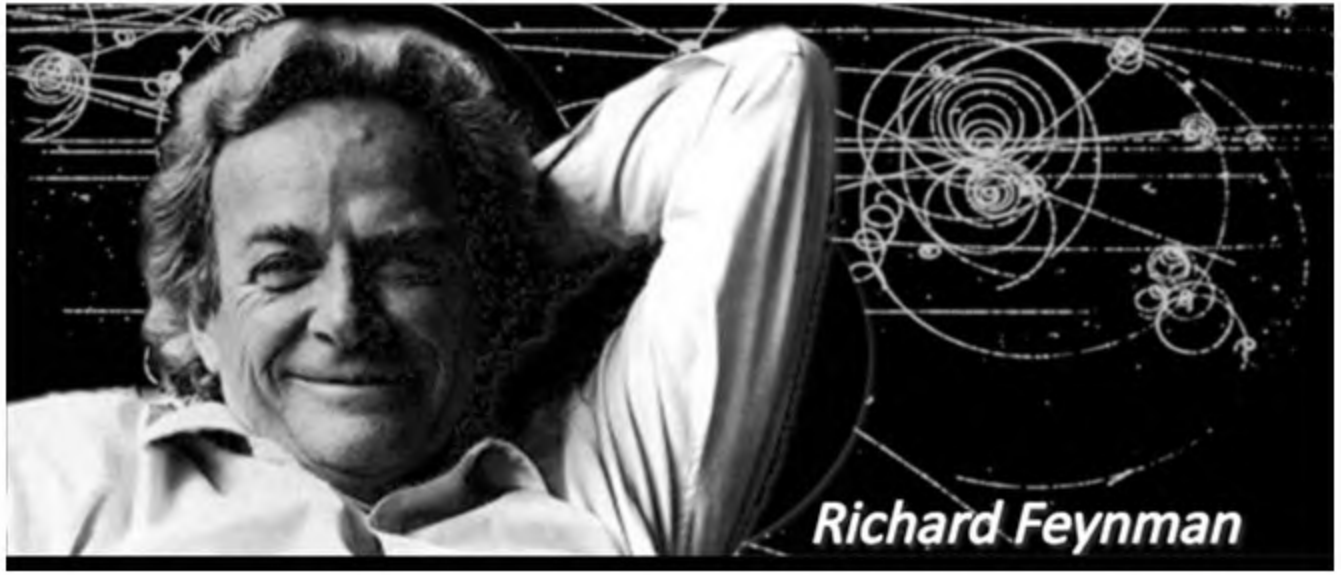
Fundamentals of Physics II

Faculty of Physics-Kharazmi University

Dr. Faramarz Kanjouri

Spring 2023

دانشگاه خوارزمی



اگر همواره مانند گذشته بیندیشید، همیشه همان چیزهایی را به‌دست می‌آورید که تا کنون کسب کرده‌اید

فاینمن

درس ششم

بار الکتریکی

Electric Charge

- بار الکتریکی چیست؟
- ساختمان اتمی ماده
- کوانتش بار الکتریکی
- پایستگی بار الکتریکی
- روش‌هایی که می‌توان جسمی را باردار کرد
- توزیع‌های پیوسته‌ی بار الکتریکی

در طبیعت چهار نوع برهم‌کنش (نیرو) وجود دارد. یعنی ذرات به چهار شکل برهم‌کنش دارند.

این برهم‌کنش‌ها (نیروها) عبارت‌اند از:

- ✓ **برهم‌کنشِ (نیروی) گرانشی**

  نیروی گرانشی، خود را در ابعاد کیهانی نشان می‌دهد. حداقل یکی از اجسام باید جرم بسیار زیادی داشته باشد (مثلِ ستاره یا سیاره)

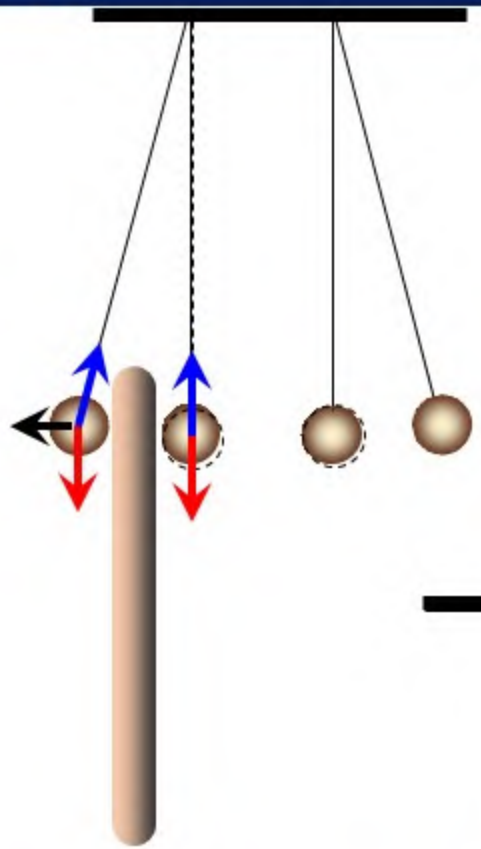
- ✓ **برهم‌کنشِ (نیروی) الکترومغناطیسی**

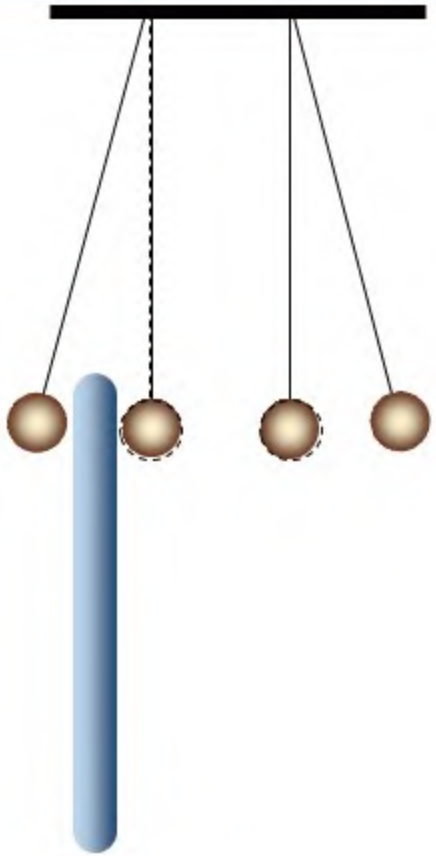
  در ابعادِ معمولی، یعنی همان ابعادِ زندگی ما، ظاهر می‌شود. به خاطرِ برهم‌کنش الکترومغناطیس است که می‌توانیم این صفحات را ببینیم.

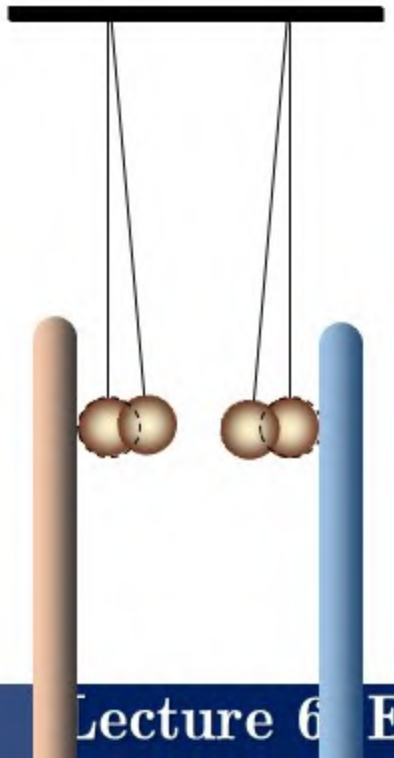
- ✓ **برهم‌کنشِ (نیروی) قوی**
- ✓ **برهم‌کنشِ (نیروی) ضعیف**

  کوتاه‌بُرد- در ابعاد زیر اتمی

نیروی الکتریکی







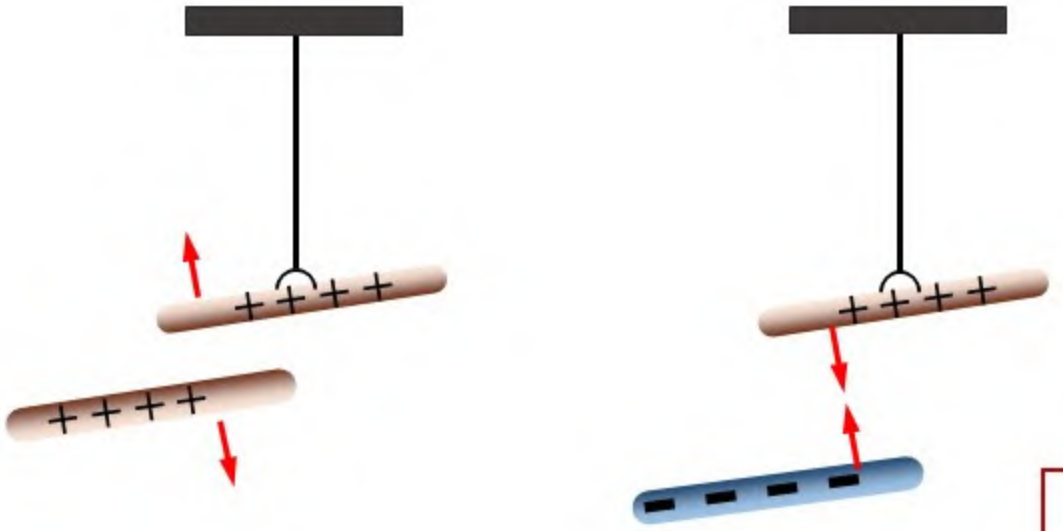
منشأ نیروی الکتریکی، **بار الکتریکی** است

بار الکتریکی خاصیت بنیادی ماده است

میله‌ی شیشه‌ای

میله‌ی پلاستیکی

بارهای الکتریکی به هم نیرو وارد می کنند. بارهای هم‌نام هم‌دیگر را می‌رانند و بارهای ناهم‌نام هم‌دیگر را می‌ربایند.



یکای اندازه گیری بار الکتریکی در دستگاه SI کولن است. کولن در این دستگاه یکای فرعی است و از روی آمپر تعریف می‌شود.

تعریف آمپر: دو سیم موازی حاملِ جریان، که به فاصله‌ی یک متر از هم قرار دارند، در صورتی که جریانِ آن ها یك آمپر باشد، نیروی مغناطیسی که به هم وارد می کنند 2×10^{-7} نیوتون بر متر است

تعریف کولن: مقدار بار الکتریکی که در یک ثانیه از مداری با جریان یک آمپر عبور کند.

۱- بار الکتریکی پایسته است؛ یعنی در هر واکنشی که ذراتِ باردار حضور داشته باشند، بارِ الکتریکی خالص، قبل و بعد از واکنش، همیشه یکسان است.

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma^0 + \gamma^0$$

$$^{238}U_{92} \rightarrow {}^{234}Th_{90} + {}^{4}He_{2}$$

$$p^+ + p^+ \rightarrow n^0 + p^+ + \pi^+$$

جمع جبری بارهای الکتریکی در یک سیستم بسته ثابت است

۲- بار الکتریکی همه‌ی ذراتِ شناخته شده، مضربِ درستی از بارِ الکترون (یا پروتون)، e، است. یعنی بار الکتریکیِ ذرات، همیشه **صفر**، یا e **±** یا $2e$ **±** یا ...؛ یا به طور کلی $q=ne$ است. بنابر این می‌گوئیم بار الکتریکی کوانتیده است.یعنی به صورت دانه دانه و گسسته است و کم‌ترین مقدار آن، که کوانتای بار الکتریکی نامیده می‌شود، بار الکترون (یا پروتون) e است.

$$q = ne; \qquad n = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$$

اجسام پیرامون ما از الکترون، پروتون و نوترون ساخته شده‌اند.

Particle	Charge (C)	Mass (kg)
Electron (e)	$-1.6021917 \times 10^{-19}$	9.1095×10^{-31}
Proton (p)	$+1.6021917 \times 10^{-19}$	1.67261×10^{-27}
Neutron (n)	0	1.67492×10^{-27}

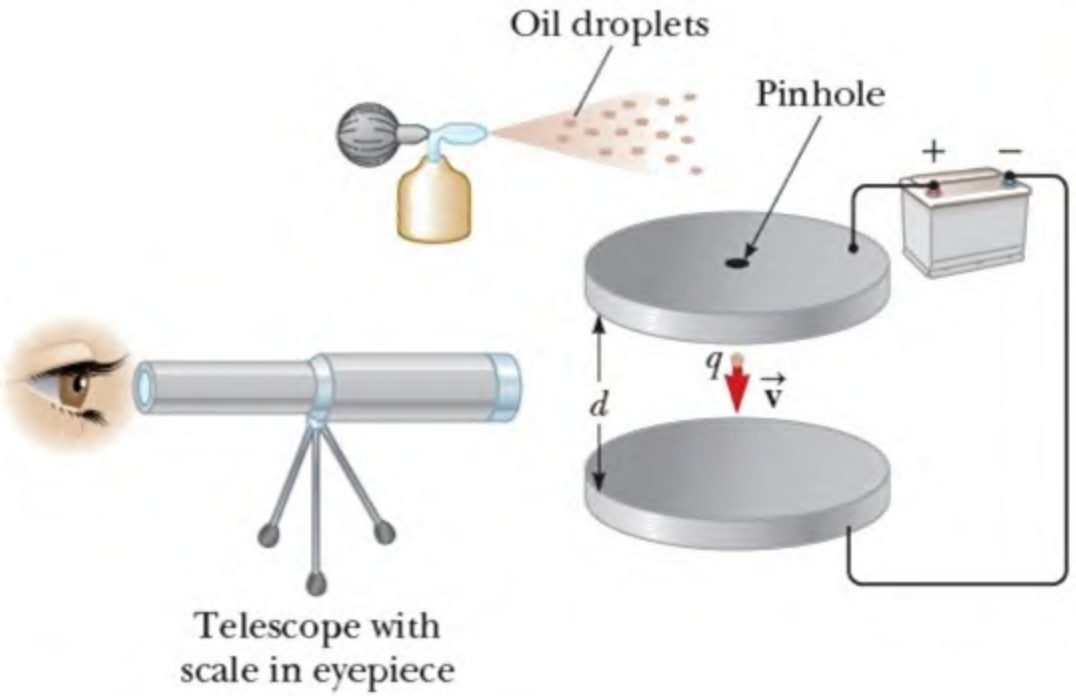
تعداد پروتون ها و الکترون‌های یک جسم در حالت عادی یکسان است. پس وقتی می گوییم جسمی باردار شده است یعنی تساوی بین بارهای منفی و مثبت به هم خورده است

بار خالص جسم

$$q = n_p e - n_e e = \left(n_p - n_e\right) e$$

تعداد الکترون (یا پروتون) موجود در یک میکروکولن بارالکتریکی را پیدا کنید

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1\mu\mathrm{C}}{1.6\times10^{-19}\mathrm{C}} = \frac{10^{-6}\mathrm{C}}{1.6\times10^{-19}\mathrm{C}} \approx 6\times10^{22}\,!!$$

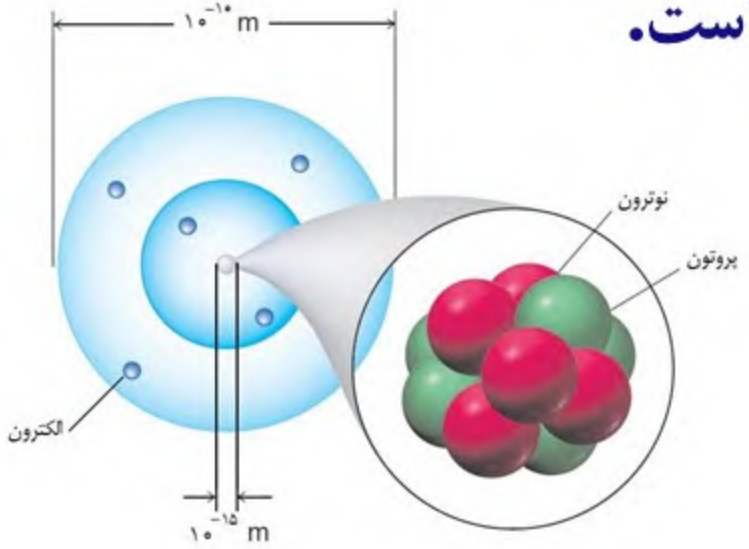


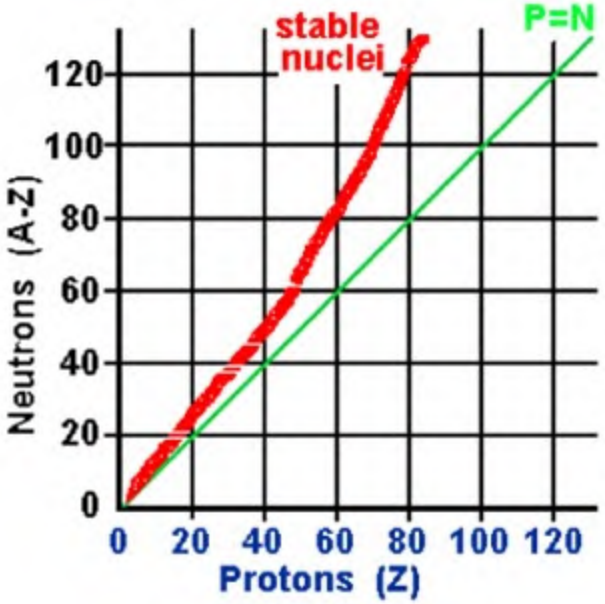
در سال‌های ۱۹۱۰ تا ۱۹۱۳ میلادی، فیزیک‌دان آمریکایی **رابرت اندروز میلیکان**، از آزمایش قطره‌ی روغن برای اندازه‌گیری بار بنیادی e استفاده کرد

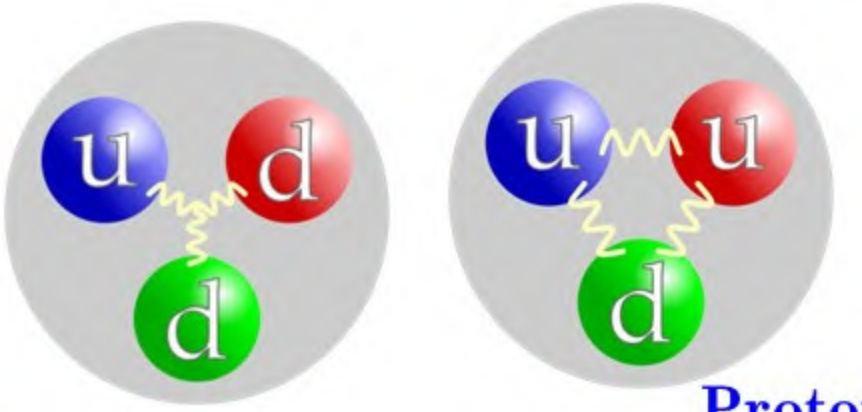
(1868-1953)

در سال ۱۹۲۳ جایزه‌ی نوبل فیزیک به میلیکان اهدا شد

عامل نگهدارنده‌ی نوترون‌ها و پروتون‌ها، نیروی کوتاه‌بُرد هسته‌ای است.







کوارک‌ها سازندگان پروتون‌ها و نوترون‌ها هستند

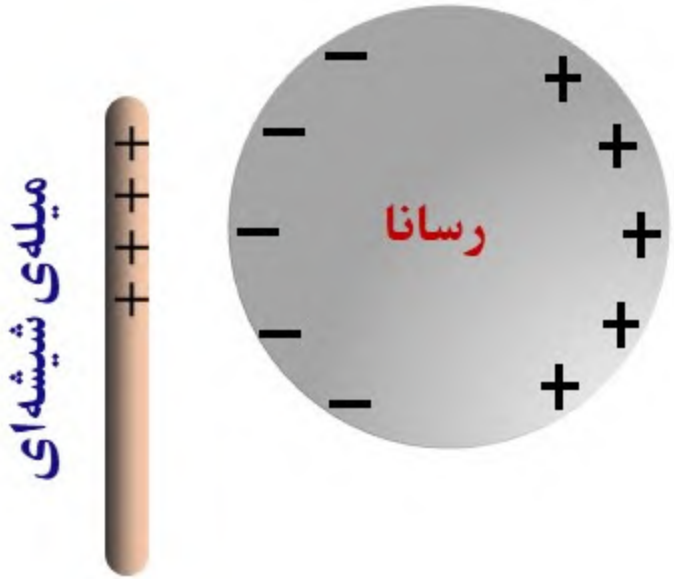
یک کوارک تنها هرگز مشاهده نشده است

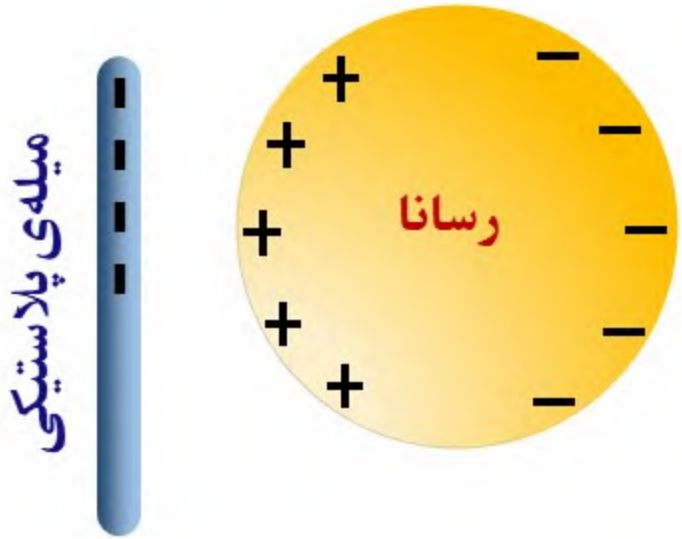
$$\text{Proton (uud) charge} = 2/3e + 2/3e - 1/3e = +e$$

$$\text{Neutron (udd) charge} = 2/3e - 1/3e - 1/3e = 0$$

در برخی مواد، مانند فلزات، آب لوله‌کشی و بدن انسان، بار الکتریکی می‌تواند آزادانه حرکت کند ⟵ رسانا

در برخی مواد دیگر، مانند شیشه، آب مقطر و پلاستیک، هیچ بار الکتریکی نمی‌تواند آزادانه حرکت کند ⟵ نارسانا (عایق)



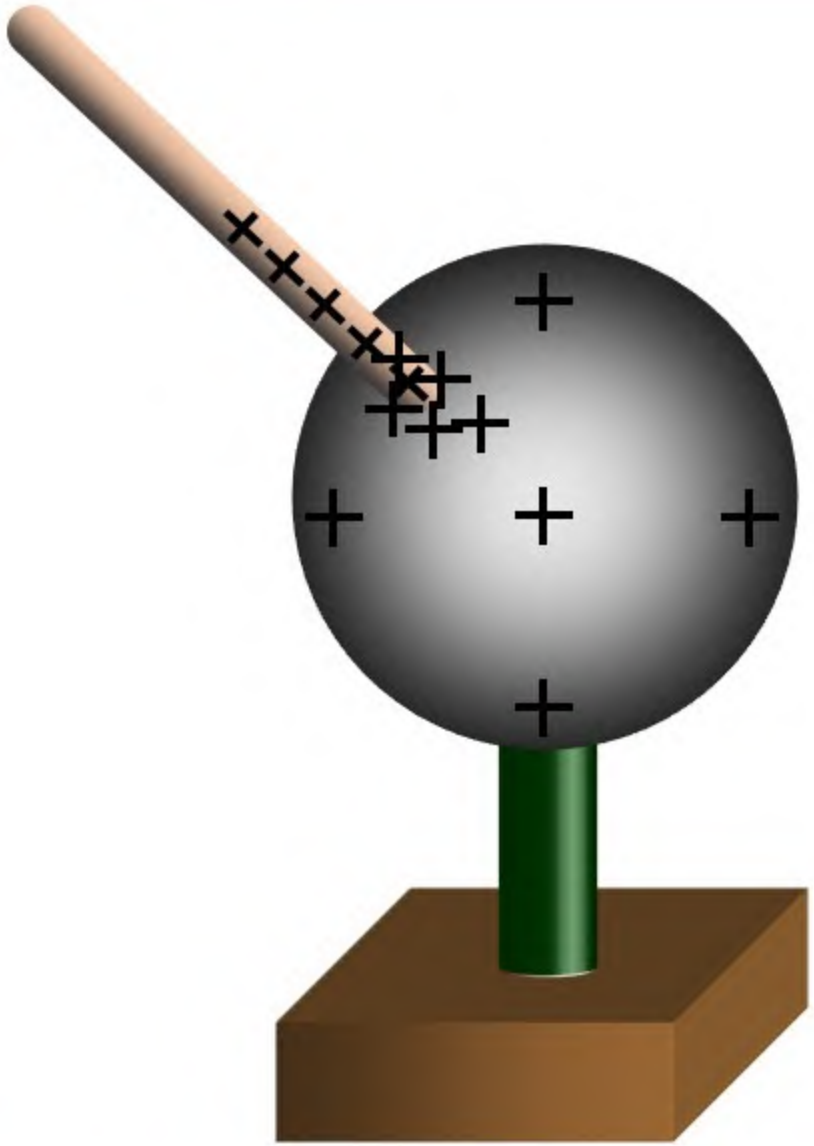


نیم‌رساناها، مانند سلسیوم و ژرمانیوم، موادی هستند که از لحاظ خاصیت رسانایی بین رساناها و نارساناها هستند.
انقلاب الکترونیک مدیون ساخت ادوات نیم‌رساناست.

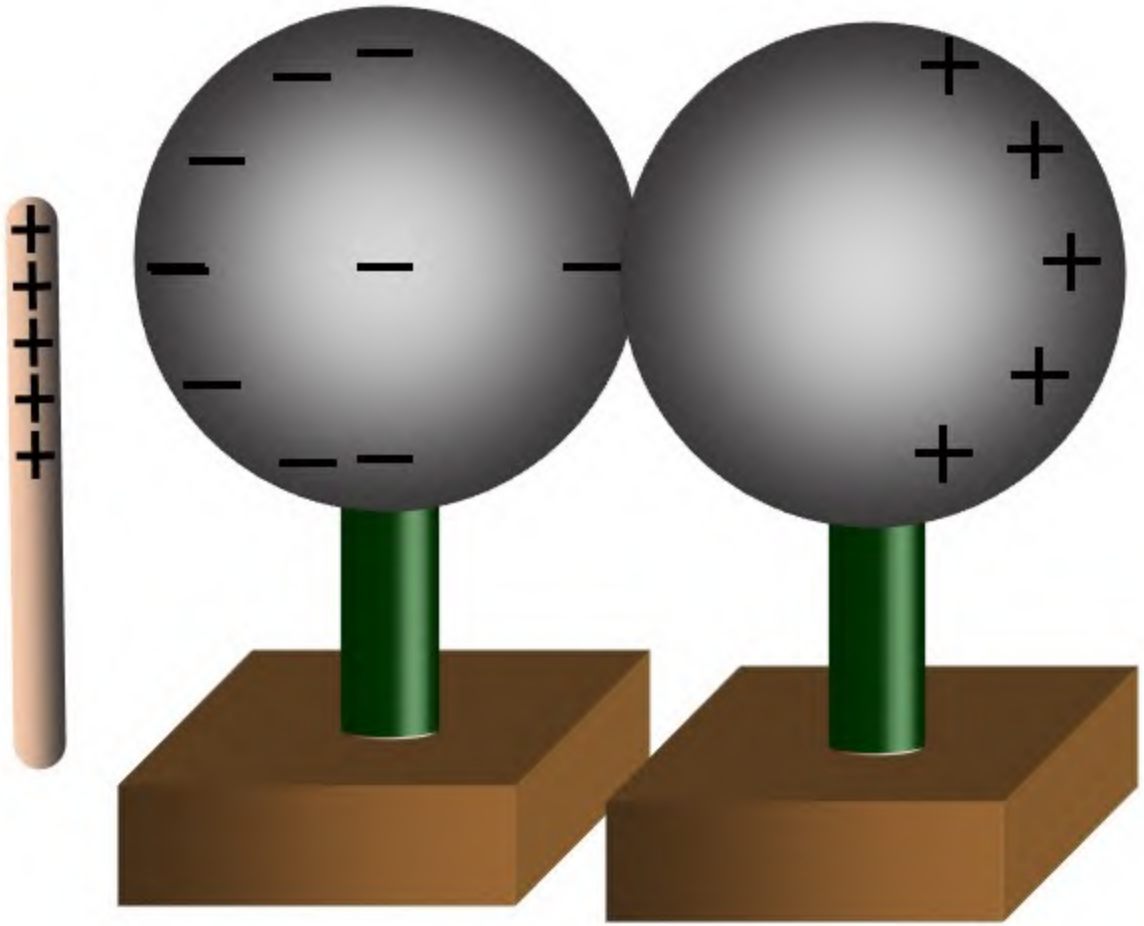
ابررساناها، حرکت بارهای الکتریکی در رساناهای عادی همراه با مقاومت است.
در ابررساناها مقاومت الکتریکی صفر است.

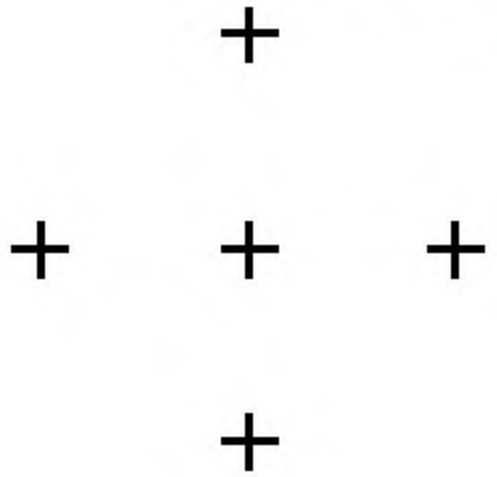
در درس‌های پیشرفته‌تر رفتار مواد و نظریه‌های مربوط به آن‌ها را دقیق‌تر و با جزئیات بیش‌تر مطالعه خواهید کرد

روش تماس



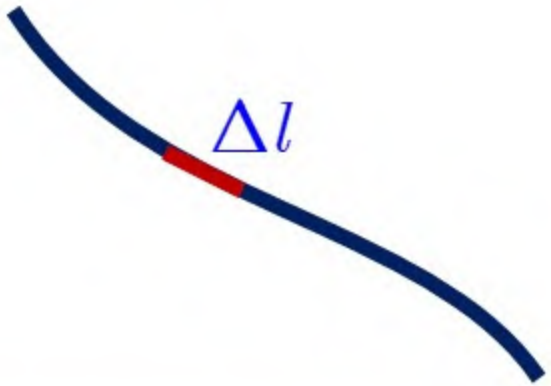
روش القاء





همان طور که گفته شد، بار الکتریکی **کوانتیده** است. به بیانِ دیگر همواره با **توزیع گسسته‌ی بارِ** الکتریکی سرو کار داریم. اما از آن‌جا که ابعادِ الکترون و پروتون (یعنی کوانتای بارِ الکتریکی) بسیار بسیار ناچیز است و فواصل اتمی، نسبت به ابعاد معمولی، بی‌نهایت کوچک‌اند، در **مقیاسِ بزرگ** (ماکروسکوپیک) می‌توان توزیعِ بار الکتریکی را **پیوسته** در نظر گرفت.

- توزیع خطی بار الکتریکی
- توزیع سطحی بار الکتریکی
- توزیع حجمی بار الکتریکی



$$\lambda = \lim_{\Delta l \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl} \quad \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}}$$

هر گاه بارِ الکتریکی را بر روی یك منحنی (خط راست یا خمیده) پخش کرده باشیم، گوئیم یك توزیعِ خطیِ بارِ الکتریکی داریم.

ممکن است بار الکتریکی بر روی منحنی به طور یکنواخت توزیع شده باشد، یعنی در بخش‌های مختلف آن مقادیر بارِ الکتریکیِ یکسانی قرارگرفته باشد.

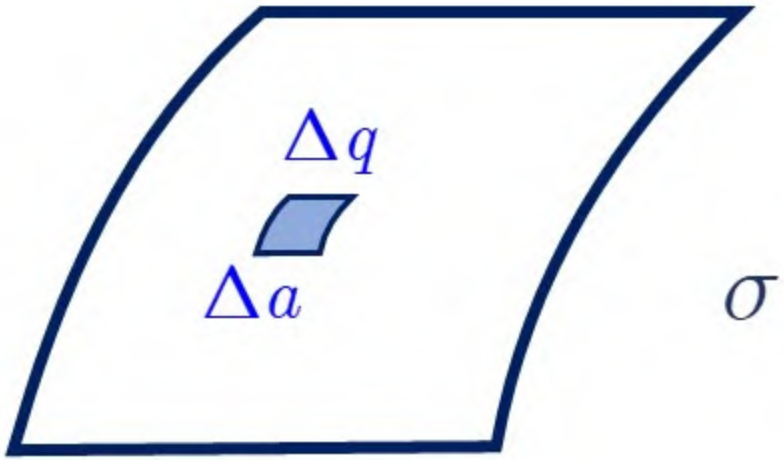
یا ممکن است در بعضی نقاط بارها فشرده‌تر و در نتیجه مقدار بار الکتریکی در آن نقاط بیش‌تر باشد؛ و در نقاط دیگر بارها به طور رقیق توزیع شده باشند.

برای این که چگونگیِ توزیعِ بارِ الکتریکی را در نقاط مختلفِ یك منحنی مشخص کنیم، کمیتی را به نام چگالیِ خطی بار الکتریکی، به شکل زیر تعریف می کنیم:

هر گاه بارِ الکتریکی بر روی یك سطح توزیع شده باشد، گوئیم یك توزیعِ سطحیِ بارِ الکتریکی داریم.

برای این که چگونگیِ توزیعِ بارِ الکتریکی را در نقاط مختلفِ یك سطح مشخص کنیم، کمیتی را به نام

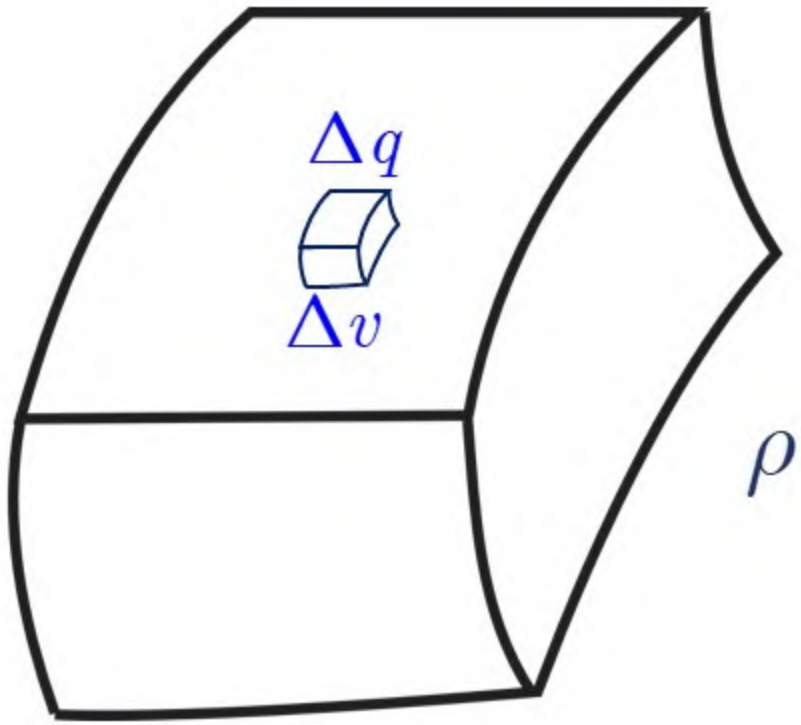
چگالیِ سطحی بار الکتریکی، به شکل زیر تعریف می کنیم:



$$\sigma = \lim_{\Delta a \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta a} = \frac{dq}{da} \qquad \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}$$

هر گاه بارِ الکتریکی درون یك **حجم** توزیع شده باشد، گوئیم یك **توزیعِ حجمیِ بارِ الکتریکی** داریم.

برای این که **چگونگیِ توزیعِ بارِ الکتریکی** را در نقاط مختلفِ حجم مشخص کنیم، کمیتی را به نام **چگالیِ حجمی بار الکتریکی**، به شکل زیر تعریف می‌کنیم:



$$\rho = \lim_{\Delta v \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta v} = \frac{dq}{dv} \qquad \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^3}$$

فرض کنید بار الکتریکی بر روی خطی به طول L با چگالی یکنواختِ λ توزیع شده باشد و ما بخواهیم بارِ الکتریکیِ کل آن را به دست آوریم.

اگر این خطِ بار را به قطعاتِ کوچکِ dl تقسیم کنیم و بارِ هر قطعه dq باشد، طبق تعریف $\lambda = \frac{dq}{dl}$

مجموع همه‌ی dqها برابر با بارِ کل Q خواهد شد، یعنی: $Q = \int dq = \int_0^L \lambda dl$

اما فرض کرده‌ایم که توزیع بار، یکنواخت است، یعنی λ ثابت است، می‌توان آن را از انتگرال خارج کرد و در نتیجه

$$Q = \lambda L \qquad \text{و یا} \qquad \lambda = \frac{Q}{L}$$

وقتی بار الکتریکی Q بر سطحی به مساحت A به طور **یکنواخت** توزیع شده باشد

$$Q = \int \sigma da = \sigma A \qquad \rightarrow \qquad \sigma = \frac{Q}{A}$$

وقتی بار الکتریکی Q درون حجم V به طور **یکنواخت** توزیع شده باشد

$$Q = \int \rho dv = \rho V \qquad \rightarrow \qquad \rho = \frac{Q}{V}$$

شاد و مهربان باشید