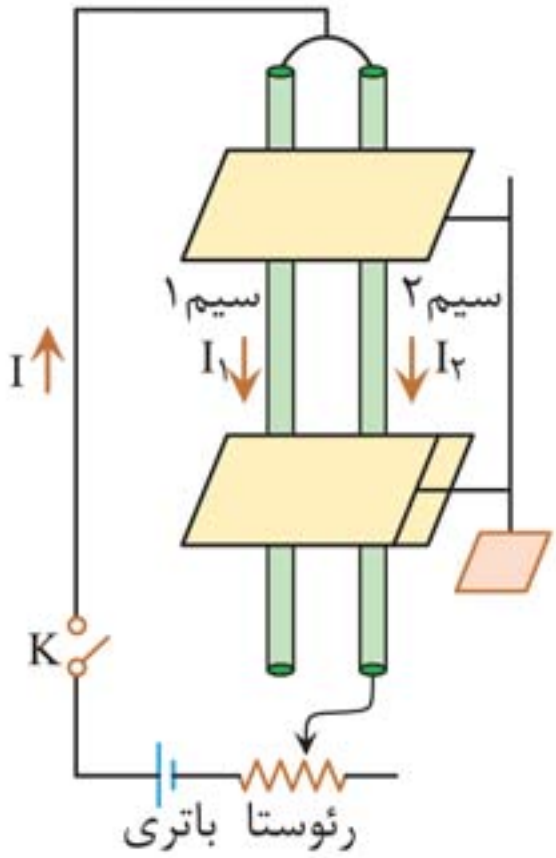
ویژهٔ ریاضی

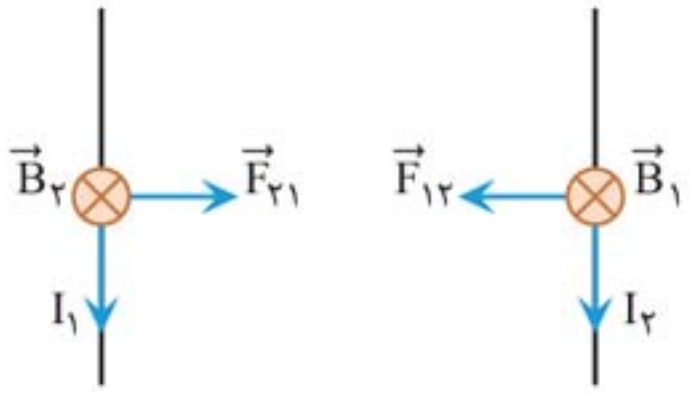
- شکل مقابل نماد LDR را در دو استاندارد متفاوت را نشان می‌دهد.
- با افزایش شدت نور از مقاومت آن کاسته می‌شود.

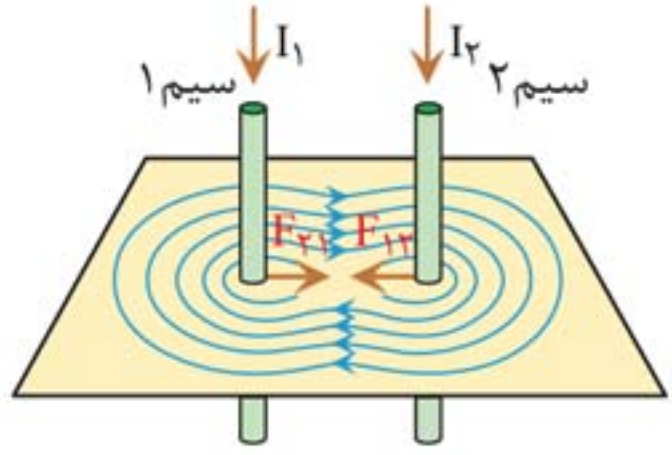
تصاویر

نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان

• سیم‌های حامل جریان در مجاورت یکدیگر بر هم نیرو وارد می‌کنند.

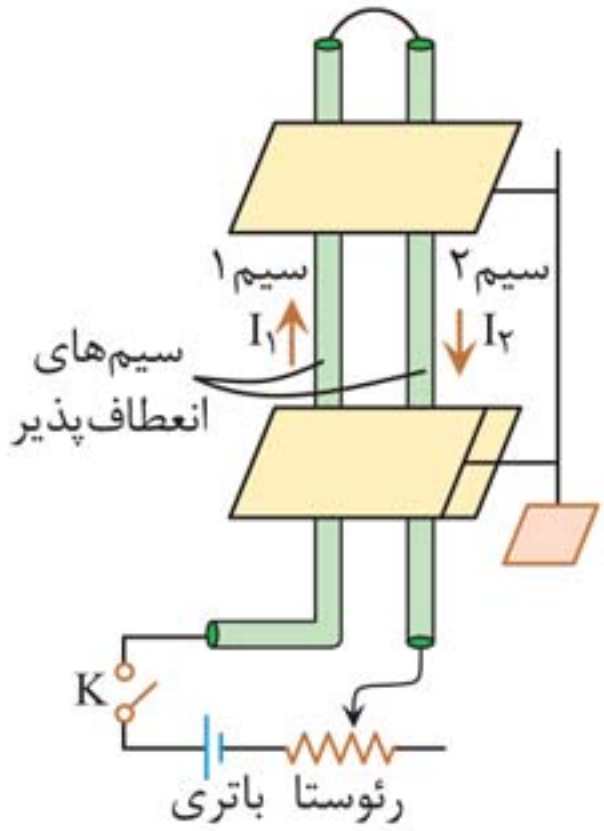


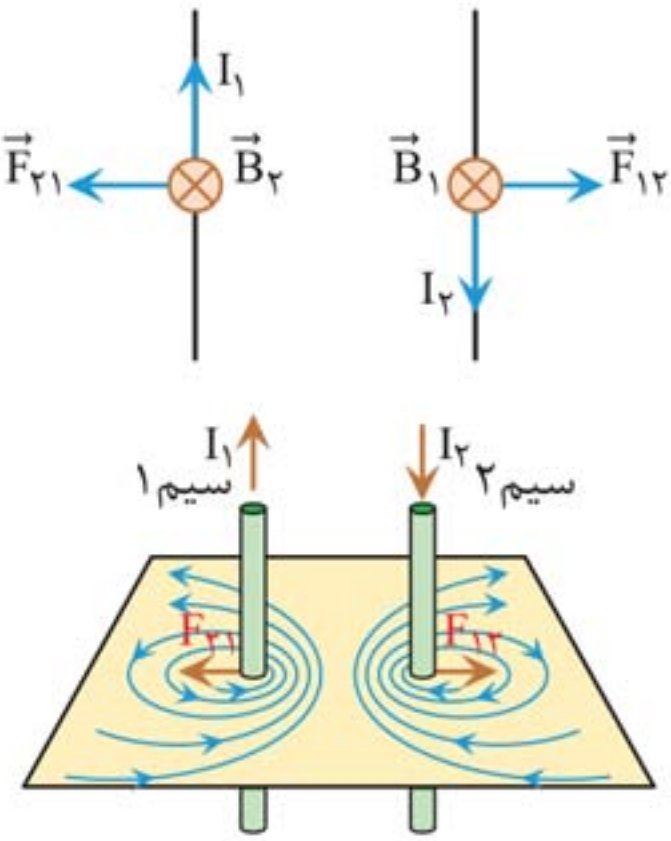




• سیم (۱) و (۲) دارای جریان‌های همسو، همدیگر را جذب می‌کنند (نیروی رانشی).

• سیم (۱) و (۲) دارای جریان‌های غیرهمسو، یکدیگر را دفع می‌کنند (نیروی رانشی).





• اندازهٔ نیروهایی که سیم‌ها بر یکدیگر وارد می‌کنند، یکسان است (قانون دوم نیوتون).

• موج از محیط (۲) با تندی بیشتر به محیط (۱) با تندی کم‌تر رفته و شکسته است. (با ورود به محیط با تندی کم‌تر زاویهٔ شکست کم‌تر از تابش می‌شود).

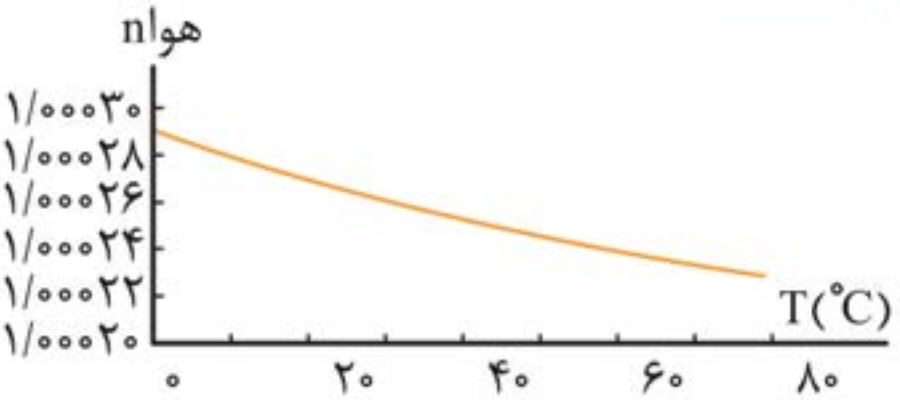
سراب

• این پدیده معمولاً در بیابان‌ها و جاده‌های گرم مشاهده می‌شود علاوه‌بر امکان مشاهده از این پدیده می‌توان عکس گرفت.

تغییرات ضریب شکست هوا با دما

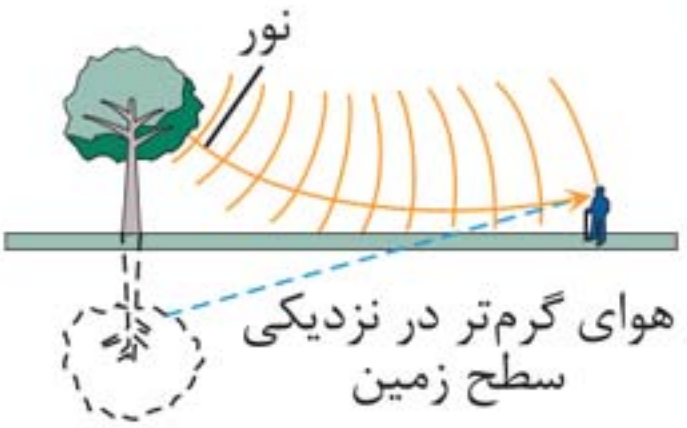
• چگالی هوا با افزایش دما کاهش می‌یابد.

• این پدیده سبب کاهش ضریب شکست می‌شود.



مدل‌سازی سراب با جبهه‌های موج

• به دلیل ضریب شکست پایین‌تر سطح‌های نزدیک به زمین پرتوهای تابیده بیشتر و بیشتر به سمت افق خم می‌شوند.



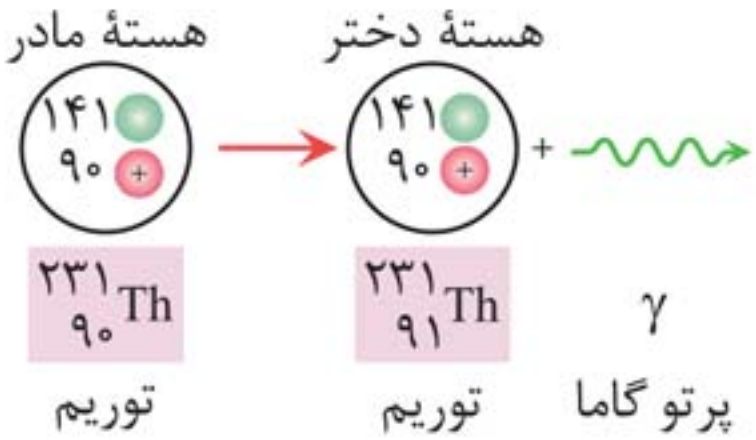
• در نهایت ناظری که پرتوهای نور در پدیدهٔ سراب به چشمش می‌رسد، گمان می‌برد این پرتوها از یک تصویر آمده‌اند.

تحلیل سراب به کمک پرتوهای موج

• در شکل (الف)، پرتو نور در امتداد یک مرز فرضی از هوای گرم و گرم‌تر پایین می‌رود و به سمت افق خم می‌شود.

• به این دلیل که انتهای پایین جبهه‌های موج در یک محیط گرم‌تر قرار دارد. جبهه‌ها در این محیط سریع‌تر حرکت می‌کنند و این موجب تغییر جهت جبهه‌ها و خمیده شدن آن‌ها می‌شود (شکل ب).

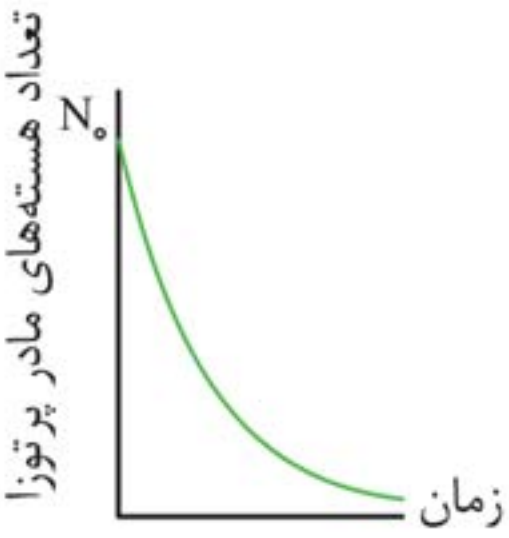
واپاشی گاما (γ)



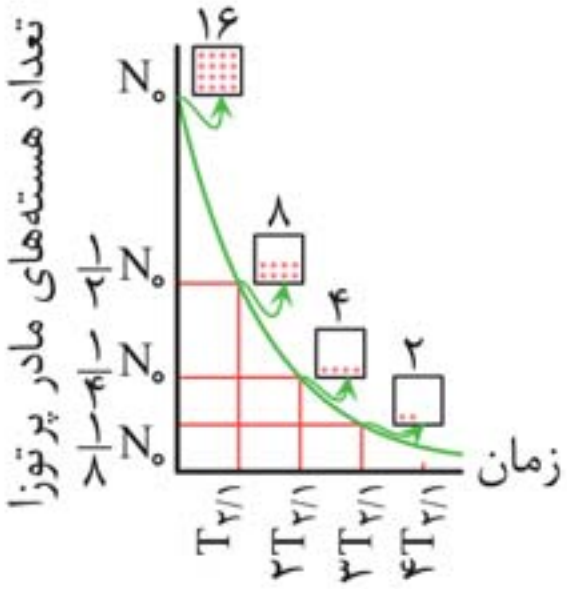
- اغلب هسته‌هایی که دچار واپاشی α یا β شده‌اند (هسته‌های دختر) در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل فوتون‌های پرانرژیِ γ به حالت پایه می‌رسند.
- در این فرایند A و Z تغییر نمی‌کنند.

نیمه‌عمر مواد پرتوزا

ویژهٔ ریاضی



- شکل (الف) نشان می‌دهد که با گذشت زمان، تعداد هسته‌های مادرِ پرتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد.



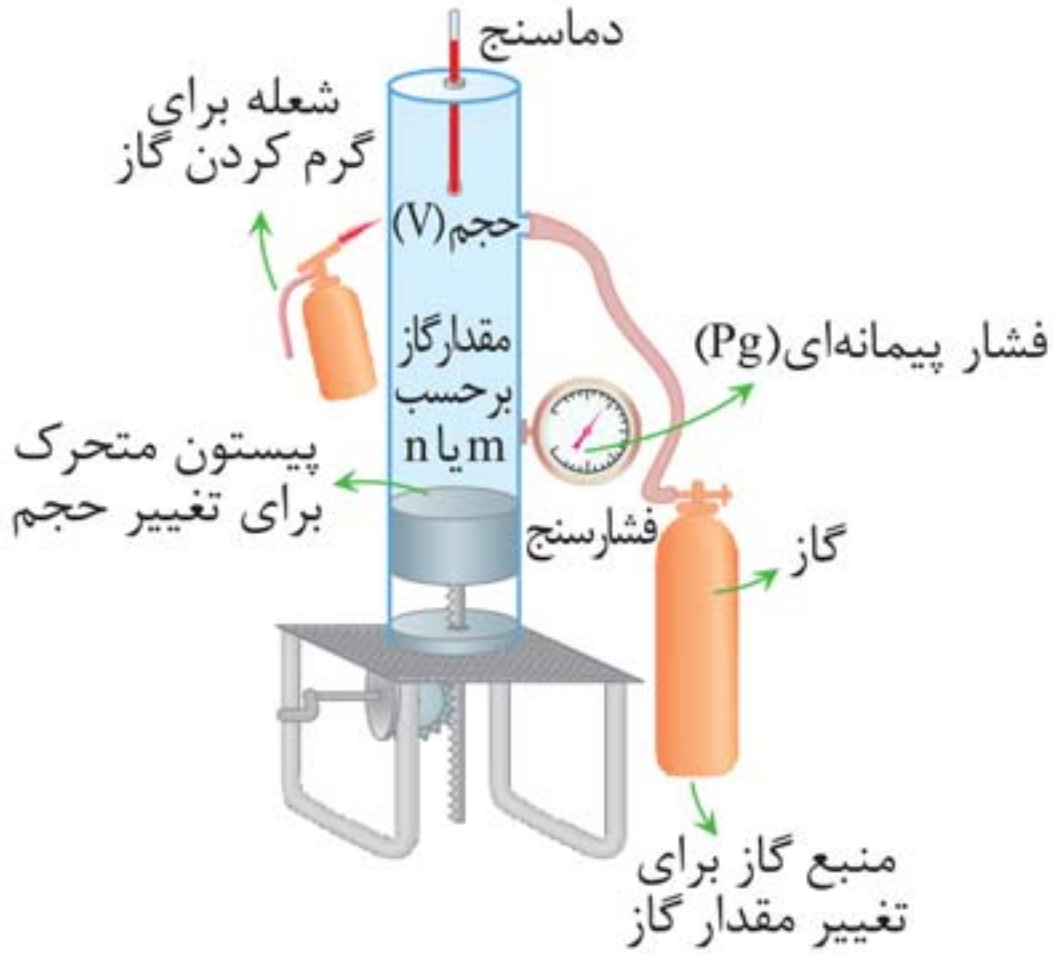
- با گذشت هر نیمه‌عمر ($T_{\frac{۱}{۲}}$)، نیمی از هسته‌های مادرِ پرتوزای باقی‌مانده واپاشی می‌کنند (ب).
- بعد از مدت زمان کافی، تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه به صفر میل می‌کند.

شکافت هسته‌ای

ویژهٔ ریاضی

- نوترون کُند با هستهٔ اورانیم ۲۳۵ برخورد می‌کند و توسط آن جذب می‌شود. هستهٔ اورانیم پس از جذب نوترون شروع به ارتعاش می‌کند و تغییر شکل می‌دهد.

(ب)



(الف)

تصاویر

فصل پنجم
دهم

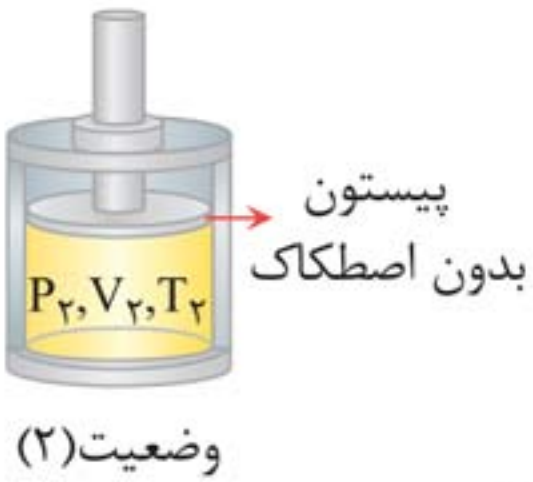
ترمودینامیک

ویژهٔ ریاضی

دستگاه ـ محیط

- آب درون کتری یک **دستگاه** ترمودینامیکی است.
- کتری، سیم گرمکنِ آن و هوا، اجزای **محیط** هستند.

تعادل ترمودینامیکی



- اگر پیستون برای مدت طولانی در وضعیت (۱) (V_1) یا (۲) (V_2) باشد، دما و فشار آن در تمام نقاط یکسان خواهد بود (حالت تعادل ترمودینامیکی).