

高中物理奥林匹克 基础知识及题解

孙尚礼 茅瑾 主编 (下册)



科学技术文献出版社

高中物理奥林匹克 基础知识及题解 (下册)

主 编	孙尚礼	茅 瑾	
副主编	齐振东	揭 英	
编 者	刘彬生	董连生	刘长铭
	石有龙	刘千捷	郑人凯
	艾立川	袁伦德	

科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

高中物理奥林匹克
基础知识与题解
(下册)

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路 15 号 邮政编码 100038)

河北玉田印机彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 32 开本 13.5 印张 286 千字

1994 年 10 月第 1 版 1997 年 2 月第 3 次印刷

印数 15001—20000 册

ISBN 7-5023-2084-9/G·503

定 价:13.50 元

本书封四贴有防伪标识,无标识者为非法盗版。
版权所有,盗版必究。

前 言

全国中学生物理竞赛和国际中学生奥林匹克物理竞赛每年举行一次.北京市西城区的中学生在“两赛”中均取得过较好的成绩.尤其是在国际奥林匹克物理竞赛中,取得过一金、二银、一铜四块奖牌的成绩.

为了使广大中学生学好物理这门课程,打好知识基础和提高解题能力,并适应物理竞赛的需要,我们特邀请北京市西城区奥林匹克物理学校的教练员,根据“全国中学生物理竞赛提要”和近几年培训讲义,编写了《中学物理奥林匹克基础知识及题解》一书.本书共分三册,初中一册,高中上、下两册.

本书是从竞赛要求的知识点讲起,对每一部分知识都是从学习和应用两个方面对学生加以指导.其中“要点分析”部分,着重分析现行物理教学大纲和物理教材没有涉及的物理知识.“解题指导”部分着重分析解题思路.练习题分为两组,A组是基础题(中、高考题水平),B组是提高题(竞赛水平).供学生独自练习时选用,以帮助学生提高分析问题和解决问题的能力.练习题附有提示和答案.

本书主要供中学生自学用书.也可做为奥林匹克物理学校教材或参考书.

由于我们的业务水平有限,不足或不妥之处,恳请广大读者批评指正.

编者

1993年2月于北京

目 录

第一讲 静电场

- 一、知识要点 1
- (一)库仑定律 电荷守恒定律
- (二)电场强度
- (三)电势差和电势
- (四)电场中的导体 静电屏蔽
- (五)带电粒子在匀强电场中的平衡、加速和偏转
- (六)电容

- (七)电容器充电后的电能
- (八)场强的叠加原理
- (九)电势的叠加原理
- (十)高斯定理
- (十一)电介质的极化 介电常数

- 二、要点分析 1
- 三、解题指导 28
- 四、练习 50
- 五、提示与答案 59

第二讲 物质导电性

- 一、知识要点 61
- (一)金属中的电流
- 1. 欧姆定律的微观解释
- 2. 电阻率与温度的关系、电流密度
- (二)液体中的电流 法拉第电解定律
- (三)气体中的电流 被激放电和自激放电
- (四)真空中的电流、示波

- 管构造及波形显示原理
- (五)半导体的导电特性
- P 型半导体和 N 型半导体 PN 结及其单向导电性
- (六)晶体二极管 晶体三极管
- (七)超导现象
- 二、要点分析 61

三、解题指导..... 84

四、练习..... 94

五、提示与答案..... 96

第三讲 稳恒电流

一、知识要点..... 98

(一)欧姆定律

(二)电功和电功率

(三)电阻的串、并联

(四)电动势

(五)闭合电路的欧姆定律

(六)一段含源电路的欧姆定律

(七)电流表、电压表、欧姆表

(八)惠斯通电桥、补偿电路

二、要点分析..... 98

三、解题指导 112

四、练习 127

五、提示与答案 143

第四讲 磁场

一、知识要点 150

(一)电流的磁场

1. 磁感应强度

2. 磁力线

3. 匀强磁场

(二)安培力 洛伦兹力

(三)电子荷质比的测定

1. 质谱仪

2. 粒子回旋加速器

二、要点分析 150

三、解题指导 153

四、练习 182

五、提示与答案 189

第五讲 电磁感应

一、知识要点 194

(一)法拉第电磁感应定律

(二)楞次定律

(三)自感及自感系数

(四)互感及变压器

二、要点分析 194

三、解题指导 198

四、练习 220

五、提示与答案 228

第六讲 交流电

一、知识要点 231

(一)交流电

(二)交流发电机原理 交流电的最大值和有效值

(三)纯电阻、纯电感、纯电容电路

(四)整流和滤波

(五)三相交流电及其接法 感应电动机原理

二、要点分析 231

三、解题指导 255

四、练习 274

五、提示与答案 283

第七讲 几何光学

一、知识要点 288

(一)光的直进

(二)光的反射、折射、全反射

(三)折射率与光速的关系

(四)光的色散

(五)平面镜成像、球面镜成像公式及作图法

(六)薄透镜成像公式及作图法

(七)眼睛和眼镜、放大镜、显微镜、望远镜

二、要点分析 288

三、解题指导 297

四、练习 322

五、提示与答案 331

第八讲 物理光学

一、知识要点 342

(一)光的学说的历史发展

(二)光的干涉

(三)惠更斯——菲涅尔原理、光的衍射

(四)光谱和光谱分析

(五)电磁波谱

(六)光电效应 爱因斯坦方程

(七)波粒二象性

二、要点分析	342
三、解题指导	353

四、练习	360
五、提示与答案	364

第九讲 原子和原子核

一、知识要点	367
(一) 原子结构	
1. 卢瑟福实验、原子的核式结构	
2. 玻尔模型、用玻尔模型解释氢光谱、玻尔模型的局限性	
3. 原子的受激辐射、激光	
(二) 原子核	
1. 原子核的量级	
2. 天然放射现象、放射线的探测	

3. 质子的发现、中子的发现、原子核的组成	
4. 核反应方程	
5. 质能方程、原子核的结合能	
6. 裂变和聚变	
7. 基本粒子	
二、要点分析	367
三、解题指导	374
四、练习	378
五、提示与答案	381

第十讲 电学和光学实验

一、电学实验中常用仪器的基本知识	
.....	384
(一) 直流电表的结构、规格和使用	384
(二) 电阻元件的结构和规格	386
(三) 电源	388
二、具体实验	389
(一) 电路故障的判断	

.....	389
(二) 制流电路和分压电路	391
(三) 充放电法测电容	394
(四) 伏安法和代替法测电阻	398
(五) 测铜的电阻率	401
(六) 用微安表装配毫安	

表..... 404

(七) 补偿法测电压
..... 406

(八) 用惠斯通电桥测电
阻..... 408

(九) 用示波器显示二极
管的伏安特性曲线

..... 410

(十) 阻抗法测电容和电
感..... 412

(十一) 测薄透镜的焦距
..... 414

第一讲 静电场

这一讲我们所研究的是静止电荷所产生的场(通常称为静电场)。我们将重点讨论电场强度、电势、电容等基本概念,重点讨论匀强电场中场强与电势差的关系、库仑定律及电荷守恒定律、带电粒子在匀强电场中的运动等基本规律,还将涉及到电场中的导体与电介质、场强和电势的叠加原理、电容的储能、高斯定理及其应用。因此,这一讲的知识在中学物理课本基础上有较大的扩展。

一、知识要点

(一)库仑定律 电荷守恒定律

(二)电场强度 1. 电力线 2. 点电荷的场强 3. 匀强电场

(三)电势差和电势 1. 等势面 2. 点电荷的电势公式

(四)电场中的导体 静电屏蔽

(五)带电粒子在匀强电场中的平衡、加速与偏转

(六)电容

(七)电容器充电后的电能

(八)场强的叠加原理

(九)电势的叠加原理

(十)高斯定理

(十一)电介质的极化 介电常数

二、要点分析

(一)库仑定律及电荷守恒定律

1. 点电荷间的相互作用

自然界中只存在正、负两种电荷,它们的相互作用规律是:同性相斥、异性相吸.在中学范围内,我们仅研究点电荷间的相互作用.

点电荷是一种理想化的模型.当两个带电体间的距离远远大于它们本身的尺寸时,带电体的形状和大小对它们的相互作用的影响就可以忽略不计.这样的带电体就可以被看作是点电荷.两个带电的金属球,当它们之间的距离远大于它们的直径时,就可以看作点电荷.

2. 真空中的库仑定律

法国物理学家库仑在 1785 年用实验发现了后来用他的名字命名的定律:在真空中的两个点电荷间的作用力跟它们的电量成正比,跟它们的距离的平方成反比,作用力的方向在它们的连线上.

如果用 q 和 Q 表示两个点电荷的电量,用 r 表示它们之间的距离,用 F 表示它们之间的静电力,则库仑定律可以写成

$$F = k \frac{qQ}{r^2}$$

式中 k 是静电力常量,其值为 9.0×10^9 牛·米²/库².

电荷在空气中的相互作用比在真空中的稍小一些,在不要求很精确的情况下,计算空气中点电荷间的相互作用时,一般可按在真空中处理.

把库仑定律与万有引力定律比较,很容易看出二者非常相似,都遵从平方反比规律.这种相似可以使我们借助于我们所熟悉的有关力学知识来理解电学知识.

3. 电荷守恒定律

大量事实说明,电荷既不能创造也不能被消灭,它只能从一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一部份转移到另一部

份. 这就是电荷守恒定律.

用电子论的观点解释摩擦起电现象的基点就是电荷守恒定律. 在研究静电感应、导体球相接触时的电量转移、电容器连接中的电量分配等问题中, 也要应用到电荷守恒定律, 即系统与外界无电荷交换时, 系统电量代数和守恒. 在核反应中, 不仅质量数守恒, 而且电荷数守恒, 反应前后总电荷数保持不变.

美国科学家密立根用油滴法证明了所有电荷的电量都是最小电荷即电子或质子所带电量 e 的整数倍, 叫做基本电荷, 它的数值为 1.6×10^{-19} 库伦.

下面, 我们应用电荷守恒定律, 来分析一个简单的问题.

两个等大的导体球, 带电量之比为 $2:1$, 在真空中相距为 r , 静电引力为 F . 将它们接触一下后放还原处, 若这一过程中系统电量没有耗散, 就可以应用电荷守恒定律判断接触后的库仑力大小 F' 与 F 的比值.

应用库仑定律时, 电量 q 和 Q 应分别用两点电荷电量的代数值代入. 乘积若为负, 说明两点电荷异性, 库仑力为引力. 乘积为正, 说明两点电荷同性, 库仑力为斥力. 本题为引力, 两电荷一正一负. 设它们所带电量分别为 $2q$ 和 $-q$. 则库仑力为

$$F = k \frac{2q(-q)}{r^2} = -k \frac{2q^2}{r^2}$$

两球接触后, 总电量代数和为 q 保持不变, 两球等大, 等分电量. 此时, 库仑力变为

$$F' = k \frac{(0.5q)^2}{r^2} = k \frac{q^2}{4r^2}$$

因此

$$F' : F = 1 : 8$$

(二) 场强及电力线

我们知道, 电荷的周围存在着电场. 电场最基本的性质是对

处在其中的电荷有力的作用. 电荷间的相互作用是通过电场来实现的.

1. 电场强度

电场强度是描述电场力的属性的物理量. 电场强度通常简称为场强.

用类比重力场的方法, 可以使我们能够比较容易理解场强的概念. 为了比较重力场的强弱, 仅注意到物体所受重力的大小是不够的. 很明显, 在地面上空 1 米处质量为 1 千克的物体, 和在月球表面上空 1 米处质量为 6 千克的物体, 所受的重力几乎是相等的. 但物体在两处所受重力与物体质量的比值却是不同的. 正是这个比值, 反映了地球周围和月球周围的重力场的强弱不同, 我们把它叫做“重力场强”. 它就是我们所熟悉的物理量——重力加速度.

$$g = \frac{F}{m} = \frac{G}{m}$$

重力场强 g 反映了空间某点的重力场的“力的属性”, 它只同场源(地球)本身性质有关, 同所研究的点的位置有关, 而与放不放受力物体以及受力物体的质量无关.

电场具有完全相似的性质, 实验证明, 放入电场中某点的电荷所受的电场力与两个因素有关: 与放入电荷的电量 q 有关; 与产生该电场的电荷(场源电荷)电量 Q 有关. 但是, 从实验中我们发现, 在场源电荷 Q 周围某点, 放入一个检验电荷(它的电量很小, 不会因它的引入而改变该点的电场强度) q 时, 它所受到的电场力 F 与检验电荷电量 q 的比值是保持不变的. 正是这个比值, 可以确切地反映该点的电场的强弱. 因此我们规定: 放入电场中某点的检验电荷所受电场力跟它所带电量的比值, 叫做该点的电场强度. 用符号 E 表示, 即

$$E = \frac{F}{q}$$

这就是电场强度的定义式。场强的单位为牛/库。从上式可以知道，电场强度在数值上等于单位电量的电荷在场中某点所受的电场力。

电场强度是矢量，它的方向就是正检验电荷在该点所受电场力的方向。

根据电场强度的定义，借助于库仑定律，可以推导出点电荷所形成的电场中，距场源电荷 Q 为 r 的一点 P 的场强

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kqQ}{r^2q} = k \frac{Q}{r^2}$$

如果 Q 为正电荷， E 的方向沿 PQ 背离 Q 。如果 Q 为负电荷， E 的方向沿 PQ 指向 Q （如图 1-1 所示）。

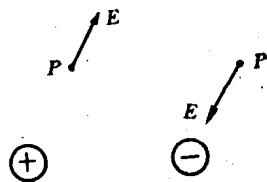


图 1-1

从上式可以看出，同重力场一样，电场强度仅与场源有关，与受力电荷 q 无关。即使不放入检验电荷 q ，该点的场强依然存在。正如采用温度计可以显示环境温度，而环境温度的存在却与温度计无关一样，引入检验电荷是为了便于研究某点场强的大小和方向，却不能改变该点场强的性质。

2. 电力线

电力线是用图形来形象地描述空间各点场强分布情况的一种简便方法。在存在电场的空间，用科学方法画出一组曲线，使曲线上各点的切线方向与该点场强方向一致，使曲线的疏密与该点附近场强大小一致，这就是电力线。电力线是由英国物理学家法拉第首先提出的。

静电场的电力线从正电荷发出终止于负电荷（或指向无穷

远处),是一种非闭合曲线(与磁力线不同).电力线除了汇集于点电荷上外,在空间各点不能相交,否则,这一点会有两个场强方向,而这是不可能的.

3. 匀强电场

在电场的某一区域里,如果各点场强大小方向都相同,这个区域的电场就叫做匀强电场.在中学范围内重点研究的电场是匀强电场.

匀强电场的电力线是等距的平行线.

两块靠得很近的大小相等互相正对的平行金属板,带上等量异性电荷时,它们之间的电场,除边缘附近外,可以看作匀强电场.

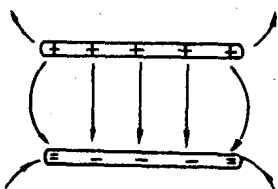


图 1-2

(三)电势及等势面

电场还具有能的属性.电荷受电场力作用时,动能会发生变化,电场力对电荷做了功.为了研究电场力的做功本领,必须引入一个描述电场能的属性的物理量,这就是“电势差”.电势差有时又称为“电压”.

1. 场力功及电势差

保守力 电场力与重力具有相似的性质——做功与路径无关,仅由始末位置决定.人们常把具有这种性质的力称为“保守力”,以区别于摩擦力、磁场力等“非保守力”.保守力存在着一种与位置有关的能叫做势能,例如重力势能,电势能等.并可以用势能的变化来量度相应的保守力所做的功.例如,在重力场中,重力做正功,则重力势能减少.重力做负功则重力势能增加.重力功等于重力势能增量的负值

$$W_G = -\Delta E_P$$

下面我们将会知道, 电场力也具有相似的性质.

重力势差 重力所做的功, 与被移动的物体的质量 m 成正比, 与高度差 h 成正比, 即

$W = mgh$. 如图 1-3 所示.

一段河床中有 AB 和 BC 两段. 在水的流量 m 相同的条件下, 重力在 AB 段和 BC 段做功的本领是不同的, 即能的属性不一样. 为了描述重力的这一性质. 我们用物体在两点间

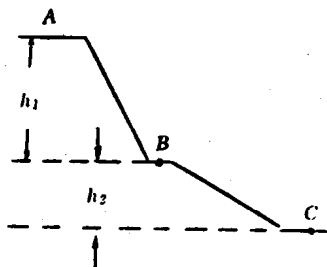


图 1-3

移动时, 重力所做的功与被移动物体的质量的比值来定义一个物理量——重力势差

$$\frac{W_G}{m} = gh$$

它是描述两点间重力场做功本领的物理量, 即是描述重力场“能的属性”的物理量, 它只同地球本身性质有关, 与所研究的两点在地球上位置有关. 在图 1-3 中, AB 两点间的重力势差比 BC 两点间重力势差大. 反映了重力在 AB 段上移动物体时的做功本领比 BC 段上移动物体时的做功本领大. 这一结论与重力移动了多少水量无关, 与重力在某段时间内是否做功无关.

重力势差与水位差不是一码事. 在月球表面两点间和地球表面上两点间, 即使高度差 h 相同, 重力势差 gh 也是不同的. g 就是场的因素的体现.

电势差 与重力做功相似, 电场力移动电荷所做的功 W 与被移动的电荷的电量 q 有关. 但二者的比值却与 q 无关, 仅由电

场本身的性质决定。

检验电荷在电场中 AB 两点间移动时, 电场力所做的功跟电荷电量的比值, 叫做这两点间的电势差, 用符号 U_{AB} 表示, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

电势差是标量, 单位是伏特. 从以上定义式可以看出, 两点间的电势差在数值上等于单位电量的正电荷从这一点移动到另一点时, 电场力所做的功. 知道两点间的电势差, 就可以求出电量为 q 的电荷在这两点间移动时, 电场力所做的功

$$W_{AB} = qU_{AB}$$

式中, q 用代数值代入 (正电荷为正, 负电荷为负). U_{AB} 为电荷在电场中移动时始末两点间的电势差. 它可以为正, 也可以为负. 算出的功为正, 则电场力做功. 算出为负, 则电荷克服电场力做功. 在直流电路中, 通常不区别 U_{AB} 的正负, 简写为 U , 并通常称为“电压”。

2. 电势及电势能

在日常生活中, 为了方便, 人们往往不说高度差, 而说高度. 所谓高度, 实际上是指研究对象相对于某个标准位置 (通常取地面) 的高度差. 与此相似, 人们通常在电场中选定一个标准位置 (通常选大地或无穷远点), 把电场中某点 A 跟标准位置间的电势差叫做“电势” (又名“电位”) 用符号 U_A 表示. 电势也是标量 (有正负), 单位也是伏特.

电场中某点的电势, 在数值上等于单位电量的正电荷由该点移到标准位置 (零势点) 时, 电场力所做的功. 电势仅与场源电荷有关.

电势也是描述电场的能的属性的物理量. 放入电场中某点 A 的电荷的电量与该点电势的乘积, 叫做电荷在该点的“电势