真空中的静电场

一、库仑定律 $\vec{\ } = \underline{\qquad} \vec{\ }$ 真空中、静止的、点电荷

二、静电场的描述

1、电场强度 $\vec{\ }$ ——从力的角度描述电场大小和方向物理量

$\boxed{\vec{\ } = \dfrac{\vec{\ }}{\quad}}$ 方向：该点正电荷受力方向

电荷受电场力 $\vec{\ } = \vec{\ }$

电场公式（叠加法求场强）：

点电荷 $\vec{\ } = \underline{\qquad}\vec{\ }$

矢量，有方向

点电荷系 $\vec{\ } = \vec{\ } = \underline{\qquad}\vec{\ }$

连续带电体 $\vec{\ }\ \vec{\ } = \underline{\qquad}\vec{\ }\ \vec{\ }\ \vec{\ } = \int \vec{\ }$

2、电势 ——从做功的角度描述静电场特性的物理量

$$=\int^{电势零点}\vec{\ }\ \ \vec{\ }$$

对有限大带电体，一般取 $=$

$$=\int\ \vec{\ }\ \ \vec{\ }$$

(1) 电势公式（叠加法求电势）：

点电荷 $=$ ——

标量，有正负

$>$ 空间各点 $>$

$<$ 空间各点 $<$

点电荷系 $=$ $=$ ——

连续带电体 $\vec{\ }$ $=$ —— $\vec{\ }$ $=\int$

(2) 按定义式积分求 U 的关键:先确定场强的分布规律；再积分求电势。

注意积分路径上场强分布规律是否相同，不同就分段积分！

电势差（电压） $=$ $-$ $=\int\ \vec{\ }\ \ \vec{\ }\ \ \vec{\ }$ 是分布在（a，b）之间的电场

三、静电场基本定理

1、真空中高斯定理

静电场中，通过任一闭合曲面的电通量，等于该面内电荷代数和的 ——

$$\boxed{\Phi = \oint \overrightarrow{\quad} \cdot \overrightarrow{\quad} = \oint \quad \cos \quad = \frac{\quad}{\quad}}$$

▲ Φ 只与面内电荷有关,与面外电荷无关。

▲ $\overrightarrow{\quad}$ 是高斯面上任一点的场强，是由面内、外所有电荷共同产生。

▲ 是闭合面(高斯面)面内电荷的代数和。

▲ 高斯定理说明 静电场是有源场。

▲ 高斯定理适用于所有静电场，一般用来求对称场的分布。

▲ 三步：①分析场的对称性；②取高斯面；③由定理列方程求 E

。

高斯定理应用

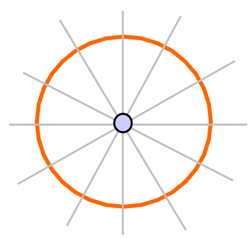
应用高斯定理,可方便地求出某些带电体具有某种特殊对称性的电场分布.

$$\Phi = \oiint \vec{\ } \cdot \vec{\ } = \oiint \cos = —$$

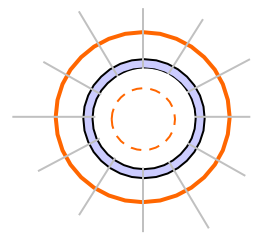
要领:视场分布的对称特点,恰当设计高斯面

举例 ★ 球对称

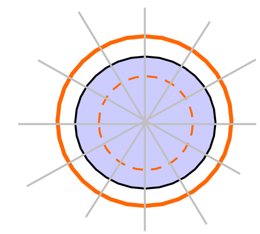
点电荷



均匀带电球面

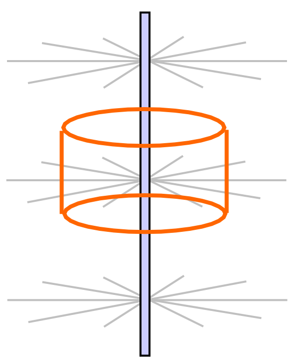


均匀带电球体

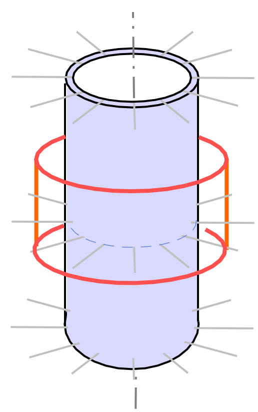


轴对称

均匀带电长直线

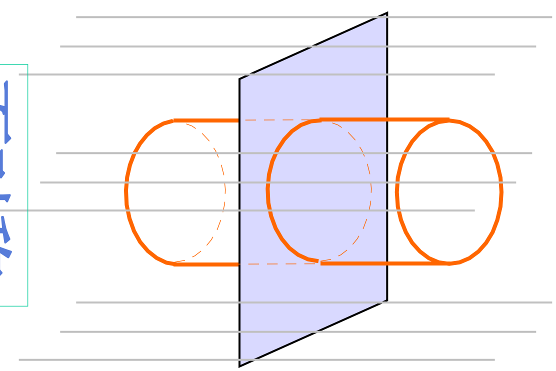


均匀带电长圆柱面



面对称

均匀带电大平面



2、静电场环路定理 $\boxed{\oint \quad \vec{\ } \quad \vec{\ } \quad =}$

▲ 静电场力是保守力或静电场力做功与路径无关。

▲ **静电场是保守力场**，可引入电势能→电势。

四、注意点

1、$\vec{E} = 0$，$U \neq 0$（场强为零的点，电势不一定为零）

2、$\vec{E}$ *是矢量，叠加时要考虑方向（各分量在一直线时，可代数加减）*

U 是标量，叠加时直接求代数和；

电场量	电场强度	电势
计算方法	叠加法 $\vec{E}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{r}_0$ $\vec{E}=\sum_i \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i^2}\vec{r}_{0i}$ $\vec{E}=\int \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{r}_0$	定义法 $U_p=\int_p^{U=0}\vec{E}\cdot d\vec{l}$ 1. 首先要确定场强的分布; 2. 其次要选择正确的积分路径. 3. 还要注意积分路径上场强是否分段.
	高斯定理 $\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=\frac{1}{\varepsilon_0}\sum_{s内} q_i$ 解题方法（三步曲）： 1. 分析场的对称性; 2. 取高斯面; 3. 由高斯定理列方程求解.	叠加法 $U=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ $U=\sum_i \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i}$ $U=\int \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}$

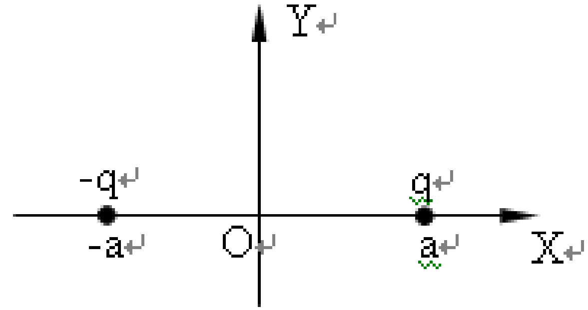
几种典型电场

带电体	电场分布	电势分布
点电荷	$\vec{E}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{r}_0$	$U=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$
均匀带电球面 (总电量 Q ,半径 R)	球面内 $E=0 \quad (r<R)$ 球面外 $E=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (r<R)$	$U=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} \quad (r\le R)$ $U=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} \quad (r>R)$
同心均匀带电球面 Q_1 , R_1 Q_2 , R_2 $R_1<R_2$	$r<R_1 \quad E=0$ $R_1<r<R_2 \quad E=\frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ $r>R_2 \quad E=\frac{Q_1+Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$	$U=\frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_1}+\frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$ $U=\frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 r}+\frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$ $U=\frac{Q_1+Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$

无限大均匀带电平面（电荷面密度 σ ） $E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

无限长均匀带电直棒（电荷线密度 λ ） $E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

3．如图所示，在坐标（a,0）处放置一点电荷+q，在坐标（-a,0）处放置另一点电荷-q，P 点是 Y 轴上的一点，坐标为（0，y）。当 y>>a 时，该点场强的大小为：



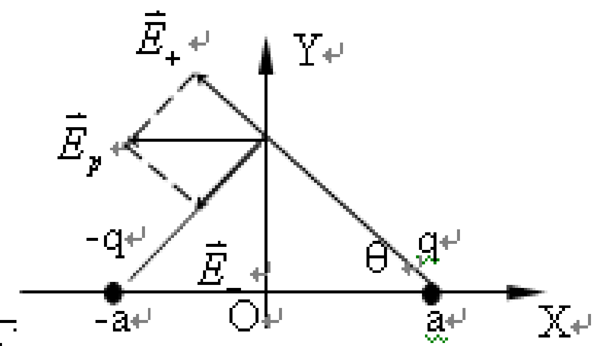
(A) $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 y^2}$　　　(B) $\dfrac{q}{2\pi\varepsilon_0 y^2}$

(C) $\dfrac{qa}{2\pi\varepsilon_0 y^3}$　　　(D) $\dfrac{qa}{4\pi\varepsilon_0 y^3}$

[　　　　]

分析　$\vec{E}_p = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$（如图所示）

其中 $\left|\vec{E}_+\right| = \left|\vec{E}_-\right| = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 (y^2 + a^2)}$



P 点场强的大小为

$$E_p = 2E_+\cos\theta = 2\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 (y^2 + a^2)} \cdot \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}} = \frac{qa}{2\pi\varepsilon_0 (y^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$\because\ y >> a\quad \therefore\ E_p \approx \dfrac{qa}{2\pi\varepsilon_0 y^3}$

答案为 [　C　]

$$\Phi = \oint \vec{\ } \cdot \vec{\ } = \oint \cos = —$$

关于高斯定理的理解有下面几种说法，其中正确的是：

（A）如果高斯面 $\overset{\vee}{E}$ 上处处为零，则该面内必无电荷。

（B）如果高斯面内无电荷，则高斯面上 $\overset{\vee}{E}$ 处处为零。

（C）如果高斯面上 $\overset{\vee}{E}$ 处处不为零，则高斯面内必有电荷。

（D）如果高斯面内有净电荷，则通过高斯面的电通量必不为零。

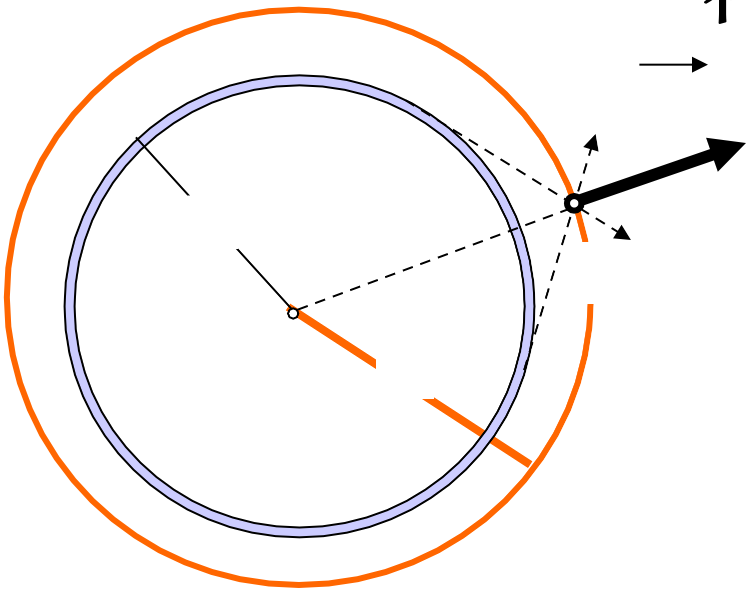
（E）高斯定理仅适用于具有高度对称性的电场。

[D]

高斯定理 $\Phi = \oint \cdot = \oint \cos = —$ 的应用

求均匀带电球面的场强分布

作同心球面 为高斯面（如图所示）



由高斯定理

$= \boxed{\oint \cdot} = — \boxed{\ }$

$\boxed{>}$

$=$ $E,$ $=$

球面总电量

带电球面外 >

面上各点的合场强

大小必相等

方向与 正交

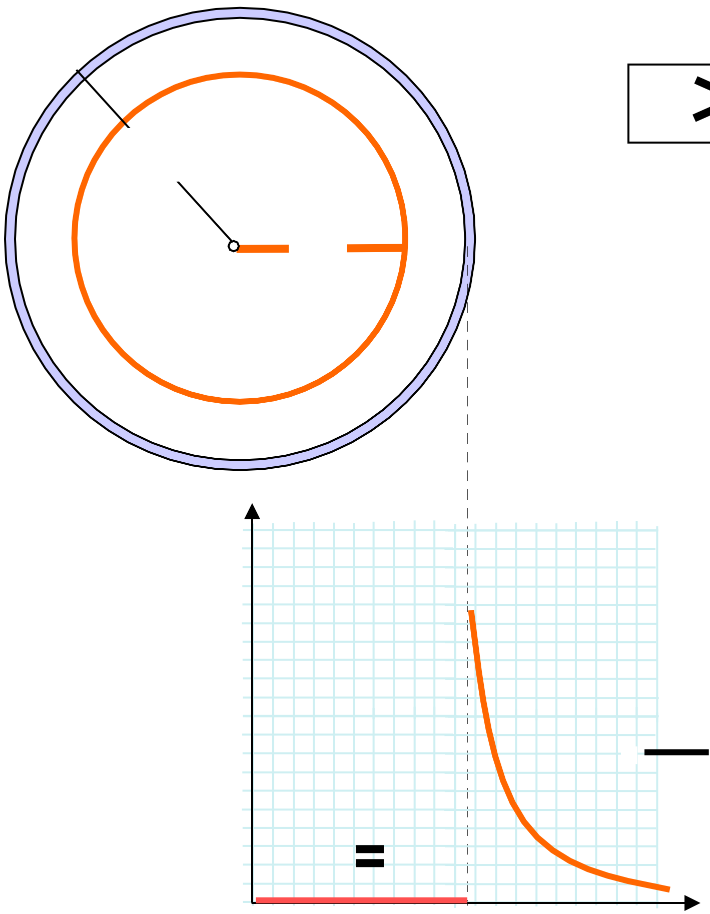
（与面元法线同向）

$= —$ $= —$

$= ——— = ———$

高斯定理 $\Phi = \oiint \vec{} \cdot \vec{} = \oiint \cos = -$ 的应用

求均匀带电球面的场强分布



带电球面外 >

> = — = —

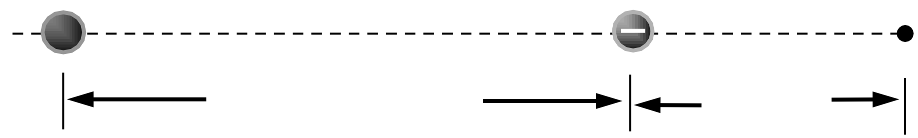
带电球面内 <

由高斯定理

$= \boxed{\oint \vec{} \cdot \vec{}} = - \boxed{}$

< =

已知



点处的电势

解法提要

电势叠加法

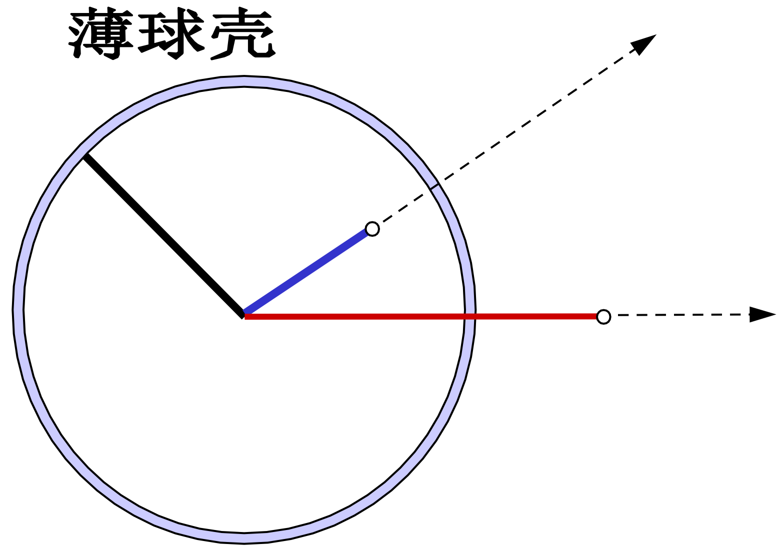
至于具有连续点荷分布的带电体，其电场中某点的电势可用点电荷电势积分法求解。

电势定义法 求均匀带电薄球壳内、外空间的电势分布

解：由高斯定理可知场分布

$$\begin{cases} = \quad (r<R) \\ = \text{———} \quad (r>R) \end{cases}$$

$\boxed{\quad =\quad}$



$= \int \vec{\ } \ \vec{\ }$

$= \int \vec{\ } \ \vec{\ } \quad \int \vec{\ } \ \vec{\ }$

$= \int \vec{\ } \ \vec{\ }$

$= \quad \int \text{———}$

$= \int \text{———}$

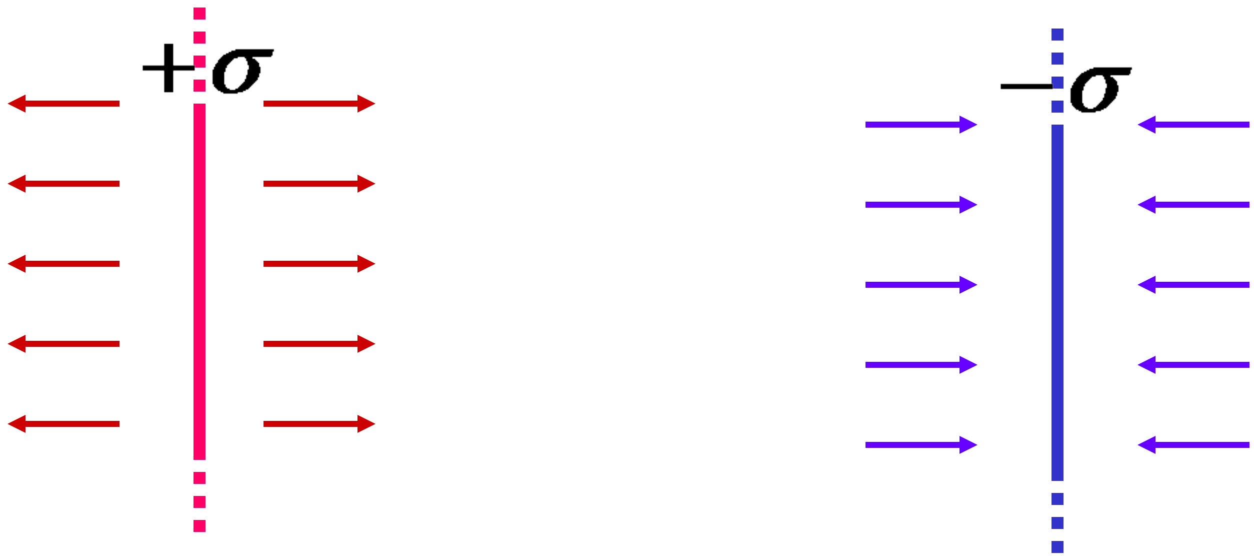
$= \text{———}$ 不变量

$= \text{———}$ 与 成反比

$\vec{E} = 0, \ U \neq 0$

"无限大"均匀带电平面的场强分布

电荷面密度

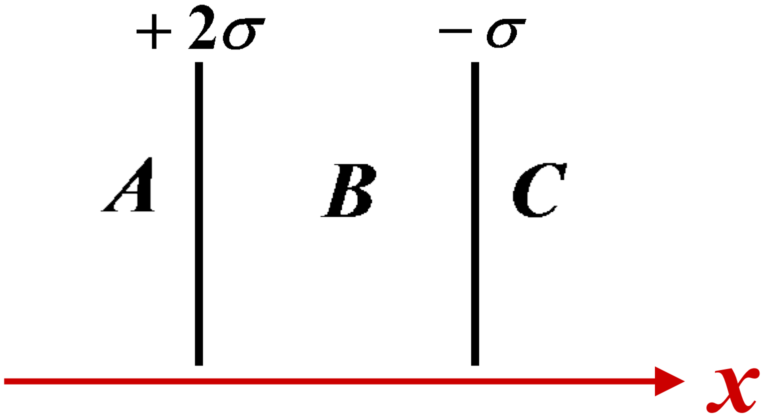


由高斯定理

$=$ ——

$$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

例 求 $\vec{E}_A$, $\vec{E}_B$, $\vec{E}_C$



解：先规定正方向：向右为正，向左为负

$$E_A=-\frac{2\sigma}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}=-\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\qquad \text{向左}$$

$$E_B=\frac{2\sigma}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}=\frac{3\sigma}{2\varepsilon_0}\qquad \text{向右}$$

$$E_C=\frac{2\sigma}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\qquad \text{向右}$$

静电场中的导体和电介质

一、静电场中的导体

1、导体置于电场 → 中要产生静电感应，最后达到静电平衡。

导体静电平衡的条件：导体内电场强度处处为零。

导体静电平衡时性质：1）表面附近的 →⊥表面

2）电荷分布在表面　　= ——　　= 0

3）导体为等势体，表面为等势面

2、 静电屏蔽：接地的空腔导体隔离了腔内、外电场之间的静电作用。

3、静电平衡时求解依据：静电平衡条件　电荷守恒

求场强和电势的方法

三、 电容器

电容器的电容 $= \frac{\quad}{\quad}$

与极板形状、尺寸、相对位置及介质有关

★ 电容器的能量 $= \frac{\quad}{\quad} \Big| = \quad = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}$

求电容的方法

1）设两极板带电+Q、−Q　　　±　）

2）用高斯定理求极板间 $\vec{\ }$

3）求极板间电势差　　$= \int \vec{\ } \cdot \vec{\ }$

4）由定义 $= \frac{\quad}{\quad_{AB}}$ 求电容C

一平行板电容器，两板相距为d，对它充电后与电源断开，然后把电容器的极板间距增大到2d，则

A. 电容器电容增大一倍

B. 电容器所带电量增大一倍

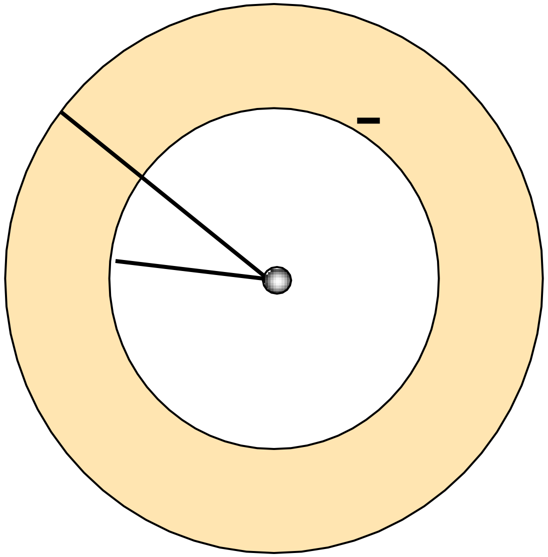
C. 电容器两极板间电场强度增大一倍

D. 储存在电容器中的电场能量增大一倍

【分析】

充电后与电源断开Q不变，极板间距 $d \rightarrow 2d$　　$C \rightarrow \frac{C}{2}$　　$(C = \varepsilon_0 \frac{S}{d})$

电容器能量Q不变用 $\frac{Q^2}{2C}$　　$\therefore$ 能量增加一倍



1）导体球壳

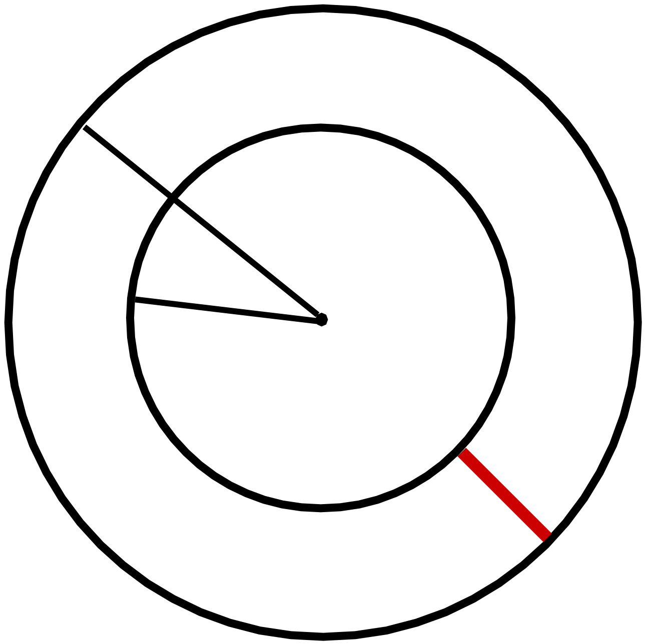
$=$

$= \text{——} \qquad = \text{——}$

$= \qquad = \int \text{——} \qquad = \text{——}$

2）同心导体薄球壳

$=$



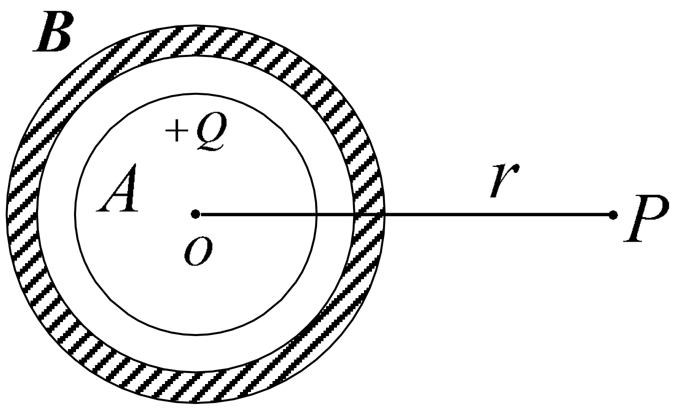
$= \text{——} \qquad = \text{——}$

$= \text{——} \qquad \text{——} \qquad = \text{——}$

导线连接两球壳，即二者电势相同

$= \qquad = \qquad = \text{——} \qquad =$

带电量为＋Q的导体球A的外面套一个同心的不带电的导体球壳B（如图），则球壳外P点的电场强度Ep＝________，若将球壳B接地，则Ep＝________



【分析】

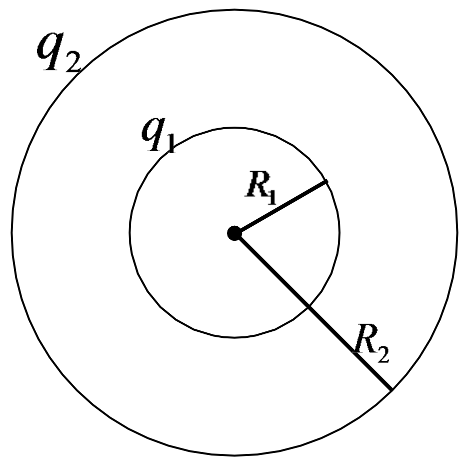
由高斯定理知 $E_p = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$，

接地后B球壳外面+Q被大地中和，内球壳-Q与导体球A在P点合场强为0

两个同心金属球面，半径分别为R 和R ，分别带电量

内球电势 ______ 外球面电势为 ______

若用导线将两带电球面连接，它们的电势为 ______



【分析】

内球面电势 $U_1=\dfrac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_1}+\dfrac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$

外球壳电势 $U_2=\dfrac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$

导线连接内、外球面时，成为等势体，电荷只能分布在 外球壳的表面

内部E=0

$$U=\frac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}=U_2$$

稳恒磁场

一、磁本质

一切磁现象都起源于电流或运动的电荷。

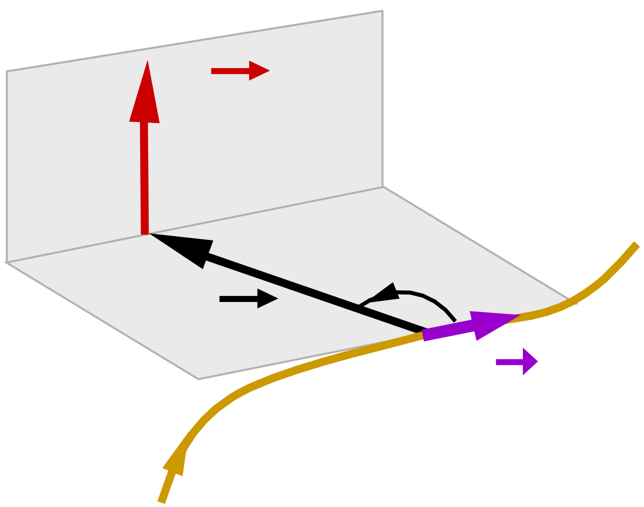
二、毕奥—萨伐尔定律

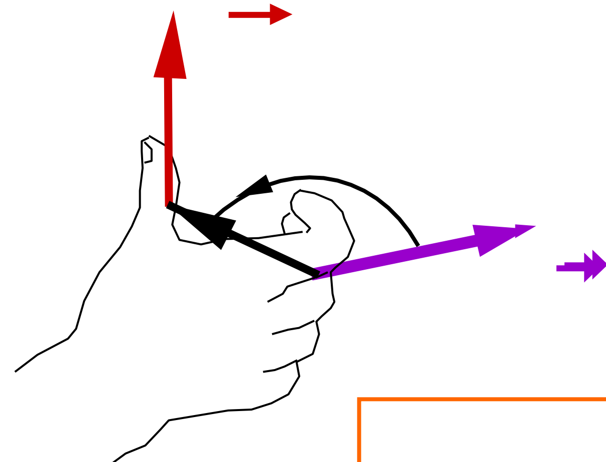
是单位矢量

矢量式 $\times$

方向 $\times$

大小 $\sin$



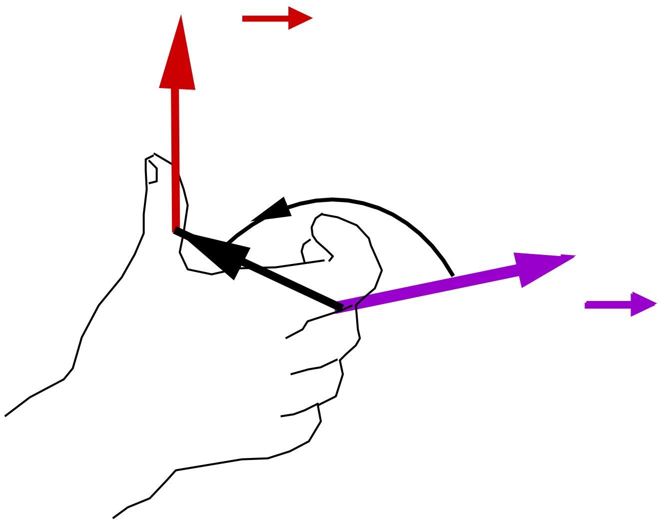


180

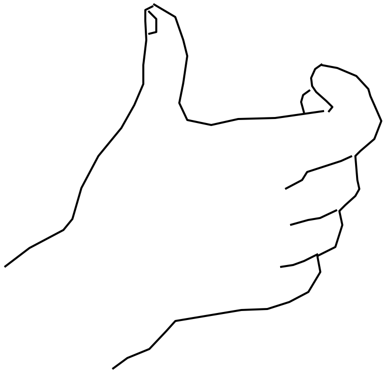
积分得一段电流磁场 $=\int$

求多段载流体的磁场 $=$

的方向 ×



右手法则 确定磁场 方向



四指

拇

指

电流

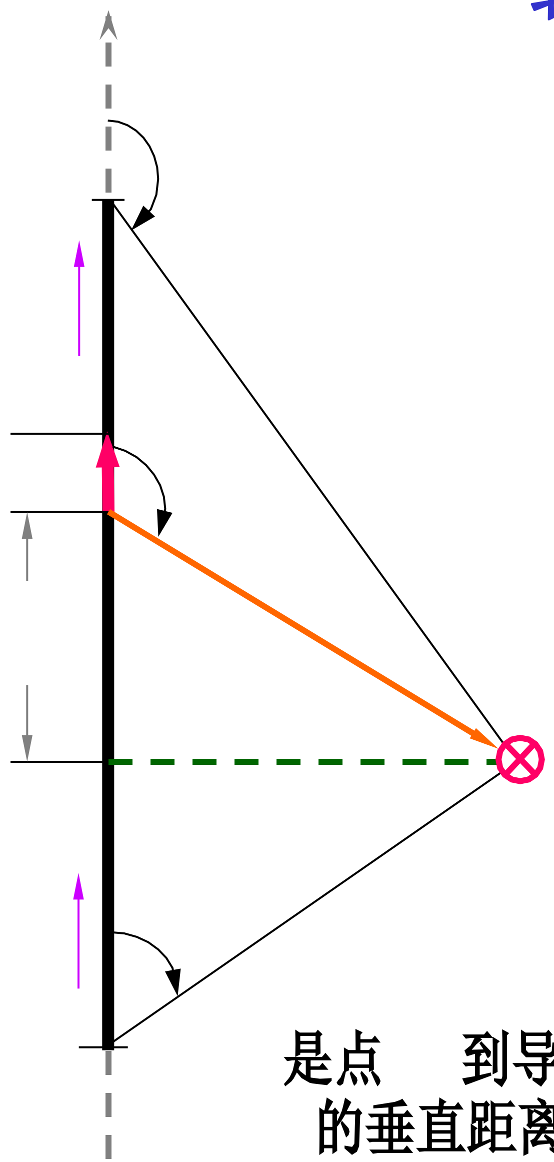
磁场——适用于圆（弧形）电流

磁场

电流——适用于直电流

三、典型磁场

载流直导线的磁场



是点　到导线
的垂直距离

$= \frac{\quad}{\quad} \frac{\sin}{\quad}$

$= \int \quad = \frac{\quad}{\quad} \cos \quad - \cos$

1、无限长

$=$　　$= \frac{\quad}{\quad}$

$=$

2、半无限长

$= /$　　$=$　　$= \frac{\quad}{\quad}$

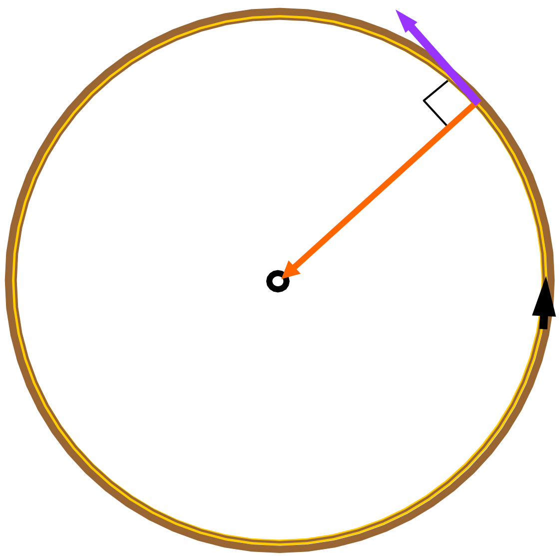
$=$　　$= /$

3、　在导线延长线上

$=$　$=$　　$=$

$=$　$=$

圆电流圆心处的磁场　的大小、方向



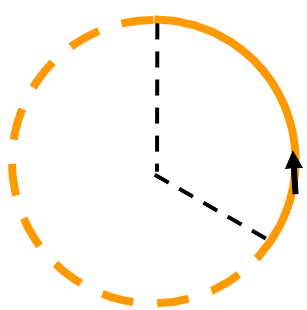
本题　≡　　≡ 90°

$\int$　　　$\int$

×

1、　匝圆电流

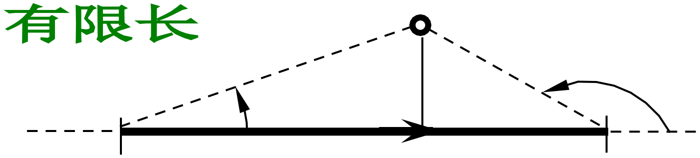
2、任一段圆弧电流



弧有电流,圆心角为

理解

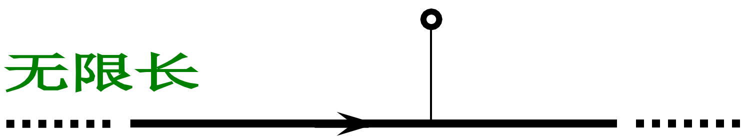
有限长



= —— cos − cos

掌握典型磁场

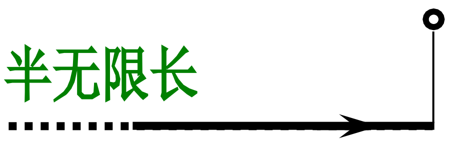
无限长



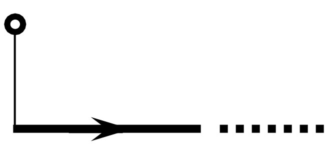
= ——

是场点到导线的垂距，也用 表示。

半无限长



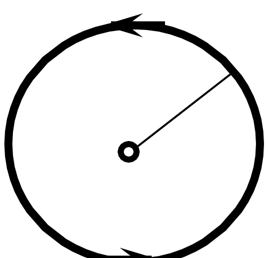
半无限长



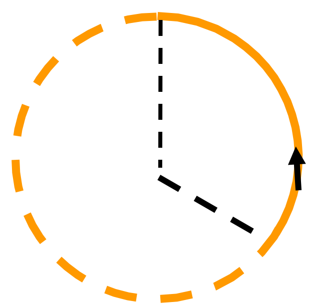
= ——

延长线上

=



——



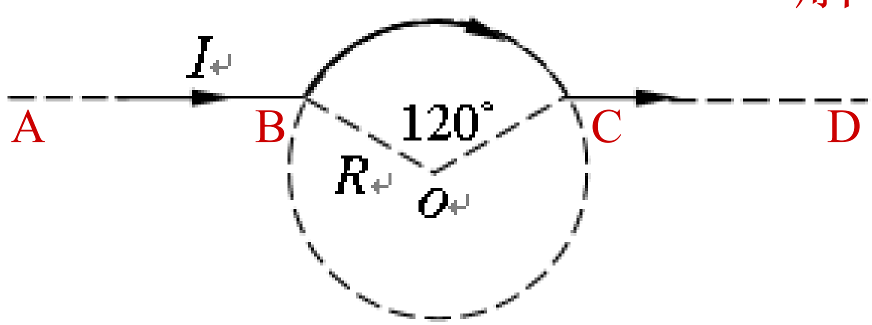
—— ——

—— ——

一段直电流的磁场 $= \underline{\qquad} \cos \quad - \cos$ 圆电流圆心的磁场 $= \underline{\qquad}$

1．如图，一根无限长的直导线，通有电流 I，

中部段弯成半径为 R 的圆弧形，求图中 O 点 $\vec{B}$。



解 对AB：$\alpha_1 = 0,\ \alpha_2 = 30°,\ a = \dfrac{R}{2}$

$$B_{AB} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \quad \otimes$$

对BC弧：$\theta = 120°$ $B_{BC弧} = \dfrac{\mu_0 I}{2R}\dfrac{\theta}{360°} = \dfrac{\mu_0 I}{6R} \quad \otimes$

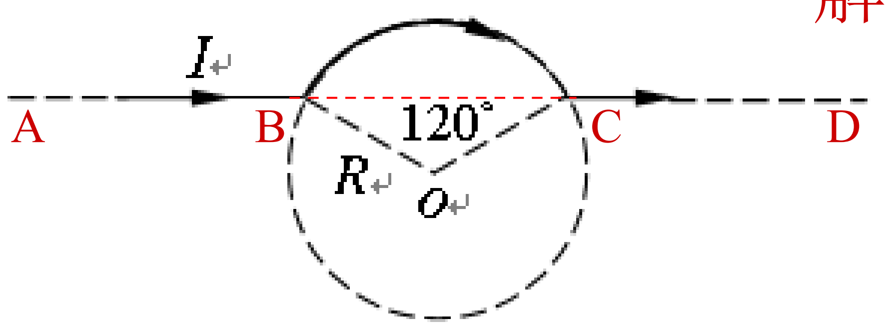
对CD：$\alpha_1 = 150°,\ \alpha_2 = 180°,\ a = \dfrac{R}{2}$ $\quad B_{CD} = \dfrac{\mu_0 I}{4\pi a}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) = \dfrac{\mu_0 I}{4\pi R} \quad \otimes$

$$\therefore B_O = B_{AB} + B_{BC弧} + B_{CD} = \frac{\mu_0 I}{6R} + \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad \otimes$$

一段直电流的磁场 $= \_\_\_\_ \cos \quad - \cos$ 圆电流圆心的磁场 $= \_\_\_\_$

1．如图，一根无限长的直导线，通有电流 I，

中部段弯成半径为 R 的圆弧形，求图中 O 点 $\vec{B}$。



解

对无限长ABCD： $a = \dfrac{R}{2}$

$$B_{ABCD} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{\mu_0 I}{\pi R} \quad \otimes$$

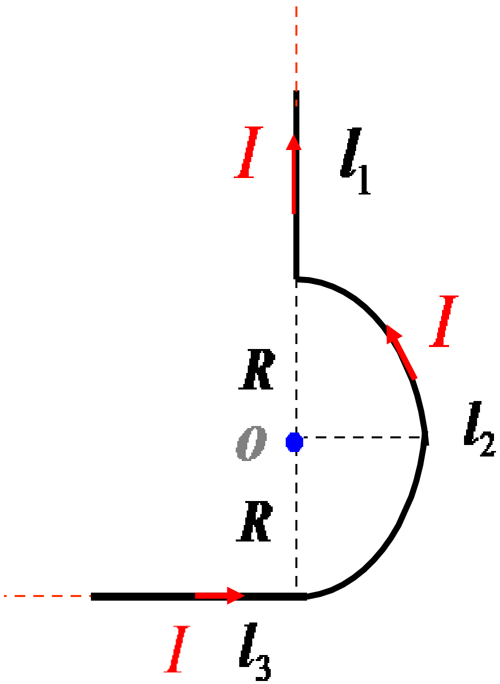
对BC弧： $\theta = 120°$

$$B_{BC弧} = \frac{\mu_0 I}{2R}\frac{\theta}{360°} = \frac{\mu_0 I}{6R} \quad \otimes$$

对补偿的直BC：

$$\alpha_1 = 30°,\ \alpha_2 = 150°,\ a = \frac{R}{2} \qquad B_{\overline{BC}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) = \frac{\mu_0 I}{2\pi \mathrm{R}} \quad \otimes$$

$$\therefore B_O = B_{ABCD} + B_{BC弧} - B_{\overline{BC}} = \frac{\mu_0 I}{6R} + \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad \otimes$$



对 l_1 延长线 $\therefore B_1 = 0$

对 l_2 是半圆弧，$\therefore B_2 = \frac{\pi}{2\pi} \cdot \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{\mu_0 I}{4R}$ $\odot$

对 l_3 半无限长 $\therefore B_3 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$ $\odot$

$$\therefore B_O = B_2 + B_3 = \frac{\mu_0 I}{4R} + \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$$ 方向指向纸外 $\odot$

三、稳恒磁场基本定理

1、磁通量　均匀磁场　$= \quad = \quad \cos \quad = \quad \perp$

★ 非均匀磁场　$\boxed{= \int \quad = \int \quad = \int \quad \cos}$

2、稳恒磁场高斯定理

磁场线是闭合的，对封闭曲面，穿进与穿出曲面的磁场线数目相等

$= \oint \quad =$　　磁场是无源场

求磁通量

$=\int \quad =\int \quad =\int \quad \cos$

解：

$= \text{———} \otimes \quad = \quad \otimes$

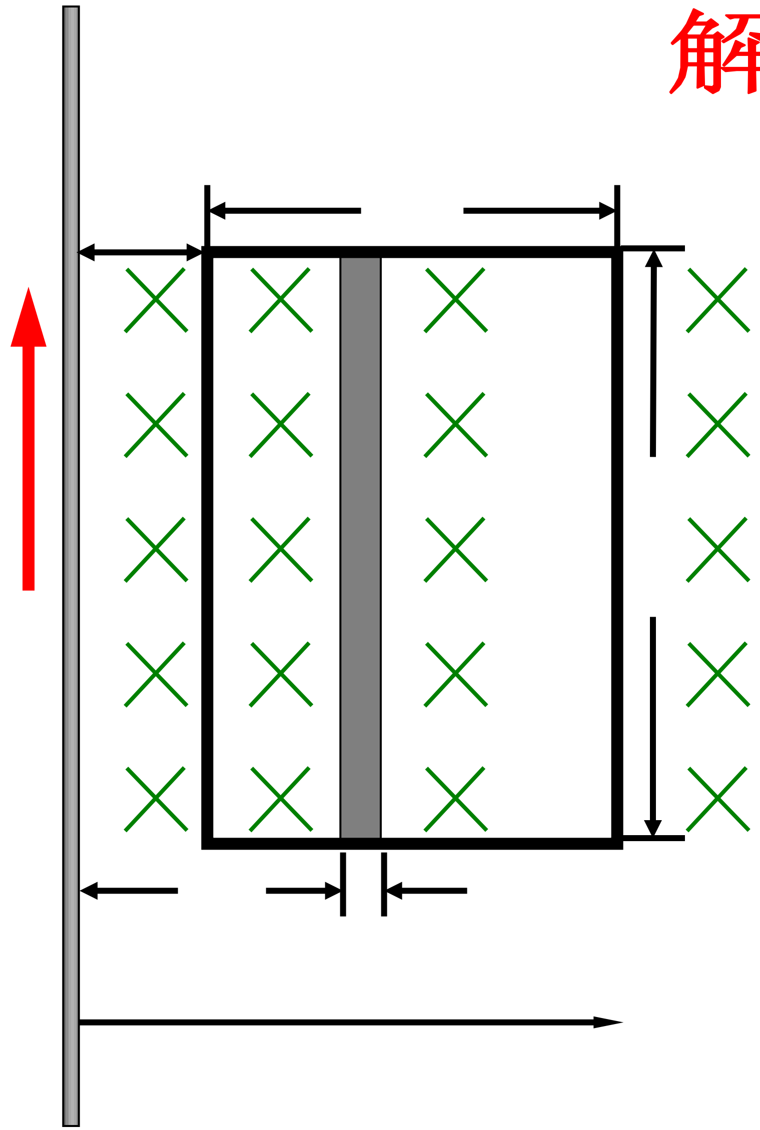
$= \quad \cdot$

$= \text{———}$

$= \int$

$= \int \quad \text{———} \quad \text{——}$

$= \text{——} \ln \text{——}$



3、安培环路定理

的环路积分 ＝ 所围电流的代数和

$$\oint \quad = $$

▲ 是闭合环路内电流的代数和。

右手螺旋关系：四指沿环路 l 方向，大拇指的指向为规定电流正方向。

电流的正负相对规定正方向而言。

流向与 绕向成右手螺旋关系时 为正；反之 为负

▲ 的环路积分只与环内电流有关,与环外电流无关。

▲ 是环路 l 上任一点的磁场，是环内、外所有电流的产生磁场的矢量和。

▲ 定理说明稳恒磁场是 非保守场

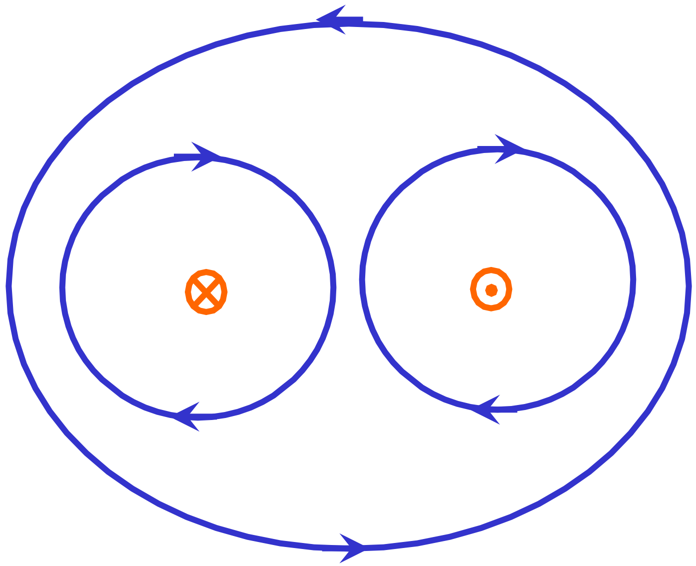
▲ 求对称场 $\vec{B}$：①分析场的对称性；②取闭合环路；③由定理列方程求 B。

已知 $=$ $=$

则 $\oint \vec{\ } \quad \vec{\ } =$

$\oint \vec{\ } \quad \vec{\ } =$

$\oint \vec{\ } \quad \vec{\ } =$



解 $\oint \vec{\ } \quad \vec{\ } =$

$\oint \vec{\ } \quad \vec{\ } =$

$\oint \vec{\ } \quad \vec{\ } =$

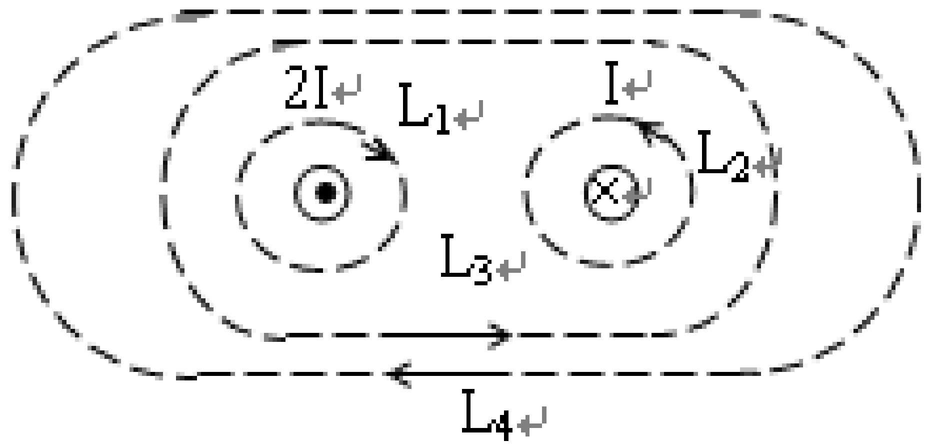
1. 如图，流出纸面的电流为 2 I，流进纸面的电流为 I，则下述各式中哪一个是正确的？

(A) $\oint_{L_1} \vec{B}\cdot d\vec{l} = 2\mu_0 I$

(B) $\oint_{L_2} \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I$

(C) $\oint_{L_3} \vec{B}\cdot d\vec{l} = -\mu_0 I$

(D) $\oint_{L_4} \vec{B}\cdot d\vec{l} = -\mu_0 I$　　　　[　　　　]

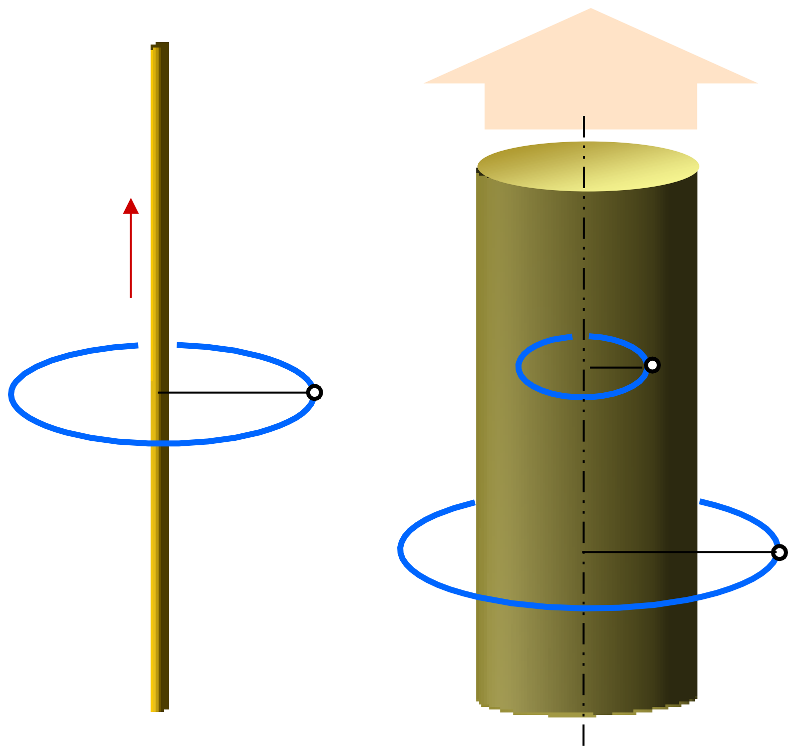


解：$\oint_{L_1} \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0(-2I)$　　$\oint_{L_3} \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0[2I+(-I)] = \mu_0 I$

$\oint_{L_2} \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0(-I)$　　$\oint_{L_4} \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0[(-2I)+I] = -\mu_0 I$

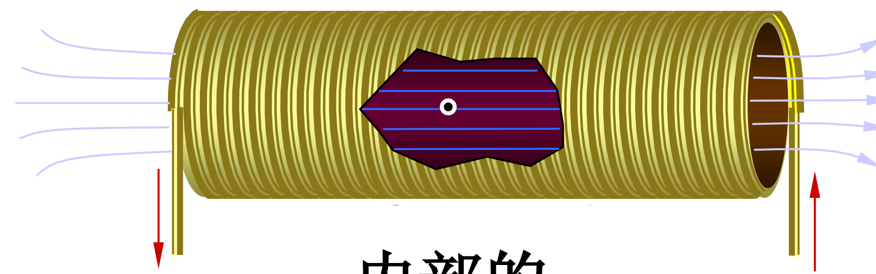
安培环路定理的应用举例

$$\oint \quad =$$

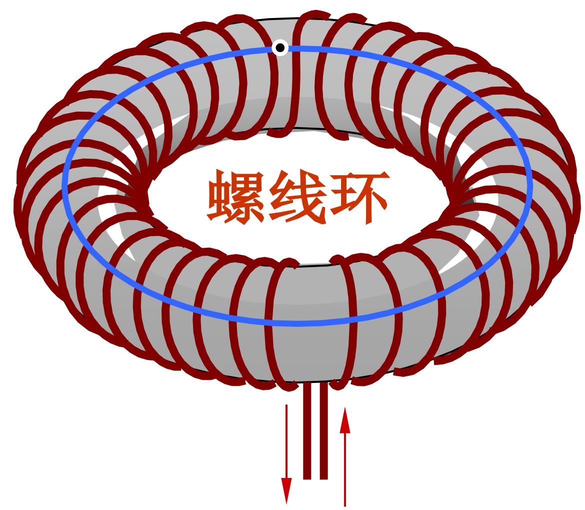


分布

螺线管

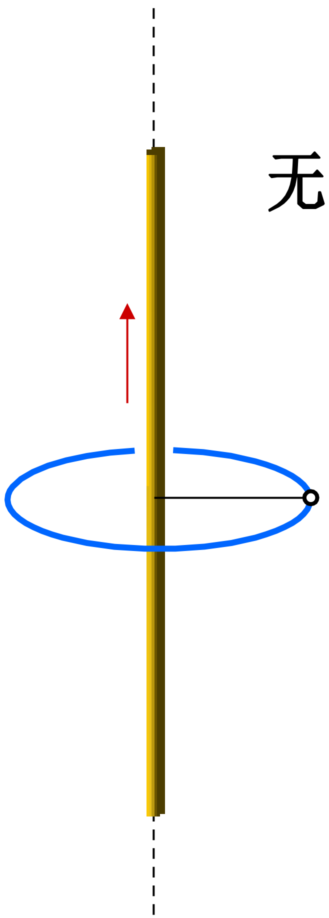


内部的



安培环路定理的应用举例

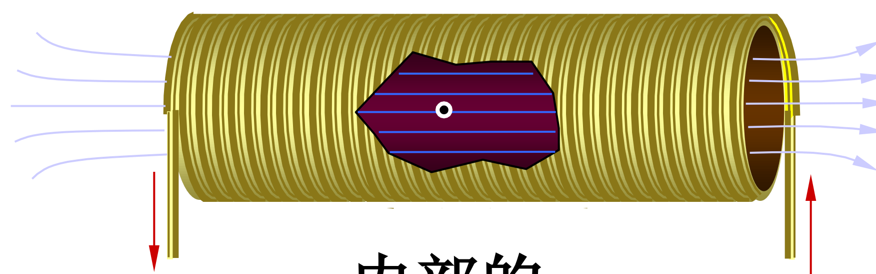
$$\oint \qquad =$$



无限长直电流的 $\boldsymbol{B}$ 分布

$$= \frac{\qquad}{\qquad}$$

螺线管



内部的

长直螺线管　外部磁场 $B \approx 0$

长直螺线管　内部沿轴线磁场

$$=$$

四、洛仑兹力

大小 sin

方向 $\times$

$\boxed{\quad \times \quad}$

（叉乘式中 带正负号）

五、安培定律

▲ 非均匀磁场中 $=\int \quad =\int(\quad \times \quad)$

所有 方向相同时 大小：$=\int \quad \sin$ 方向：右手螺旋或左手定则

▲ 均匀磁场中，载流导线受力

$=\int \quad =\int(\quad \times \quad)= \quad \times$

大小：$= \quad \sin$

方向：右手螺旋或左手定则

方向：电流起点→终点

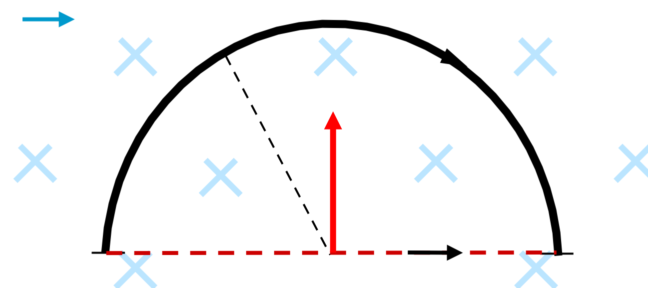
对载流直导线， 为直导线长度。

载流弯曲导线， 为导线 起点到终点 的 等效直线段的长度。

均匀磁场中载流线圈受磁场力为 0 。

▲ 均匀磁场中，一段载流 弯曲导线受磁场力等效于

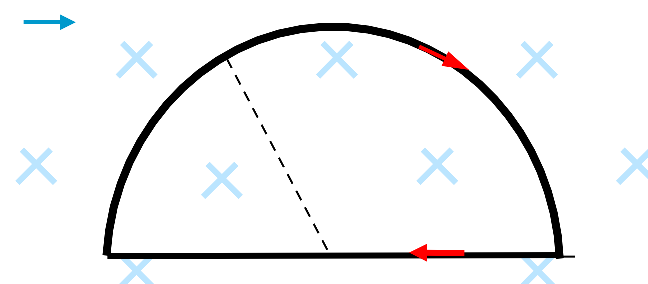
连接导线两端的载 同向电流 直导线所受磁场力



均匀且 $= 90^\circ$

$=$

$= \quad =$

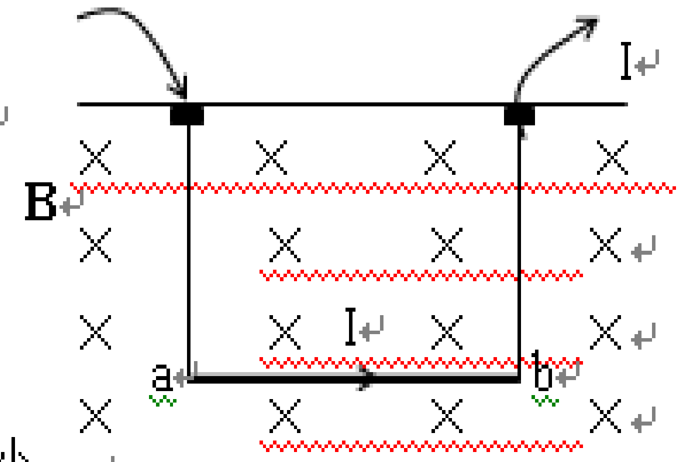


均匀磁场中载流线圈受磁场力为 0

1． 如图所示，一根长为 l 的载流导线。

此时悬线张力不为零（即安培力与重力不平衡）。

欲使 a b 导线与软线连接处张力为零则必须：



(A)改变电流方向，并适当增加电流强度。

(B)不改变电流方向，而适当增加电流强度。

(C)改变磁场方向，并适当增强磁感应强度 **B** 的大小。

(D)不改变磁场方向，适当减少磁感应强度 **B** 的大小。 [　　　　]

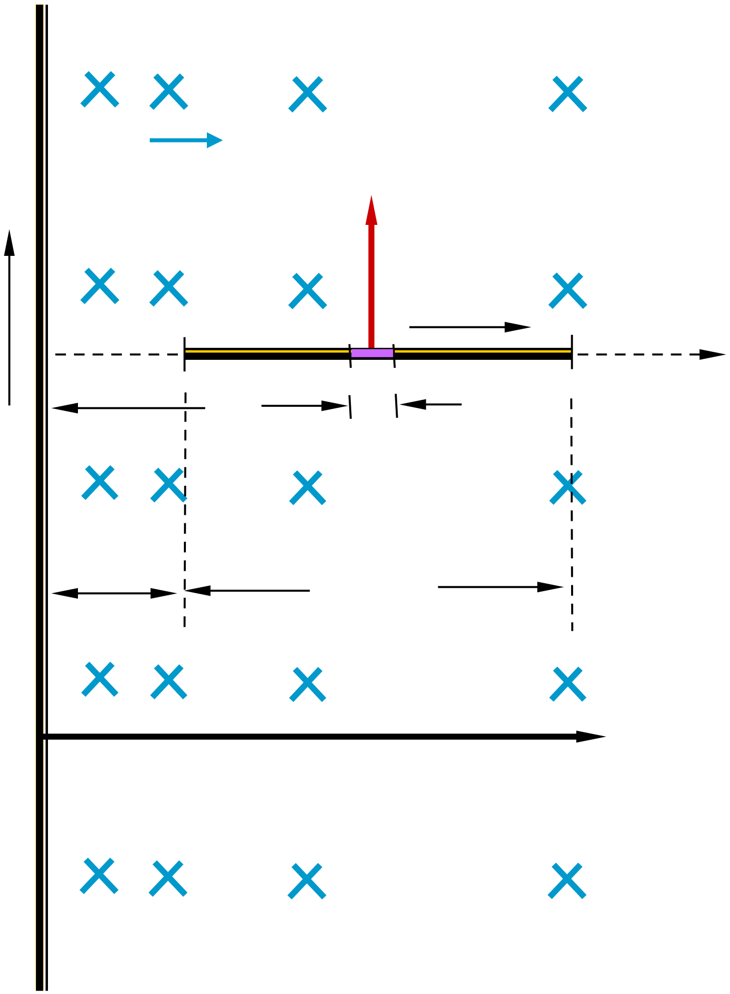
导线受向下重力:$G = mg$， 向上安培力:$F = BIl$

悬线张力不为零 $\Rightarrow F_{合} = G - F > 0$

$\therefore F$,但方向不变 $\Rightarrow B$ (方向不变)或 I （方向不变

l ，G、F同时增大，不合适

在无限长直电流　的磁场中，有一段长度为　载流为　的导线，导线与　垂直，近端距　为　.　导线　所受磁力



解法提要

的磁场分布为

$=$ —— ⊗

上任一段电流元受的力

$= \quad \sin \quad = 90^{\circ}$

$=$ —— 垂直向上

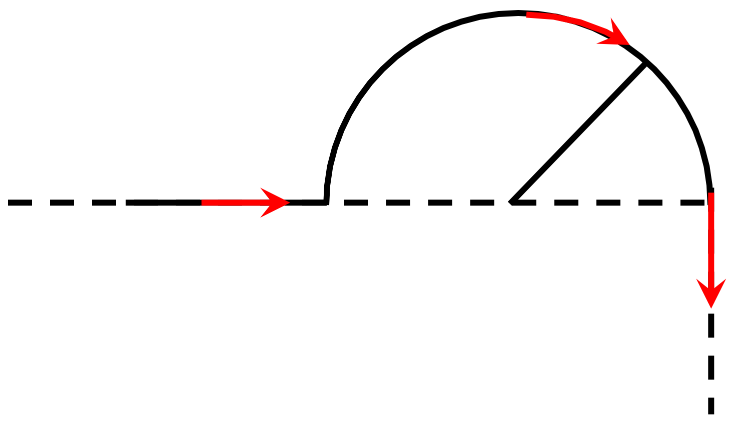
$= \int \quad =$ —— $\int$ —

$=$ —— ln —— 垂直向上

计算量	磁感应强度	磁通量	安培力
计算方法	叠加法 $\vec{B}=\sum\vec{B}_i$ $\vec{B}=\int d\vec{B}$ 注意： 1. 首先要确定有几个磁场； 2. 其次要选择正确的磁场公式； 3. 还要注意叠加时方向的影响.	均匀磁场 $\Phi_m=\vec{B}\cdot\vec{S}$ $=BS\cos\theta$	均匀磁场 直载流导线 $\vec{F}=I\vec{l}\times\vec{B}$ 弯曲载流导线 $\vec{F}=I\vec{l}_{a\to b}\times\vec{B}$ 当 $\vec{l}\perp\vec{B}$ 时，$F=IlB$ 方向由叉乘或左手定则判定
	安培环路定理 $\oint_l\vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0\sum_{l\text{内}}I_i$ 解题方法（三步曲）： 1. 分析场的对称性； 2. 取闭合环路并确定绕向（同$\vec{B}$ 线方向）； 3. 由定理列方程求解.	非均匀磁场 $d\Phi_m=\vec{B}\cdot d\vec{S}$ $=B\cos\theta dS$ $\Phi_m=\int_S\vec{B}\cdot d\vec{S}$ $=\int_S BdS\cos\theta$ 1. 取面元 $d\vec{S}$； 2. 求元通量 $d\Phi_m$； 3. 积分求通量。	非均匀磁场 $\vec{F}=\int_l(Id\vec{l}\times\vec{B})$ 1. 确定磁场分布、受力对象； 2. 沿 I 取微元 $d\vec{l}$， $d\vec{F}=Id\vec{l}\times\vec{B}$ $dF=IdlB\sin\theta$ 3. 积分求力，判断方向 $\vec{F}=\int_l d\vec{F}$ $F=\int_l dF$

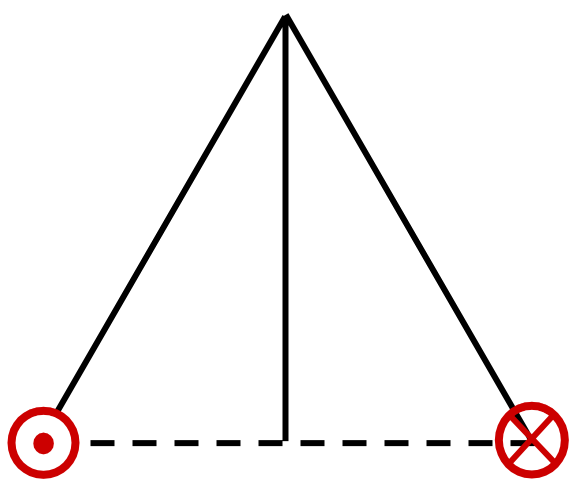
1. 载流　　导线，

求　　的大小和方向。

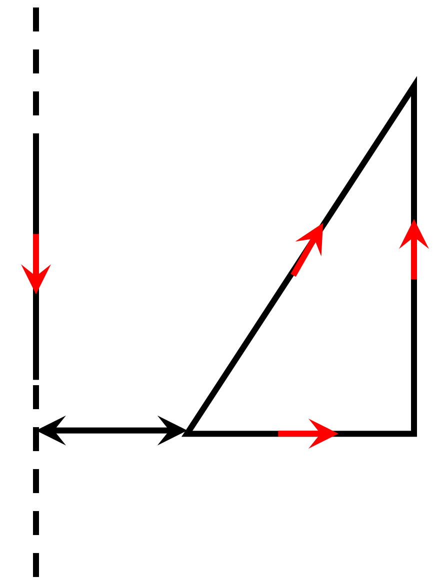


2. 长直载流　　　　　　　　导线，

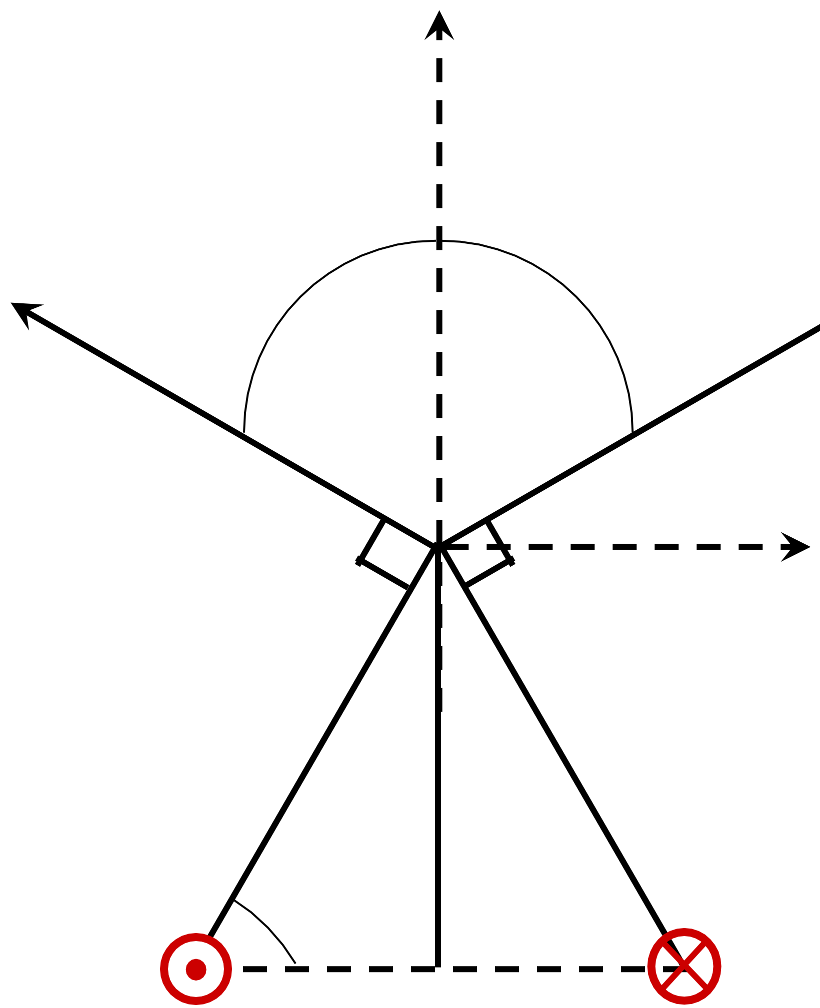
求　　p的大小和方向。



3. 如图，求 BC 和 CA 边所受磁力大小和方向。



题：长直载流　　　　　　导线，求　$_p$的大小和方向。



$$\cos\theta = \frac{l}{r} \quad B_1 = B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$B_{Px} = B_2 \sin\theta - B_1 \sin\theta = 0$$

$$B_P = B_{Py}$$

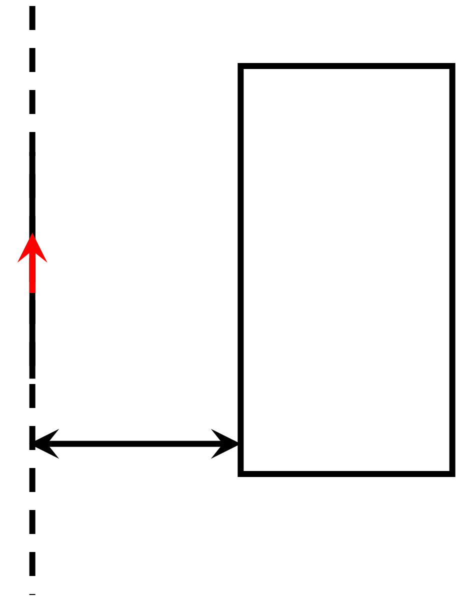
$$= B_1 \cos\theta + B_2 \cos\theta$$

$$= 2B_1 \cos\theta = 2\frac{\mu_0 I}{2\pi r}\frac{l}{r}$$

$$= \frac{\mu_0 I l}{\pi r^2}$$

方向：y 轴正向

4. 如图，求矩形线框中的磁通量。

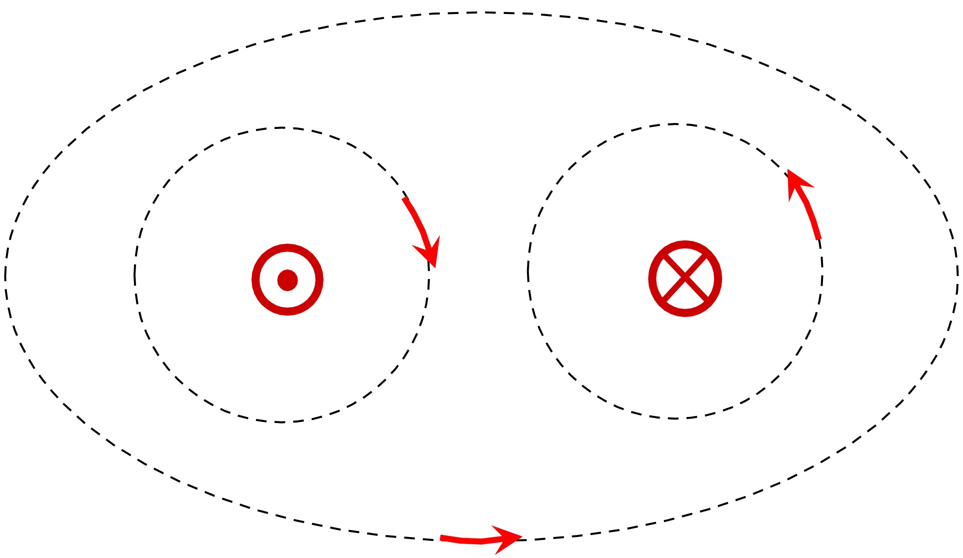


5. 如图，填空：

$\oint \qquad =$ ______

$\oint \qquad =$ ______

$\oint \qquad =$ ______



电磁感应

回路中产生感应电流（电动势）必要条件是要有磁通量的变化！

一、电磁感应基本定律

1、楞次定律——判断感应电流或感应电动势的方向

感应电流产生的磁场，总是反抗回路中原磁通量的变化。

2、法拉第电磁感应定律——计算感应电动势的大小

数学表达式：感应电动势 $= - \overline{\qquad}$

▲ 负号是楞次定律的数学表达。

▲ 匝线圈 $= - \overline{\qquad} = - \overline{\qquad} = - \overline{\qquad}$

磁链 $=$ 均匀磁场 $= \quad = \vec{\ } \cdot \vec{\ }$

非均匀磁场 $= \quad = \int \vec{\ } \quad \vec{\ }$

二、两类电动势

1、动生电动势 ——计算导线棒或线圈运动产生的感应电动势

- 动生电动势的公式 $\mathscr{E}_{动生} = \int \vec{\ } \times \vec{\ } \cdot \vec{\ }$

方向：

- 常用公式 $\boxed{\mathscr{E}_{动生} = \int \quad \sin \quad \cos}$ $\boxed{\vec{\ } \times \vec{\ } \text{ 的方向}}$

式中 是$\vec{\ }$与$\vec{\ }$的夹角， 是$\vec{\ } \times \vec{\ }$与$\vec{\ }$的夹角。

- 微元 $\vec{\ }$ 沿运动导线棒取，积分沿棒长方向进行。
- 运动导线棒产生电动势的必要条件：切割磁场线。
- $\boxed{\mathscr{E}_{动生} = \int \quad \perp}$ 或 $\boxed{\mathscr{E}_{动生} = \int \quad \perp}$

也可构造闭合回路求解

$\mathscr{E}_{动生}$方向：导体内部正电荷运动方向

可通过 $\vec{\ } \times \vec{\ }$ 判断