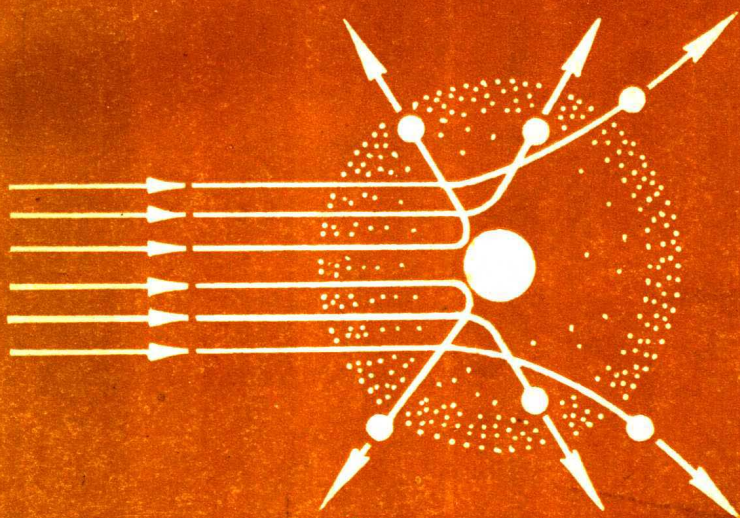


高中物理学习指导

第三册

北京师范大学附属中学物理教研组 编



科学出版社

高中物理学习指导

第三册

北京师范大学附属中学物理教研组 编

科学出版社

1988

内 容 简 介

《高中物理学习指导》共分三册，是根据高中《物理》课本甲种本学习的要求及学生复习的需要编写的。每章都包括基本知识、问题辅导、典型例题、重要的学生实验及练习题各部分。

它的内容系统全面，尤其对基本概念、难点和核心问题的分析十分透彻细致。本书为《高中物理学习指导》的第三册，可供高中学生学习、教师教学和高三总复习用，也适于自学青年参阅。

高中物理学习指导

第 三 册

北京师范大学附属中学物理教研组 编

责任编辑 姜淑华

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

北 京 印 刷 一 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

•

1983年7月第 一 版

开本：787×1092 1/32

1983年7月第一次印刷

印张：6 3/8

印数：0001—20,660

字数：145,000

ISBN 7-03-000664-X/O·179

定价：1.85元

目 录

第一章 磁场	1
一、学习要求	1
二、基本概念及基本规律	1
三、问题辅导	4
四、典型例题	13
五、练习题	24
第二章 电磁感应	30
一、学习要求	30
二、基本概念及基本规律	30
三、问题辅导	32
四、典型例题	43
五、练习题	55
第三章 交流电	60
一、学习要求	60
二、基本知识	60
三、问题辅导	64
四、典型例题	73
五、练习题	79
第四章 电磁振荡和电磁波	84
一、学习要求	84
二、基本知识	84
三、问题辅导	86
四、学生实验	90
五、典型例题	92
六、练习题	94

第五章 光的传播	98
一、学习要求	98
二、基本概念和基本规律	98
三、问题辅导	107
四、学生实验	115
五、典型例题	117
六、练习题	126
第六章 光的本性	130
一、学习要求	130
二、基本概念和基本规律	130
三、问题辅导	139
四、学生实验	144
五、典型例题	145
六、练习题	152
第七章 原子结构	156
一、学习要求	156
二、基本内容	156
三、问题辅导	162
四、典型例题	164
五、练习题	170
第八章 原子核	172
一、学习要求	172
二、基本概念和基本规律	172
三、问题辅导	180
四、典型例题	182
五、练习题	189
练习题答案	193

第一章 磁 场

一、学 习 要 求

1. 应知电流(或运动电荷)周围存在着磁场,磁体的磁场由磁体内安培电流产生.

2. 掌握磁感应强度这一概念,明确怎样用磁力线描写磁场的性质.

3. 掌握磁通量的概念及磁通量的计算公式 $\phi = BS \cos \theta$.

4. 对于电流产生的磁场,应掌握判定各点磁感应强度的方向的方法,了解计算无限长直导线电流所产生的磁场中各点磁感应强度大小的公式.

5. 掌握磁场对通电导体的作用力的公式,并了解其实际应用.

6. 掌握磁场对运动电荷的作用力的公式,并了解其实际应用.

二、基本概念及基本规律

1. 磁感应强度

是描写磁场性质的物理量,用字母 B 表示,是矢量.

(1) 定义 把放在磁场中某点小磁针 N 极所受的磁场力的方向定义为该点磁感应强度的方向. 把垂直于磁场方向,放置于磁场中某点的一小段通电直导线所受的磁场力 F ,

跟导线中电流强度和这段导线长度的乘积 Il 的比值定义为该点磁感应强度的大小,

$$B = \frac{F}{Il}.$$

(2) 单位 在国际单位制中, 磁感应强度的单位为特斯拉, 简称特, 符号为 T,

$$1 \text{ 特} = 1 \frac{\text{牛}}{\text{安} \cdot \text{米}}.$$

2. 磁力线

为了形象地表示出磁场中各点磁感应强度的大小和方向, 人为地画出一组曲线。它们是有方向的曲线, 曲线上每一点的切线方向都跟该点的磁感应强度方向一致。

(1) 性质 磁力线是不相交的闭合曲线。如果磁场是由磁体产生的, 则磁力线由 N 极出, S 极入。

(2) 描述磁场的方法 磁力线的切线方向表示该点的磁感应强度的方向; 磁力线的疏密程度表示磁感应强度的大小。

3. 磁通量

在匀强磁场中, 垂直于磁场的平面的面积 S 与磁感应强度 B 的乘积叫做穿过这个面的磁通量。磁通量用字母 ϕ 表示, 简称磁通,

$$\phi = BS.$$

如果平面与磁场不垂直, 则

$$\phi = BS \cos \theta.$$

式中 θ 为平面和磁场的中性面(与磁场垂直的面)的夹角, 或者说是磁场和平面的法线(垂直于平面的线)之间的夹角。

在国际单位制中,磁通量的单位是韦伯,简称韦。

$$1 \text{ 韦} = 1 \text{ 特} \cdot \text{米}^2.$$

为了形象地说明磁通量,常规定:通过垂直于磁场方向单位面积磁力线的条数和该处的磁感应强度数值相同,这样就可以用通过一个面的磁力线条数表示这个面的磁通量。

由上述可知:磁感应强度等于垂直磁场方向的单位面积的磁通量,所以磁感应强度也叫磁通密度,简称磁密。

4. 右手螺旋定则(安培定则)

电流产生的磁场中,判定磁感应强度方向应使用右手螺旋定则(安培定则)。

(1) 直导线中电流产生的磁场 用右手握住导线,大拇指指电流方向,弯曲的四指指磁力线的方向。

(2) 线圈(螺线管)中电流产生的磁场 用右手握住导线,四指指电流方向,大拇指指线圈内部的磁力线的方向。

5. 无限长直导线电流产生的磁场

各点磁感应强度的计算公式

$$B = k \frac{I}{r}.$$

I 为电流强度; r 为所研究的点与直导线间的距离; k 为常数,在国际单位制中, k 值为 2.0×10^{-7} 牛/安²。

6. 磁场对通电导线的作用力(安培力)

(1) 方向 力 F 垂直于磁感应强度 B , 也垂直于电流强度 I , 即力 F 垂直于 B 和 I 所决定的平面。 F, B, I 间的具体方向关系遵从左手定则:伸开左手,令 B 的方向垂直指向手心,四指指 I 的方向,大拇指指力 F 的方向。

(2) 大小 $F = IlB \sin \theta$.

式中 l 为在磁场中受力的导线的长度, θ 为 I 和 B 之间的夹角.

7. 磁场对运动电荷的作用力(洛伦兹力)

(1) 方向 同安培力.

(2) 大小 $f = qvB \sin \theta$.

式中 q 为电荷所带电量, v 为电荷运动速度, θ 为 v , B 之间的夹角.

三、问题辅导

1. 关于“方向”的几个问题

① 图 1-1(a) 中 A 点磁感应强度指向什么方向? 有的同学用手一比, 就说 A 处磁感应强度向左, 这就错了. 因为运用安培

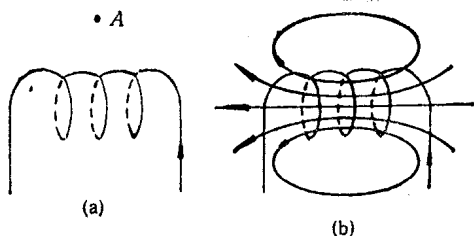


图 1-1

定则, 当四指指电流方向时, 大拇指指的是圈内磁感应强度的方向, 而 A 点在线圈外面. 从图 1-1(b) 可以看出, A 点的磁感应强度方向与圈内相反, 所以它应该向右.

② 在图 1-2(a) 中, 磁感应强度的方向竖直向上, 导线 ab , bc 应受什么方向的磁场力? 对于这种处于立体空间的问

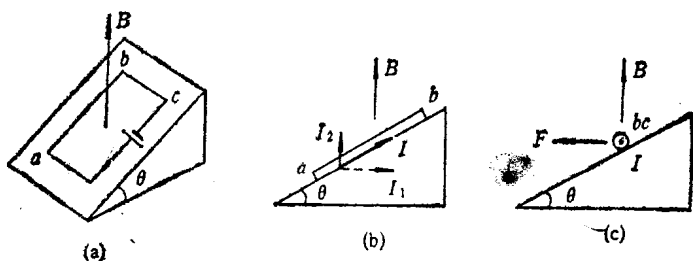


图 1-2

题,如果一开始就用左手定则来判断,很容易出错。最好先画出剖面图,把立体图改画成平面图,就好判定了。为判断 ab 段受力方向,应画出图 1-2(b),根据 F 垂直于 B, I 所决定的平面, ab 受的力 F 应与纸面垂直,现在 I 与 B 不垂直,我们可以把 B 或 I 分解。比如我们分解 I ,可以把它分解为水平向右的分量 I_1 和竖直向上的分量 $I_2, I_2 \parallel B$,不受力,所以 I 受的磁场力即分量 I_1 受的磁场力,这样再用左手定则去判断,可知 ab 受的磁场力垂直纸面指向读者。为判断 bc 段受力方向,画出图 1-2(c)。 B, I 决定的平面竖直面,所以 bc 受的磁场力必在水平方向,运用左手定则,可知它水平向左。

③ 图 1-3(a) 中的阴极射线(从阴极被撞击出来的高速电子流)在图示的磁场作用下应向哪个方向偏转?

解决这类问题时应注意:左手定则中四指的方向是电流的方向,即正电荷运动的方向。这里,阴极射线向右发射,即电子向右运动,相当于电流向左流。所以,四指应指左方,如图 1-3(b)所示,而大拇指指的方向就是运动电荷实际受的磁场力的方向(不论运动电荷是正的还是负的),所以电子受的磁场力向下,即阴极射线向下偏转。

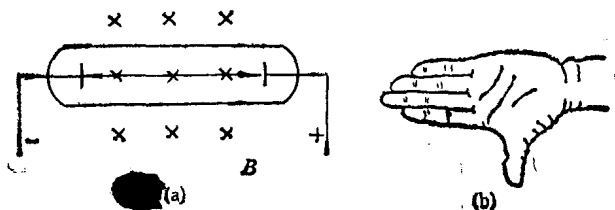


图 1-3

2. $F = I l B \sin \theta$ 中的 θ 是 I, B 间夹角

解题时不要随便从题目中找到一个角就往公式里代。运用安培力公式时，必须看清 I 和 B 之间夹角是多大。如图 1-4(a) 中矩形线圈 $MNPQ$ 的

$$MN = PQ = L_1,$$

$$NP = MQ = L_2,$$

放在磁感应强度为 B 垂直纸面向里的匀强磁场中，如果在线圈中通以电流强度为 I 、方向如图所示的电流，线圈在图 1-4(a) 所示的位置时，有几个边受磁场力？各力之值等于多

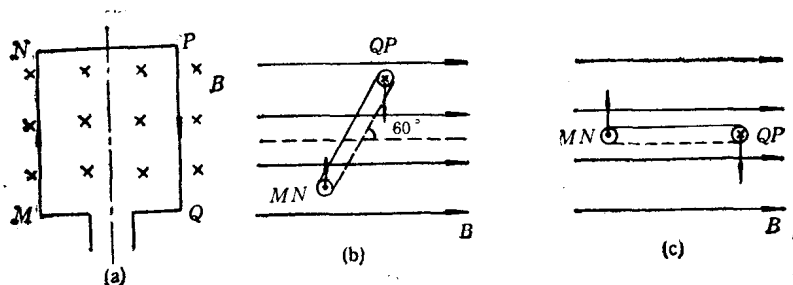


图 1-4

少？线圈受的力偶矩等于多少？如其它条件不变，把线圈绕 OO' 轴转到与纸面成 30° 角和与纸面垂直时，上述各答案又应是多少？

在线圈处于图 1-4(a) 所示位置时，从图中很易看出各边中的电流方向都和 B 垂直，所以四个边都受磁场力， F_{MN} 与 F_{PQ} 的值都是 IL_1B ，但 F_{MN} 向左， F_{PQ} 向右。因 B 值恒定， I 处处相等，所以 MN, PQ 上受的磁场力是均匀的，可以认为每个边上受的磁场力的合力都作用在它们的中点，因此， F_{MN} 与 F_{PQ} 等大、反向，作用在一条直线上，它们形成的力偶矩为零。同理， F_{MQ} 与 F_{NP} 的值都是 IL_2B ， F_{MQ} 向下， F_{NP} 向上，它们的力偶矩也为零。

当线圈绕 OO' 轴转至与纸面成 30° 角时，从图(a)来分析就不方便了，对于这类问题一般进行下述方法的改画：把磁感应强度 B 的方向画在纸面上，如图 1-4(b)，即把图(a)中的由纸外指向纸里的 B 画成由左向右的，再从图(a)的上方俯视线圈，这样只看到 NP 边和 MN, PQ 的截面，在线圈与纸面成 30° 角时，它与磁场成 60° 角，把 NP 边和 MN, PQ 的截面画出来如图(b)所示。由图(b)可看到： NP, MQ 与 B 的夹角为 60° ，所以 F_{NP} 与 F_{MQ} 的值都是 $IL_2B\sin 60^\circ$ ，它们仍然等大、反向、作用在一条直线上，力偶矩为零； MN, PQ 与纸面垂直，故也与 B 垂直。所以 F_{MN}, F_{PQ} 的值仍是 IL_1B ，但它们的方向如图(b)所示，不再作用在一条直线上了。它们的作用线之间的垂直距离为 $L_2\cos 60^\circ$ ，所以这一对力产生的力偶矩为

$$\begin{aligned} M &= IL_1B \times L_2\cos 60^\circ \\ &= ISB\cos 60^\circ, \end{aligned}$$

S 为线圈面积。

当线圈与纸面垂直时，改画的图如图 1-4(c) NP 与 MQ

都与 B 平行, 这两个边不受力, F_{MN}, F_{PQ} 的值仍是 IL_1B , 这两个力之间的垂直距离为 L_2 , 它们的力偶矩为

$$M' = IL_1L_2B = ISB.$$

交直流电动机中的电枢线圈和我们这里分析的线圈类似。不过我们这里是把线圈放在几个特殊位置来分析它受力的情况, 电动机中的线圈是在磁场力作用下转到各个位置罢了。从上面的分析可知: 线圈的一组对边(类似于 MQ, PN)除一个位置外都受磁场力, 但始终不提供力矩, 不会促使线圈转动; 另一组对边(类似于 MN, PQ)受的力大小总是不变的。但随着线圈的转动, 力臂在变化, 所以驱动线圈转动的力矩在变化, 转至线圈平面与磁场垂直时(如图(a)的位置)两边受力的值虽未变, 但力矩减小为零, 这是个平衡位置。交直流电动机能够持续转动, 是因为线圈靠惯性可以转过这个位置, 而过了这个位置之后, 电机的结构使线圈中的电流改变了方向, 磁场力的力矩驱使线圈继续转动。

3. 关于电、磁学与力学的综合问题

解决这类电磁与力学的综合问题时, 应从力学问题出发, 仍从第一册中解决动力学问题的三个途径来考虑, 不过在分析力时, 除重力、弹力、摩擦力外, 应注意我们研究的对象是否还受静电力和磁场力。在研究功的问题时, 应注意到洛伦兹力与运动电荷的速度方向垂直时, 不做功。

例① 在图 1-5(a)所示的装置中, 一条长为 l 的不可计质量的细线, 上端固定在 O 点, 下端系一个质量为 m , 带电量为 $+q$ 的金属小球。整个装置置于水平向右的、电场强度为 E 的匀强电场和垂直纸面向里的、磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 用绝缘夹将球拉至图示位置 A , 再由静止状态释放, 若小球能达到最低点 C , 求它在第一次经过 C 点时线中拉力 T 。

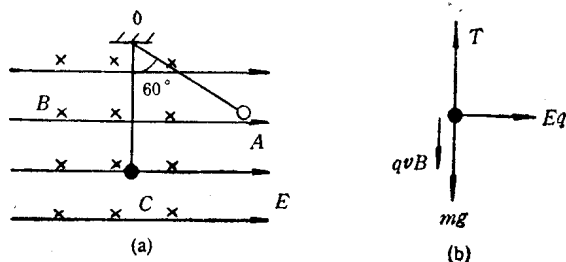


图 1-5

求球在 C 点这一位置时(而不是一个过程)线的拉力, 应该用牛顿第二定律, 因此要先分析球受的力. 球受重力 mg 、线的拉力 T 、电场力 Eq 、磁场力 qvB , 如图 1-5(b) 所示. (qvB 的方向向下是因为球第一次经过 C 点是从右方摆过来, 对应的电流方向向左; 若讨论第二次经过 C 点的情况, 则球从左方摆来, 对应电流的方向向右, qvB 将变成向上的, 这一点在分析问题时应注意.) Eq 使球产生切线方向的加速度, T, qvB, mg 的合力使球产生向心加速度, 因而有

$$T - mg - qvB = m \frac{v^2}{l}.$$

为求 T 值, 需要求出球在 C 点的速度 v , 为此得研究球从 A 运动到 C 的这个过程. 在此过程中, 球受力的大小和方向都是变化的, 不宜用牛顿第二定律和动量定理进行研究. 因为 T 和 qvB 这两个变化着的力都与运动方向垂直但不做功, 所以用动能定理讨论比较方便. 在此过程中, mg 做正功, Eq 做负功, 所以有

$$mgl(1 - \cos 60^\circ) - Eq l \sin 60^\circ = \frac{1}{2}mv^2.$$

解出 v , 代入前一式, 可得

$$T = 2mg - \sqrt{3}Eq + \frac{qB}{m} \sqrt{m^2 g l - \sqrt{3} m E q l}.$$

4. 值得注意的几个问题

① 前面我们求图 1-4 中, 通电单匝矩形线圈在磁场中受的磁场力的力矩时, 得出力矩的值 $M = ISB \cos \theta$. θ 为线圈平面与磁场方向的夹角. 如果线圈不是矩形的, 这个公式还能不能用呢? 为此我们研究图 1-6 中任意形状的线圈. 可以

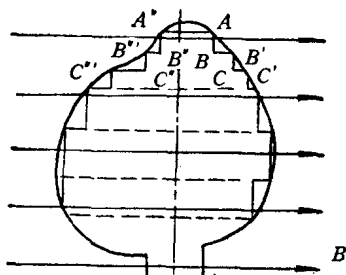


图 1-6

把线圈的曲线边缘看成由折线 $ABB'CC' \dots$ 组成, 已经知道, $A''A$, BB' , CC' 等线段不仅在图 1-6 所示的位置不受力, 而且在其它位置时它们受的磁场力也不会形成使线圈转动的力矩, 因此可以不讨论它们. AB 和它对应的 $A''B''$ 则相当于矩形线圈上提供力偶矩的对边, 所以它们所受磁场力的力偶矩应为 $IS_{A''ABB''} B \cos \theta$. 同理, $B'C$ 和它对应的 $B'''C''$ 受的磁场力的力偶矩为 $IS_{B'''B'CC''} B \cos \theta$, $\dots$. 这些力偶矩的方向显然是相同的, 所以线圈所受总力矩为 $I(S_{A''ABB''} + S_{B'''B'CC''} + \dots) B \cos \theta$, 括号中的各面积之和就是图 1-6 中折线所围成的面积, 当我们把这个折线的“段”分得足够多, 并使每段长度足够小的时候, 折线部分的面积就与线圈的面

积足够接近，即

$$M = ISB \cos \theta.$$

如果线圈由 N 匝导线缠成，则

$$M = NISB \cos \theta.$$

由上述推导可知，从矩形线圈推出的磁力矩公式，可以推广使用于任意形状的线圈。物理学中与之相类似的问题很多。当我们从一个特殊的简单情况出发导出一个关系式后，就应该考虑它能不能推广到一般的情况。但并非任何问题都能够推广，如果经过证明可以推广，我们就取得了使用范围更广的结论；如果证不出，切不可任意使用，否则就会犯错误。

② 图 1-7 是“速度选择器”的示意图，在正交电磁场的两端各有一条狭缝 M , N , M 与 N 正对着，且 MN 与 B , E 三者互相垂直，从狭缝 M , 沿 MN 方向射入场中的带电粒子，只有速度满足某一条件时，才能受到等大、反向的电场力和磁场力，因而不发生偏转，恰从 N 缝射出，所以“速度选择器”可以把带电粒子流中具有某一速度的粒子选择出来¹⁾。我们需要考虑

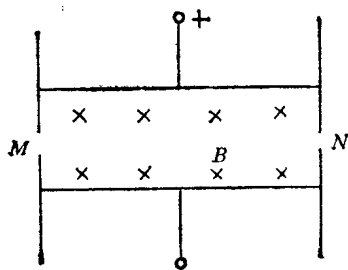


图 1-7

1) 缝有一定的宽度，选出的速度应有一个范围，缝越窄，范围越小，可近似看成是一个值。

的是：令不同质量、电量的粒子通过同一个选择器时，“选”出的速度一样不一样呢？如果原来让正离子通过这个“选择器”，现在改用负离子，若磁场的方向不变，要不要改变电场的方向呢？对这一类问题，都需要仔细的想一想，不要“想当然”轻易地得出结论。对第一个问题应实际计算：带电粒子受的电场力为 Eq ，磁场力为 qvB ，要想粒子不偏转，需这两个力等大、反向，得满足

$$Eq = qvB,$$

即

$$v = \frac{E}{B}.$$

可见“选”出的速度与粒子的质量、电量都没有关系，只取决于电场强度和磁感应强度的值。要想改变“选”出的速度，必须改变 E 或 B 的值。对第二个问题，应想到，正离子换成负离子，如果磁场方向不变，磁场力的方向应与原方向相反，因为它带的电性由正变为负，当电场的方向不改变时，离子受的电场力也改成与原方向相反，电场力和磁场力都变成与原来反向的了，所以它们两者的方向还是相反，仍然互相平衡故不应改变电场的极性。

③ 两个电子以不同的速率沿与磁场垂直的方向进入同一磁场，它们都作匀速圆周运动，哪个电子的周期短？这个问题和前面说的类似，不能轻易认为速度大的走得快，周期短，而造成错误。需要具体计算：电子因受洛伦兹力而作圆周运动，应有

$$qvB = m \frac{v^2}{R}.$$

$$R = \frac{mv}{Bq}.$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi \cdot mv}{v \cdot Bq} = \frac{2\pi m}{qB}.$$