



丛书主编 陈东旭

2006

同步辅导用书

高二 下册

依据教育部最新《教学大纲》编写

学习的艺术

物理

吉林文史出版社

学习的艺术

物 理

江西金太阳教育研究所

主 编:谭锦生

副主编:琚烈辉 黄正玉 刘占想 王晓东

编 委:(按姓氏笔划排列)

尹增贵	王晓东	刘占想	孙梦家
吴立林	张玉洁	张清辉	杨志华
肖平习	周玉忠	欧阳小波	钟瑞文
夏 川	高 莎	盛新发	黄正玉
彭 璐	琚烈辉	谭锦生	

吉林文史出版社

图书在版编目(CIP)数据

学习的艺术. 高二物理. 下册 / 陈东旭主编. —长春: 吉林文史出版社, 2005. 10
ISBN 7-80702-311-2

I. 学... II. 陈... III. 物理课—高中—教学参考资料 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 115211 号

书 名 学习的艺术(高二)

丛书主编 陈东旭

责任编辑 周海英

出版发行 吉林文史出版社

地 址 长春市人民大街 4646 号 130021

印 刷 南昌市印刷三厂

规 格 787 mm × 1092 mm

开 本 16 开本

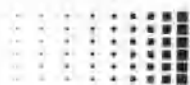
印 张 125 印张

字 数 3625 千字

版 次 2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-80702-311-2

定 价 150.00 元



成功者说：“学而有道”。那么，何为学之“道”？“道”在何方？让我们一起来翻开金太阳教育研究所倾情打造的《学习的艺术》一书吧！书中的讲解深入浅出，翔实高效；练习新颖别致，难易适中，这就是问题的答案。

古人常说，授人以鱼，不如授人以渔。《学习的艺术》这套丛书，在经过长期、广泛、细致地调研的基础上，集合全国一大批教学一线的名师，将他们的教学心得、复习方法和应试技巧融于书中，让大家在学习中懂得更多的艺术，考试更轻松。

本丛书以课时为编写单元，与实际教学保持良好同步，教师与学生使用很方便。在内容上既有知识的辅导、技巧和方法的指导，又有生动活泼的相关情景，体现实用性与趣味性的紧密结合。

《学习的艺术》高二物理栏目设置及特点如下：

课前导航 兴趣是学习的动力。我们在每一讲的开始，根据本讲内容设置了一则趣味性的阅读材料，并针对性地设置了2-3个问题。学生通过对材料的阅读，能激发学习的兴趣及对问题探究的欲望。

知识精析 经验丰富的一线教师，根据《教学大纲》的要求并结合他自己的实际教学经验，对本讲知识进行归纳性梳理，精析重点，突破难点。翻开本书你就会发现，这里精析的重、难点内容，正是你感到困难的、难以理解的内容，读后能使你茅塞顿开。

方法指导 有道是“技巧胜于力量”。我们聘请了经验丰富、指挥有度的教练，给你传授作者经验和破敌绝招。在这里，经验丰富的一线教师给你介绍对规律的理解、记忆及对知识的总结、归纳等方面的技巧和方法；以例题为主线分类，介绍分析和解决实际问题的方法，重要的方法还设置了变式训练题，使你能触类旁通，举一反三，熟练生巧。

互动平台 通过诙谐幽默的师生或生生对话，在一种轻松的氛围中，解决本讲知识的疑点、学习中的困惑及容易出现的典型错误，达到释疑、解惑、纠错的目的。

高考链接 在每一单元的单元小结中，通过高考链接栏目，分析本单元知识在以前的高考中是怎么考的，在以后的高考中可能的考查方向，目的是让同学们知道本单元知识在高考中的表现形式，尽早熟悉高考题型，了解高考命题思路和动向。

同步达标 设置了与书配套的梯度性很强的训练题，分基础闯关和拔高训练两个层次。基础闯关题重在构建知识，巩固知识、应用和迁移知识；拔高训练题则注重综合应用，供学有余力的同学选做。

一位名师能引领你走进科学的殿堂，一本好书能改变你一生的命运。认真研读这套丛书吧，拥有她，你会领略到学习的艺术，她会成为你的良师益友，会照亮你前进的道路。愿《学习的艺术》助你顺利走向高考。

本书读者如有疑难问题，可来信、来电与我们联系，本研究所将及时帮您排忧解难。联系方式见书后。

编者

2005年10月



Contents

课时1 磁场 磁感线	(1)
课时2 安培力 磁感应强度	(3)
课时3 电流表的工作原理	(6)
课时4 磁场对运动电荷的作用	(8)
课时5 带电粒子在磁场中的运动 质谱仪	(10)
课时6 回旋加速器	(13)
课时7 带电粒子在复合场中的运动	(15)
课时8 磁场单元小结	(18)
课时9 电磁感应现象	(22)
课时10 法拉第电磁感应定律——感应电动势的大小	(24)
课时11 楞次定律——感应电流的方向	(27)
课时12 楞次定律的应用	(29)
课时13 导体切割磁感线运动问题	(31)
课时14 自感现象、日光灯原理	(34)
课时15 电磁感应单元小结	(37)
单元测试卷	(40)
课时16 交变电流的产生和变化规律	(43)
课时17 表征交变电流的物理量	(45)
课时18 电感和电容对交变电流的影响	(47)
课时19 变压器	(48)
课时20 电能的输送	(50)
课时21 交变电流单元小结	(52)
课时22 电磁振荡	(55)
课时23 电磁振荡的周期和频率	(57)
课时24 电磁场和电磁波	(58)
课时25 无线电波的发射和接收 电视 雷达	(60)
课时26 电磁场和电磁波单元小结	(61)
单元测试卷	(63)
期中测试卷	(65)



Contents

课时27 光的直线传播	(68)
课时28 光的折射	(70)
课时29 全反射	(74)
课时30 光的色散	(76)
课时31 实验:测定玻璃的折射率	(79)
课时32 光的传播单元小结	(82)
课时33 光的干涉	(85)
课时34 光的衍射	(88)
课时35 光的电磁说	(90)
课时36 光的偏振 激光	(92)
课时37 实验:用双缝干涉测光的波长	(94)
课时38 光的波动说单元小结	(97)
单元测试卷	(100)
课时39 光电效应 光子	(103)
课时40 光的波粒二象性	(106)
课时41 能级	(108)
课时42 物质波	(112)
课时43 量子论初步单元小结	(114)
课时44 原子核式结构 原子核	(118)
课时45 天然放射现象 衰变	(121)
课时46 放射性的应用与防护	(124)
课时47 核反应 核能	(126)
课时48 裂变	(129)
课时49 轻核的聚变	(131)
课时50 原子核单元小结	(134)
单元测试卷	(137)
期末测试卷	(140)
参考答案	(143)

课时1 磁场 磁感线



课前导航

战国时期,我国人民已经发现了磁石指南北的特性,由此制造出了指示方向的仪器——司南。司南由一把光滑的磁勺和刻着方位的铜盘组成,使用时,用手转动勺子,勺子静下来时,勺把所指的就是南方。后来,人们又用磁针指南,制成指南针。到了北宋,指南针被用于航海事业。宋朝的海船都装有罗盘针,无论白天黑夜、阴雨大雾,船只都能准确识别航向。南宋时候,指南针经由阿拉伯人传到欧洲,为欧洲航海家发现美洲和实现环球航行提供了重要条件。



司南

请你思考:

1. 磁体周围的磁感线的分布图如何画?
2. 电流周围的磁感线的分布图如何?
3. 指南针为什么会有指示方向的作用?



知识精析

1. 磁场

(1) 磁场是在永磁体和通电导线周围空间存在的一种特殊形态的物质。

(2) 磁场的产生

- ① 磁体的周围产生磁场。
- ② 电流的周围也会产生磁场。

(3) 基本性质:

对置于磁场中的磁极、电流或运动电荷产生磁场力的作用。

磁体与磁体、磁体与电流、电流与电流间的相互作用均是通过磁场而产生的。

(4) 磁场的方向

规定:小磁针在磁场中静止时,N极所指的方向或小磁针N极受力的方向就是所在点的磁场方向。

2. 磁感线

(1) 所谓磁感线,是在磁场中画出的一些有方向的曲线,曲线上每一点的磁场方向都在该点的切线方向上。

(2) 磁感线的基本特征

① 磁感线的密疏表示磁场的强弱。磁感线上某点的切线方向就是该点的磁场方向。

② 磁感线不相交、不中断,是闭合曲线。在磁体外部,磁感线从N极指向S极;在磁体内部,磁感线从S极指向N极。

③ 磁感线是为了形象地描述磁场而假想的理想模型。在磁场中并不真实存在,不可认为有磁感线的地方才有磁场,没有磁感线的地方没有磁场。

3. 地磁场

(1) 地球本身是一个巨大的磁体,在它附近的空产生的磁场叫地磁场。

(2) 主要特点

① 地磁场的N极在地球南极附近,S极在地球北极附近。

② 地磁场的磁感应强度的水平分量(B_H)总是从地球南极指向北极;而竖直分量(B_V)则南北相反,在南半球垂直于水平面向上,在北半球垂直于水平面向下。

③ 在赤道上,距离地球表面高度相等的各点,其磁场强弱相同,且方向水平。

4. 安培定则

安培定则是用来确定通电导线周围的磁场方向的。

(1) 直线电流的磁场

用右手握住直导线,让伸直的大拇指所指的方向跟电流的方向一致,四指弯曲的方向就是磁感线的环绕方向。

说明:直线电流周围空间的磁场是非匀强磁场,距直导线越近,磁场越强;距直导线越远,磁场越弱。

(2) 环形电流的磁场

右手弯曲的四指方向和环形电流方向一致,伸直的大拇指所指的方向就是环形导线中心轴线上磁感线的方向。

(3) 通电螺线管的磁场

用右手握住螺线管,让弯曲的四指方向跟电流方向一致,伸直的大拇指所指方向为通电螺线管内部的磁感线方向。



方法指导

要学好本节知识,首先要熟悉常见磁场的磁感线分布,熟练掌握连结磁场方向和电流方向的“安培定

则”；其次培养空间想象能力，能把空间问题转化为平面问题。

由于观察方位的不同，同一个磁场的磁感线分布可能有多种画法。

以下是三种常用的电流磁场的特点及画法。

1. 直线电流的磁场：无磁极，非匀强，距导线越远处磁场越弱，画法如图 1-1 所示。

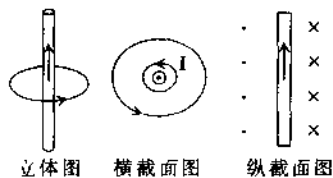


图 1-1

2. 通电螺线管的磁场：两端分别是 N 极和 S 极，管内是匀强磁场，管外为非匀强磁场，画法如图 1-2 所示。

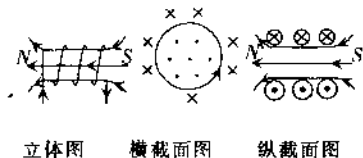


图 1-2

3. 环形电流的磁场：两侧是 N 极和 S 极，离圆环中心越远，磁场越弱，画法如图 1-3 所示。

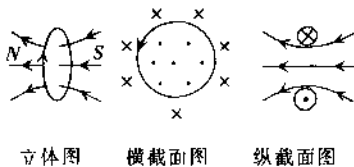


图 1-3

例 1 如图 1-4 所示，在螺线管内部、外部各有一小磁针。当 S 闭合时外部小磁针 N 极指向右侧，试标出内部小磁针的 N 极，并标出电源的正、负极。



图 1-4

解析：当 S 闭合后，在螺线管内部、外部产生磁场，磁场的方向在外部由 N 极到 S 极，在内部由 S 极到 N 极。由此可知，螺线管的左端为 N 极，右端为 S 极。所以内部的小磁针的左端为 N 极。根据安培右手定则可知电源的右端为正极，左端为负极。

变式训练 如果矩形线框 $ABCD$ 中通入的电流方向如图 1-5 所示，那么小磁针 I 和 II 将如何转动？

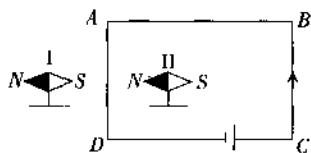


图 1-5

变式训练 若地磁场是由于地球表面带电引起的，则根据地磁场的特征可判断出地球表面带__电。

例 2 两根非常靠近且互相垂直的长直导线如图 1-6 甲所示，当通以图示方向的电流时，哪些区域的磁场最强？

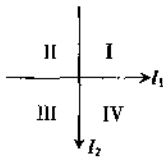


图 1-6 甲

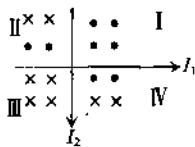


图 1-6 乙

解析：通电长直导线周围的磁感线是一系列不等距的同心圆，其方向由安培定则确定。这样可以确定 I、III 区域两电流产生的磁场方向是一致的，即 I、III 区域的磁场最强，如图 1-6 乙所示。

每一根直线电流都要在四个区域产生磁场，如果两电流在某区域的磁场方向相同，则该区域的磁场加强。

互动平台

育才老师与细心同学关于磁感线的对话

细心：老师，磁感线和电场线的不同之处是电场线不是闭合的，而磁感线是闭合的。那么磁体的内部就必然有磁感线穿过了？我们平常说磁感线从 N 极出发回到 S 极，指的是在磁体的外部吗？

老师：细心，你说得很对。在磁体外部的磁感线是从 N 极到 S 极，而在磁体内部的则是从 S 极到 N 极，故在讲磁感线的方向时必须指明是在磁体的外部还是内部。

粗心同学与细心同学关于确定小磁针在通电螺线管磁场中转动方向的方法的总结对话

粗心：要确定小磁针在通电螺线管磁场中如何转动，首先由安培右手螺旋定则确定哪一端是 N 极，哪一

端是S极,则不管小磁针在螺线管的外部还是内部,由同名磁极互相排斥,异名磁极互相吸引,即可得知小磁针两端的受力方向,从而确定小磁针的转动方向。

细心:通电螺线管外部的磁感线是从哪极指向哪极?内部的磁感线又是从哪极指向哪极?

粗心:通电螺线管外部的磁感线是从N极指向S极,而内部的磁感线则是从S极指向N极。

细心:小磁针在通电螺线管外部时是同名磁极相斥,异名磁极相吸,而螺线管内部的磁场方向与外部的相反,难道结论还一样?

粗心:啊!我懂了,在内部应是同名磁极相吸,异名磁极相斥,但不管什么磁场,只要知道磁感线的分布,磁感线上任意一点的切线方向就是该点N极的受力方向,从而可知小磁针的转动方向,你说对不对?

细心:你还真聪明!

课时2 安培力 磁感应强度



课前导航

我们的地球自身就是一个大磁体,地磁场的变化有一定的规律性,比如在我国境内,每往北走一公里,地磁场的磁感应强度的变化约为一亿分之几特,小范围内地磁场的磁感应强度和磁倾角几乎没有什么变化,但是有时地磁场的变化非常明显,有的地方会出现磁针反常现象,磁针不再指向南北方向,在某些山区,磁针甚至变成直立状态,这种剧变叫做地磁异常,出现地磁异常的区域,地下一定蕴藏着丰富的磁铁矿,我们可以根据地磁异常现象来探测磁铁矿区,地磁异常中重要的表现是磁感应强度的变化。

请你思考:

1. 什么是磁感应强度?
2. 你怎样理解磁倾角?



知识精析

1. **安培力:**磁场对电流的作用力叫安培力。

实验证明:电流与磁场垂直时受到的安培力最大;电流与磁场方向平行时受到的安培力为零;当电流与磁场方向斜交时,所受的安培力介于零和最大值之间。

2. **磁感应强度:**是描述磁场强弱及方向的物理量。

(1)定义:在磁场中垂直于磁场方向的通电直导线,所受的安培力 F 跟电流 I 和导线长度 L 的乘积的比值,叫做通电导线所在处的磁感应强度。

(2)公式: $B = \frac{F}{IL}$ 。

(3)单位:特斯拉, $1\text{ T} = 1\text{ N/A} \cdot \text{m}$ 。

(4) B 是矢量,磁场中某点的 B 的方向就是该点的磁场方向,磁感应强度的叠加遵从平行四边形定则。

3. 匀强磁场

(1)概念:在磁场的某一区域里,如果各处的磁感应强度大小相等,方向相同,这一区域的磁场叫做匀强磁场。

(2)匀强磁场的磁感线特点:匀强磁场的磁感线是分布均匀的方向相同的平行直线。

4. 安培力的大小 $F = BIL$ 的适用条件:

(1)通电导线与磁场垂直。

(2)匀强磁场中(在非匀强磁场中,只适用于一小段的通电导线导体)。

5. 安培力的方向

由左手定则判断, $F \perp B, F \perp I$, 即 F 总垂直于 B 和 I 决定的平面。



方法指导

一、判断安培力作用下物体的运动方向的几种基本方法

1. 电流元法

把整段电流等效为多段直线电流元,运用左手定则判断出每小段电流元所受安培力的方向,从而判断出整段电流所受合力的方向,最后确定运动方向。

2. 特殊位置法

把电流或磁铁转到一个便于分析的特殊位置后再判断所受安培力的方向,从而确定运动方向。

3. 等效法

环形电流和通电螺线管都可以等效成条形磁铁,条形磁铁也可等效成环形电流或通电螺线管,通电螺线管也可以等效成很多匝的环形电流来分析。

4. 转换研究对象法

因为电流之间、电流与磁体之间的相互作用力满足牛顿第三定律,定性分析磁体在电流作用下如何运

动的问题时,可先分析电流在磁场中所受的安培力,然后由牛顿第三定律再确定磁体所受电流的作用力,从而确定磁体所受的合力及运动方向。

5. 利用结论法

(1) 两电流相互平行时无转动趋势。

同向电流相互吸引,反向电流相互排斥。

(2) 两电流不平行时,有转动到相互平行且方向相同的趋势。

利用这些结论分析可以事半功倍。

例 1 如图 2-1 甲所示,把轻质导线圈用细线挂在磁铁 N 极附近,磁铁的轴线穿过线圈的圆心且垂直于线圈的平面,当线圈内通过如图所示方向的电流时,线圈将怎样运动?

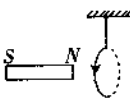


图 2-1 甲

解析: (1) 等效法。把环形电流等效成如图 2-1 乙所示的条形磁铁,可见两条形磁铁只是相互吸引而没有转动。

(2) 用结论法。把条形磁铁等效成如图 2-1 丙所示的环形电流,由图可见两电流相互平行,方向相同,故两环形电流没有转动,只是相互吸引,即线圈将向磁铁平移。

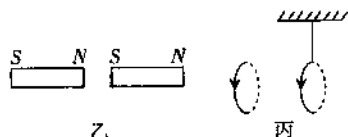


图 2-1

变式训练 如图 2-2 所示装置中,劲度系数较小的金属弹簧的下端恰好接触水银槽中的水银面,电源的电动势足够大,当闭合开关 S 后,弹簧将 ()

- A. 保持静止 B. 缩短
C. 变长 D. 不断上下振动

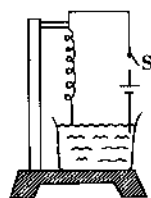


图 2-2

二、当 I 和 B 的方向成 θ 夹角时

的安培力

1. 计算公式: $F = BIL \sin \theta = B_{\perp} IL$, 其中 $B_{\perp}$ 表示垂直于 I 的分量, L 称为有效长度。如图 2-3 甲所示。

2. 安培力的方向: 在使用左手定则判定安培力方向时, 让 B 的垂直分量 ($B_{\perp} = B \sin \theta$) 穿过左手手心。

3. 弯曲导线的有效长度 L : 当 B 垂直于导线所在的平面时, L 等于连接两端点的直线的长度。如图 2-3 乙、丙所示。

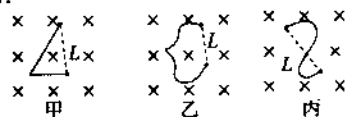


图 2-3

当 B 和导线不垂直, L 表示两端点的连线在与 B 垂直的平面上的投影。如图 2-3 丁所示。

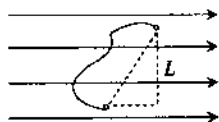


图 2-3 丁

例 2 如图 2-4 甲所示, 在长直导线上通以恒定电流 I , 在导线右侧放置一个三角形导线框 abc , 并使 bc 边平行于直导线。若在框中通以 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 方向的电流, 则线框 ab 边将受到 _____ 方向的磁场力作用, bc 边将受到 _____ 方向的磁场力作用, ac 边将受到 _____ 方向的磁场力作用, 整个线圈将向 _____ 运动。

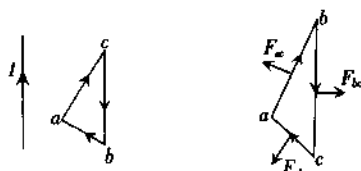


图 2-4 甲

图 2-4 乙

解析: 直导线右侧的磁场方向为垂直纸面向里, 但离导线越近磁场的磁感应强度越大。根据左手定则判定 F_{ab} 垂直 ab 斜向下, F_{bc} 垂直 bc 向右, F_{ac} 垂直 ac 斜向上。如图 2-4 乙所示, F_{ac} 与 F_{ab} 的合力向左且一定大于 F_{bc} (因为 ac 和 ab 的有效总长度等于 bc , 他们所处位置的 B 的平均值要大于 bc 边处的 B 的平均值), 故线框所受合外力方向一定向左, 线框将向左运动。

变式训练 如图 2-5 所示, 用粗细均匀的电阻丝折成平面三角形框架, 三边的长度分别为 $3L$ 、 $4L$ 、 $5L$ 。电阻丝 L 长度的电阻为 r , 框架与一电动势为 E 、内阻为 r 的电源相连接, 垂直于框架平面有磁感应强度为 B 的匀强磁场, 则框架受到的磁场力大小为 _____, 方向是 _____。

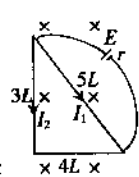


图 2-5

三、在很多瞬间通电、求流过导体的电量值问题中

常结合动量定理 $F_{\text{安}} t = \Delta P$ 即 $BIL t = \Delta P$ 得 $Q = \frac{\Delta P}{BL}$

例 3 如图 2-6 所示, 质量为 m 的金属棒, 搁在光滑导轨的右端, 导轨间距为 L , 导轨距离地面的高度为 h 且处于大小为 B 、方向竖直向上的匀强磁场中, 并接有电动势为 E 的电池和电容为 C 的电容器。当开关 S 从位置 1 拨至位置 2 时, 金属棒被抛出的水平距离为 s 。试计算:

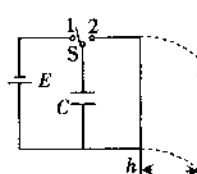


图 2-6

(1) 安培力对金属棒所做的功。

(2) 电容器上剩余的电量。

解析: 电容器先充电, 后放电。金属棒在安培力冲量的作用下, 离开导轨后做平抛运动。

(1) 根据动能定理, 安培力对金属棒所做的功可表示为 $W = \frac{1}{2}mv^2$

根据平抛运动规律, 平抛初速度为: $v = \frac{s}{t} = \frac{s}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}$

以上两式联立解得 $W = \frac{mgs^2}{4h}$

(2) 根据动量定理 $Ft = mv$, 有 $BIL\Delta t = mv = \frac{ms}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}$

电容器的放电量为 $\Delta Q = I\Delta t = \frac{ms}{BL\sqrt{\frac{g}{2h}}}$

∴ 电容器上剩余的电量为

$$Q' = CE - \Delta Q = CE - \frac{ms}{BL\sqrt{\frac{g}{2h}}}$$

变式训练 有一质量 $m = 0.05 \text{ kg}$ 、宽 $L = 0.2 \text{ m}$ 的 Π 型匀质导线, 其两边插入水银槽里, 并用导线与电源相连, 整个装置放在垂直于纸面向里、磁感应强度为 $B = 2 \text{ T}$ 的匀强磁场中。如图 2-7 所示, 在开关 S 接通后, 经时间 $\Delta t = 0.01 \text{ s}$, 导线跳离水银槽, 竖直升高 $h = 3.2 \text{ cm}$, 不计导线跃起时切割磁感线的影响。问在通电时间内通过导线截面的电量是多少?

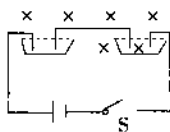


图 2-7



互动平台

育才老师与细心同学关于安培力公式 $F = BIL \sin \theta$ 的对话

育才: 细心, 在应用安培力公式 $F = BIL \sin \theta$ 时, 如果 B 不是匀强磁场该怎么办呢?

细心: 我认为公式中的 B 是通电导线所在处的磁感应强度。若处于非匀强磁场, 则将通电导线分割成若干个电流元, 把电流元所处的磁场视为匀强磁场, 最后取各电流元所受安培力的矢量和。

育才: 如果导线是弯曲的又怎么计算呢?

细心: 可以用上面所说的微元法求矢量和, 也可以用有效长度来计算。对弯曲导线, 其有效长度等于连接两端点的直线的长度, 相应的电流方向沿有效长度的始端指向末端。对闭合通电线圈, 有效长度可认为为零。

育才: 对, 你理解得非常好!

课时3 电流表的工作原理



课前导航

我们在前一节学习了通电导线在磁场中受到安培力,导线在安培力作用下可以发生运动.你还记得初中学过的电动机原理吗?通电线圈在磁场中受力的作用发生转动,如果通过导线的运动情况反过来确定电流的大小该多好.在本节中将为你介绍测量电流大小的仪器——电流表的工作原理.

请你思考:

1. 磁电式电流表内的磁场为什么要辐向分布?
2. 电流表表盘上的刻度为什么是均匀的?我们怎样提高其灵敏度?



知识精析

1. 通电线圈在匀强磁场中受到的安培力矩.

(1) 计算安培力矩的公式

在图 3-1 甲中,对线圈 $abcd$ 来说, ad 边和 bc 边所受的安培力等值反向且在同一直线上,是一对平衡力,不产生力矩;而 ab 边和 cd 边所受的安培力也等值反向,但不在同一条直线上

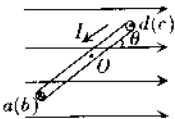
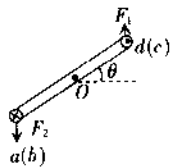


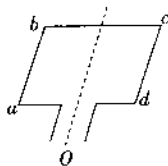
图 3-1 甲

上($\theta = \frac{\pi}{2}$ 时除外),因此将产生力矩,其大小为:

$$M = BI \overline{ab} \cdot \overline{ad} \cos \theta = BIS \cos \theta$$



侧面图



俯视图

图 3-1 乙

推导(如图 3-1 乙所示):

设 ab 边的长度为 l_1 , ad 边的长度为 l_2 , 则

$$F_1 = F_2 = BIl_1$$

$$M_1 = BIl_1 \times \frac{l_2}{2} \cos \theta$$

$$\text{同理 } M_2 = BIl_1 \times \frac{l_2}{2} \cos \theta$$

$$M = M_1 + M_2 = BIl_1 l_2 \cos \theta = BIS \cos \theta$$

若线圈的匝数为 N , 则安培力矩的计算公式 $M = NBIS \cos \theta$.

(2) 安培力矩公式的适用条件

① 线圈在匀强磁场中且转轴与 B 垂直, 转轴与线圈在同一平面内(对于平行 B 的任意转轴, 安培力矩为零).

② 与线圈的形状无关, 如三角形、圆形和梯形等都可以, 而与线圈的面积有关.

③ 与转轴位置无关.

2. 电流表的工作原理

(1) 电流表的构造

在一个很强的蹄形磁铁的两极间有一个固定的圆柱形铁芯, 铁芯外面套有一个可以绕轴转动的铝框, 铝框上有线圈, 铝框的转轴上装有两个螺旋弹簧和一个指针, 线圈的两端分别接在这两个螺旋弹簧上, 被测电流经过这两个弹簧流入线圈.

(2) 电流表原理

蹄形磁铁和圆柱形铁芯间的磁场是均匀辐向磁场. 不管通电线圈在磁场中转到什么位置, 线圈平面都跟磁感线平行, 线圈受到的安培力矩不随转动角度的改变而改变, 安培力矩 $M = NBIS$ 保持不变. 当线圈转动某一个角度, 螺旋弹簧的阻力矩 M' 与安培力矩大小相等时, 线圈停止转动, 指针指示一个确定的读数 $I = \frac{M'}{NBS}$. 由于 M' 与指针转过的角度 θ 成正比, 所以电流越大, 偏转角也越大. 由 $M' = K\theta$ 得: $K\theta = NBIS$, $\theta = \frac{NBIS}{K}$, 可见 θ 与 I 成正比, 所以电流表的刻度是均匀的.



方法指导

一、在掌握辐向磁场和电流表的工作原理的基础上应进一步明确有关电流表工作的几个重要方面

1. 对同一电表, 指针偏角 θ 与 I 成正比, 即 θ 与 I 一一对应, 从而可以用指针偏转角度来显示电流强度 I 的值.

2. 因为 $\theta \propto I$, θ 随 I 的变化是线性的, 所以表盘的刻度是均匀的.

课时3 电流表的工作原理

3. 当偏转线圈中的电流值一定时, 指针偏转角度 θ 值越大, 我们说电流表的灵敏度越高。

例1 磁电式电流表头内线圈的面积为 S , 匝数为 N , 通入的电流强度为 I , 辐射状磁场的磁感应强度在线圈处的大小为 B 。

(1) 试求指针由零刻度转过 θ 角时, 线圈所受的磁力矩。

(2) 试分析磁电式电流表的刻度为什么是均匀的? 为了提高灵敏度, 应采用哪些方法?

解析: (1) 磁电式电流表线圈处于均匀辐向磁场中, 因此不论线圈转到什么位置所受的安培力矩都最大, 可表示为 $M = NBIS$ 。

(2) 线圈在转动过程中, 由于将螺旋弹簧扭紧, 同时要受到螺旋弹簧的反转矩 M 的作用, 且 $M = K\theta$ (K 为扭转系数)。当两力矩平衡时, 线圈静止, 从而有 $NBIS = K\theta$, 所以 $\theta = \frac{NBIS}{K}$, 即 $\theta \propto I$, 所以电流表的刻度是均匀的。

电流表的灵敏度 $C = \frac{\theta}{I} = \frac{NBS}{K}$, 由此可知: 除了尽可能减小摩擦阻力之外, 还可以通过增加 N 、 B 、 S 来提高电流表的灵敏度。

变式训练1 有一个电流表接在某闭合电路中, 电源电动势为 E , 内阻为 r , 外电阻为 R , 指针偏转了 30° 角, 如果将电源换为电动势为 $2E$, 内阻为 $2r$ 的电池, 其指针的偏转角 θ 为 ()

- A. 60° B. 30°
C. $30^\circ < \theta < 60^\circ$ D. $\theta > 60^\circ$

二、运用公式 $M = BIS \cos \theta$ 计算安培力矩时, 需明确转轴必须与 B 垂直, 和平面线圈的形状无关, 和转轴与线圈的相对位置无关。

例2 如图3-2所示, 一根细导线弯成四个拐角都是直角的平面折线, 其中 ab 、 cd 长为 L_1 , bc 段长为 L_2 , 平面折线位于竖直平面内, Oa 、 dO' 由轴承支撑沿水平放置, 整个平面折线置于竖直向上的匀强磁场中, 磁感应强度为 B 。若沿 $a \rightarrow b \rightarrow c$

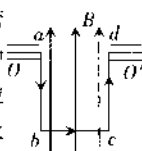


图3-2

$\rightarrow d$ 的方向通以大小为 I 的电流, 此时平面折线导线受到的安培力对 OO' 轴的力矩大小为 _____

解析: ab 边与 cd 边均与磁场方向平行, 不受磁场力作用, 只有 bc 边受磁场力作用, bc 边所受的磁场力大小为 $F = BIL_2$, 方向垂直纸面向外, F 相对于轴 (OO') 的力臂为 L_1 , 故力矩大小为:

$$M = FL_1 = BIL_1L_2 = BIS$$

式中 S 是通电的平面折线导体 $abcd$ 所围的面积。

变式训练2 如图3-3所示, 质量

均匀分布的正方形金属框 $abcd$ 可绕 z 轴转动, 每边长度 $L = 0.1 \text{ m}$, 每边质量 $m = 0.01 \text{ kg}$, 线框处于磁感应强度 $B = 0.98 \text{ T}$ 的匀强磁场中 (磁场方向沿 x 轴正方向) 时, 静止在图示位置, 已知 $\theta = 30^\circ$, 求线圈内电流的大小和方向, (g 取 9.8 m/s^2)

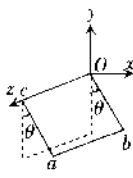


图3-3

互动平台

细心同学和育才老师关于电流表内部磁场的对话

细心: 老师, 磁电式电流表内部的永磁铁的两极为为什么要做成凹圆柱面形? 中间为什么要放一个圆柱形的铁芯呢?

育才: 哦, 这是为了提供辐向分布的磁场。

细心: 为什么要用辐向分布的磁场呢?

育才: 当磁场成辐向分布时, 线圈平面转到任何位置都和 B 的方向平行, 此时产生的安培力矩最大, 能提高电流表的灵敏度。

细心: 哦, 我明白了。

粗心同学和细心同学关于电流表刻度均匀的对话

粗心: 电流表有电流时, 指针静止在某个位置, 这时弹簧产生的阻力矩和安培力矩平衡, 当指针偏转角越大, 扭转越困难, 所以电流表的刻度应该是偏转角越大刻度就越大。

细心: 错了, 线圈在辐向形磁场中受到的安培力矩恒为 $M_A = NBIS$, 弹簧产生的阻力矩 $F_{\text{弹}} = K\theta$, 当它们相等时, 指针静止, $\theta = \frac{NBIS}{K}$, 即 $\theta \propto I$, 所以刻度应该是均匀的。

课时4 磁场对运动电荷的作用



课前导航

太阳的活动每隔11年会达到一次高峰期,在高峰期时,太阳会向外发射出大量的带电粒子流而形成“太阳风暴”,其表现形式是多种多样的,对近地空间环境和在此环境中运行的卫星、空间或地面的技术设备以及人员的影响也有多种形式的。

幸运的是,“太阳风暴”对人体(航天员除外)的影响并不明显,这应感谢地球完美的构造,“太阳风暴”爆发时发出的紫外线和X射线的强度可以达到平静时的数十倍甚至数百倍,并抛射出大量的高能带电粒子,地球稠密的大气层吸收了大部分的紫外线和X射线;磁场很好地屏蔽掉了高能带电粒子,使我们免受高能粒子的辐射损伤。

请你思考:

通过对本节知识的学习,你能解释地磁场是如何屏蔽高能粒子的吗?



知识精析

1. 洛伦兹力的大小

(1)带电粒子在磁场中运动时受到的磁场力叫洛伦兹力。

(2)如果导线材料单位体积中参与导电的粒子数为 n ,每一个带电粒子的电量为 q ,带电粒子在电场力作用下定向运动的平均速度为 v ,则横截面积为 S 的导线中的电流强度为 $I=nSq v$ 。

如果匀强磁场的方向与导线垂直,处在匀强磁场中的通电导线长度为 L ,则该通电导线受到的安培力大小为 $F_{\text{安}}=BIL=BLnSq v$,式中 nSL 表示自由电荷的总数 N ,可见: $F_{\text{安}}=N(qvB)=NF$,即宏观的安培力 $F_{\text{安}}$ 是 N 个同方向的微观力 $F=qvB$ 的合力。

(3)当运动电荷的速度方向与磁场方向的夹角为 θ 时,其洛伦兹力大小为: $F=qvB\sin\theta$ 。从上式可知:当 $\theta=0^\circ$ 时,即运动电荷的速度方向与磁场方向平行时,运动电荷不受洛伦兹力;当 $v=0$ 时,即静止的电荷不受洛伦兹力;当电荷运动方向与磁场方向垂直时,所受洛伦兹力最大, $F_{\text{max}}=qvB$ 。

2. 洛伦兹力的方向

伸开左手,让拇指与其余四指垂直并且在同一平

面内,让磁感线垂直进入手心,四指指向电流的方向,那么拇指所指的方向就是洛伦兹力的方向。

3. 洛伦兹力对运动电荷不做功

由于洛伦兹力 F 总是跟运动电荷的速度方向垂直,所以洛伦兹力对运动电荷不做功,洛伦兹力只改变运动电荷速度的方向,不改变速度的大小。

4. 磁场对运动电荷的洛伦兹力与静电场对电荷的电场力的区别

(1)静电场对运动电荷、静电荷都有电场力的作用;磁场对静电荷没有力的作用,对速度与磁场方向平行的运动电荷也没有洛伦兹力的作用,只有电荷的速度与磁场方向不平行时运动电荷才受到洛伦兹力的作用。

(2)电场力的方向与电场方向平行,正电荷所受的电场力方向与电场的方向相同,负电荷所受的电场力方向与电场的方向相反;但运动电荷受到的洛伦兹力方向永远与磁场的方向垂直。

(3)电场力可能对电荷做功;洛伦兹力总不做功。

(4)在匀强电场中,电荷受到的电场力是一个恒力;而即使在匀强磁场中,洛伦兹力大小不变,但方向时刻在变,洛伦兹力是一个变力。



方法指导

一、应用公式 $F=qvB$ 时,应注意洛伦兹力与 v 的瞬时效应关系。

例1 如图1-1所示,足够长的×光滑三角形绝缘槽与水平面的夹角为 α 和 β ($\alpha<\beta$),有垂直于纸面向里的磁场,分别将质量相等、带等量正、负电荷的小球 a 、 b 依次从两斜面的顶端由静止释放,下列关于两球在槽上运动的说法中正确的是 ()

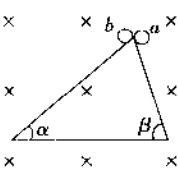


图4-1

- A. 在槽上, a 、 b 两球都做匀加速直线运动,且加速度 $a_a > a_b$
- B. 在槽上, a 、 b 两球都做变加速直线运动,但总有 $a_a > a_b$
- C. a 、 b 两球沿直线运动的最大位移是 s_a 、 s_b ,则 $s_a < s_b$
- D. a 、 b 两球沿槽运动的时间为 t_a 和 t_b ,则 $t_a < t_b$

解析:两球受到的 $f_{\text{洛}}$ 都垂直于斜面向上,在槽中运

课时4 磁场对运动电荷的作用

动时,合外力都为沿斜面向下的分力,所以加速度分别为 $a_a = g \sin \beta$, $a_b = g \sin \alpha$, 所以 Δ 正确。当球离开斜面的瞬间有 $qvB = mg \cos \theta$, 可判断出 $v_a < v_b$, 结合 $a_a > a_b$ 及 $s = \frac{at^2}{2}$, 可知 C、D 选项正确。故选 A、C、D。

二、有关运动最值的计算

例2 如图4-2所示,质量为 $m = 0.1 \text{ g}$ 的小球带有 $q = 5 \times 10^{-4} \text{ C}$ 的正电荷,套在一根与水平方向的夹角 $\theta = 37^\circ$ 的绝缘杆上,小球可以沿杆滑动,与杆间的动摩擦因数 $\mu = 0.4$,这个装置放在磁感应强度 $B = 0.5 \text{ T}$ 的匀强磁场中,求小球无初速度释放后沿杆下滑的最大加速度和最大速度。(g取 10 m/s^2)

解析: 小球刚释放时,磁场对小球的磁场力为0,这时的加速度由重力的下滑分量与滑动摩擦力的合力提供。当小球的速度开始增大,磁场力开始增大,使得小球对杆的压力减小,当摩擦力为零时,加速度最大。即当 $F_{\text{磁}} = mg \cos \theta$ 时,加速度最大。

$$F_{\text{磁}} = mg \sin 37^\circ = ma_{\text{max}}, a_{\text{max}} = g \sin 37^\circ = 6 \text{ m/s}^2$$

当 $F_{\text{磁}} > mg \cos \theta$ 时,又开始出现摩擦力,加速度开始减小。

当 $f_{\text{磁}} = mg \sin \theta$ 时,速度最大,有:

$$(qv_m B - mg \cos \theta) \mu = mg \sin \theta$$

代入数据得 $v_m = 9.2 \text{ m/s}$ 。

三、与动能定理结合解题

例3 如图4-3甲所示,足够长的绝缘杆 MN 置于足够大的垂直纸面向里的匀强磁场中,磁场的磁感应强度为 B 。一个绝缘环 P 套在杆上,环的质量为 m 并带有正电荷,电量为 q ,环与杆间的动摩擦因数为 μ 。若给环一初速度 v_0 ,使之向右运动,则它从开始运动至到达稳定状态的过程中,克服摩擦力所做的功的可能值(要求全部写出)为多少?

解析: 对圆环受力分析可知圆环受到重力、支持力、洛伦兹力、摩擦力的作用,分析图如图4-3乙。

若 $qv_0 B = mg$, 则 $W_f = 0$

若 $qv_0 B > mg$, 当 $v = \frac{mg}{qB}$ 时稳定,由

$$\text{动能定理可知 } W_f = \frac{1}{2} m (v_0^2 - \frac{m^2 g^2}{q^2 B^2})$$

若 $qv_0 B < mg$, 则圆环减速直到停止,可知 $W_f = \frac{1}{2} m v_0^2$ 。

四、洛伦兹力在实际中的应用

例4 如图4-4所示,厚度为 h 、宽度为 d 的金属

板放在垂直于它的磁感应强度为 B 的匀强磁场中。当电流通过导体板时,在导体板的上侧面 A 与下侧面 A' 之间会产生电势差,这种现象称为霍尔效应。试分析 A 面和 A' 面电势的高低。

解析: 在金属内定向移动形成电

流的是自由电子而非正电荷。根据左手定则,自由电子所受的洛伦兹力指向 A 面,故 A 面积累电子, A' 面出现正电荷,所以 A' 面的电势高。

变式训练 一种测量血管中血流速度的仪器原理图如图4-5所示。在动脉

血管两侧安装电极并加上磁极,设血管直径为 2.0 mm ,磁场的磁感应强度为 0.080 T ,电压表测出电压为 0.10 mV ,则血流速度的大小为多少?

互动平台

育才老师与细心同学关于洛伦兹力不做功的对话

细心: 老师,洛伦兹力是磁场对单个粒子的作用力,而磁场对通电直导线的安培力是导线内部大量运动电荷的磁场力的宏观表现。我们在前面学过,安培力可以做功,而洛伦兹力不做功,这是为什么呢?

育才: 哦,要弄清这个问题,我们可用画图来分析:

导线中的自由电子向左定向移动,根据左手定则可知,大量的自由电子的受力方向与导线垂直向上,这些运动电荷受力的合力即安培力。如果导线在安培力的作用方向上有位移,则安培力做了功。而单个的带电粒子在磁场中运动时受到的洛伦兹力始终与运动方向垂直,因而洛伦兹力不做功。

细心: 哦,我明白了。谢谢老师!

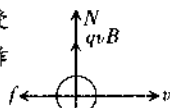


图4-3乙

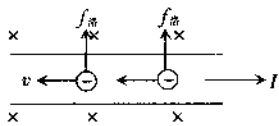


图4-6

课时5 带电粒子在磁场中的运动 质谱仪



课前导航

我们在以前学过的知识中知道示波器的显示屏采用了电场对电子进行偏转,使电子枪发射的热电子进行偏转;而电视机则采用磁偏转。质谱仪则是磁场分析同位素和测量带电粒子质量的精密仪器(结构图如图5-1)。

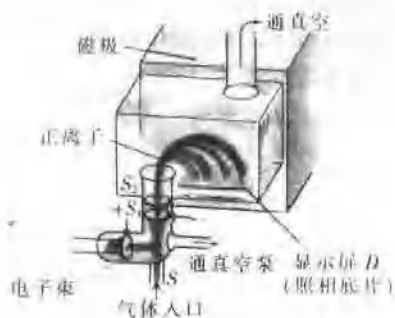


图5-1

请你思考:

1. 你知道磁偏转的原理吗?
2. 质谱仪是如何工作的?



知识精析

1. 带电粒子在匀强磁场中的运动规律

中学物理只研究带电粒子在匀强磁场中的两种典型的运动:

- (1) 若带电粒子的速度方向与磁场方向平行(同向或反向),带电粒子以入射速率 v 做匀速直线运动。
- (2) 若带电粒子的速度方向与磁场方向垂直,带电粒子在垂直于磁感线的平面内以入射速率 v 做匀速圆周运动。

以上规律均在带电粒子只受洛伦兹力作用的条件才成立。对电子、质子、原子核等微观粒子,它们的重力通常忽略不计。

带电粒子做匀速圆周运动的特点:

- (1) 轨道平面一定与磁场垂直。

$$(2) \text{向心力由洛伦兹力提供: } qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$(3) \text{轨道半径: } R = \frac{mv}{qB}, \text{ 轨道半径与速度成正比。}$$

$$(4) \text{周期: } T = \frac{2\pi m}{qB}, \text{ 周期与轨道半径和粒子的速率无关。}$$

$$(5) \text{动能: } E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{(qRB)^2}{2m}$$

2. 质谱仪

(1) 构造: 质谱仪由以下几部分组成

a. 带电粒子注入器; b. 加速电场; c. 速度选择器; d. 偏转磁场; e. 照相底片。

(2) 速度选择器原理

a. 粒子的受力特点: 电场力(qE)与洛伦兹力(F)方向相反。

b. 粒子匀速通过速度选择器的条件: 电场力和洛伦兹力平衡, 即 $qE = qvB_1$ 。

(3) 带电粒子的比荷和质量的测定: 粒子通过加速电场, 根据动能定理有 $\frac{mv^2}{2} = qU$

粒子通过速度选择器, 根据匀速运动条件有 $v = \frac{E}{B_1}$

若测出粒子在偏转磁场中的轨道直径为 d , 则又有

$$d = 2R = \frac{2mv}{qB_2} = \frac{2mE}{qB_1 B_2}$$

同位素的比荷和质量分别为 $\frac{q}{m} = \frac{2E}{dB_1 B_2}$

$$m = \frac{qdB_1 B_2}{2E}$$

(4) 同位素种数和含量比的确定

由于不同比荷的同位素离子打在照相底片上的位置不同($\frac{q}{m} \propto \frac{1}{d}$), 所以根据照相底片上谱线的系数和强弱, 就可确定同位素的种数和含量的多少。



方法指导

一、关于带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的问题, 关键是圆心、半径以及偏向角和运动时间的确定

1. 确定轨道圆心和半径的方法

(1) 已知入射方向和出射方向时, 可以通过入射点和出射点作垂直于入射方向和出射方向的直线, 两条直线的交点就是圆弧轨道的圆心。

(2) 已知入射方向和出射点的位置时, 可以通过入射点作入射方向的垂线, 连接入射点和出射点, 作其中垂线, 这两条垂线的交点就是圆弧轨道的圆心。

2. 确定偏向角的方法

带电粒子射出磁场的速度方向与射入磁场的速度方向之间的夹角 φ 叫做偏向角, 偏向角 φ 等于圆弧轨道对应的圆心角, 并等于弦与切线的夹角 θ 的 2 倍。

3. 确定带电粒子在磁场中运动时间的方法

利用圆心角与弦切角的关系, 或者根据四边形内角和等于 360° , 计算出圆心角 α 的大小, 由公式 $t = \frac{\alpha}{360^\circ} \times T$ 可求出运动时间。可以看出, 垂直于磁场方向射入的带电粒子在磁场中的运动时间与其偏向角成正比。

例 1 如图 5-2 甲所示, 有一匀强磁场 $B = 9.1 \times 10^{-4} \text{ T}$ 的匀强磁场, C, D 为在垂直于磁场的同一平面内的两点, 它们之间的距离 $L = 0.05 \text{ m}$ 。今有一电子在此磁场中运动, 它经过 C 点的速度 v 的方向和磁场方向垂直, 且与 CD 间的夹角 $\alpha = 30^\circ$, 问:

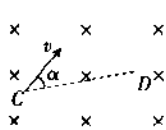


图 5-2 甲

(1) 电子在 C 点时所受的洛伦兹力的方向如何?

(2) 若此电子在运动中后来又经过了 D 点, 则它的速度 v 应多大?

(3) 电子从 C 点到 D 点所用的时间是多少?

解析: 由左手定则判断出洛伦兹力的方向为垂直于 v 的方向斜向下。

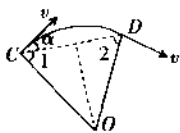


图 5-2 乙

(2) 如图 5-2 乙所示

$$\angle 1 = 90^\circ - \alpha = 60^\circ, OC = OD = R$$

$\therefore \angle 2 = 60^\circ, \triangle OCD$ 为正三角形

即 $CD = R = L$, 所以

$$v_0 = \frac{qBL}{m} = \frac{0.05 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 9.1 \times 10^{-4}}{9.1 \times 10^{-31}} \text{ m/s}$$

$$= 8.0 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$(3) t_{\text{总}} = \frac{1}{6} T = \frac{1}{6} \times \frac{2 \times 3.14 \times 0.05}{8 \times 10^6} \text{ s}$$

$$= 6.5 \times 10^{-9} \text{ s}$$

例 2 如图 5-3 所示, 直线 MN 是一垂直

于纸面的平面与纸面的交线, 在平面右侧的半空间内存在着磁感应强度为 B 的匀强磁场, 方向垂直于纸面向外, O 是 MN 上的一点, 从 O 点可以向磁场区域发射电量为 $+q$ 、质量为 m 、速率为 v 的粒子, 粒子射入磁场时的速度可以沿纸面内各个方向, 已知先后射入的两个不同运动方向的粒子恰好在磁场中给定的 P 点相遇, P 到 O 的距离为 L , 不计重力及粒子间的相互作用, 求:

(1) 粒子在磁场中运动的轨道半径。

(2) 这两个粒子从 O 点射入磁场的时间间隔。

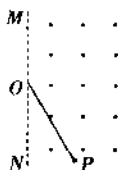


图 5-3

二、利用磁场使带电粒子偏转

如图 5-4 表示了带电粒子通过匀强磁场区域后有了横向偏移 y 和偏向角 φ , 这种偏转方法叫磁偏转。在磁偏转中, 粒子所受洛伦兹力是变力, 粒子的运动轨迹是一段圆弧, y 和 φ 应通过处理匀速圆周运动求解。

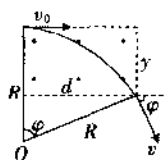


图 5-4

设在图 5-3 中磁场的宽度为 d , 粒子垂直磁场进入的初速度为 v_0 , 离开磁场的速度为 v , 分别作出 v_0 和 v 的垂线, 其交点便是粒子做匀速圆周运动的圆心 O 。

$$y = R - \sqrt{R^2 - d^2}, \text{ 式中 } R = \frac{mv_0}{qB}$$

$$\text{另外, } \sin \varphi = \frac{d}{R}$$

$$\text{可得到 } \varphi = \arcsin \frac{qdB}{mv_0}$$

例 2 如图 5-5 甲所示, 在虚线所示宽度范围内, 用场强为 E 的匀强电场可使以初速度 v_0 、垂直于电场方向入射的某种正离子偏转 θ

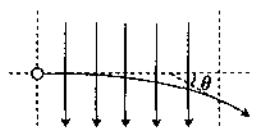


图 5-5 甲