

بسم الله الرحمن الرحيم

فصل ۱: الکتریسیته ساکن

درسنامه ۱: بار الکتریکی و قانون کولن

الکتریسیته ساکن (الکتروستاتیک): علمی است که به بررسی و مطالعه بارهای ساکن می پردازد.

نکته: این موارد همگی جلوه هایی از خاصیت الکتریکی (کهربایی) هستند:

- (۱) استفاده از صفحات لمسی
- (۲) آذرخش (رعد و برق)
- (۳) پیوندهای بین مولکول ها
- (۴) پیام های عصبی در دستگاه اعصاب
- (۵) نوار سلوفان
- (۶) بالا رفتن مارمولک از دیوار
- (۷) گرده افشانی در حشرات
- (۸) چسبیدن تکه کاغذ به شانه پلاستیکی

۱۹ دستا. برتر

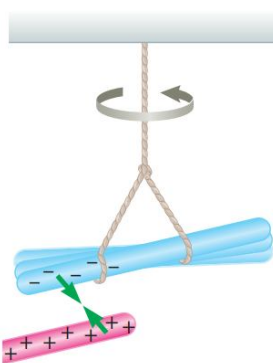
بار الکتریکی

بنیامین فرانکلین دو نوع بار الکتریکی را **مثبت** و **منفی** نامگذاری کرد. مزیت این نامگذاری این است که می توان بین بارهای

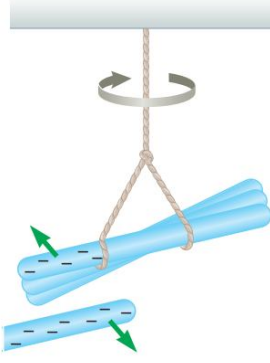
الکتریکی جمع جبری انجام داد.

$$+5 + (-2) = +3$$

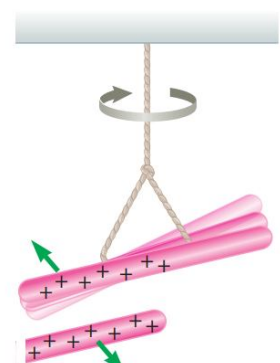
آزمایش اثبات وجود دو نوع بار الکتریکی:



(ب) وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله شیشه ای مالش داده شده با پارچه پشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می کنند.



(ب) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می کنند.



(الف) وقتی دو میله شیشه ای را با پارچه پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می کنند.

شکل ۱-۴

پلاستیکی

شیشه ای

نتایج این آزمایش:

- از دو نوع رفتار متفاوت رانش و ربایش می‌فهمیم که ... **دو نوع بار الکتریکی مختلف وجود دارد.**
- با توجه به اینکه میله‌های هم جنس همدیگر را دفع و میله‌های ناهم جنس همدیگر را جذب می‌کنند می‌توان فهمید که ... **جاذبه‌ها هم با هم جاذبه دارند و دفع و بارها ناهم جنس همدیگر را جذب می‌کنند!**
- اگر آزمایش تنها با کمک یک نوع میله (پلاستیکی یا شیشه‌ای) انجام می‌شد ... **نمی‌توانستیم** وجود دو نوع بار را تشخیص دهیم.

کوانتیده بودن بار الکتریکی ← متغیر کمی گسسته

فرمول:

$$q = \pm n \cdot e$$

از دست دادن الکترون
تعداد e گرفته یا از دست داده
 $n \in \mathbb{W}$

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{کوچکترین بار ممکن}) \quad \text{کوانتوم}$$

یکای SI بار الکتریکی:

کولن $\rightarrow C$ $\rightarrow \mu C, nC, pC$
واحد بزرگ

مرور انواع کثیت:

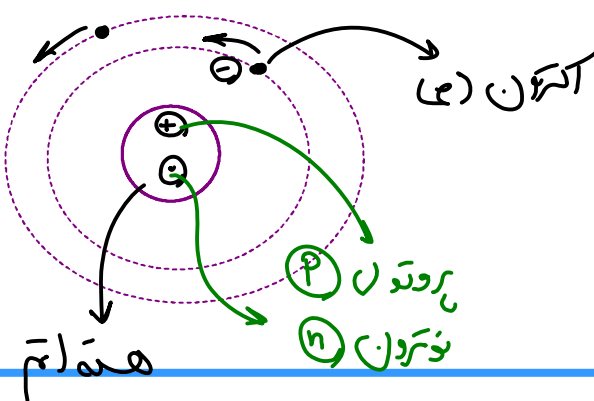
- نرده‌ای و برداری $\rightarrow$ کمیت‌ها
- اصلی و فرعی $\rightarrow$ زمان - دما - مقدار ماده $\checkmark$ کمیت‌های معنی از یک مقدار ماده $\rightarrow$ کمیت‌ها
- پیوسته و گسسته (کوانتیده): $\rightarrow$ تعداد ذرات $\rightarrow$ کمیت‌ها

دو اصل مهم در مورد بارهای الکتریکی:

- اصل پایستگی بار:** مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک سامانه همواره ... ثابت است. یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان ... تولید یا نابود شدن بار وجود ندارد. (هیچ مثال نقضی وجود ندارد.)

- اصل کوانتیده بودن بار:** بار همه اجسام (چه مثبت و چه منفی) همواره ... مضرب صحیح از یک مقدار ... (کمیتی کمی و گسسته است.)

جایگاه (بار بنیادی)



مرور ساختار اتم و ذرات زیراتمی: n, p, e

انواع ذرات براساس بار الکتریکی آن‌ها:

- بار مثبت: $n_e < n_p \Rightarrow q > 0$ $\rightarrow$ الکترون از دست داده (پروتون پرفر)
- بار منفی: $n_e > n_p \Rightarrow q < 0$ $\rightarrow$ الکترون گرفته است (پروتون از دست نداده)
- خنثی (بدون بار خالص): $n_e = n_p \Rightarrow q = 0$

تذکر: پس یک جسم خنثی لزوماً بدون الکترون نیست؛ بلکه می تواند تعداد الکترون و پروتون برابری داشته باشد.

نکته: یون ها تنها با داد و ستد الکترون به وجود می آیند. پروتون و نوترون جابه جا نمی شوند. پس یون مثبت (کاتیون)

یونی است که الکترون از دست داده باشد. و یون منفی (آنیون) یونی است که الکترون گرفته باشد.

$$q = C.V = I.t = n.e$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 بار الکتریکی سلاوکی اطلاعاتی نیروی انتظامی

سؤال: بار الکتریکی یک گوی فلزی $-32 \mu C$ است. در مورد این جسم پاسخ دهید:

الف) این جسم چند الکترون دارد؟ *نی توان نظر دار*

ب) این جسم چند پروتون دارد؟ *نی توان نظر دار*

پ) تعداد الکترون های آن از پروتون های بیشتر است یا کمتر؟ چقدر؟ *۲۰۰ × ۱۰^{۱۷}*

$$q = \pm n e \Rightarrow -32 \times 10^{-6} = n \times 1.6 \times 10^{-19}$$

پس تعداد الکترون ها آن ۲ × ۱۰^{۱۹} از تعداد پروتون آن بیشتر

سؤال: فرض کنید در مالش یک میله پلاستیکی خنثی به یک پارچه پشمی خنثی، 10^{-10} مول الکترون جابه جا

می شود. بار نهایی میله پلاستیکی و پارچه پشمی را محاسبه کنید. ($N_A = 6 \times 10^{23}$)

$$10^{-10} \text{ mol } (e) \times \frac{6 \times 10^{23} e}{1 \text{ mol } (e)} \Rightarrow n = 6 \times 10^{13}$$

بار پارچه پشمی / بار الکترون

$$q = \pm n e = \pm 6 \times 10^{13} \times 1.6 \times 10^{-19} = \pm 9.6 \times 10^{-6} C = \pm 9.6 \mu C$$

سؤال: در سؤال قبل، مجموع بار نهایی میله پلاستیکی و پارچه پشمی برابر چند است؟

$$q = +9.6 + (-9.6) = 0 \Rightarrow \text{قانون پایستگی بار الکتریکی}$$

سؤال: چند الکترون باید از یک سکه خنثی خارج شود تا بار الکتریکی آن $+1 \mu C$ شود؟ ($e = 1.6 \times 10^{-19} C$)

«ریاضی ۹۵»

$$q = \pm n e$$

$$\Rightarrow 1 \times 10^{-6} C = n \times 1.6 \times 10^{-19} C \Rightarrow n = 6.25 \times 10^{13}$$

سؤال: بار الکتریکی یک مکعب فلزی $+10 \mu C$ است. اگر این مکعب فلزی الکترون 6.25×10^{13} الکترون *ببرد*، بار آن خنثی می شود.

$$|q| = |n e| \Rightarrow 10 \times 10^{-6} = n \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$n = 6.25 \times 10^{13}$$

انرازه

سوال: اگر از جسم رسانایی که بار آن برابر $-q$ است، (8×10^{13}) الکترون بگیریم، بار آن $\frac{1}{3}q$ خواهد شد. q چند

«خیلی سبز»

میکروکولن است؟ ($q > 0, e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

$q_1 = -q$ $19/2$ (4) $9/6$ (2) $7/5$ (2) $3/75$ (1)

از دست دادن انرژی

$q_2 = -q + ne = \frac{1}{\mu} q \Rightarrow +ne = \frac{\mu}{\mu} q \Rightarrow$

$\Rightarrow + 1 \times 10^{13} \times 1.4 \times 10^{-19} = \frac{q}{\mu} \Rightarrow q = 9.4 \times 10^{-4} C = 9.4 \mu C$

سوال: میله سربی **خنشی** ای را به پارچه کتانی **خنشی** مالش داده‌ایم. کدام گزینه می‌تواند به ترتیب بار میله سربی و

بار پارچهٔ کتانى بر حسب آتوکولن باشد؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و پیشوند آتو معادل ضریب 10^{-18} است.) **«نردبام»**

(۱) اصله یابی
 (۲) کولمبده بودن بار
 $n = \frac{q}{e} = \frac{q}{1.6 \times 10^{-19}}$
 $\frac{v}{e} \notin \mathbb{Z} \quad \left\{ \frac{1}{e} \in \mathbb{Z} \right\}$

سوال: یک دستگاه بستۀ الکتریکی به ترتیب شامل سه جسم A، B و C با بارهای الکتریکی $q_A = -12\mu\text{C}$

$q_B = +5\mu C$ و $q_C = +4\mu C$ است. برای آن که در اثر جابه جایی بار بین این سه جسم، بار هر سه جسم یکسان شود،

«خیلی سبز»

هر جسم چه قدر باید تغییر کند؟

«خیلی سبز»

$q \Rightarrow q'_A = q'_B = q'_C = q$

~~$\Delta q_A = -1 \mu C, \Delta q_B = -6 \mu C, \Delta q_C = -5 \mu C$ (۲)~~

$\Delta q_A = 1 \mu C, \Delta q_B = -6 \mu C, \Delta q_C = -5 \mu C$ (۴)

~~$\Delta q_A = 1 \mu C, \Delta q_B = +6 \mu C, \Delta q_C = -5 \mu C$ (۱)~~

$\Delta q_A = -1 \mu C, \Delta q_B = +6 \mu C, \Delta q_C = 5 \mu C$ (۳)

ما منتظریم (اصل باتری بار): $q_A + q_B + q_C = q'_A + q'_B + q'_C$

$\Rightarrow (-1) + (+6) + (-5) = q + q + q \Rightarrow 3q = 0 \Rightarrow q = 0$

$\Delta q = q_{\text{عایی}} - q_{\text{اولی}} \Rightarrow \Delta q_A = -1 - (-2) = 1$

$\Delta q_B = -1 - 5 = -6$

$\Delta q_C = -1 - 6 = -7$

نکته: در سامانه صندوق، مجموع Δf ها برابر مع Δf است! چون مانده Δf باقی بار آنقدر کم است!

سوال: بار مثبت موجود در 90 cm^3 آب خنثی را حساب کنید. (بار الکترون $1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ ، عدد آووگادرو 6×10^{23} ، جرم

«نردیام»

مولی هیدروژن و اکسیژن به ترتیب 1 g/mol و 16 g/mol و چگالی آب 1 g/cm^3 است.)

$$V_{\text{H}_2} \xrightarrow{P} g_{\text{H}_2} \rightarrow \text{mol}_{\text{H}_2} \xrightarrow{N_A} \text{مولکول آب} \rightarrow \text{تعداد بار مثبت}$$

$$\cancel{9.0} \times \frac{1}{\cancel{1}} \times \frac{1 \text{ mol}}{\cancel{1} \times 10^3} \times \frac{4 \times 10^{23}}{\cancel{1} \times 10^{23} \text{ (مولکول آب)}} \times \frac{10}{\cancel{1} \text{ (مولکول آب)}} \times \frac{1.4 \times 10^{19}}{\cancel{1} \text{ بار کتون}} = +4.1 \times 10^4$$

سوال: چند درصد از الکترون‌های موجود در ۱g مس را بگیریم تا بار آن $+۸۷۰۰C$ شود؟ (عدد اتمی مس $۲۹amu$ و

جرم اتمی آن $۶۴amu$ است. عدد آووگادرو را ۶×10^{23} و اندازه بار الکترون را $۱/۶ \times 10^{-19}C$ فرض کنید.)

$۴۴ Cu$
 $۲۹ P = e = ۲۹$
((نردبام - پیشرفته))

۲۰ (۴)

۱۰ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

$$n = \frac{q}{e} = \frac{۸۷۰۰}{۱/۶ \times 10^{-19}} = \frac{۸۷}{۱/۶} \times 10^{۲۱}$$

فردا اکرون هلی نرفته

$$\times ۱۰۰ = ۷.۲\%$$

کل اکرون هلی $۱۹۲ Cu$

$$۱۹۲ Cu \times \frac{۱ \text{ mole } Cu}{۶۴ \text{ g } Cu} \times \frac{۶ \times 10^{23} \text{ atoms}}{1 \text{ mole } Cu} \times \frac{۲۹ e}{1 \text{ atom}}$$

رسانش الکتریکی

اجسام از نظر توانایی یا عدم توانایی عبور دادن بارهای الکتریکی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

یا جریان الکتریکی

انواع رسانش الکتریکی	رسانا	نارسانا	نیم رسانا
مثال	فلزات مثل طلا، آهن و نقره	چوب، تفلون، شیشه، لاستیک و هوا	ژرمانیم، گرافیت و سیلیسیم
وجود الکترون آزاد	✓ ← زیاد	×	✓ ← کم
رسانا	✓ ← قوی	×	✓ ← ضعیف
نارسانا (عایق)	×	✓ ← مطمئن	✓ ← غیر مطمئن

تمرین ۱-۱

عدد اتمی اورانیوم $Z = ۹۲$ است. بار الکتریکی هسته اتم اورانیوم چقدر است؟ مجموع بار الکتریکی الکترون‌های اتم اورانیوم

(خشی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی اتم اورانیوم (خشی) چقدر است؟

$$n_e = n_p = Z$$

$$n_e = n_p \Rightarrow q_e + q_p = 0$$

$$U \Rightarrow \begin{matrix} ۲۳۸ \\ ۹۲ \end{matrix} U \quad \begin{matrix} ۲۳۸ \\ ۹۲ \end{matrix} U$$

$$q = -ne = -۹۲ \times ۱/۶ \times 10^{-19} C$$

روش‌های باردار کردن اجسام

(۱) مالش (۲) القای الکتریکی (۳) تماس

(۱) مالش

با مالش دادن سطح دو جسم به هم، تعدادی الکترون از یک جسم به جسم دیگر می‌رود و در دو جسم باری ... حجم اندازه و ... به وجود می‌آید.

نکات مهم در مورد مالش:

- هم برای اجسام رسانا و هم نارسانا کاربرد دارد.
- در اجسام رسانا بار در همه قسمت‌ها پخش می‌شود اما در اجسام نارسانا بار فقط در محل مالش باقی خواهد ماند.
- بهترین روش برای باردار کردن اجسام خارجی است.

سری الکتریسته مالشی (سری تریبو الکتریک)

در این جدول مواد پایین‌تر، الکترون‌خواهی ... دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در مالش با یکدیگر قرار گیرند، الکترون‌ها از ماده ... جابه‌جا ... جدول به ماده‌ای که ... جایز ... قرار دارد، منتقل می‌شود.

انتهای مثبت سری
شیشه $\oplus$
پشم $\ominus$
ابریشم $\oplus$
پلاستیک $\ominus$
انتهای منفی سری

سوال: یک میله پلاستیکی را با پارچه ابری شمی و یک میله شیشه‌ای را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم. بار میله پلاستیکی و میله شیشه‌ای به ترتیب ... منفی ... و ... مثبت ... هست و این دو میله همدیگر را دفع ... می‌کنند ...

سوال: در اثر مالش دو جسم خنثای N و Q، 4×10^8 الکترون بین دو جسم منتقل می‌شود. با توجه به سری الکتریسته مالشی شکل روبه‌رو، بار جسم Q پس از مالش برابر چند نانوکولن می‌شود؟ همچنین اگر دو جسم خنثای M و N را در فرایندی مشابه مالش دهیم، تعداد الکترون‌های جابه‌جا شده را با حالت قبل (مالش N و Q) مقایسه کنید. ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)

Q
M
N



$$q_Q = +ne = +6 \times 10^8 \times 1.6 \times 10^{-19} = 9.6 \times 10^{-11} C \times \frac{1}{10^{-9}} = 9.6 \times 10^{-2} C$$

(ب) از آن جایی که فاصله M و N در این جدول از Q و N کمتر است در مالشی ... مثبت ... به تعداد الکترون کمتر پس از N و M جابه‌جا می‌شود ... $4 \times 10^8 < n_e$... بار اولی بزرگ‌تر دارد.

سوال: چند مورد از عبارت‌های زیر نادرست است؟

(الف) در روش مالش بین دو جسم، همواره بار یک جسم مثبت و بار جسم دیگر منفی می‌شود.

(ب) اگر دستمان را با موهای سرمان مالش دهیم، پروتون‌ها از پوست دست به موی سر منتقل می‌شوند.

(ج) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه کتان مالش می‌دهیم، دو میله بار برابر

می‌گیرند. به اندازه میله‌ها، شوخ مالش بدن و ... و البته اسباب

(د) اگر یک بادکنک پلاستیکی را با بدن گربه‌ای مالش دهیم، موهای گربه به دلیل گرفتن بار منفی برافراشته می‌شوند.

۴ (۲)

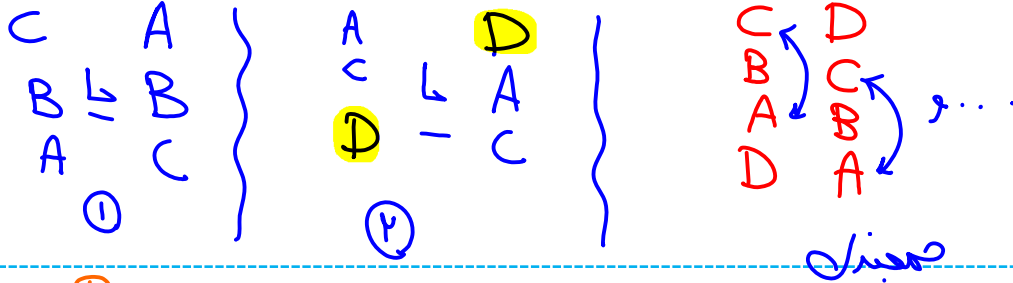
۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

سری الکتریسته مالشی
انتهای مثبت سری
موی انسان $\oplus$
موی گربه $\oplus$
پوست انسان $\ominus$
پارچه کتان $\oplus$
پلاستیک $\ominus$
انتهای منفی سری

سوال: چهار جسم A، B، C و D را در اختیار داریم. اگر جسم A و C را با جسم B مالش دهیم، پس از مالش، جسم A و C یکدیگر را جذب می کنند. اما اگر همین دو جسم را با جسم D مالش دهیم، همدیگر را دفع می کنند. با توجه به این اتفاق، سری الکتریسیته مالشی (تربو الکتریک) این اجسام به چه صورت هایی می تواند باشد؟



سوال: بار الکتریکی دو جسم A و B یکسان است. اگر به کمک مالش $6/25 \times 10^{12}$ الکترون از جسم A به جسم B منتقل شود، بزرگی بار جسم A، دو برابر بار جسم B می شود. پس از انتقال این بار، بار جسم B چند میکروکولن می شود؟ (e = $1/6 \times 10^{-19}$ C)

منقول شود، بزرگی بار جسم A، دو برابر بار جسم B می شود. پس از انتقال این بار، بار جسم B چند میکروکولن می شود؟ (e = $1/6 \times 10^{-19}$ C)

$$q_A = q_B = q$$

$$q'_A = 2q'_B$$

$$q'_B = q - ne = q - 6/25 \times 10^{12} \times 1/6 \times 10^{-19} = q - 10^{-6}$$

$$q'_A = q + ne = q + 10^{-6} \Rightarrow 2q'_B = q + 10^{-6} \Rightarrow 2(q - 10^{-6}) = q + 10^{-6} \Rightarrow q = 3 \times 10^{-6} \text{ C}$$

سوال: دو میله مشابه A و B از جنس کهر یا در اختیار داریم. میله A را به پارچه ابریشمی خنثی و میله B را به پارچه پشمی خنثی به یک اندازه مالش می دهیم. اگر q_A و q_B به ترتیب بار میله های A و B باشند، کدام گزینه درست است؟ (در سری تربو الکتریک به ترتیب پشم، ابریشم و کهر یا به انتهای مثبت سری نزدیک تر هستند.)

۱) q_A و q_B هر دو منفی هستند و $|q_A| < |q_B|$ ۲) q_A و q_B هر دو منفی هستند و $|q_A| > |q_B|$ ۳) q_A و q_B هر دو مثبت هستند و $q_A < q_B$ ۴) q_A و q_B هر دو مثبت هستند و $q_A > q_B$

پس از مالش، میله A بار مثبت و میله B بار منفی می شود. از آنجا که $|q_A| > |q_B|$ ، میله A بار بیشتری دارد و میله B بار کمتری دارد. بنابراین، گزینه ۲) درست است.

سوال: بادکنکی را به موی سر مالش می دهیم تا باردار شود. سپس مطابق شکل، بادکنک را به آب خروجی از یک لوله نزدیک می کنیم. در این صورت بادکنک، آب را به خود می کشد. زیرا می کشد، زیرا
 ۱) جذب - آب از طریق القای الکتریکی باردار می شود. ۲) جذب - مولکول های قطبی آب به گونه ای مرتب می شوند که قطب ناهمنام آن ها در فاصله کمتری از بادکنک قرار می گیرد. ۳) دفع - آب از طریق القای الکتریکی باردار می شود. ۴) دفع - مولکول های قطبی آب به گونه ای مرتب می شوند که قطب ناهمنام آن ها در فاصله کمتری از بادکنک قرار می گیرد.

