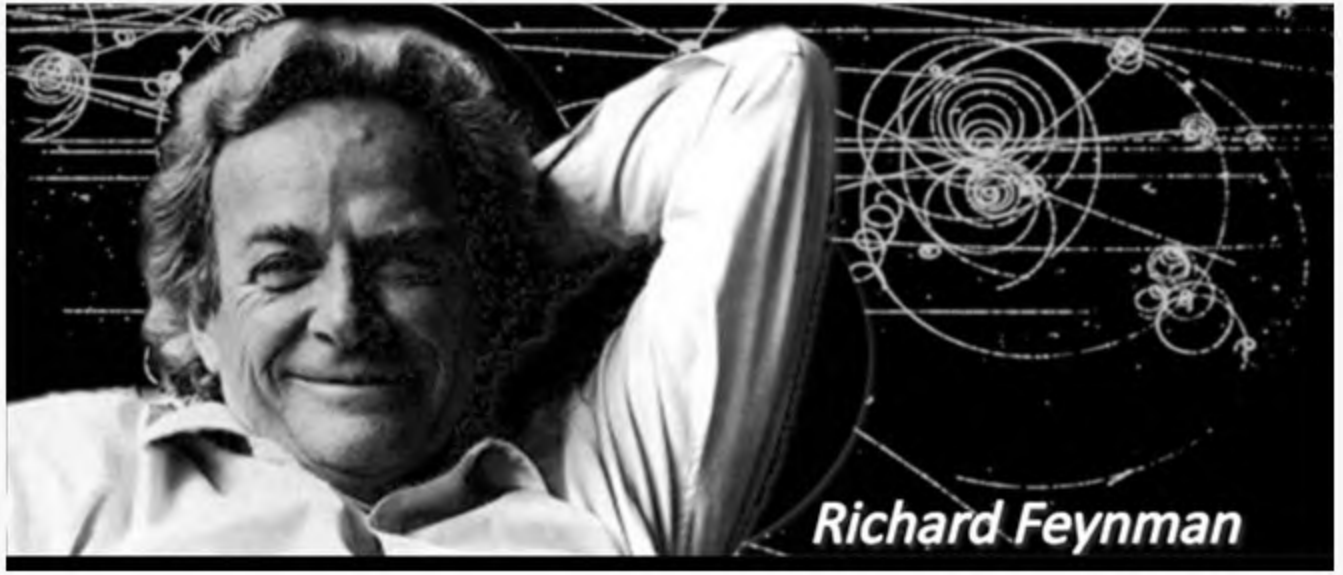
Fundamentals of Physics II

Faculty of Physics-Kharazmi University

Dr. Faramarz Kanjouri

دانشگاه خوارزمی



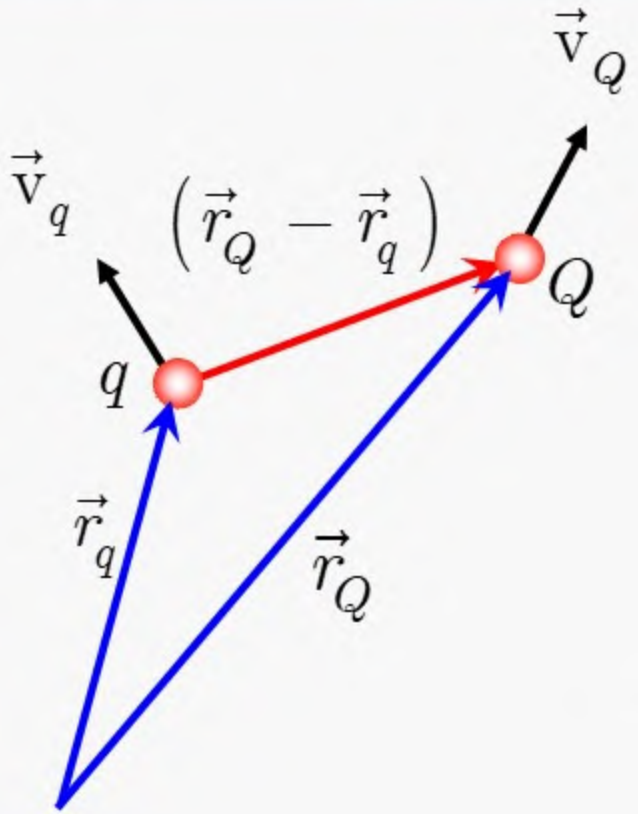
اگر همواره مانند گذشته بیندیشید، همیشه همان چیزهایی را به‌دست می‌آورید که تا کنون کسب کرده‌اید

فاینمن

درس بیست و هشتم

میدان مغناطیسی- بخش ۱

Magnetic Field-Part1



نیروی الکتریکی وارد بر Q (از طرف q):

$$\vec{F}_Q^E = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0}\frac{\vec{r}_Q - \vec{r}_q}{\left|\vec{r}_Q - \vec{r}_q\right|^3}$$

نیروی مغناطیسی وارد بر Q (از طرف q):

$$\vec{F}_Q^M = \frac{\mu_0 Qq}{4\pi}\vec{v}_Q \times \left(\vec{v}_q \times \frac{\vec{r}_Q - \vec{r}_q}{\left|\vec{r}_Q - \vec{r}_q\right|^3}\right)$$

μ_0 ثابت تراوایی خلأ است $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \frac{\text{N-s}^2}{\text{C}^2} = 1.26 \times 10^{-6}\ \frac{\text{N-s}^2}{\text{C}^2}$

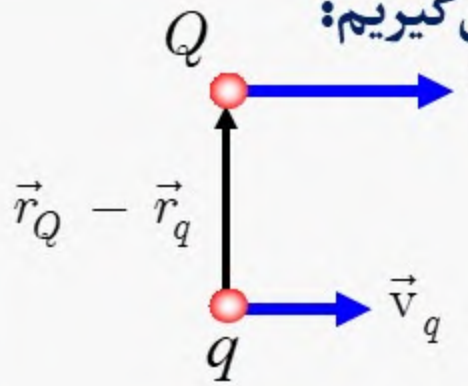
واضح است که: $\vec{F}_Q^E = -\vec{F}_q^E$ اما: $\vec{F}_Q^M \neq -\vec{F}_q^M$!!

در مورد میدان مغناطیسی دیده می‌شود که قانون سوم نیوتون برقرار نیست. و در نتیجه تکانه‌ی ذرات نیز پایسته نمی‌ماند.

اگر تکانه‌ی میدان را در نظر بگیریم دیده می‌شود که اصل پایستگی تکانه، برای ذرات و میدان برقرار می‌ماند. یعنی در واقع بخشی از تکانه را میدان حمل می‌کند

$$F^E = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0}\frac{1}{\left|\vec{r}_Q - \vec{r}_q\right|^2}$$

وضعیت شکل زیر را در نظر می گیریم:



$$F^M = \frac{\mu_0 Qq}{4\pi} v_q v_Q \frac{1}{\left|\vec{r}_Q - \vec{r}_q\right|^2}$$

$$\frac{F^M}{F^E} = \mu_0\epsilon_0 v_q v_Q$$

$$\mu_0\epsilon_0 = \left(1.26\times10^{-6}\ \frac{\text{N-s}^2}{\text{C}^2}\right)\left(8.85\times10^{-12}\ \frac{\text{C}^2}{\text{N-m}^2}\right) = 1.2\times10^{-17}\ \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2}$$

$$\mu_0\epsilon_0 = \frac{1}{\left(3\times10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = \frac{1}{c^2}\ !!$$

$$\frac{F^M}{F^E} = \frac{v_q}{c}\frac{v_Q}{c}$$

اگر سرعت ذرات نسبت به سرعت نور خیلی کوچک باشد، نیروی مغناطیسی بین آن ها از نیروی الکتریکی‌شان بسیار کوچک ترخواهد بود

همان طور که نیروی الکتریکی را به خاصیتی از نقاط فضا به نام میدان الکتریکی نسبت دادیم، نیروی مغناطیسی بین ذرات باردار متحرک را با میدان مغناطیسی توصیف می کنیم.

برهم کنش الکتریکی :

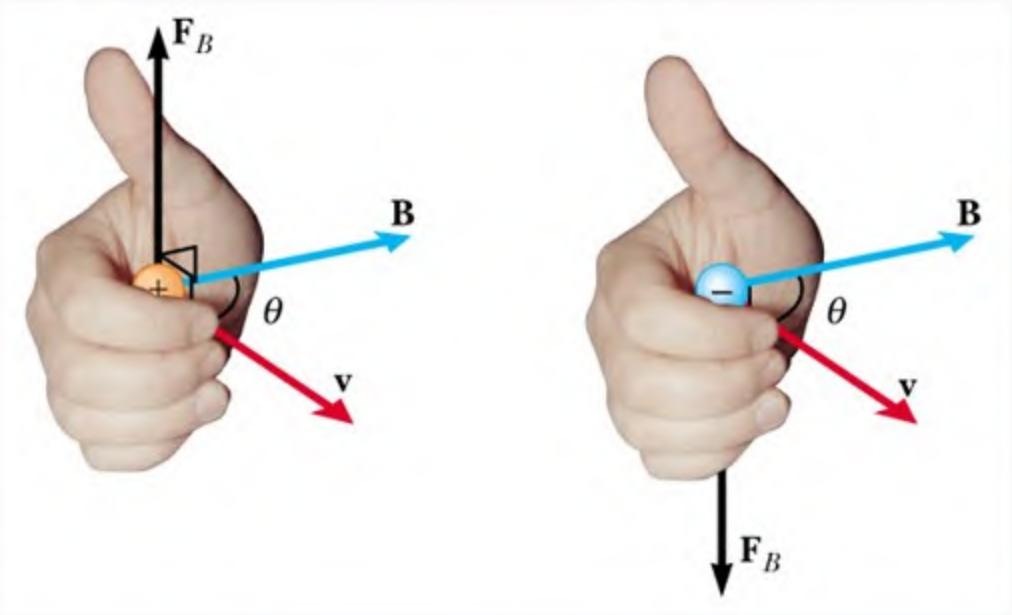
۱) بارهای الکتریکی **ساکن** در فضای اطراف خود میدان الکتریکی ایجاد می کنند.

۲) هرگا ه بار الکتریکی q در میدان الکتریکی قرار گیرد به آن نیرو وارد می‌شود $\vec{F} = q\ \vec{E}$

برهم کنش مغناطیسی :

۱) بارهای الکتریکی **متحرک** در فضای اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می کنند. (علاوه بر میدان الکتریکی)

۲) هرگا ه بار الکتریکی **متحرک** q در میدان مغناطیسی قرار گیرد به آن نیرو وارد می‌شود



در هر نقطه از فضا **میدان مغناطیسی** را بر حسب **نیروی مغناطیسی** وارد بر بار الکتریکی متحرک در آن نقطه تعریف می‌کنیم:

$$\vec{F} = q\,\vec{\mathrm{v}} \times \vec{B}$$

یکای SI میدان مغناطیسی، **تسلا** نامیده می‌شود که معادل **وبر بر متر مربع** است.

$$1\,\mathrm{T} = 1\,\frac{\mathrm{Wb}}{\mathrm{m}^2} = 1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A\text{-}m}}$$

یکای cgs میدان مغناطیسی، **گوس** نامیده می‌شود.

$$1\,\mathrm{T} = 10^4\,\mathrm{G}$$

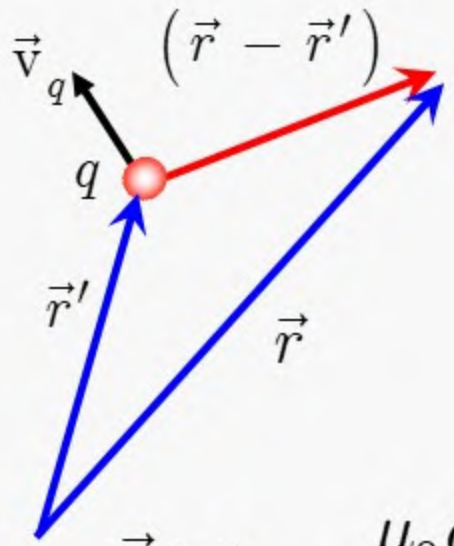
نیروی مغناطیسی وارد بر Q (از طرف q):

$$\vec{F}_Q^M = \frac{\mu_0 Q q}{4\pi}\,\vec{\mathrm{v}}_Q \times \left(\vec{\mathrm{v}}_q \times \frac{\vec{r}_Q - \vec{r}_q}{\left|\vec{r}_Q - \vec{r}_q\right|^3} \right)$$

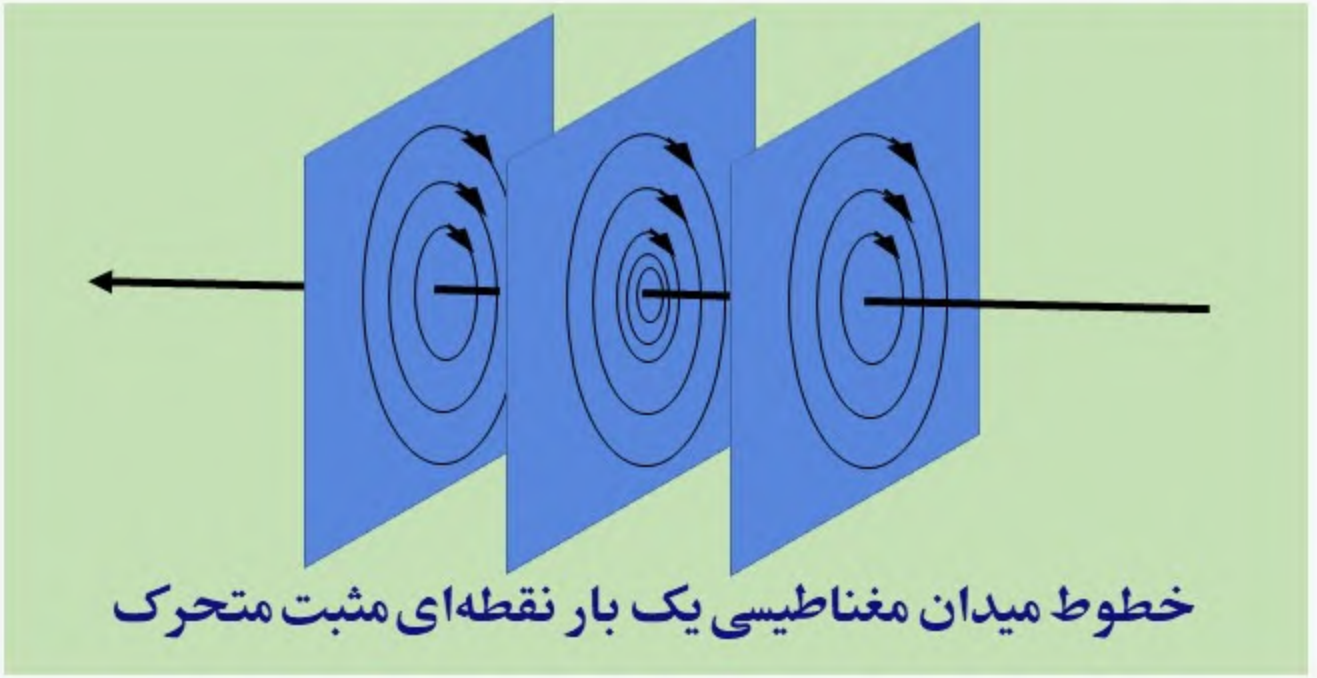
$$\vec{F}_Q^M = Q\,\vec{\mathrm{v}}_Q \times \vec{B}_q$$

میدان مغناطیسی ناشی از بار q در محل بار Q :

$$\vec{B}_q = \frac{\mu_0 q}{4\pi}\,\vec{\mathrm{v}}_q \times \frac{\vec{r}_Q - \vec{r}_q}{\left|\vec{r}_Q - \vec{r}_q\right|^3}$$



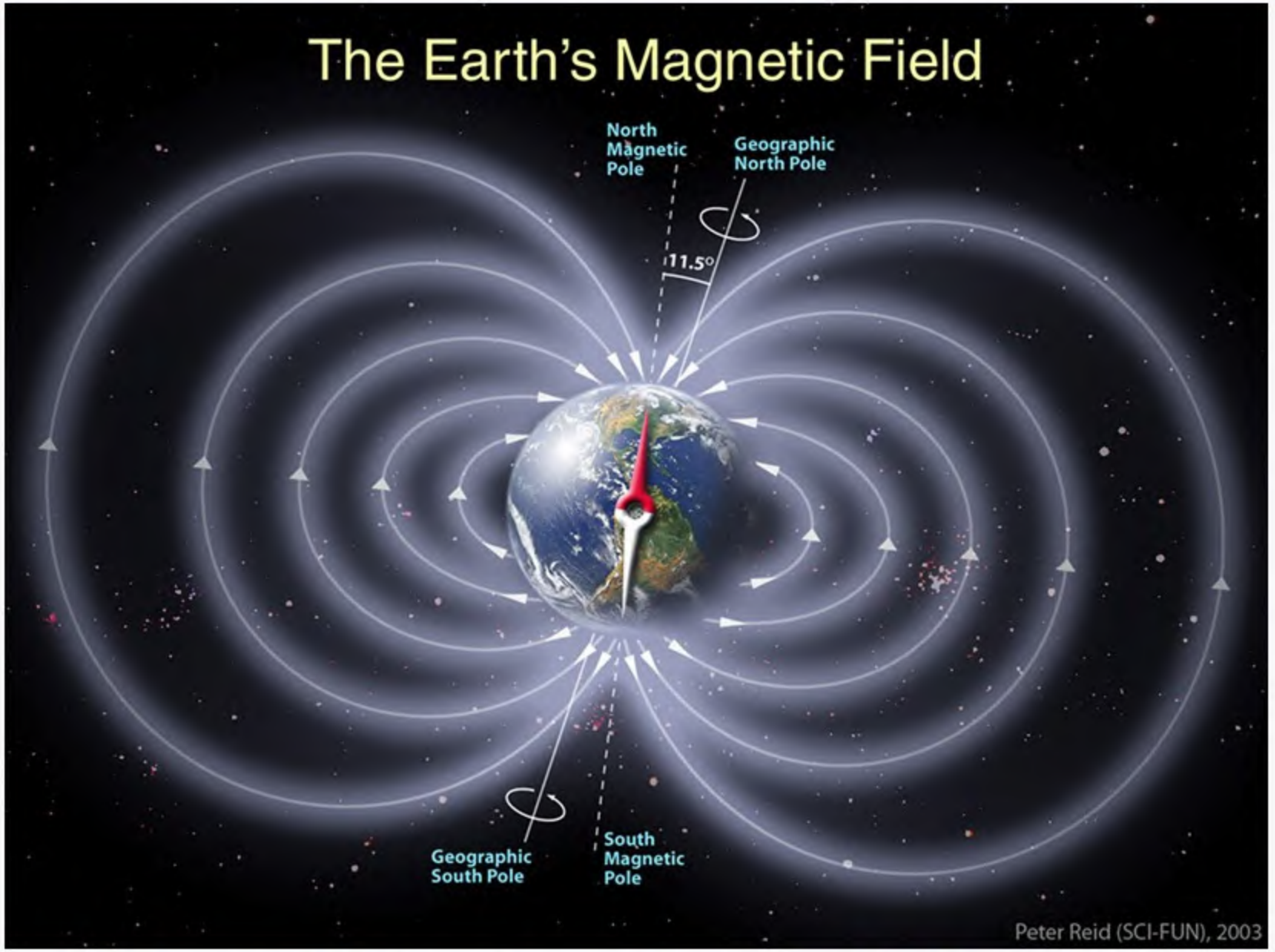
$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \vec{v}_q \times \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|^3}$$


خطوط میدان مغناطیسی یک بار نقطه‌ای مثبت متحرک

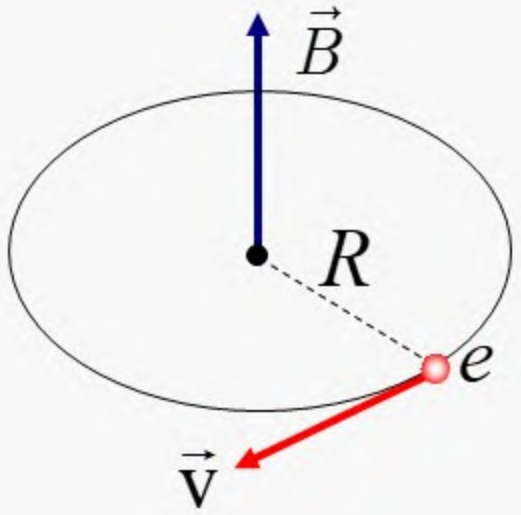
اصل برهم‌نهی:

اگر چندین بار الکتریکی متحرک داشته باشیم، میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضا برابر با برآیند برداری میدان‌های مغناطیسی است که هر یک از بارهای الکتریکی در آن نقطه ایجاد می‌کنند.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \cdots$$


The Earth's Magnetic Field
North Magnetic Pole
Geographic North Pole
11.5°
Geographic South Pole
South Magnetic Pole
Peter Reid (SCI-FUN), 2003

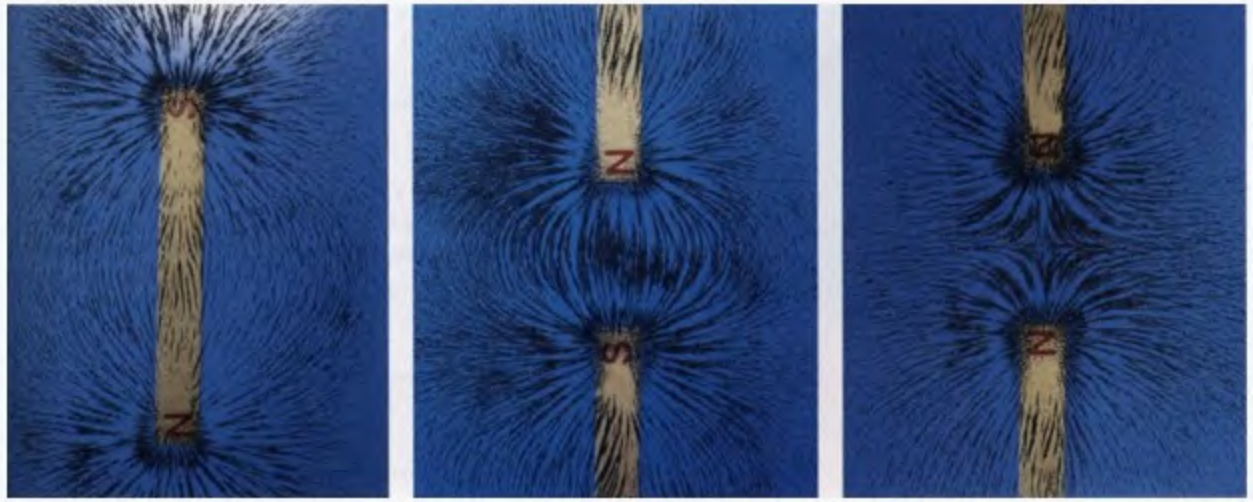
در اتم هیدروژن، فرض کنید الکترون در مدار دایره‌ای با شعاع $5.3\times10^{-11}\text{m}$ حرکت می‌کند. سرعت الکترون $2.2\times10^{6}\text{m/s}$ است. الکترون چه میدان مغناطیسی در مرکز مدار تولید می‌کند؟



$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{ev}{R^2}$$

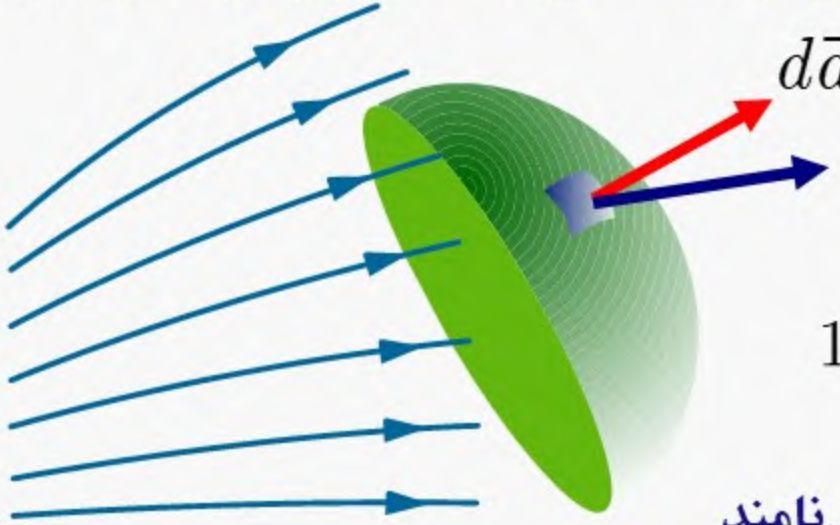
$$= \left(10^{-7}\ \frac{\text{N-s}}{\text{C}^2}\right)\frac{\left(1.6\times10^{-19}\,\text{C}\right)\left(2.2\times10^{6}\,\text{m/s}\right)}{\left(5.3\times10^{-11}\,\text{m}\right)^2}$$

$$= 13\ \text{T}$$



توجه: بر خلاف خطوط میدان الکتریکی، جهت خطوط میدان مغناطیسی، جهت نیروی وارد بر بار متحرک را نشان نمی‌دهند

مانند شار میدان الکتریکی، شار میدان مغناطیسی در یک سطح، به شکل زیر تعریف می‌شود:



$$\Phi_M = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{a}$$

$$1\text{Wb} = 1\text{T-m}^2 = 1\text{Nm/A}$$

$\vec{B}$ را چگالی شار مغناطیسی نیز می‌نامند

شار میدان مغناطیسی خارج شده از هر سطح بسته همواره صفر است.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{a} = 0$$

یعنی تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد.

خطوط میدان مغناطیسی خطوط بسته‌ای هستند.

در ناحیه‌ای که هم میدان مغناطیسی و هم میدان الکتریکی وجود دارد نیروی وارد بر ذره‌ی باردار متحرک برابر است با:

$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{\mathrm{v}} \times \vec{B}\right)$$

که آن را نیروی لورنتس می‌نامیم

شاد و مهربان باشید