大学物理

College Physics

主讲

华 中 科 技 大 学

刘超飞

关于时间安排

- **本学期64学时， 1-16周**

学校本科课程平台：
网址：**https://smartcourse.hust.edu.cn**
移动端：华中科技大学企业微信
-工作台-课程平台应用

每次课后，课件将发布在课程平台上。

- **期末考试日期**

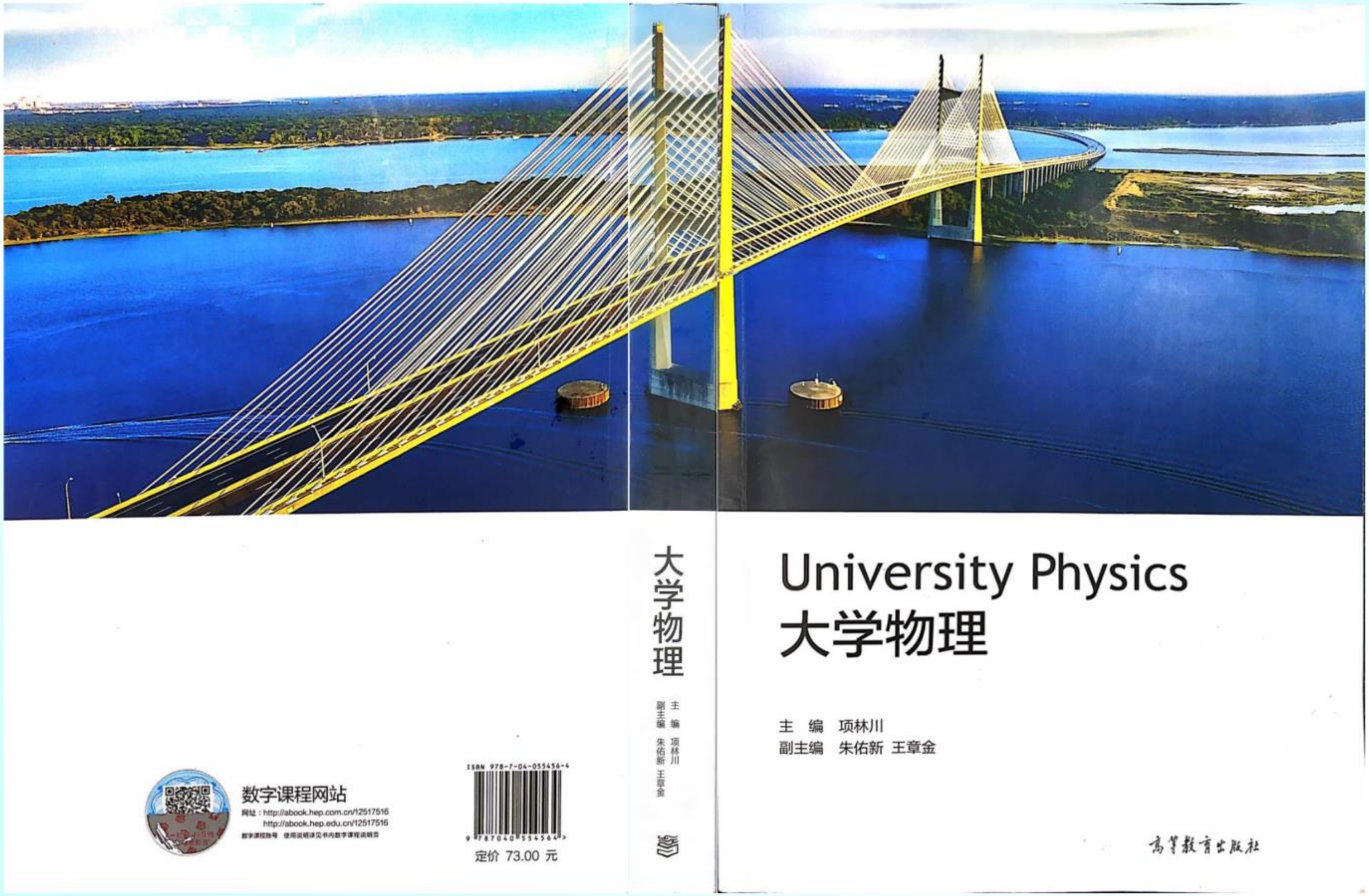
周次 \ 日 \ 星期	一	二	三	四	五	六	日
					30 注册开始	31	9.1
1	9.2 开学	3	4	5	6	7	8
2	9	10	11	12	13	14	15 注册结束
3	16	17 中秋节	18	19	20	21	22
4	23	24	25	26	27	28	29
5	30	10.1 国庆节	2	3	4	5	6
6	7	8	9	10	11	12	13
7	14	15	16	17	18	19	20
8	21	22	23	24	25	26	27
9	28	29	30	31	11.1	2	3
10	4	5	6	7	8	9	10
11	11	12	13	14	15	16	17
12	18	19	20	21	22	23	24
13	25	26	27	28	29	30	12.1
14	2	3	4	5	6	7	8
15	9	10	11	12	13	14	15
16	16	17	18	19	20	21	22
17	23	24	25	26	27	28	29
18	30	31	1.1 元旦	2	3	4	5
19	6	7	8	9	10	11	12
20	13	14	15	1.16 放假			

关于考试和成绩

- 综合成绩100分
  - 期末考试占比70% (卷面分100分，闭卷)
  - 平时占比30% (平时作业20%，期中测验10%)
- 期中测验（预计晚于第10周）
  - 电磁学、振动与波动：5分
  - 波动光学：5分

关于教材

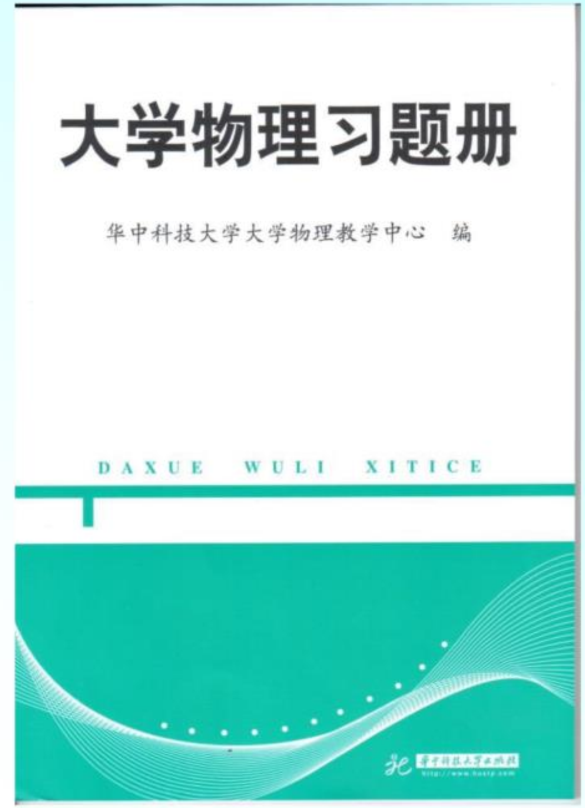
2021年4月版



关于作业

1. 作业用习题册。每次作业将写好的纸张撕下来交上(请撕得整齐些)。在每张作业纸上写上学号和姓名。

2. 每周二的课上，批改好的作业还给你们，同时收走上周布置的作业。以班为单位请班干部收发。



注意：按照学校的明文规定，缺作业达三分之一及以上者，综合成绩按零分计！

第三十四条 无故缺课累计超过课程教学时数的1/3，缺交作业或实验报告累计超过课程教学要求的1/3者，不得参加课程的考核，登记成绩时，注明“缺平时成绩”字样，该课程成绩以零分计。

《华中科技大学普通本科生学籍管理细则 》(校本〔2021〕3号)

第三篇

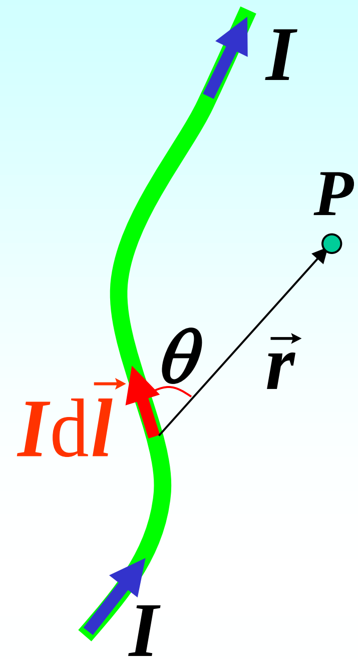
电磁学

第9章　稳恒磁场

- 毕奥 — 萨伐尔定律

电流元$I\mathrm{d}\vec{l}$在P点产生的磁感应强度为

$$\mathrm{d}\vec{B}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$



- 磁偶极矩　$\vec{P}_m=IS\vec{n}$

- 高斯定理　$\oint_S \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=0$　→ 无源场

- 安培环路定理　$\oint_L \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{l}=\mu_0\sum I_i$　→ 有旋场

利用安培环路定理可以计算对称性磁场的$\vec{B}$

六、 磁场与实物的相互作用

1. 带电粒子的受力

设带电为q的粒子处在电场和磁场同时存在的空间，

若 $\vec{v}=0$ 则：$\vec{F}_e=q\vec{E}$

$\vec{v}\neq 0$ 则：$\vec{F}_e=q\vec{E}$，$\vec{F}_m=q\vec{v}\times\vec{B}$——洛仑兹力

$$\vec{F}=\vec{F}_e+\vec{F}_m=q\vec{E}+q\vec{v}\times\vec{B}$$ ——也称为洛仑兹力。

即：

静止电荷只受电场力作用；

运动电荷，既受电场力，又受磁场力作用。

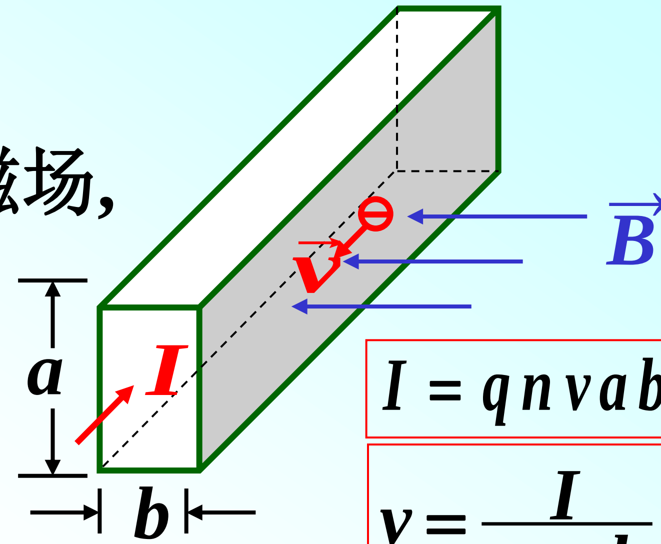
2. 霍耳效应

通电金属条中，电子以平均速度$\vec{v}$漂移。

加上与电流方向和金属条侧面垂直的磁场，

则电子受磁场力的作用,且

$$\vec{f} = q\vec{v}\times\vec{B}$$ 方向向上



$I = qnvab$

$v = \frac{I}{qnab}$

结果在金属条的上下表面分别出现负、正电荷的积累，形成横向电场，

对电子产生向下的电场力，并迅速增加，最终与磁场力平衡.

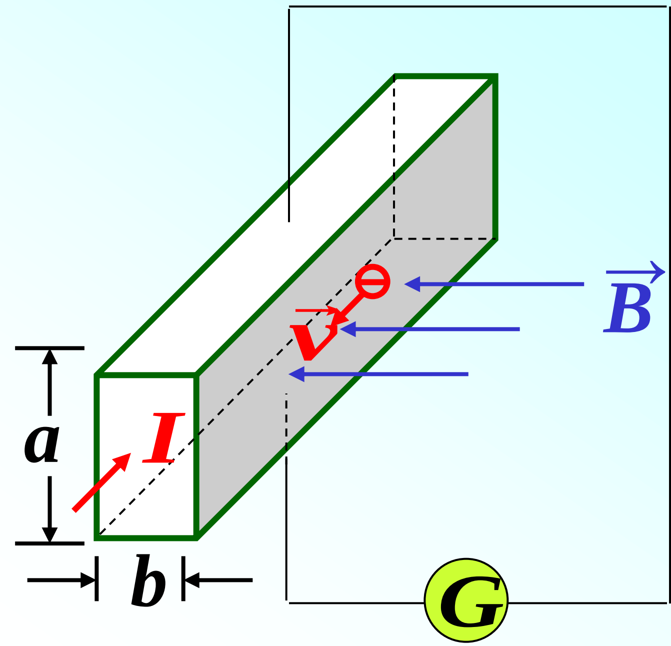
$$\left|q\vec{E}_H\right| = \left|q\vec{v}\times\vec{B}\right| \qquad E_H = vB$$ ——称为霍耳电场

处在磁场中的导体，其载流子因受磁场力作用而积累,并建立横向电场的现象称为霍耳效应。

在上下两表面间出现稳定的电势差V_H ——霍耳电压

$$V_H = \int \vec{E}_H \cdot d\vec{l} = \int_0^a vB\,dl = vBa \qquad V_H = \frac{1}{nq}\frac{IB}{b} = R_H\frac{IB}{b}$$

$$V_H = R_H \frac{IB}{b} \qquad R_H = \frac{1}{nq}$$



说明：

(1) R_H：霍耳系数，与导体材料有关。

此处$R_H=1/(nq)$只对单价金属成立。

(2)接通上下表面则有电流

(3)霍尔效应的应用

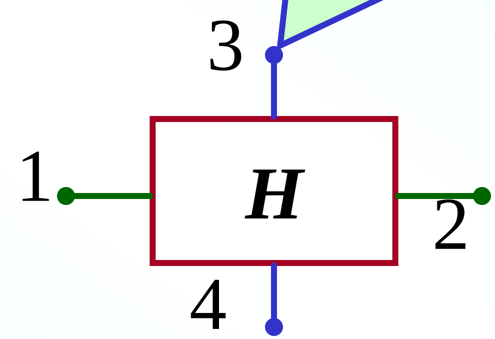
1º　测试半导体的类型 $\left\langle \begin{array}{l} n\text{型　电子导电} \\ p\text{型　空穴导电} \end{array} \right.$

2º　测磁场：测磁场常用高斯计

3º　可计算载流子浓度

4º　测大电流等

通过测V_H→测B



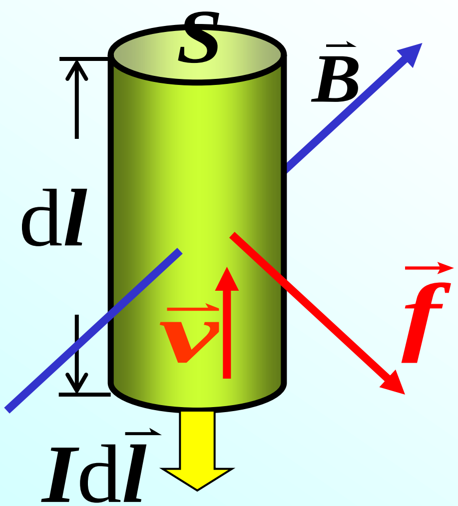
3. 载流导体在磁场中所受的力

1) 安培力：载流导体在外磁场受到的磁力。

载流导体所受安培力 = 各电流元所受的磁场力之矢量和

可从运动电荷所受的洛仑兹力导出电流元所受的安培力。

2) 安培定律：$\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$



取电流元 $I\mathrm{d}\vec{l}$， 横截面为S， $\boxed{\mathrm{d}\vec{l} = -\vec{v}\mathrm{d}t}$

此电流元处的磁感应强度记作 $\vec{B}$

其内每个定向运动的电子受力 $\vec{f} = e\vec{v} \times \vec{B}$

设自由电子的数密度为n，则其总数为

$$\mathrm{d}N = n\mathrm{d}lS$$

电流元受力：$\mathrm{d}\vec{F} = \mathrm{d}N \cdot \vec{f} = n\mathrm{d}lS \cdot e\vec{v} \times \vec{B}$

$$= -neSv \cdot \mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

$$I = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(-ne \cdot S\mathrm{d}l)$$

$$= -neSv$$

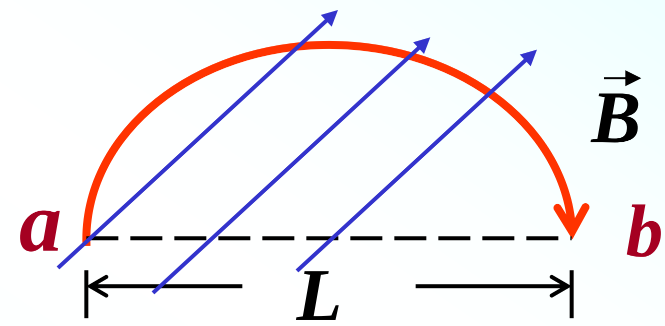
$$\boxed{\therefore \mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}}$$

$\boxed{\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}}$ (安培定律)

任意载流导体在磁场中所受的合力为:

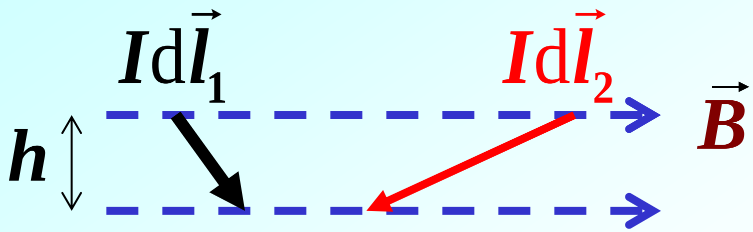
$$\vec{F} = \int_0^l I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

例: 在均匀磁场 $\vec{B}$ 中有一弯曲导线ab，通有I电流，求其所受的磁场力。



$$\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

解： 如图，作一组与 $\vec{B}$ 同向的平行线.



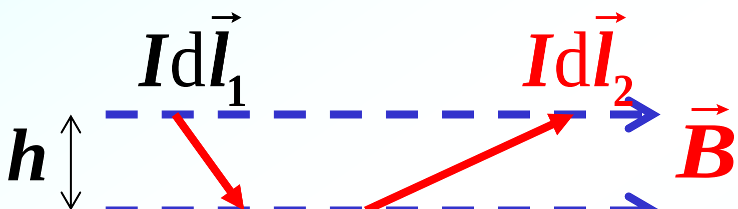
$$\vec{F} = \int \mathrm{d}\vec{F} = \int_a^b I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

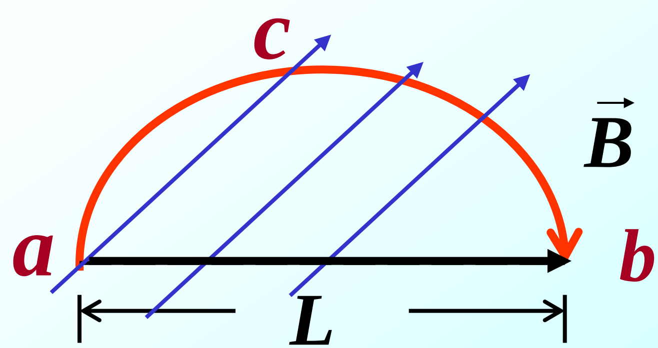
$$= I\left(\int_a^b \mathrm{d}\vec{l}\right) \times \vec{B}$$

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{d}\vec{F}_1 &= I\mathrm{d}\vec{l}_1 \times \vec{B} \\ \mathrm{d}\vec{F}_2 &= I\mathrm{d}\vec{l}_2 \times \vec{B} \end{aligned}\right\}$$ 同向，均垂直向外.

$$\left|\mathrm{d}\vec{F}_1\right| = \left|\mathrm{d}\vec{F}_2\right| = IBh$$ 大小相等.

两电流元受力相同。故 *cb* 段受力与 *ab* 直线段相同。





两电流元受力大小相等，方向相反。

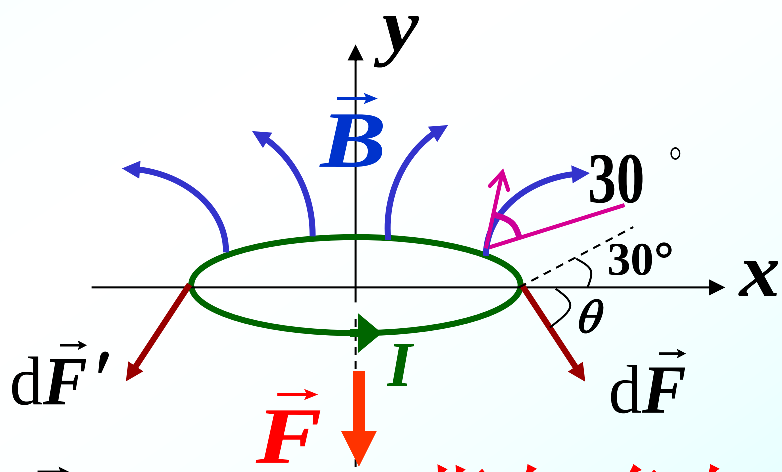
ac 段受力为 0 。

综上可知，通电流相同时，*acb* 段受力与 *ab* 直线段相同。故

$$\vec{F} = I \cdot \overrightarrow{ab} \times \vec{B}$$

例: 在对称发散的磁场中，放有一个R=4cm的电流环，I=15.8A，其所在处B=0.1T，求受合力。

解: 建立如图所示的坐标系，



由对称可知，$\int \mathrm{d}F_x = 0$

$$F = \int \mathrm{d}F_y = \int \mathrm{d}F \cdot \sin\theta$$

$$= \left| \int I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B} \right| \sin\theta \quad (\because I\mathrm{d}\vec{l} \perp \vec{B})$$

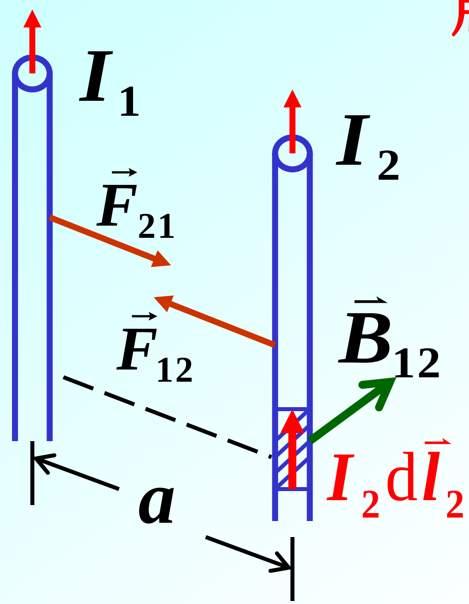
$$= I \cdot 2\pi RB \cdot \cos 30^\circ$$

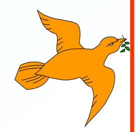
$$= 15.8 \times 0.1 \times 2\pi \times 0.04 \times \sqrt{3}/2$$

$$= 0.34\mathrm{N}$$

$$\boxed{\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}}$$

例: 求两平行无限长直导线通有相同电流时的相互作用力。





$$\vec{F} = \int_0^L I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

解: 1）求F_{12}

在I_2上取电流元$I_2\mathrm{d}l_2$

$$\vec{F}_{12} = \int I_2\mathrm{d}\vec{l}_2 \times \vec{B}_{12}$$

$I_2\mathrm{d}l_2$处的磁场为:

$$B_{12} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}$$ 方向垂直 $I_2\mathrm{d}\vec{l}$.

$$\therefore F_{12} = \int I_2 \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}\mathrm{d}l_2 = I_2 \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}\int \mathrm{d}l_2$$ 指向I_1

同理: $$F_{21} = \int I_1 \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}\mathrm{d}l_1 = I_1 \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}\int \mathrm{d}l_1$$ 指向I_2

2）单位长度的受力: $$f_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a};\quad f_{21} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}.$$

结论: 两力大小相等，方向相反

- 电流同向→吸引力
- 电流反向→排斥力

3）若令a=1m，$I_1=I_2=I$

$$f_{12}=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a};\quad f_{21}=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}.$$

则有：$F=\dfrac{\mu_0}{2\pi}I^2$ ——单位长度上的受力。

$$I=\sqrt{\frac{2\pi F}{\mu_0}}$$

当 $F=\dfrac{\mu_0}{2\pi}=2\times10^{-7}$N时，$I$=1安培。

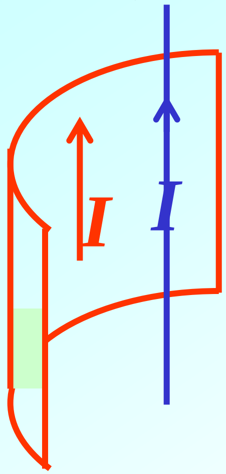
电流强度单位的定义：

在真空中，两条无限长平行导线，各通有相等的稳恒电流，当导线相距一米，每米长度上受力为2×10^{-7}N时，各导线上的电流强度为1安培。

箍缩效应：

两导线间存在有吸引力，一载流导线可看成由许多纵向细丝组成，细丝间也同样存在相互吸引力，若导体是液体、电离气体，则这些力使导体收缩。

例: 求半圆柱面电流对其轴线上长直载流导线的作用力。

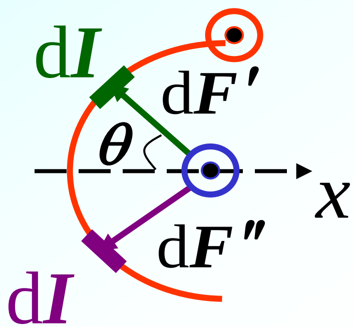


解: 平行电流相互作用力

$$\mathrm{d}F' = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}\mathrm{d}I = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}\cdot\frac{I}{\pi R}R\mathrm{d}\theta$$

$$\boxed{f_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}}$$

由对称性: $\int \mathrm{d}F_y = 0$



$$\mathrm{d}F_x = \mathrm{d}F\cos\theta$$

$$= \frac{\mu_0 I^2}{2(\pi R)^2}\cos\theta R\mathrm{d}\theta$$

$$\mathrm{d}F'' = \mathrm{d}F'$$

$$F = \int \mathrm{d}F_x = \frac{\mu_0 I^2 R}{(\pi R)^2}\int_0^{\pi/2}\cos\theta\mathrm{d}\theta$$

$$= \frac{\mu_0 I^2}{\pi^2 R}$$ 沿x轴负方向

4.载流线圈在磁场中所受的力和力矩

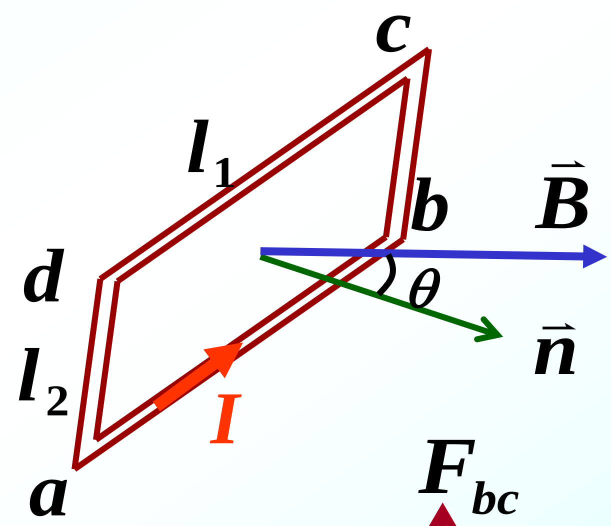
$$\vec{F}=\int_0^L I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{B}$$

1）在均匀场中的线圈

a、矩形线圈：

设矩形线圈处在均匀磁场$\vec{B}$中

由安培定律，可得各边受力：



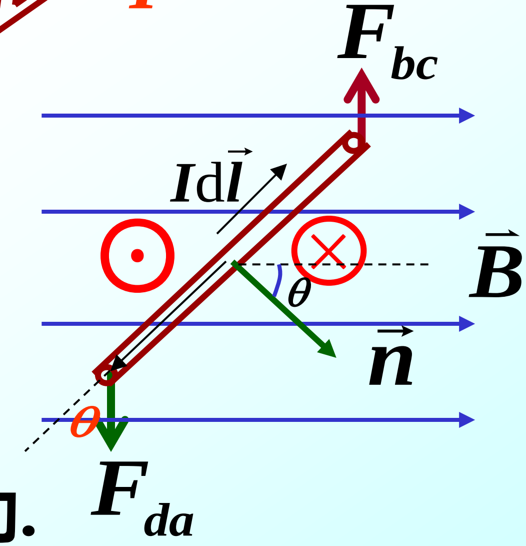
$$F_{da}=\int_d^a I\mathrm{d}l\cdot B=IBl_2$$ 向外

$$F_{bc}=\int_b^c I\mathrm{d}l\cdot B=IBl_2$$ 向里

$$F_{ab}=\int_a^b IB\sin(\pi/2-\theta)\mathrm{d}l=IB\cos\theta l_1$$ 向下

$$F_{cd}=\int_c^d IB\sin(\pi/2+\theta)\mathrm{d}l=IB\cos\theta l_1$$ 向上

$\therefore \vec{F}_{合}=0$，但$\vec{F}_{da}$、$\vec{F}_{bc}$不共线

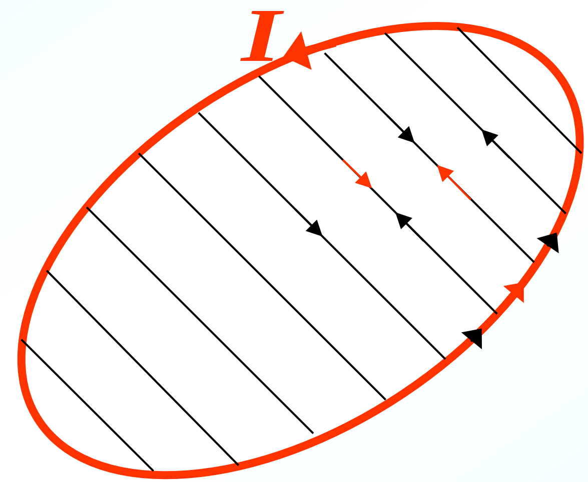


则：线圈受力矩 $\vec{M}=\vec{r}\times\vec{F}$ **转轴在哪？轴不动.**

$$M=F_{da}\frac{l_1}{2}\sin\theta+F_{bc}\frac{l_1}{2}\sin\theta=IBl_1l_2\sin\theta=IBS\sin\theta=P_mB\sin\theta$$

$$\therefore \vec{M}=\vec{P}_m\times\vec{B}$$ ⟶ 可推广到任意线圈

b、任意形状的平面线圈（在均匀场中）



设任意形状的闭合平面线圈

面积为S，通有电流I.

设想线圈由许多无限小矩形线圈组成，

每一小线圈所受力矩为：

$$\mathrm{d}\vec{M} = \mathrm{d}\vec{P}_m \times \vec{B} = I\mathrm{d}S\vec{n} \times \vec{B}$$

线圈受的总力矩为：$\vec{M} = \int \mathrm{d}\vec{M} = \int I\mathrm{d}S\,\vec{n} \times \vec{B} = I(\int \mathrm{d}S)\,\vec{n} \times \vec{B}$

$$= IS\vec{n} \times \vec{B} = \vec{P}_m \times \vec{B}$$

即：$\vec{M} = \vec{P}_m \times \vec{B}$

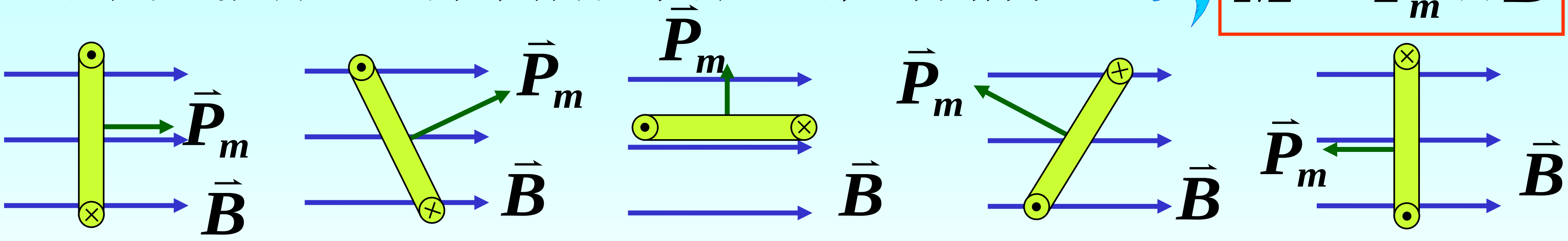
对线圈一般有：$\sum \vec{F} = 0$；$\sum \vec{M} \neq 0$

注意：

无论线圈什么形状，均匀磁场对它的作用只取决于$\vec{P}_m$，$\vec{P}_m$相同的线圈受磁场的作用完全相同。

c、平面线圈在磁场中所受力矩的几种情况

$$\boxed{\vec{M}=\vec{P}_m\times\vec{B}}$$



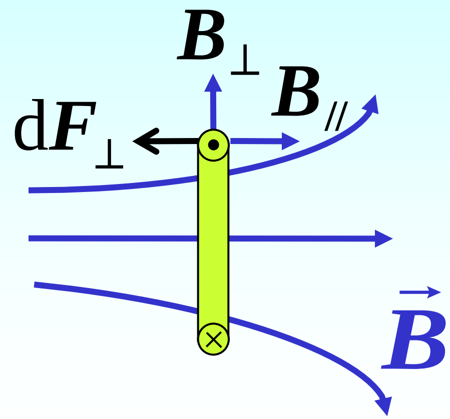
$\theta=0, M=0$	$\theta<90^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta>90^\circ$	$\theta=\pi, M=0$
$\vec{P}_m // \vec{B}$	$M\neq 0$	$M=M_{max}$	$M\neq 0$	$\vec{P}_m // -\vec{B}$
稳定平衡				非稳定平衡

$$\boxed{\vec{M}=\vec{P}_m\times\vec{B}}$$

磁力矩总是使线圈或磁偶极子转向磁场方向;
电场对电偶极子的力矩总是使其转向电场方向。

2)在非均匀场中的线圈所受的力和力矩

情况较复杂。



一般地：$\vec{F}_{合}\neq 0$，$\vec{M}\neq 0$。

线圈除了转动，还会平动，一般向磁场较强的方向平动。

对非刚性线圈可能还有形变。