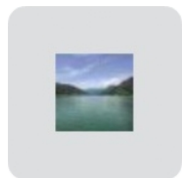


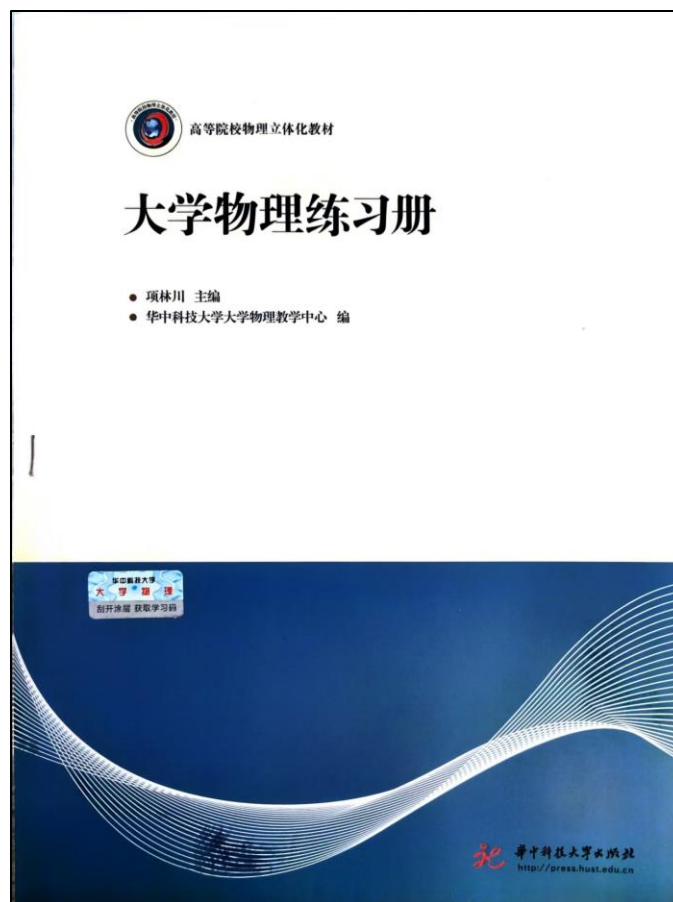
班级群 实名：班级-姓名



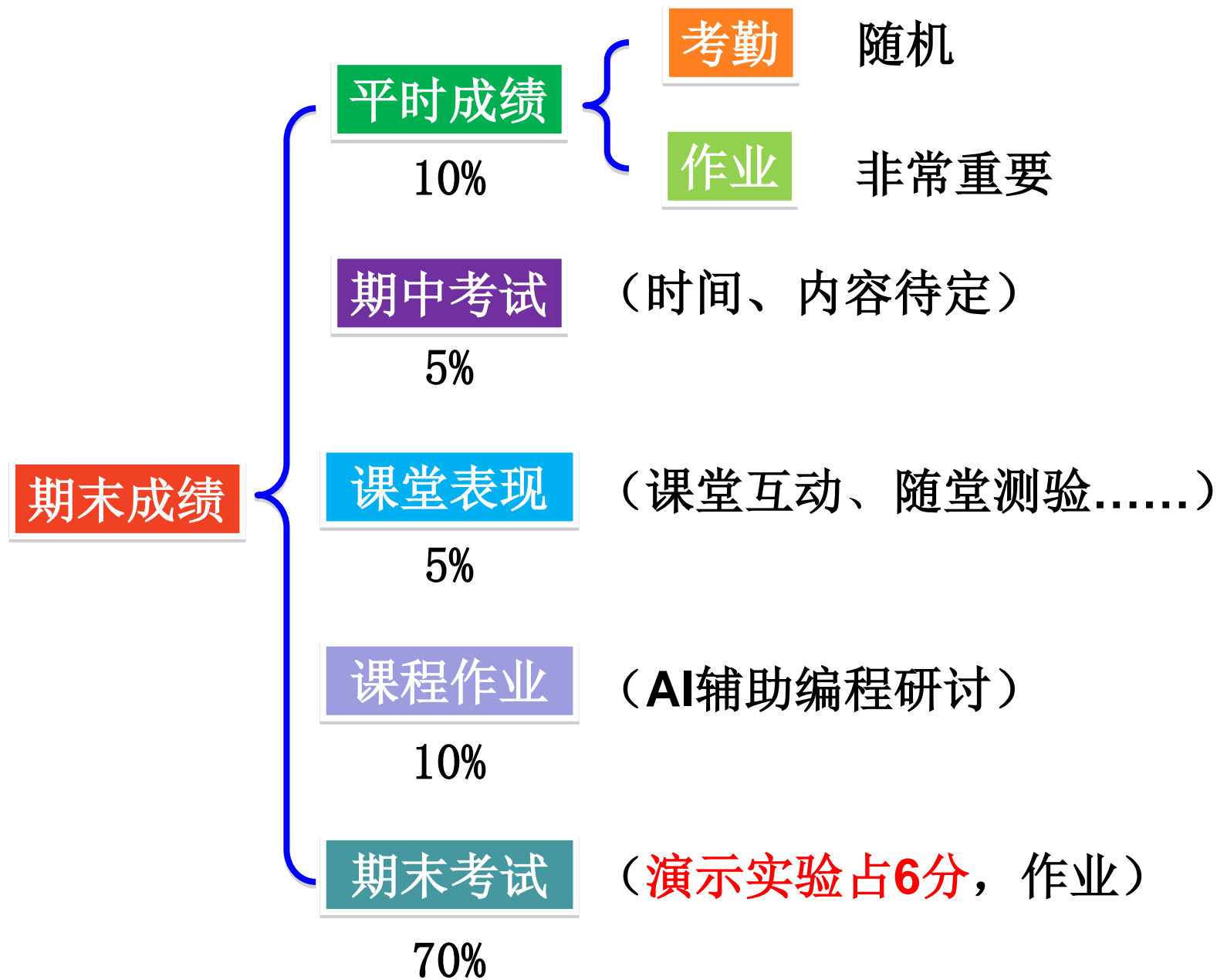
张文号（物理学院）

wenhaozhang@hust.edu.cn

群聊：2025大学物理



该二维码7天内(9月5日前)有效，重新进入将更新




作业:

- ❖ 认真独立完成;
- ❖ 从第二周开始, 每周二交上一周的作业;
- ❖ 写好班级、姓名、学号!

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。

答疑:

 期中一次
期末两次

(时间、地点待协商)

学生名单: 留级, 重修, 休学, 退学, 转专业.....

大学物理(二)学时分配

内容	总学时（64）
第09章 稳恒磁场（第6、7节）	5学时
第10章 电磁感应	9学时
第11章 振动与波动	16学时
第12章 几何光学简介	0
第13章 波动光学	16学时
第14、15章 量子力学	14学时
第16章 半导体和激光简介	2学时
第17章 原子核物理简介	2学时

电磁学复习

第9章 静电场

1. 电荷和库仑定理

2. 静电场 电场强度

3. 静电场的高斯定理

4. 静电场的环路定理

5. 电势差和电势

6. 静电场中的导体

7. 静电场中的电介质

8. 静电场中的能量

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{S_{\text{内}}} q_i$$

有源

$$\int_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

无旋

$$V_P = \int_P^{V=0} \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \vec{E} = -\nabla V$$

静电屏蔽

内部 $\vec{E} = 0$

外表面 $\vec{E} \perp$ 表面

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum q_{\text{自}}$$

$$W = \frac{1}{2} \int q V dq$$

高斯定理解题步骤

- (1) 分析电场是否具有对称性
- (2) 取合适的高斯面（封闭面），要取在 E 相等的曲面上
- (3) E 相等的面不构成闭合面时，另选法线 $\vec{n} \perp \vec{E}$ 的面
- (4) 分别求出 $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$ 和 $\Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{S_{\text{内}}} q_i$ ，从而求得 E

求 E 的三种方法：

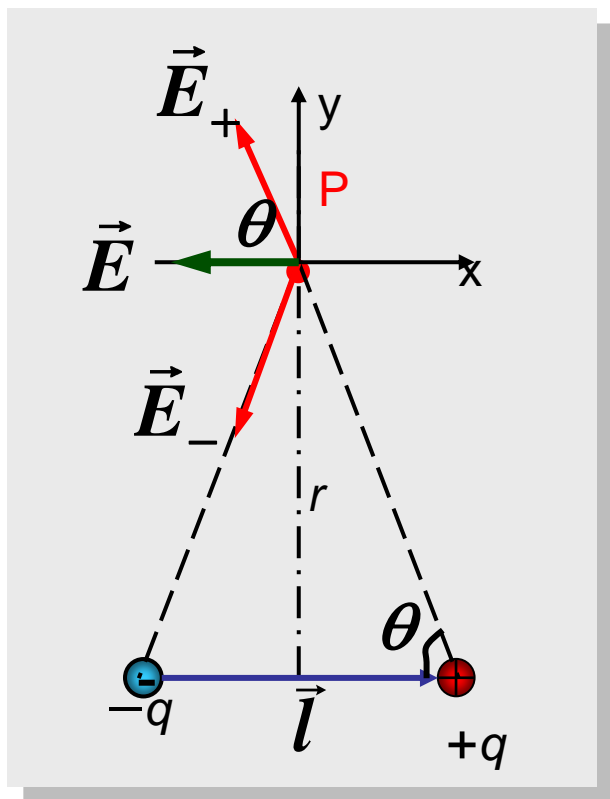
点电荷电场叠加：
$$\vec{E} = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r$$

用高斯定理求对称场：
$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{S_{\text{内}}} q_i$$

电势梯度法：
$$\vec{E} = -\text{grad } V$$

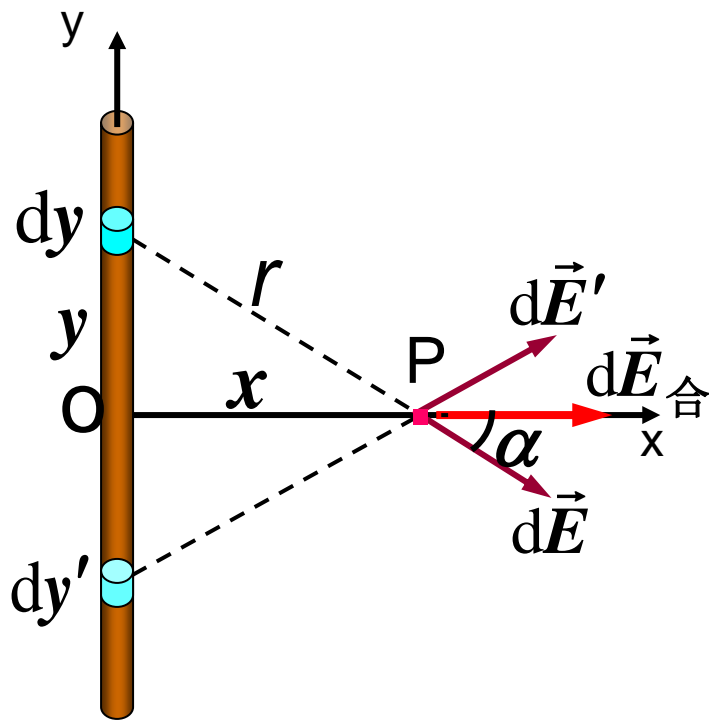
电偶极矩

即
$$\vec{E} = -\frac{\vec{p}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$



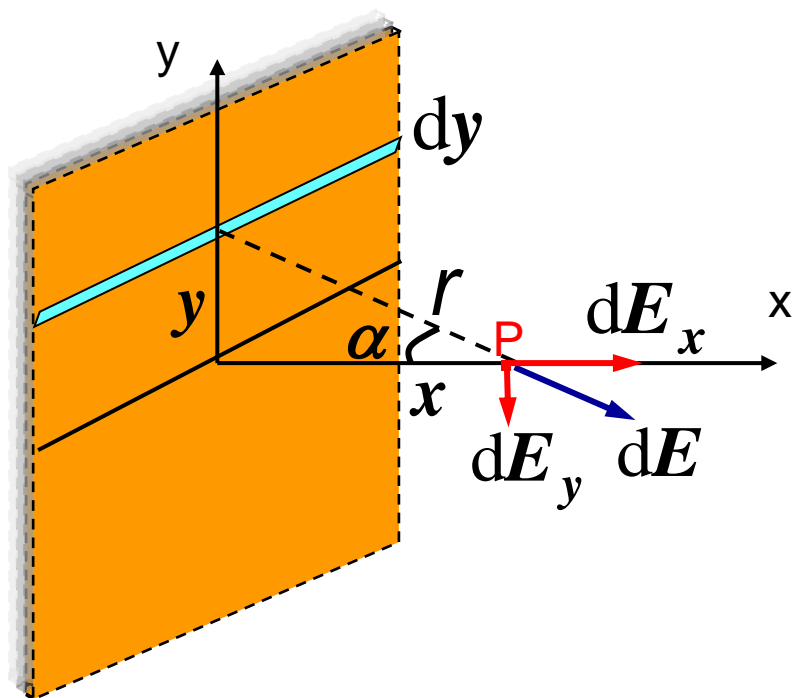
无限长带电棒

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x} \vec{e}_r$$



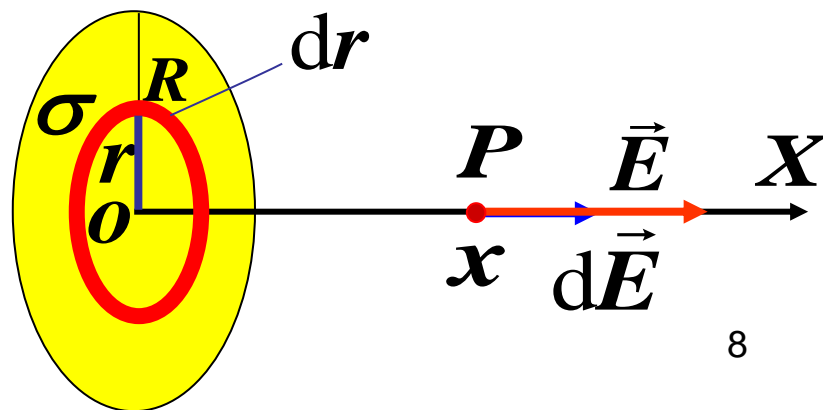
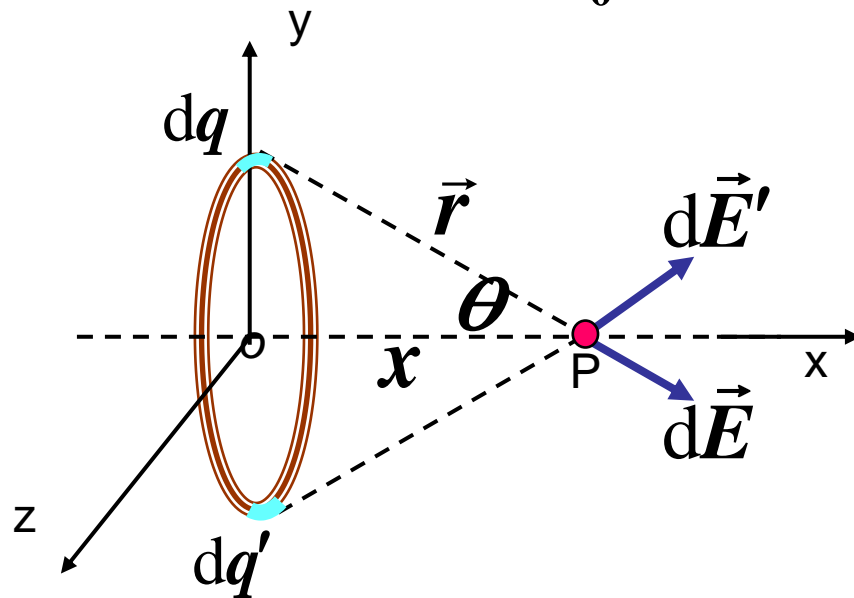
无限大带电平面

$$E = \int \frac{x\sigma \, dy}{2\pi\epsilon_0(x^2 + y^2)} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



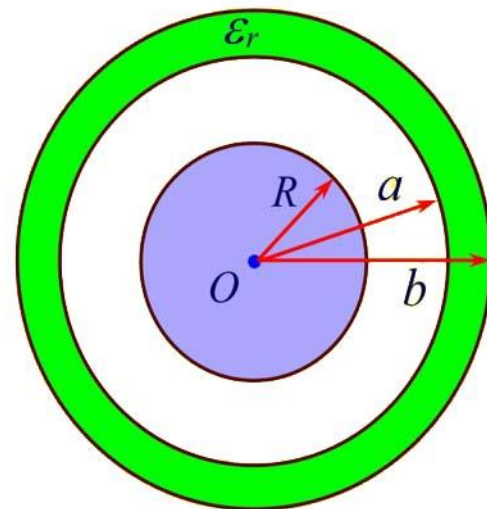
均匀圆环轴线

$$x \gg R \quad E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$$



半径为 R 的导体球，带有电荷 Q ，球外有一均匀电介质的同心球壳，球壳的内外半径分别为 a 和 b ，相对介电系数为 ϵ_r 如图，求：
 (1) 介质内外的电场强度 E ，电位移 D 。(2) 离球心 O 为 r 处的电势。(3) 图示 $D(r)$ 、 $E(r)$ 、 $U(r)$ 的图线。

解： (1) 根据介质中的高斯定理可以得到空间各点的电位移矢量大小



$$0 < r < R \quad \vec{D} = 0 \quad \vec{E} = 0$$

$$R < r < a \quad \vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2} \vec{r}_0 \quad \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r}_0$$

$$a < r < b \quad \vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2} \vec{r}_0 \quad \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^2} \vec{r}_0$$

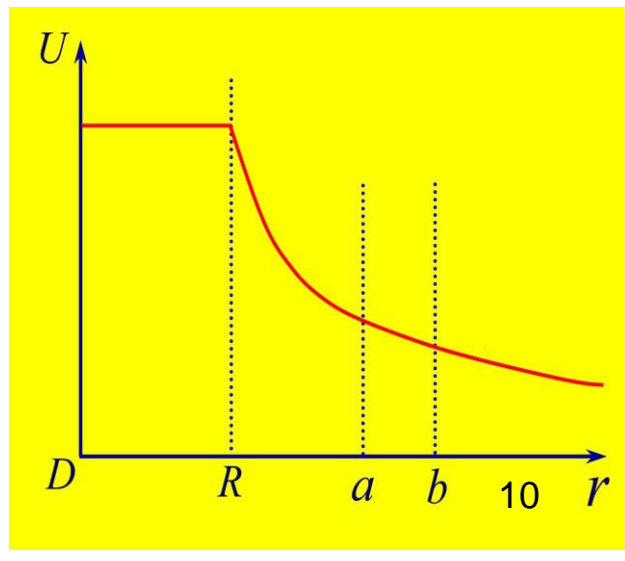
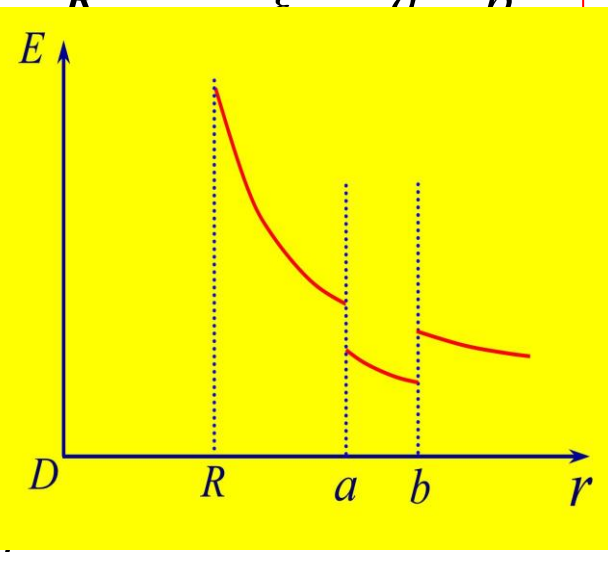
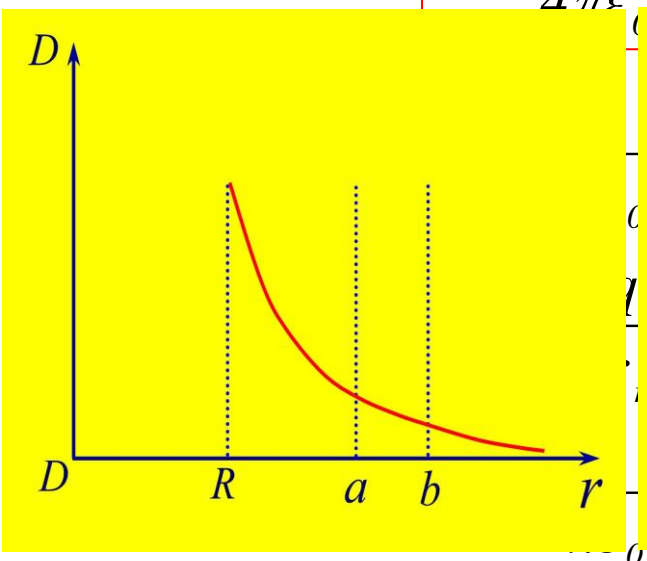
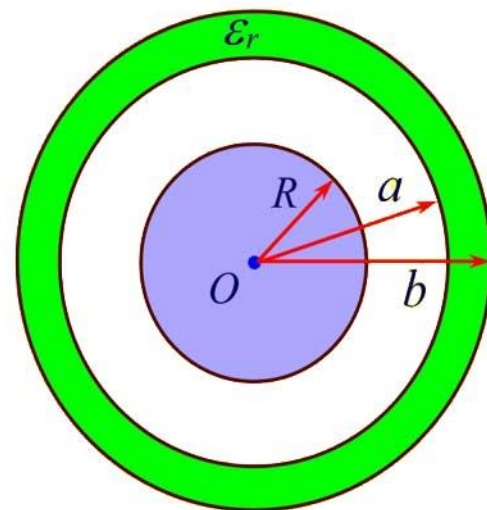
$$b < r < \infty \quad \vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2} \vec{r}_0 \quad \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r}_0$$

半径为 R 的导体球，带有电荷 Q ，球外有一均匀电介质的同心球壳，球壳的内外半径分别为 a 和 b ，相对介电系数为 ϵ_r 如图，求：
 (1) 介质内外的电场强度 E ，电位移 D 。(2) 离球心 O 为 r 处的电势。
 (3) 图示 $D(r)$ 、 $E(r)$ 、 $U(r)$ 的图线。

解： (2)根据电势的定义，计算得到空间各点的电势分布

$$0 < r < R \quad U = \int_r^R \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_R^a \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_b^\infty \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon} \left[\frac{1}{R} - \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right) \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) \right]$$



电磁学复习

第10章 稳恒磁场

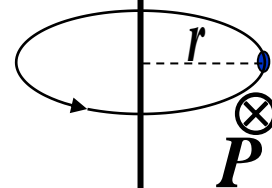
1. 磁场

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

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

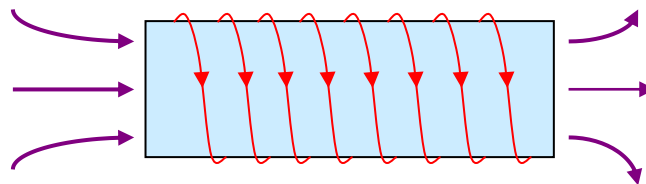
无限长导线

I



2. 毕奥-萨伐尔定律

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



$$L \rightarrow \infty, B = \mu_0 n I$$

3. 磁场的高斯定理

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

无源

静电场

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{S_{\text{内}}} q_i$$

有源

4. 磁场的环路定理

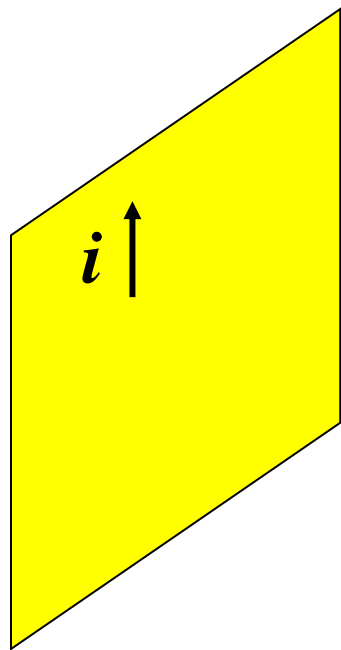
$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$$

有旋

$$\int_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

无旋

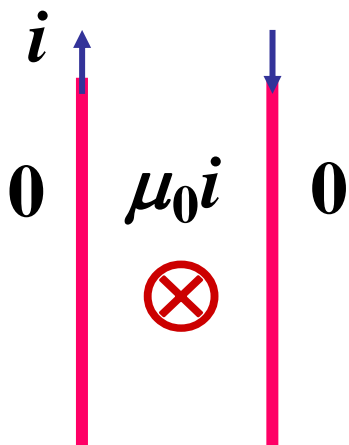
无限大平面



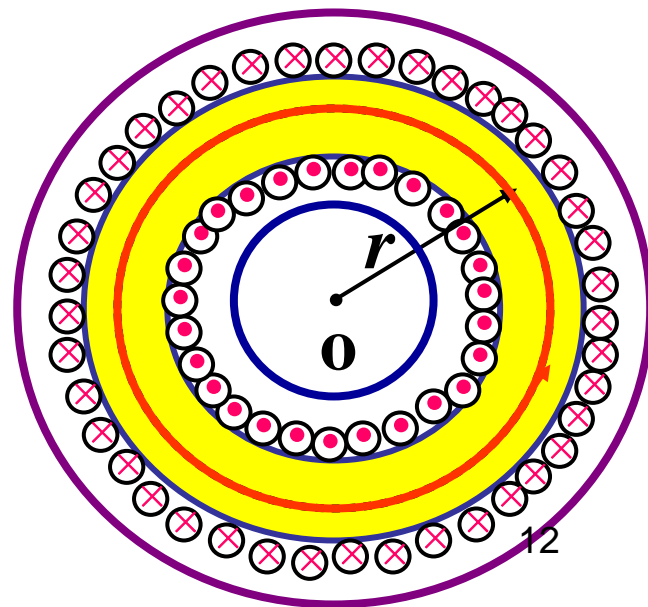
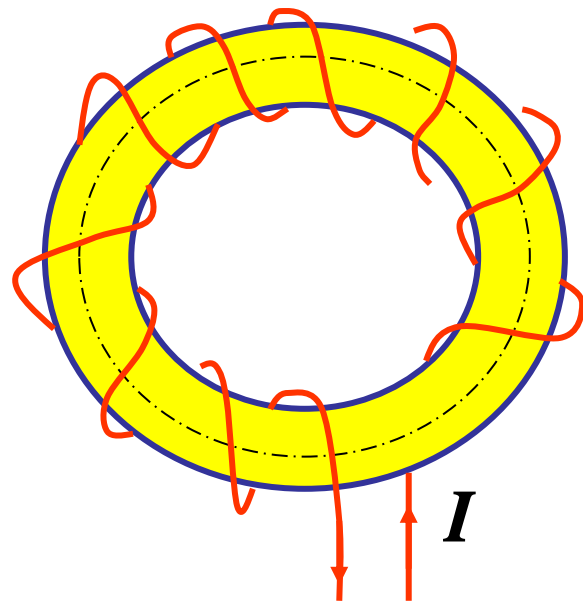
$$B = \frac{1}{2} \mu_0 i$$



与P点到平板
的距离无关



通电螺绕环



管内 $B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$

静电场

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

电场有保守性，它是保守场，或有势场

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_i$$

电力线起于正电荷、止于负电荷。
静电场是有源场

稳恒磁场

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i$$

磁场没有保守性，它是非保守场，或无势场

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

磁力线闭合、
无自由磁荷
磁场是无源场

电场、磁场中典型结论的比较

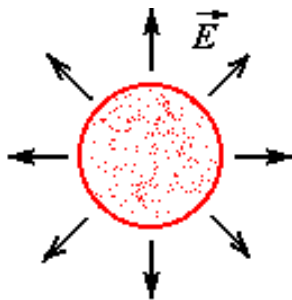
		电荷均匀分布	电流均匀分布
长直线		$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
长直圆柱面	内	$E = 0$	$B = 0$
	外	$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
长直圆柱体	内	$E = \frac{\lambda r}{2\pi\epsilon_0 R^2}$	$B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}$
	外	$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

磁场与电场分布的特殊对称情况对比：

电场 $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \sum q_i / \epsilon_0$

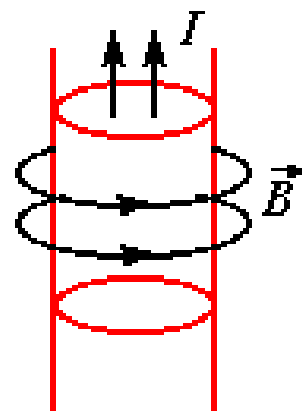
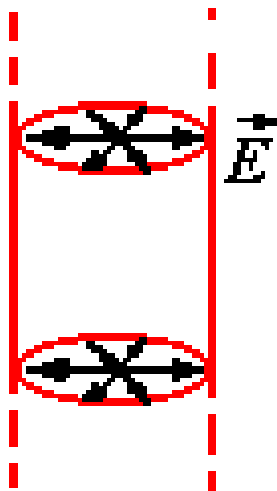
磁场 $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$

球对称：

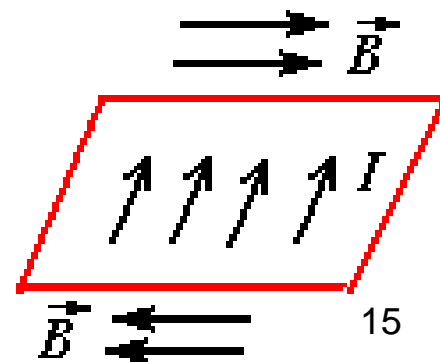
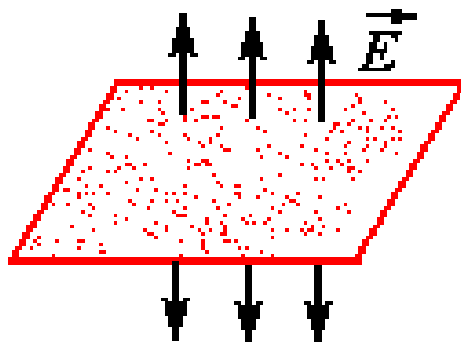


不存在

轴对称：



平面：



六、磁相互作用

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：

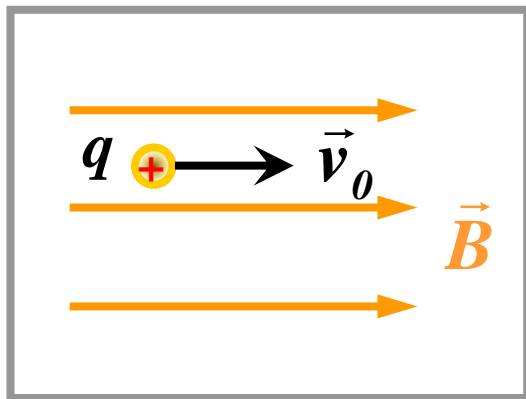
静止电荷只受电场力作用；

运动电荷，既受电场力，又受磁场力作用。

带电粒子在均匀磁场中的运动：

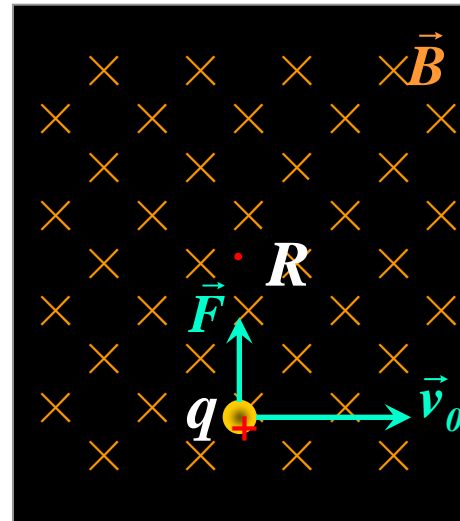
(1) $\vec{v}_0 \parallel \vec{B}$ 或 $\vec{v}_0 \parallel -\vec{B}$ ：

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = 0$$



即带电粒子作匀
速直线运动

(2) $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$ ：

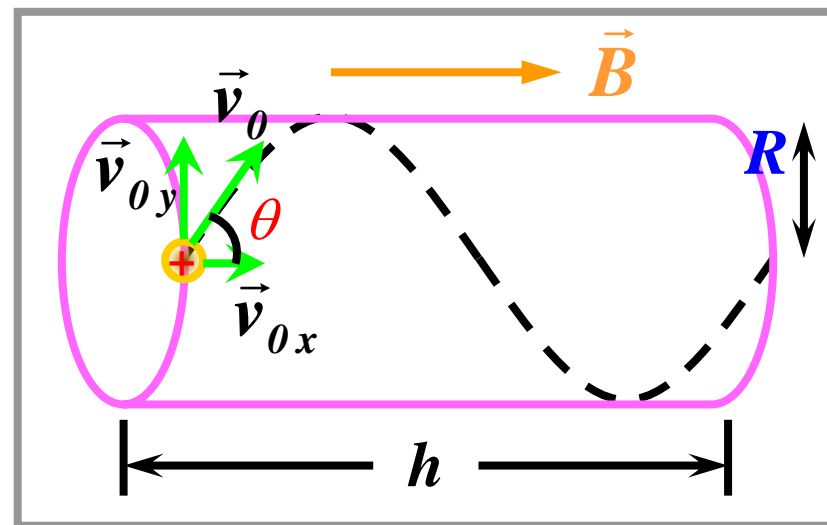


$$\left\{ \begin{array}{l} \text{回旋半径: } R = \frac{mv_0}{qB} \\ \text{回旋周期: } T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB} \\ \text{回旋频率: } f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{与 } R, v_0 \\ \text{无关} \end{array}$$

(3) $\langle \vec{v}_0, \vec{B} \rangle = \theta :$

带电粒子作垂直于磁场的
匀速圆周运动和平行于磁
场的匀速直线运动。

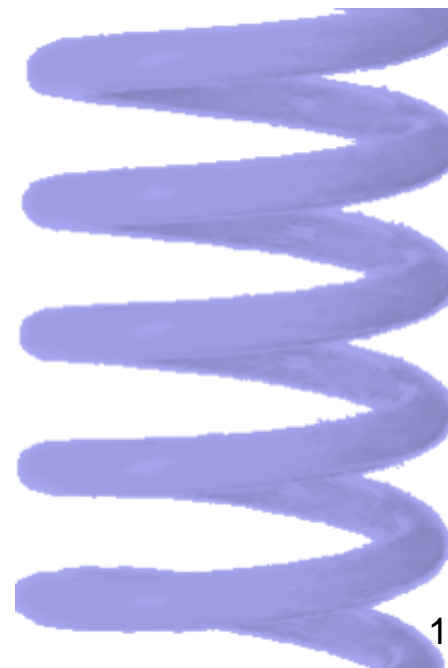
运动轨迹为等距螺旋线。



螺旋线半径: $R = \frac{mv_{0y}}{qB} = \frac{mv_0 \sin \theta}{qB}$

回旋周期: $T = \frac{2\pi R}{v_0 \sin \theta} = \frac{2\pi m}{qB}$

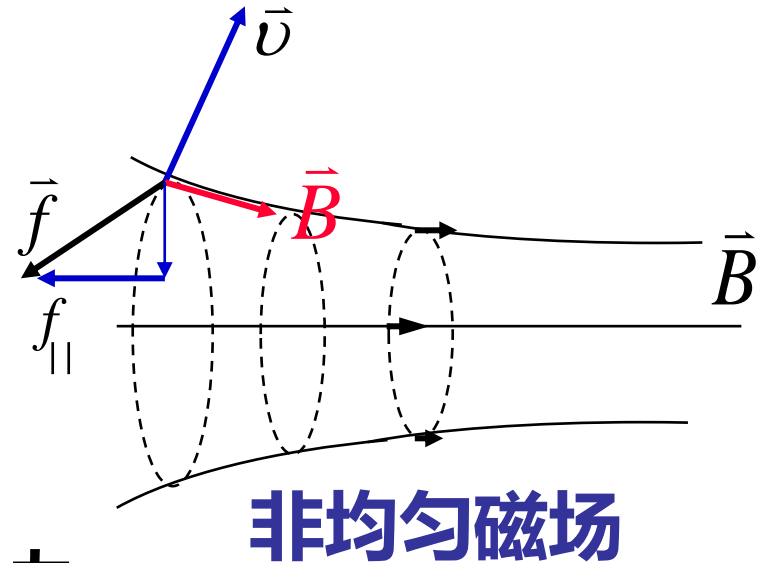
螺距: $h = v_{0x} T = \frac{2\pi m v_0 \cos \theta}{qB}$



带电粒子在非均匀磁场中运动

1) 向磁场较强方向运动时，螺旋半径不断减小

$$R = \frac{mv}{qB} \quad \text{即} \quad R \propto 1/B$$



2) 粒子受到的洛伦兹力

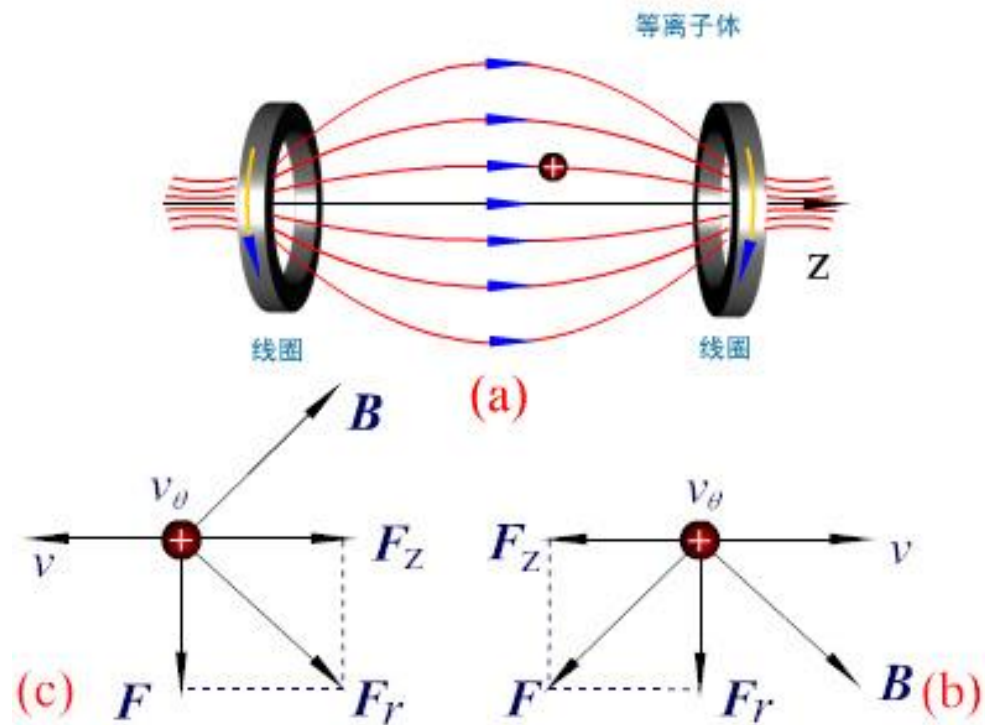
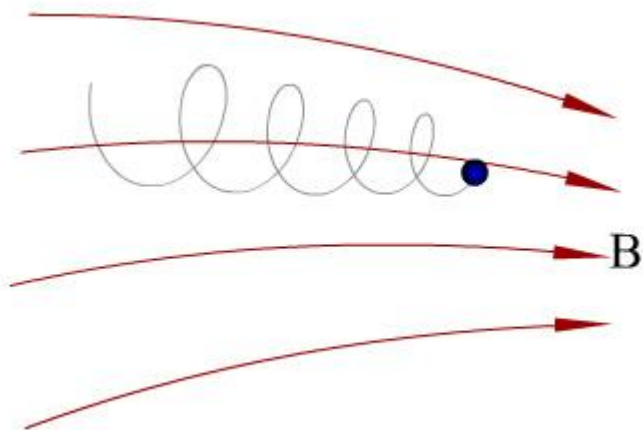
恒有一个指向磁场较弱方向的分力

从而阻止粒子向磁场较强方向的运动

效果：可使粒子沿磁场方向的速度减小到零 从而反向运动

应用

1) 磁镜



两个电流方向相同的线圈产生
中央弱两端强的不均匀磁场

磁场：轴对称 中间弱 两边强 粒子将被束缚在磁瓶中

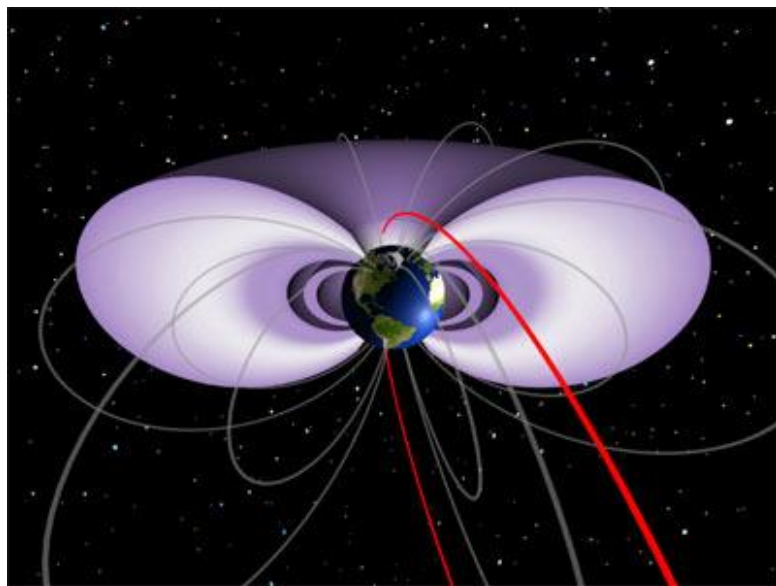
**磁镜：类似于粒子在反射面上反射 名称之来源)
在受控热核反应中用来约束等离子体**

天然的“磁瓶” ----范阿仑辐射带

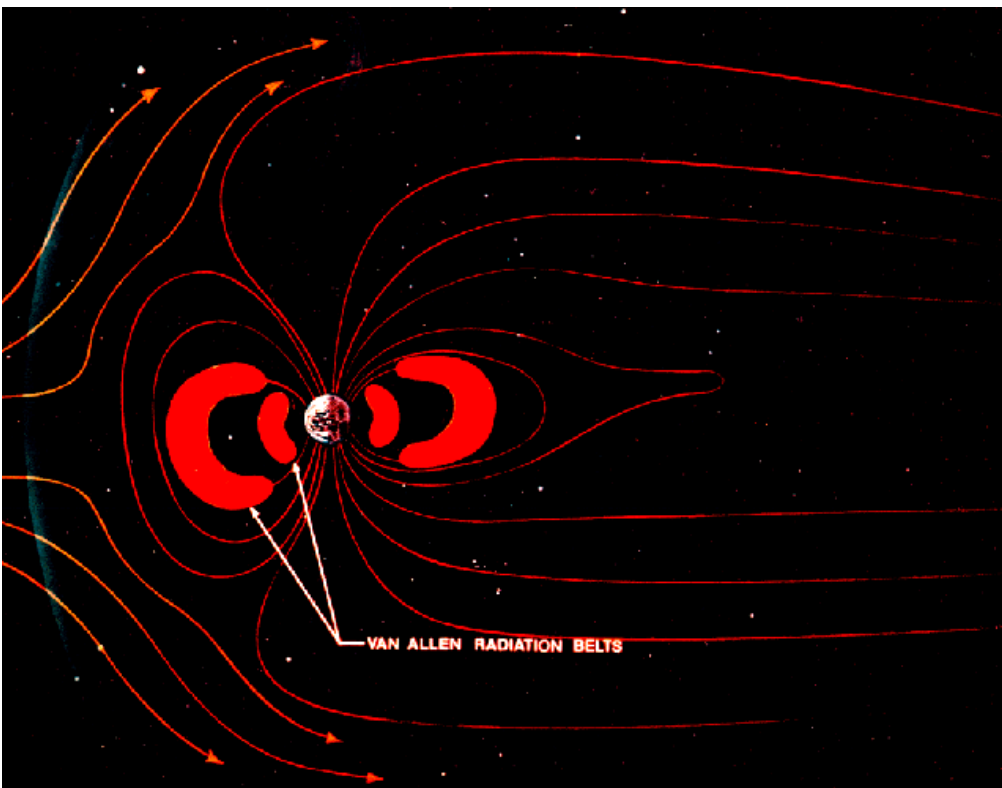


**地球磁场中间弱，两极强，
是个天然的磁镜结构。**

**地球周围有两个辐射带，是
由地球俘获的带电粒子组成
，成为范艾伦辐射带。**



**左图显示了地球上的范艾伦辐
射带（Van Allen Belts）。辐射
带分为两层，内层距地表约
7000公里，外层约为13000公里
，两层中的缝隙为辐射较少的
安全地带，人造卫星可以在此
区域内安全运行。**

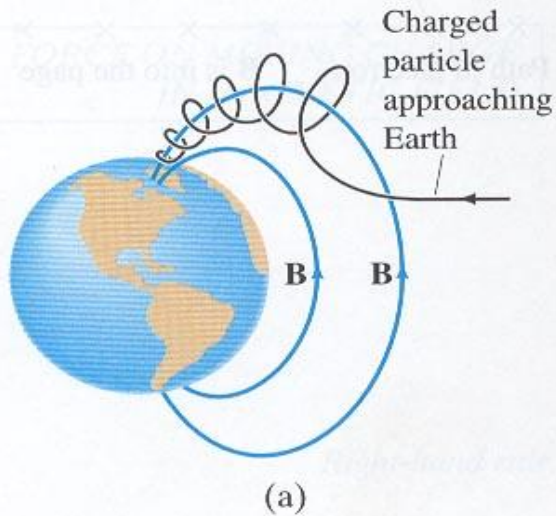


保护地球生命不受高能宇宙射线的伤害。

- 近150年来，地球磁场的强度急剧减弱了10%-15%
- 地球磁场平均每50万年翻转一次，而最近一次的翻转发生在78万年前

2) 极光

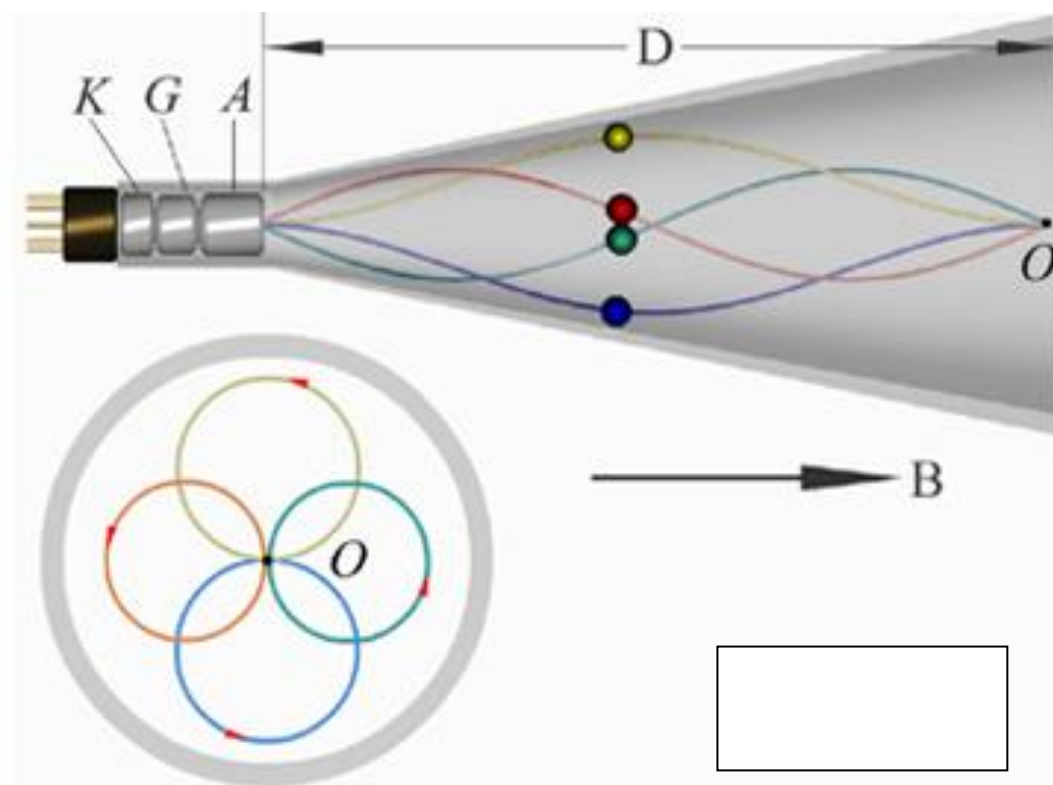
FIGURE 20-19 (a) Diagram showing a charged particle approaching the Earth which is “captured” by the magnetic field of the Earth. Such particles follow the field lines toward the poles as shown. (b) Photo of aurora borealis.



在地磁两极附近 由于磁感线与地面垂直 外层空间入射的带电粒子可直接射入高空大气层内 它们和空气分子的碰撞产生的辐射

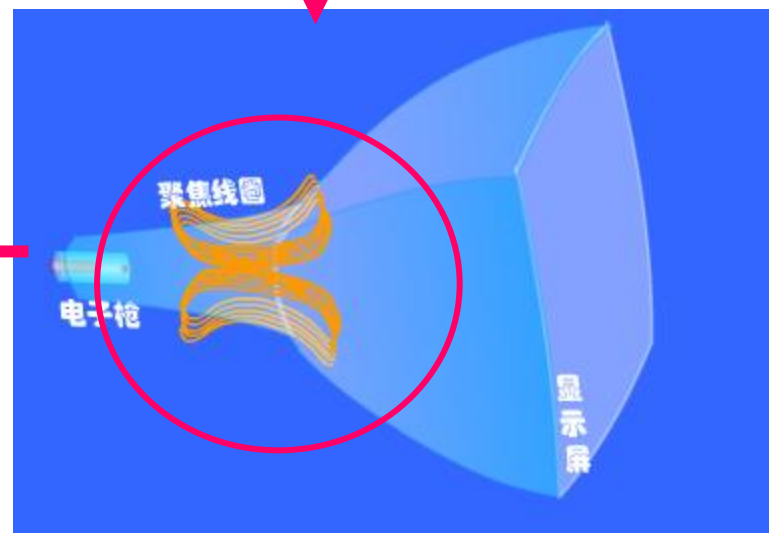
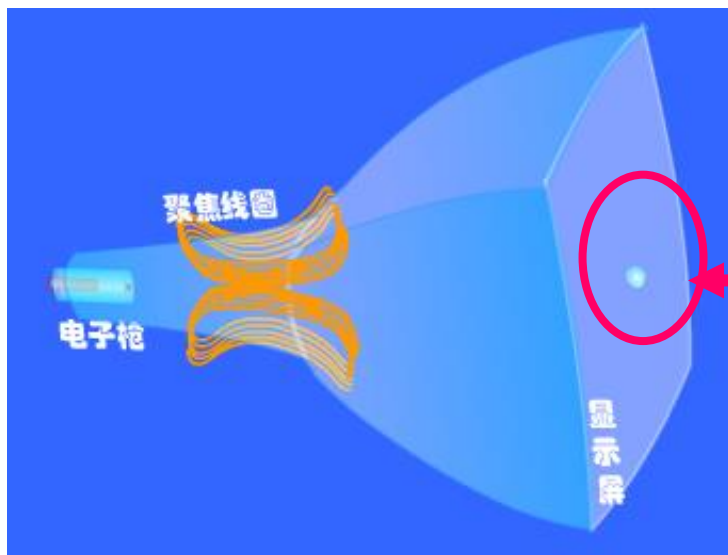
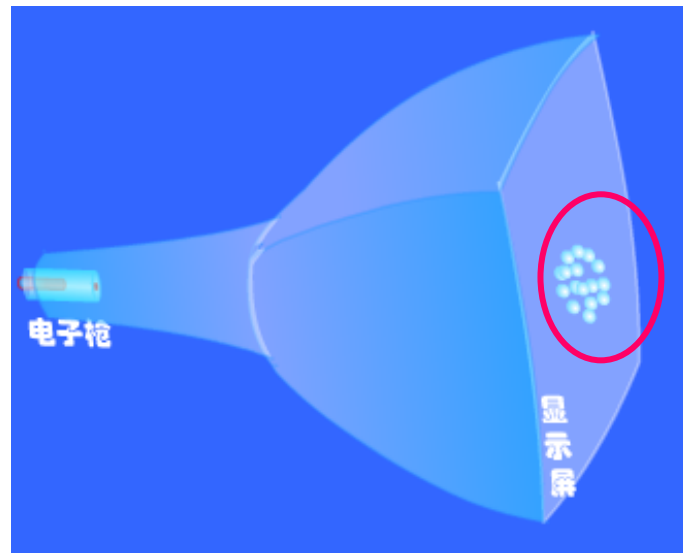
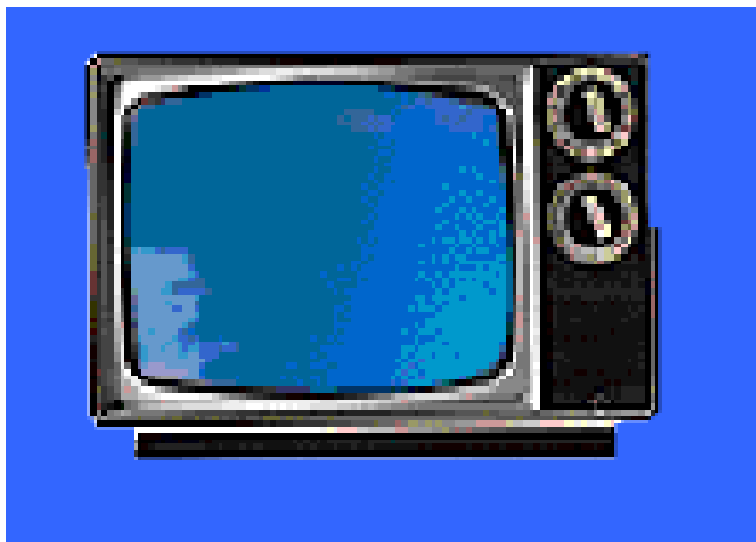
3) 磁聚焦

在均匀磁场中某点 A 发射一束初速相差不大的带电粒子, 它们的 \vec{v}_0 与 \vec{B} 之间的夹角 θ 不尽相同, 但都较小, 这些粒子沿半径不同的螺旋线运动, 因螺距近似相等, 都相交于屏上同一点, 此现象称之为磁聚焦.



从电子枪中射出的电子束有一定的散射角, 会增大屏幕上的像斑直径。但在匀强磁场的作用下, 经过整数倍螺距时, 电子又会聚焦到同一点。

如何将电视机由不清晰调清晰？

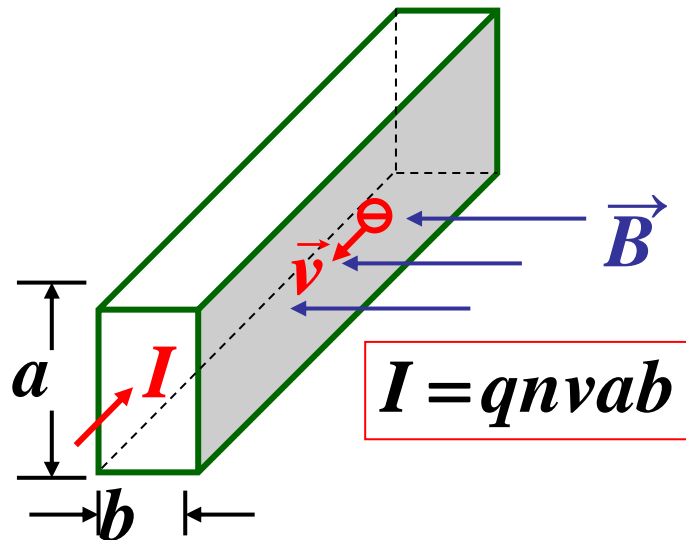


只需将屏幕置于整
数倍螺矩处即可。

2. 霍尔效应

通电金属条中，电子以平均速度 \vec{v} 漂移。电子受磁场力的作用

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



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，最终与磁场力平衡

$$|q\vec{E}_H| = |q\vec{v} \times \vec{B}| \quad E_H = vB \quad \text{——霍尔电场}$$

该现象称为**霍尔效应**。

在上下两表面间出现稳定的电势差 V_H ——霍尔电压

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



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

说明:

(1) R_H : 霍尔系数, 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

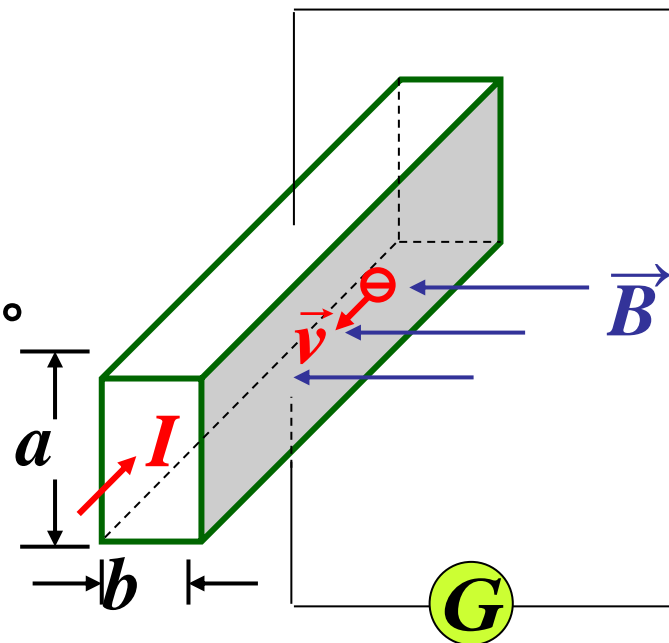
(3) 霍尔效应的应用

1° 测试半导体的类型 $\begin{cases} n \text{型} & \text{电子导电} \\ p \text{型} & \text{空穴导电} \end{cases}$

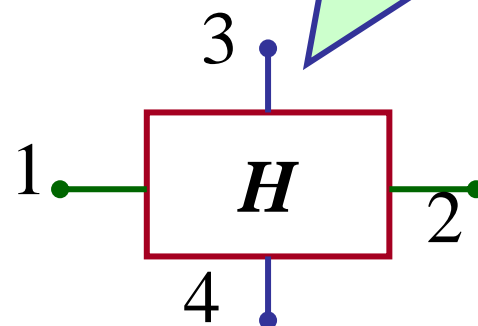
2° 测磁场: 测磁场常用高斯计

3° 可计算载流子浓度

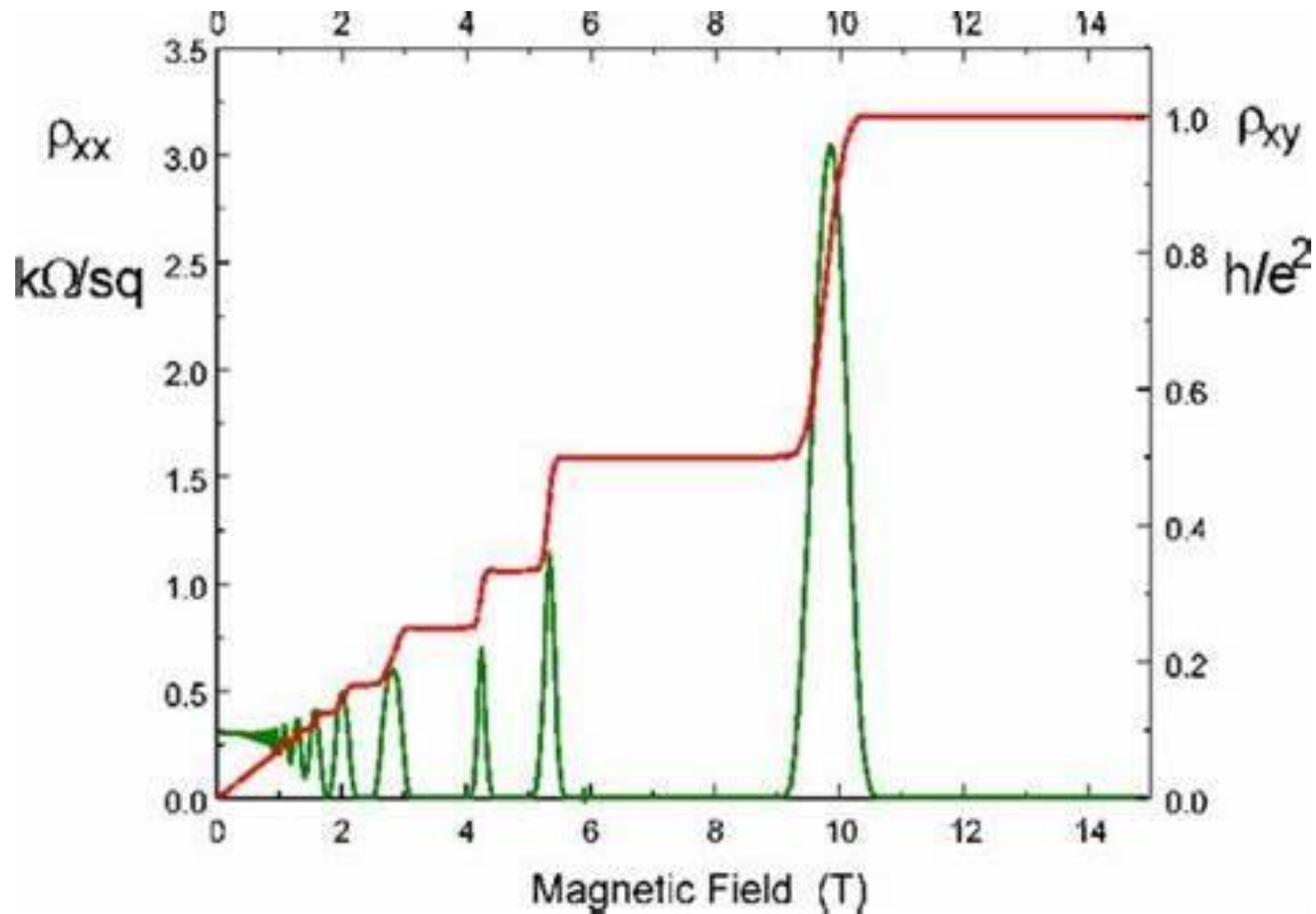
4° 测大电流, 转换交直流信号等

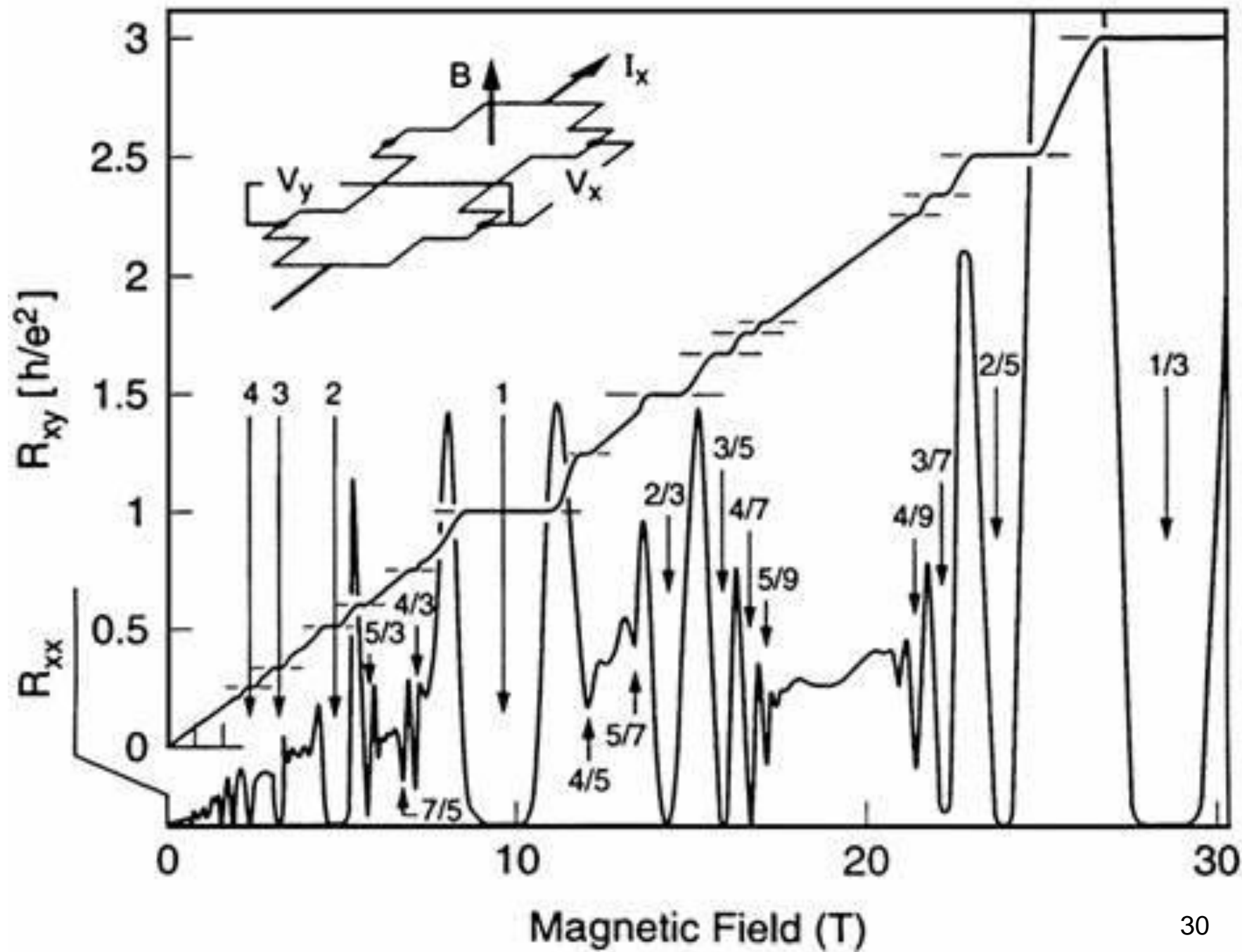


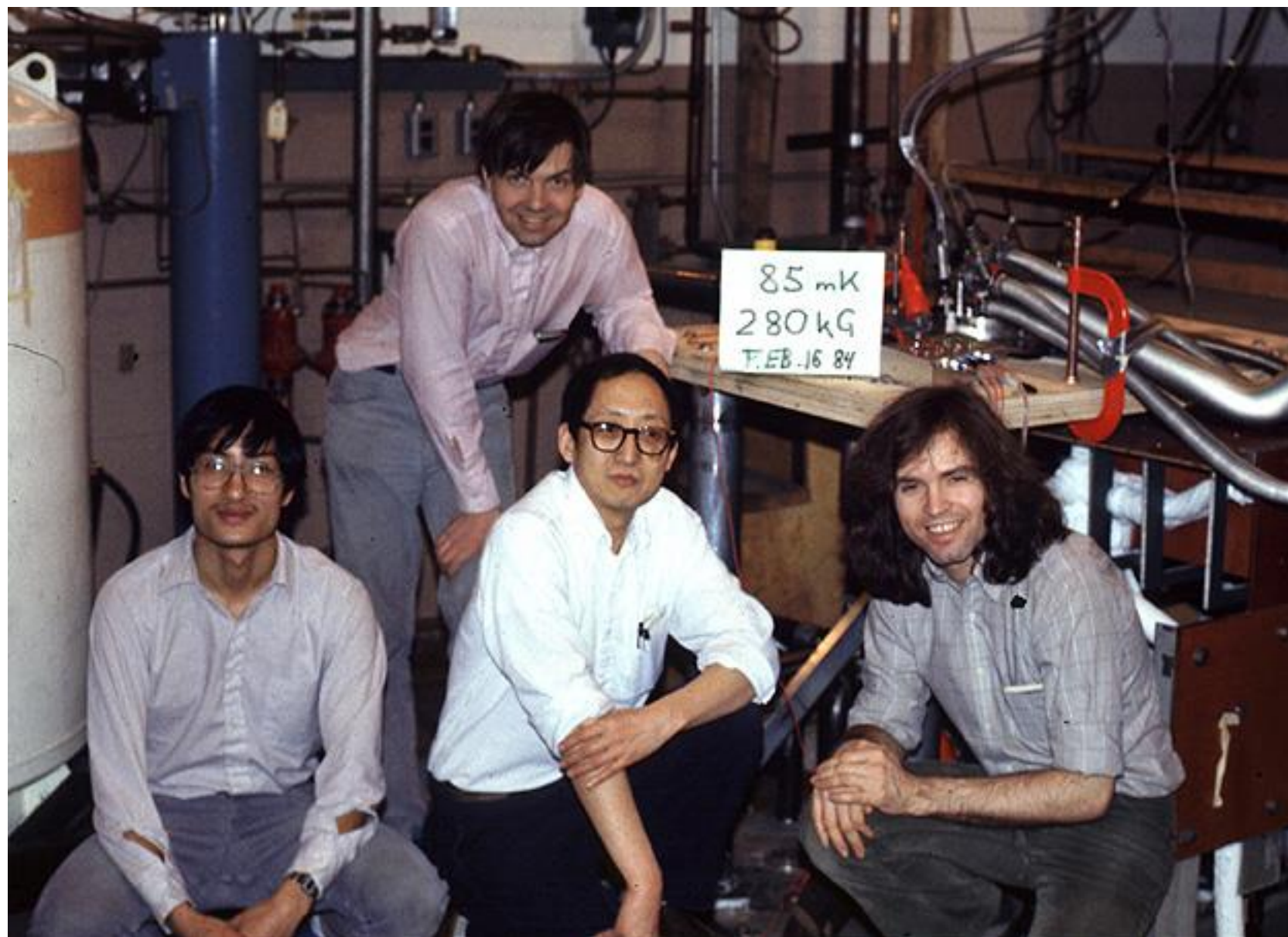
通过测 V_H
→ 测 B











霍尔效应最新进展

3、量子反常霍尔效应—— 20xx年诺贝尔物理学奖？

由清华大学**薛其坤**院士领衔，清华大学、中科院物理所和斯坦福大学研究人员联合组成的团队在量子反常霍尔效应研究中取得重大突破，他们从实验中首次观测到量子反常霍尔效应，这是中国科学家从实验中独立观测到的一个重要物理现象，也是物理学领域基础研究的一项重要科学发现。

