

Special Subject

高中物理

探究学习 · 学科竞赛通用

专题全解

场类问题

丛书主编 师 达

学科主编 陈 图

315



首都师范大学出版社

CAPITAL NORMAL UNIVERSITY PRESS

探究学习 · 学科竞赛通用

专题全解

高中物理

场类问题

丛书主编 师 达

学科主编 陈 图



首都师范大学出版社
CAPITAL NORMAL UNIVERSITY PRESS

Special Subject

《专题全解》编委会

- ▶▶ 丛书主编 师 达
- ▶▶ 学科主编 数学·乔家瑞 语文·程汉杰
物理·叶禹卿 化学·裘大彭
英语·齐平昌 高中·陈 图
- ▶▶ 本册作者 鞠九富

图书在版编目(CIP)数据

高中物理·场类问题/陈图主编. -北京:首都师范大学出版社,2003.6
(专题全解/师达主编)
ISBN 7-81064-624-9

I. 高… II. 陈… III. 物理课-高中-教学参考资料 IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 062052 号

- | | |
|------|--|
| 书 名 | 专题全解·场类问题 |
| 责任编辑 | 张晓梅 |
| 标准书号 | ISBN 7-81064-624-9/G·445 |
| 出版发行 | 首都师范大学出版社(68418523 68982468) |
| 地 址 | 北京西三环北路 105 号 |
| 网 址 | www.cnup.cnu.cn |
| 印刷单位 | 北京嘉实印刷有限公司 |
| 开 本 | 890 × 1240 1/32 7.875 印张 212 千字
2003 年 6 月第一版 2003 年 6 月第一次印刷 |
| 印 数 | 0,001 ~ 12,000 册 |
| 定 价 | 12.00 元 |

《专题全解》何以如此出众？

▶ **问答一** 目前，在同步教辅书品种十分繁多，其中也不乏上乘之作的情况下，为什么还要编写《专题全解》？

▶ **答** 要回答这个问题，首先要说明什么叫专题？“专题”书与一般教辅书的区别是什么？一般教辅书的内容在于全，力求“面面俱到”，而“专题”书的内容特点在于“专”。“专题”书以学科核心知识点、能力点为基础，对相关知识能力进行整合、链接，使之融会贯通，形成对某一问题的专门研究，通过几个或十几个“专”的点，带动对本学科全部知识、能力的整体把握。由此可以看出，“专题”书与一般教辅书相比较，有三个明显特点：一是可以“重点突破”代替“面面俱到”，把好钢用在刀刃上，以期得到事半功倍之效果；二是更利于突出方法、技巧的培养，更有利于体现授之以“渔”；三是可以给学生一个驾驭知识能力的较高起点，增长科学见识。我们编写《专题全解》，就是要避一般教辅之短，扬“专题”书之长，给学生提供一套高质量、高品味的指导用书。

▶ **问答二** 学生为什么要购买“专题”书？“专题”书的读者对象主要是什么样的学生？

▶ **答** 如上所述，“专题”书与一般教辅书存在着重大区

别。“专题”书的写作空间在于其理论上的深入浅出，准确、高水平地讲解诠释，在于其学习方法、技能上更高层次的指导。如果说一般教辅书主要是解决学生“一般”课堂学习的话，那“专题”书则是解决学生的“提高”问题，“探究学习”的问题，“真正懂”的问题，师傅“领进门”的问题。“专题”书的读者对象是所有学习认真刻苦，有理想、有抱负、有更高追求的学生；不满足于一般应付作业、应付考试的学生；以及对某些专题有研究、有特殊兴趣，并希望在奥林匹克竞赛中获得好名次的学生。

▶ **问答三** 在目前教材版本多元的情况下，《专题全解》配套什么教材？与各种版本教材的关系是怎样的？

▶ **答** 鉴于目前教材版本多元，同步到节、到课的教辅书，其局限性日益明显的情况，我们编写的“专题”是“源于各种教材，高于各种教材，适用于各种教材”。因为“专题”的选择和形成均为各学科的核心知识点、能力点，既然是核心知识点、能力点，那么，各种版本的教材便无论如何都不能遗漏，比如初中数学《一元二次方程》，它在哪种版本的教材中都是重点，我们选择它作为专题，在“精、深、透、全、新”上下功夫，学生一旦掌握，便可以突破所有“一元二次方程”范畴内的问题。此外，我们还力图在书中提倡一种新的理念：即那种只会使用与教材同步到“零距离”、“零空间”，亦步亦趋的学生，不是学习能力强的学生，是没有“大出息”的学生；那种能够与教材保持一定距离，一定空

间，能够自主学习，探究学习，反过来又能突破教材的学生才是能力强的学生，才是大有希望的学生。

▶ **问答四** 《专题全解》的作者队伍水平怎么样？会不会是冒牌货？以致贻误学子？

▶ **答** 我们不敢妄称自己是“名师”，我们也不敢妄言自己写的书一定是“名牌”。但我们的身份可以坦言告诉读者。我们的丛书主编、学科主编均为北京及全国名校的特级教师、教授，他们均有几十年的教学教研经验。讲课，他们深受学生的爱戴；写书，在图书市场多年已形成品牌。本丛书出版后，我们一定悉听学生和老师们宝贵意见，认真修改，不辜负读者的信赖。

▶ **问答五** 《专题全解》丛书的概况如何？

▶ **答** 本丛书设计规模比较庞大。计划初中 40 余种，高中 40 余种，分批出版。本次出版初中数学 4 种、物理 3 种、化学 3 种、语文 4 种、英语 4 种，计 18 种；高中数学 3 种、物理 3 种、化学 3 种、生物 2 种，计 11 种，总计 29 种，2003 年 6~7 月出版。

本丛书各书栏目设计均经过耐心细致的推敲，新而不怪，平中有意。如信息平台、动手平台等等。

本丛书双色印刷，用色彩突出重点、难点、能力点；用色彩凸显公式、原理、规律；版面精心设计，尽量给学生创造一个良好的学习环境。

《专题全解》编委会

二〇〇三年七月

目 录

概述	(1)
第一部分 电场	(4)
一、基础知识掌握	(4)
二、综合能力提升	(18)
三、高考、竞赛高频考点解读	(35)
四、拓展延伸探究	(54)
五、应用训练	(67)
第二部分 磁场	(94)
一、基础知识掌握	(94)
二、综合能力提升	(104)
三、高考、竞赛高频考点解读	(114)
四、拓展延伸探究	(127)
五、应用训练	(152)
第三部分 带电粒子在复合场中的运动	(174)
一、基础知识掌握	(174)
二、综合能力提升	(182)
三、高考、竞赛高频考点解读	(192)
四、拓展延伸探究	(200)
五、应用训练	(220)
参考答案	(239)



概述

本专题是电磁学中的重点内容,电磁学及其应用对人类影响十分巨大.在电磁学研究基础上发展起来的电能的生产和利用,是历史上的一次技术革命,是人类改造世界能力的飞跃,打开了电气化时代的大门.工农业生产、交通、国防、科学研究和日常生活,都离不开电.另外这部分内容也是历年高考的重点之一,2003 年关于电磁学的内容在高考试卷中占分约为 38%.

人类对电磁现象的认识和研究经历了相当长的时期,系统的研究工作以吉尔伯特 1600 年发表的《论磁》为标志.

吉尔伯特(1500~1603)是英国一位很有声誉的医生,他用了 20 年左右的时间进行了关于电和磁的实验研究,在巨著《论磁》中系统地总结和阐述了他的研究成果.在磁学方面,他建立了地磁的初步理论.他设想:地球是一个巨大的磁球.由此,他把任何磁石都具有的两个磁极称为磁北极和磁南极,给出了“同名极相斥,异名极相吸引”的普遍作用原理.他还发现了磁极不可分的现象和钢的磁化现象.他还是用实验方法建立概念解释自然现象的典范.在电学方面,吉尔伯特通过对磁现象和电现象的对比研究,第一次提出“电”这个词,将电吸引和磁作用区别开来,并指出电和磁的几点区别,这在认识电磁现象的初期有着积极意义.吉尔伯特还发明了第一个实验用的验电器.

法国物理学家杜菲(1698~1739)原是皇家花园的管家,因为热衷于电学研究并做出成绩,后成为法国科学院院士.他把吉尔伯特的验电器改进成了现代的形式,杜菲从摩擦起电的研究中发现电有两种,即“玻璃型”和“树脂型”,它们间作用时“同种电相排斥,异种电相吸引”,他提出了电的本性的“二元论”和电的相互作用的基本规律.

1745 年荷兰莱顿大学的物理教授穆森布洛克(1692~1761)发现了可用一种瓶(莱顿瓶)来蓄电,莱顿瓶是人类创造的第一只电容

器,对莱顿瓶的研究促使了电学的重要概念——导体“电容”的产生.

富兰克林(1706~1790)出身贫寒,只上过两年学,12岁便到印刷所当学徒,但他勤奋好学,博览名著,自学成才.1746年他在波士顿观看了一位英国学者的电学实验表演,奇妙的现象激起了他对科学的浓厚兴趣,从此富兰克林埋头于电学研究,这一年他借助于他朋友寄来的一只莱顿瓶取得的第一个成果就是发现了电荷守恒.

富兰克林所做的第二项重要工作就是对大气电现象的研究,从而取得对“天电”、“地电”的统一认识.当时人们对雷电有许多迷信的认识,富兰克林从莱顿瓶放电的火花联想到雷电是一种电现象.1749年4月他曾提出“雷电是不是云摩擦产生的现象?”的问题.为了证实他的论断,1752年7月一个雷雨天,富兰克林做了著名的风筝实验,证明了“天电”、“地电”的同一本性,这也揭开了雷电之谜,使电学研究扩大到自然界,电力成为又一种已知的自然力.富兰克林早在1747年就发现尖端放电现象,并于1750年首次提出了避雷针的设想.

英国杰出物理学家卡文迪许曾依据他精心设计的实验,于1772年推断得出,电作用遵从平方反比律.值得一提的是,他所使用的方法不是通过实验来归纳,而是提出 $n=2$ 的假设,然后演绎推理,最后通过设计实验来检验,演绎的结果充分显示了思维在探索自然中的巨大力量.

库仑(1736~1806)是法国的一位军事工程师.1777年他发明了测量微小作用的扭力天平,这成了他研究静电力的有力工具.1785年库仑建立了电荷之间作用力的定量规律,需要指出的是在库仑实验时还没有准确测定电量的方法,而库仑利用对称原理将带一定电量的小球与同体积不带电小球依次接触,就会得到 $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \dots$ 一系列相对电量,并用实验证明了 $f \propto q_1 \cdot q_2$,从而建立了库仑定律.

奥斯特(1777~1851)生活状况困苦,不能进正规学校读书,只能按教科书自修,奥斯特对物理、化学很有兴趣,富兰克林用莱顿瓶放电的磁化实验给奥斯特以启发,在自然力统一的哲学思想指导下,

他坚信不疑地研究电向磁转化的条件,终于在 1820 年通过奥斯特实验证明了电能产生磁。

在奥斯特发现电流磁效应后,以前主要从事数学研究的安培,马上全力投入到电流磁现象的研究,总结出右手定则,并提出分子电流假说。

在奥斯特发现电流磁效应后,法拉第投入了磁向电转化的研究,到 1831 年,十年中,他坚韧不拔地探索,终于发现了电磁感应现象。1846 年他获得了伦福德奖章和皇家勋章。

法拉第之所以取得如此巨大的科学成就,除了他的勤奋精神和高超的技巧外,重要的是有正确、深刻的物理思想引导。他坚信各种自然力是统一的,他坚决反对超距作用的观点,他不受旧观念的束缚而是依据事实进行大胆的设想和创造。法拉第在 1832 年存入英国皇家学会的密信中,就预言电感应和磁感应会像波动一样传播,振动理论可以应用于电磁现象,这足以看出法拉第的远见卓识。

本专题主要包括电场、磁场及带电粒子在复合场中运动三部分内容,以下分这三部分对该专题进行详细剖析。

第一部分

电 场

知识平台



一、基础知识掌握

① 静电场的基本特性及其描述

(1) 电场强度 E

描述电场力的性质的物理量. 电场有一个最基本的性质是它对放入其中的电荷有力的作用. 一般来说, 同一电荷在静电场中不同位置, 所受电场力不同, 而不同电荷在电场中同一点其所受电场力与其电量的比值却相同, 因此用电场强度 ($E=F/q$) 来描述该点场强.

(2) 电势 φ

描述电场能的性质的物理量. 所谓能的特性, 是指“放入电场中的电荷必具有电势能”, 而同一电荷放在静电场中的不同位置, 所具有的电势能一般不同, 而不同电荷在电场中同一点所具有的电势能与其带电量的比值相同, 因此用电势 ($\varphi=\frac{\epsilon}{q}$) 来描述电场的能的性质.

电场中某点的电场强度及电势是由电场本身所决定的, 与所放检验电荷电量、电性及有无均无关.

电场、电势也可用电场线来形象地描述, 即用电场线的密和疏描述电场的强与弱, 用电场线的方向描述电势的高低 (顺着电场线的方向, 电势逐渐降低).

(3) 电场强度和电势差的关系

在电场中移动电荷时, 电场力一般要做功, 电荷所具有的电势能也将发生变化, 所以描述电场的力的性质的电场强度和描述电场能

的性质的电势间存在着一定的关系:在场强为 E 的匀强电场中,沿场强方向相隔为 d 的两点间的电势差为

$$U=Ed$$

② 带电粒子在静电场中运动

(1) 电加速

带电粒子质量为 m ,带电量为 q ,在静电场中由静止开始仅在电场力作用下做加速运动,经过电势差 U 后获得的速度 v ,可由动能定理求得

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

这个关系式对任意静电场都是适用的。

(2) 电偏转

带电粒子质量为 m ,带电量为 q ,以初速度 v_0 沿垂直于电场方向射入匀强电场,仅受电场力作用下做电偏转运动,其运动为类平抛运动,因此解法与平抛一样,将带电粒子的运动分解为沿垂直电场方向的匀速运动和平行于电场方向上的匀加速运动,若偏转电场的极板长度为 L ,极板间距为 d ,偏转电压为 U ,相应的偏转距离 y 和偏转角 θ ,则

$$v_x = v_0 \quad v_y = \frac{qU}{dm}t \quad L = v_0 t \quad y = \frac{qU}{2dm}t^2 \quad \tan\theta = \frac{v_y}{v_x}$$

分别解得

$$y = \frac{qUL^2}{2dmv_0^2} \quad \theta = \arctan \frac{qUL}{dmv_0^2}$$

③ 电容器、电容

(1) 电容器

电容器的基本组成:两块相继靠近又彼此绝缘的导体构成一个电容器。这两个导体叫电容器的两个极板。

电容器的充、放电:

a. 电容器的充电:电容器可以容纳电荷。使电容器带电叫充电。充电使电容器两个极板上等量异种电荷。

b. 电容器的放电:使电容器两极板上的电荷互相中和的过程.

电场能:充电过程中由电源获得的电能储存在电场中的能量叫电场能.

(2) 电容

物理意义:表示电容器容纳电荷的本领.

定义:电容器所带的电量 Q (一个极板所带电量的绝对值) 与两个极板间的势差 U 的比值叫做电容器的电容.

$$\text{定义式: } C = \frac{Q}{U} = \frac{\Delta Q}{\Delta U}.$$

单位: $1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$.

(3) 平行板电容器

平行板电容器的电容 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$ (即平行板电容器的电容与两板正对面积成正比, 与两板间距离成反比, 与介质的介电常数成正比).

带电平行板电容器两极间的电场可认为是匀强电场, $E = \frac{U}{d}$.

例 1 如图 1-1 所示, 两个带电小球 A、B 的质量分别为 m_1 、 m_2 带电量分别为 q_1 、 q_2 , 静止时两悬线与竖直方向夹角分别为 θ_1 、 θ_2 , 且 A、B 恰好处于同一水平面上, 则 ().

A. 若 $q_1 = q_2$, 则 $\theta_1 = \theta_2$

B. 若 $q_1 < q_2$, 则 $\theta_1 > \theta_2$

C. 若 $m_1 = m_2$, 则 $\theta_1 = \theta_2$

D. 若 $m_1 < m_2$, 则 $\theta_1 > \theta_2$

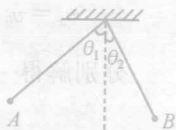


图 1-1

【解析】 本题考查了库仑定律、牛顿第三定律和共点力作用下物体的平衡, 其中两点电荷间相互作用力大小总是相等的, 这与它们的电量是否相等无关, 因此, 本题答案应选 C、D.

例 2 如图 1-2(a) 所示, 半径为 R 的带电圆环上均匀分布着正电荷, 单位长度上的电量为 q , 今在环顶截取一小段弧 AB, 其长 $l \ll R$, 求剩余部分在圆心处产生的场强的大小及方向.

【解析】 本题考查了点电荷场强, 电场的叠加, 环上各点在 O 处

均产生电场,除 $\widehat{AB}$ 对面 $\widehat{CD}$ 外($\widehat{AB} = \widehat{CD}$),由于对称,其余部分在 O 点产生电场的合场强为零,因此环在 O 产生的场强即等于 $\widehat{CD}$ 在 O 产生的场强,又 $l \ll R$,所以该部分环可看成点电荷,其带电量 $Q = ql$,所以在 O 点产生的场强大小为 $E =$

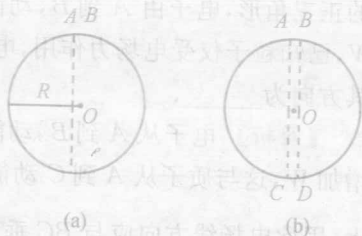


图 1-2

$K \frac{ql}{R^2}$,方向由 O 指向缺口 AB ,如图 1-2(b).

例 3 (1999 年上海卷)如图 1-3 中, a 、 b 为竖直向上的电场线上的两点,一带电质点在 a 点由静止释放,沿电场线向上运动,到 b 点恰好速度为零,下列说法中正确的是().

- A. 带电质点在 a 、 b 两点所受的电场力都是竖直向上的
- B. a 点的电势比 b 点的电势高
- C. 带电质点在 a 点的电势能比在 b 点的电势能小
- D. a 点的电场强度比 b 点的电场强度大

图 1-3

【解析】 本题考查了电势、电场强度和电场线等知识点,由于电场线由 a 向 b ,带电质点从 a 点静止释放到 b 点速度变为零,说明电场力方向向上,故 A 正确.且开始电场力大于重力,以后电场力小于重力,所以 $E_a > E_b$,即 D 正确.由于电场力做了正功,所以电势能减小,因此本题应选 A、B、D.

例 4 如图 1-4(a)所示,电场中 A 、 B 、 C 三点组成的边长为 a

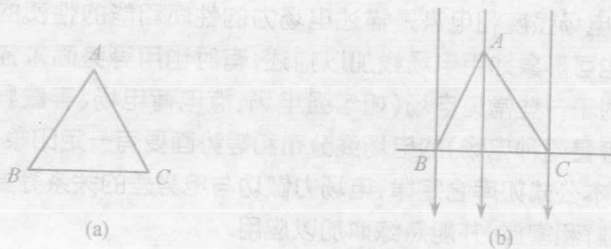


图 1-4

的正三角形,电子由 A 到 B , 动能减少 W , 质子由 A 到 C , 动能增加 W , 已知粒子仅受电场力作用, 电场与纸面平行, 则场强 $E = \underline{\hspace{2cm}}$, 其方向为 $\underline{\hspace{2cm}}$.

【解析】电子从 A 到 B , 动能减少 W , 那么质子从 A 到 B , 动能增加 W , 这与质子从 A 到 C 动能增量相同, 即 B 、 C 应在同一等势面上, 因此电场线方向应与 BC 垂直, 如图 1-4(b), 且 $U_{AB} = \frac{W}{e}$, 根据匀

强电场中场强与电势差的关系得: $E = \frac{U}{d} =$

$$\frac{W}{e \frac{\sqrt{3}}{2} a} = \frac{2\sqrt{3}W}{3ae}, \text{方向垂直于 } BC \text{ 向下.}$$



图 1-5

例 5 如图 1-5 所示, 在矩形 $ABCD$ 的 AD 边和 BC 边的中点 M 和 N 各放一个点电荷, 它们分别带等量的正、负电荷.

E 、 F 是 AB 边和 CD 边的中点, P 、 Q 两点在 MN 的连线上, $MP = QN$. 对于 E 、 F 、 P 、 Q 四点, 其中电场强度相同、电势相等的两点是 ().

- A. E 和 F B. P 和 Q C. A 和 B D. C 和 D

【解析】本题主要考查了等量异号电荷产生的电场的电场线和等势面分布, 本题答案为 A.



电场强度和电势是描述电场力的性质和能的性质的物理量, 也可形象地用电场线加以描述, 有时也用等势面来描述电场. 对于一些常见电场(如匀强电场、点电荷电场、等量异种电场、等量同种电场)的电场线分布和等势面要有一定印象, 同时对基本公式如库仑定律, 电场力做功与电势差的关系等要能准确理解和掌握, 并能熟练地加以应用.

例 6 如图 1-6 所示, Q 为固定的正点电荷, A 、 B 两点在 Q 的正上方和 Q 相距分别为 h 和 $0.25h$, 将另一点电荷从 A 点由静止释放, 运动到 B 点时速度正好又变为零. 若此电荷在 A 点处的加速度大小为 $\frac{3}{4}g$, 试求:



图 1-6

- (1) 此电荷在 B 点处的加速度;
- (2) A 、 B 两点间的电势差(用 Q 和 h 表示).

【解析】 设点电荷在 A 点受到的库仑力为 F , 则在 B 所受库仑力为 $16F$, 而在 A 点由牛顿第二定律得: $mg - F = ma$, $a = \frac{3}{4}g$, 得 $F = \frac{1}{4}mg$. 对 B 点由牛顿第二定律得: $16F - mg = ma'$, 代入得 $a' = 3g$, 方向向上. 对电荷从 A 到 B 全过程用动能定理有: $W_G + W_t = 0$, 所以 $W_t = -mg \frac{3}{4}h$, $\therefore U_{AB} = \frac{W_t}{q}$, 而 $K \frac{Qq}{h^2} = \frac{1}{4}mg$, 所以 $q = \frac{mgh^2}{4KQ}$, 代入得

$$U_{AB} = -\frac{3KQmg}{h}.$$

例 7 质量为 $2m$ 、带 $2q$ 正电荷的小球 A , 起初静止在光滑绝缘水平面上, 当另一质量为 m 、带 q 负电荷的小球 B 以速度 v_0 离 A 而去的同时, 释放 A 球, 如图 1-7 所示, 若某时刻两球的电势能有最大值,

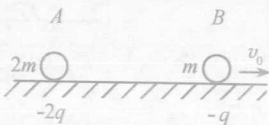


图 1-7

求: (1) 此时两球速度各多大? (2) 与开始时相比, 电势能最多增加多少?

【解析】 本题中挖掘隐含条件是解题的关键. 由于开始 B 速度为 v_0 , 而 A 的速度为零, 因此 AB 间距离将变大, 由于它们间相互库仑引力使 A 将向右减速 B 向右行驶, 但只要 A 的速度大于 B 的速度, AB 间距离将不断增大, 直到 AB 速度相同时, 之间距离最大, 在此过程中库仑力做负功, 因此电势能一直增大. 设此时速度为 v , 由