

Fundamentals of Physics II

Faculty of Physics-Kharazmi University

Dr. Faramarz Kanjouri

Spring 2025



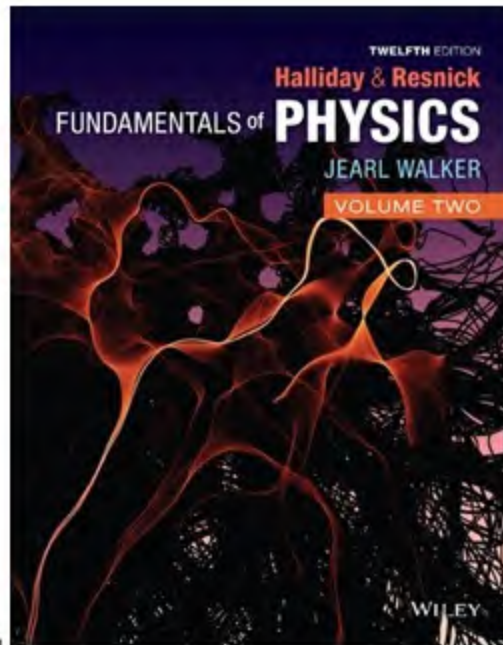
اگر همواره مانند گذشته بیندیشید، همیشه همان چیزهایی را به دست می آورید که تاکنون کسب کرده اید

If you always think the way you've always thought, you'll always get what you've always got.

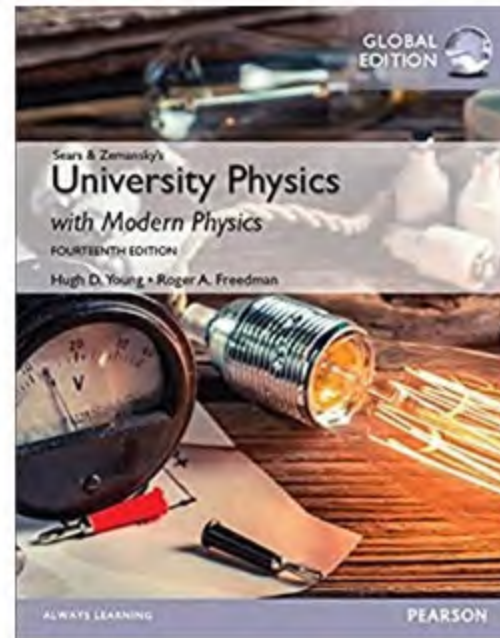


Fundamentals of Physics II

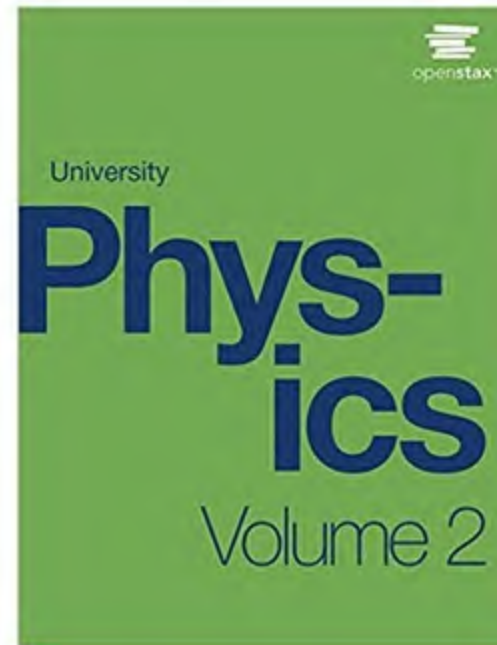
Fundamentals of Physics (12th Ed.)
Halliday, David;
Resnick, Robert;
Walker, Jearl



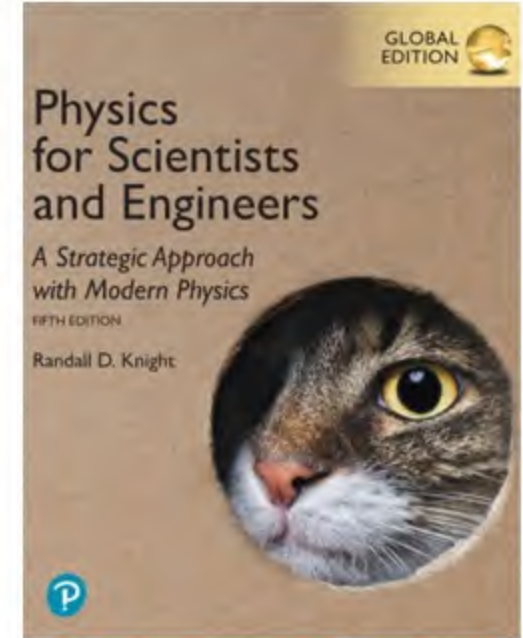
University Physics with Modern Physics (14th Global Ed.)
Hugh D. Young,
Roger A. Freedman



University Physics Volume 2
Samuel J. Ling, Jeff
Sanny, William Moebs



PHYSICS For Scientists and Engineers, 5e, (2023)
Randall D. Knight

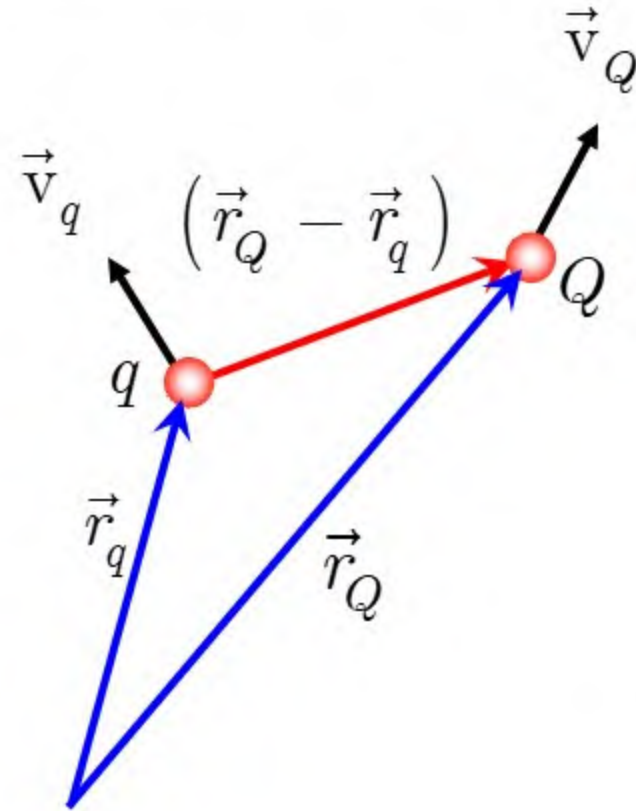


درس بیست و هشتم

میدان مغناطیسی - بخش یکم

Magnetic Field-Part1





نیروی الکتریکی وارد بر Q (از طرف q):

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

نیروی مغناطیسی وارد بر Q (از طرف q):

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

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

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.



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

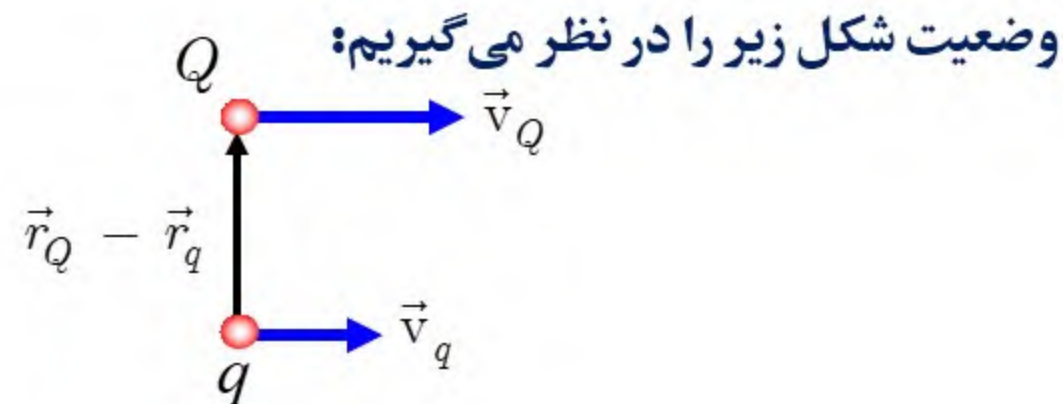
$$F^M = \frac{\mu_0 Qq}{4\pi} v_q v_Q \frac{1}{|\vec{r}_Q - \vec{r}_q|^2}$$

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

$$\mu_0 \epsilon_0 = \left(1.26 \times 10^{-6} \frac{\text{N-s}^2}{\text{C}^2} \right) \left(8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N-m}^2} \right) = 1.2 \times 10^{-17} \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2}$$

$$\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{\left(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2} = \frac{1}{c^2} !!$$

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



اگر سرعت ذرات نسبت به سرعت نور خیلی کوچک باشد، نیروی مغناطیسی بین آنها از نیروی الکتریکی شان بسیار کوچک تر خواهد 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) هرگاه بار الکتریکی q در میدان الکتریکی قرار گیرد به آن نیرو وارد می شود $\vec{F} = q \vec{E}$

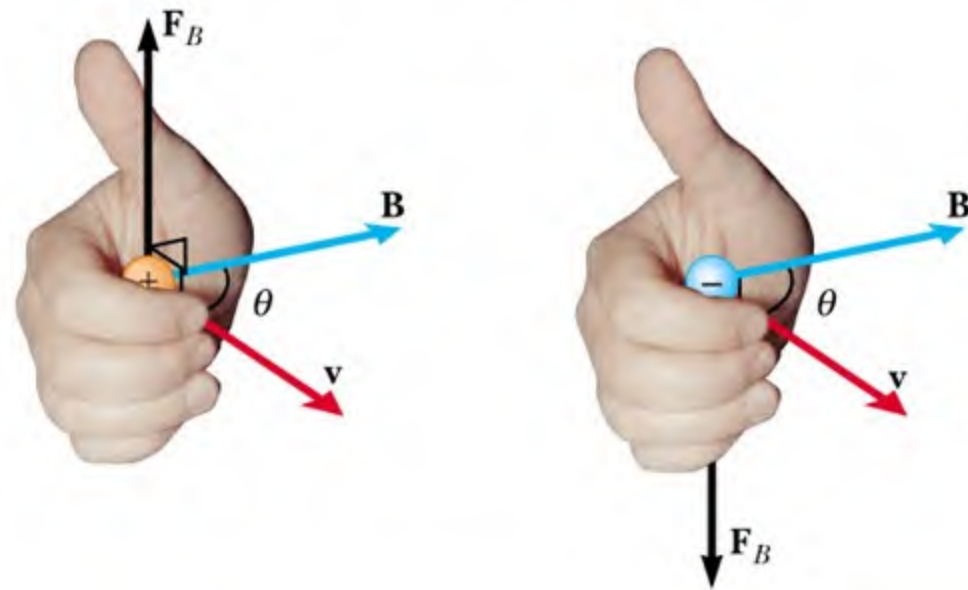
برهم کنش مغناطیسی :

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

بر میدان الکتریکی)

(۲) هرگاه بار الکتریکی **متحرک** q در میدان مغناطیسی قرار گیرد به آن نیرو وارد می شود





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

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

$$1\text{T} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A}\cdot\text{m}}$$

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

یکای cgs میدان مغناطیسی، **گوس** نامیده می شود. $1\text{T} = 10^4\text{G}$

نیروی مغناطیسی وارد بر Q (از طرف q):

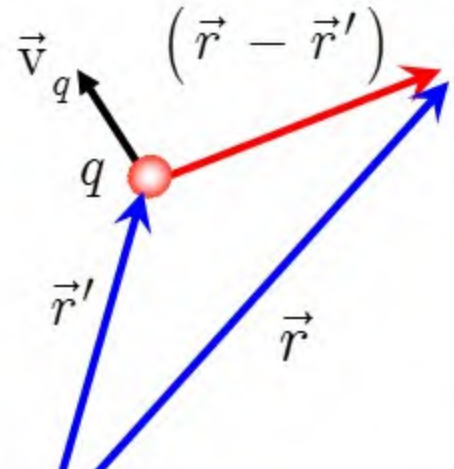
$$\vec{F}_Q^M = \frac{\mu_0 Q q}{4\pi} \vec{v}_Q \times \left(\vec{v}_q \times \frac{\vec{r}_Q - \vec{r}_q}{|\vec{r}_Q - \vec{r}_q|^3} \right)$$

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

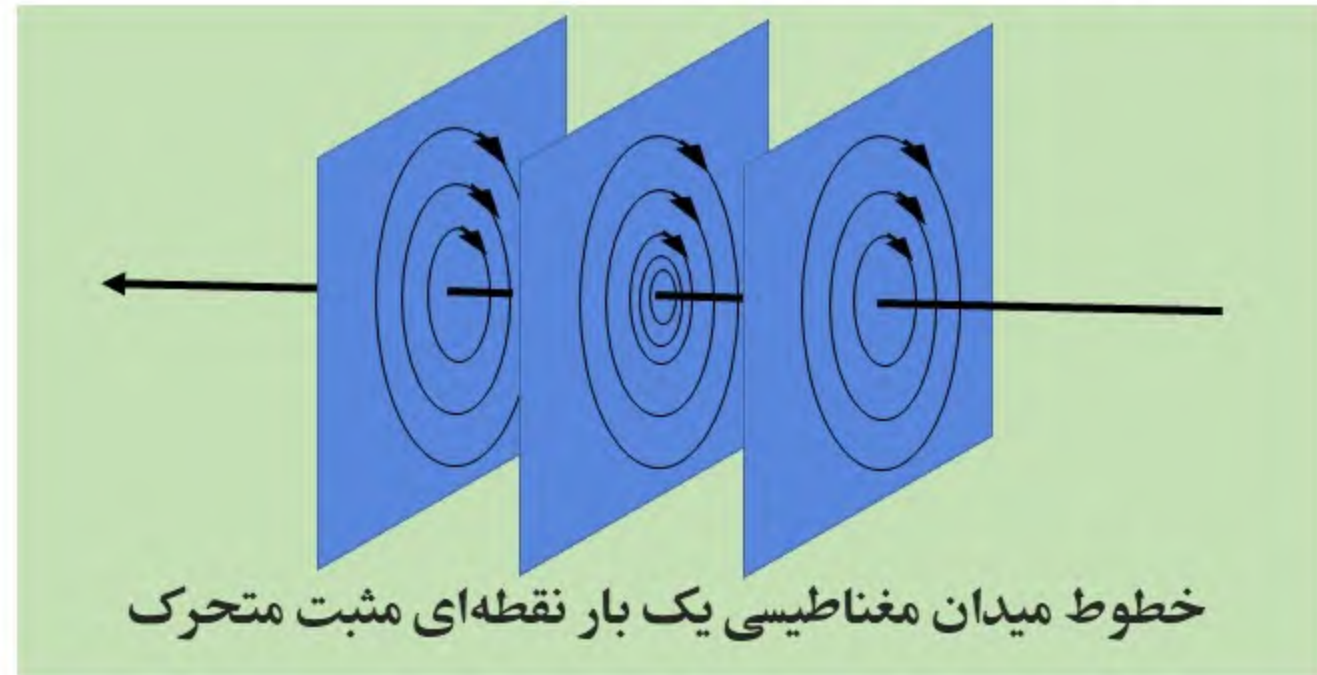
میدان مغناطیسی ناشی از بار q در محل بار Q :

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





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

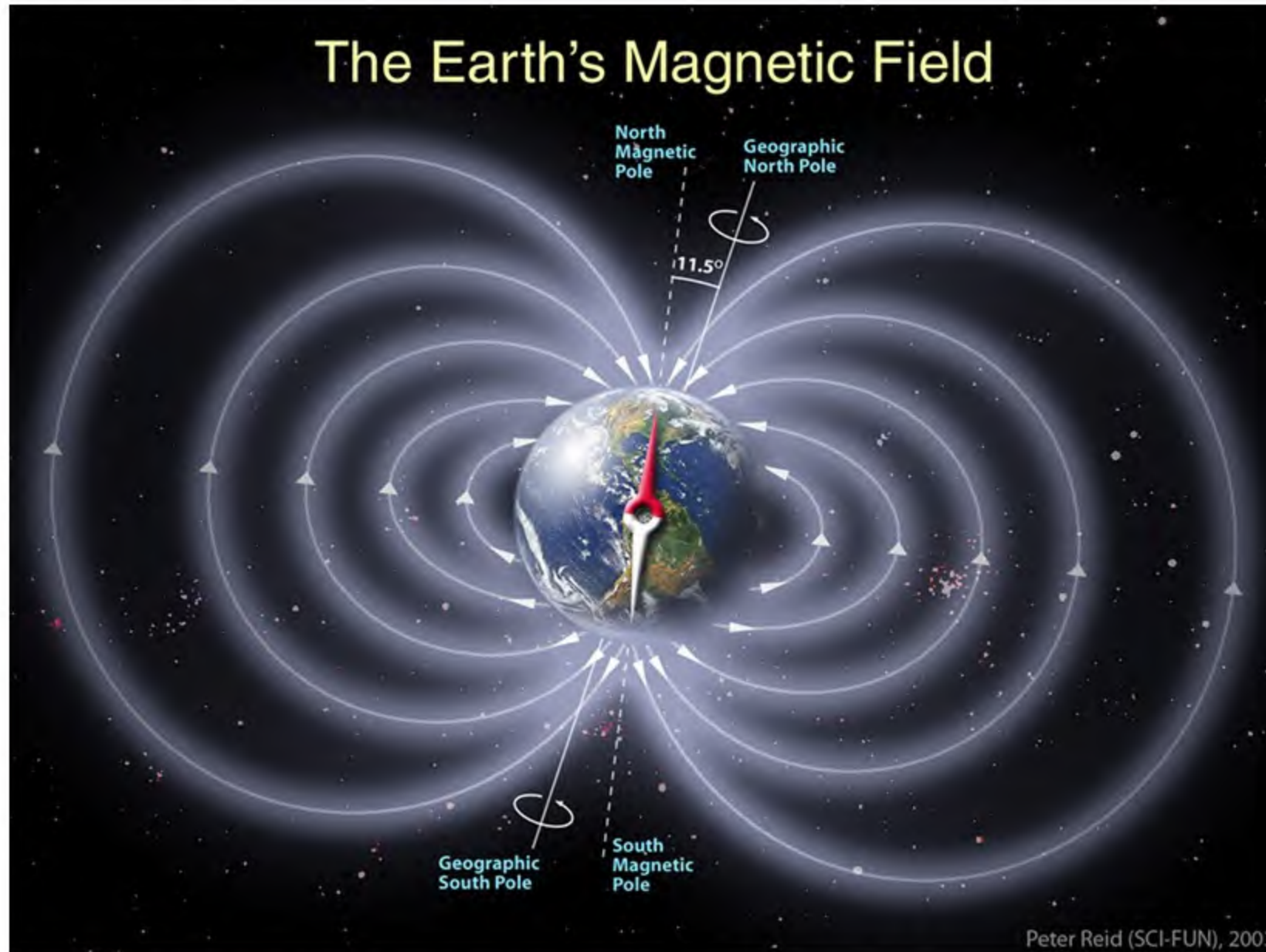


اصل برهم‌نهی:

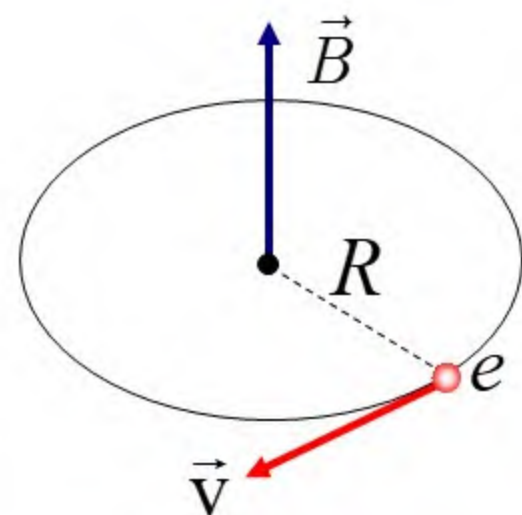
اگر چندین بار الکتریکی متحرک داشته باشیم، میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضا برابر با برآیند برداری میدان‌های مغناطیسی است که هر یک از بارهای الکتریکی در آن نقطه ایجاد می‌کنند.

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

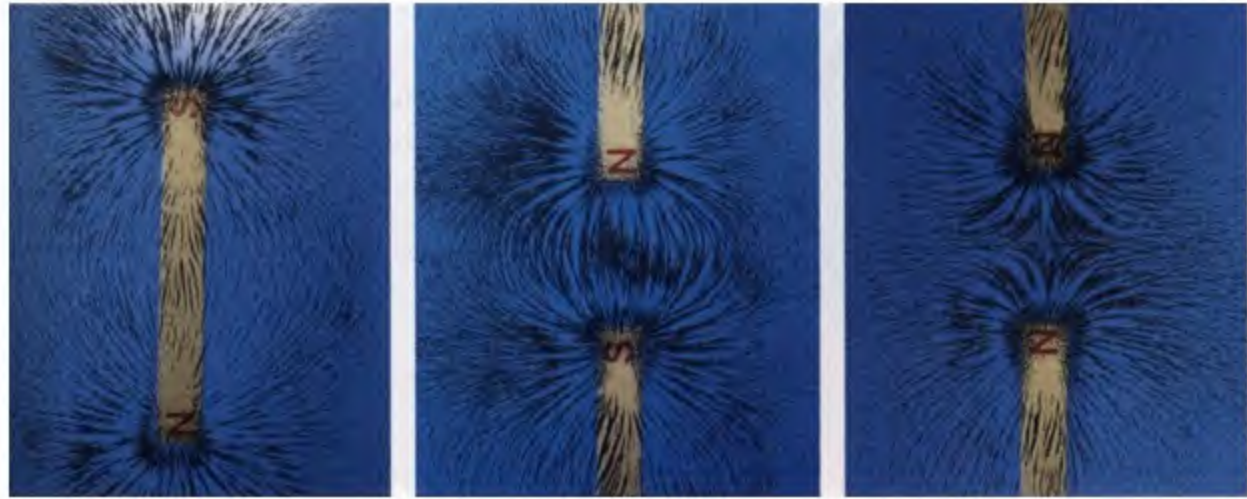
The Earth's Magnetic Field



در اتم هیدروژن، فرض کنید الکترون در مدار دایره‌ای با شعاع $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ حرکت می‌کند. سرعت الکترون $2.2 \times 10^6 \text{ m/s}$ است. الکترون چه میدان مغناطیسی در مرکز مدار تولید می‌کند؟

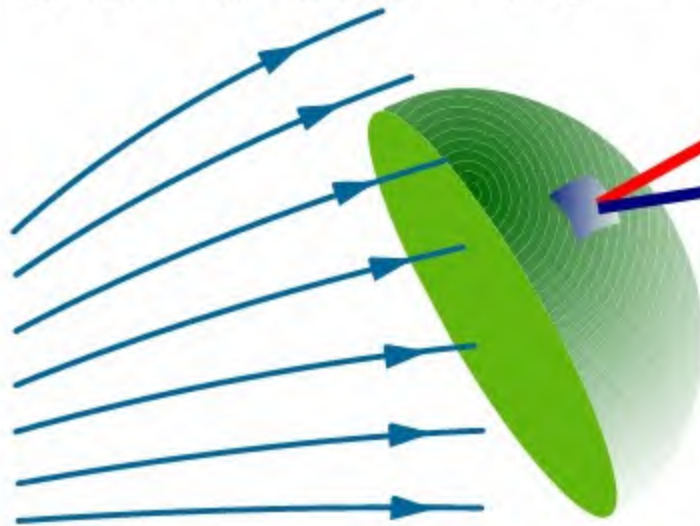


$$\begin{aligned}
 B &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{ev}{R^2} \\
 &= \left(10^{-7} \frac{\text{N-s}}{\text{C}^2} \right) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.2 \times 10^6 \text{ m/s})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} \\
 &= 13 \text{ T}
 \end{aligned}$$



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:



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

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

$\vec{B}$ 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:

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

که آن را **نیروی لورنتس** می‌نامیم



شاد و مهربان باشید

