

高中物理精要

修订本 (下册)

天津人民出版社

高中物理精要

[按“两种教学要求”编]

(修订本下)

张继恒、缪秉成、焦树霖 编
凌毓儒、徐冠荣

张继恒 审订

天津人民出版社

高中物理精要

〔附“本要半基特西”册〕

(不本頁對)

編 郭傳忠，高秉毅，劉維新
審 梁國華，蘇聯索

校 許 寧 劉維新

高中物理精要

(修订本下)

*

天津人民出版社出版

(天津市赤峰道130号)

天津新华印刷二厂印刷 新华书店天津发行所发行

*

787×1092毫米 32开本 8印张 200千字

1984年1月第1版

1987年10月第5版 1987年10月第5次印张

印数：859,301—937,400

统一书号：7072·1350

定 价：1.45 元

ISBN7-201-00088-8/G·31

出版说明

已故著名数学家华罗庚说，如果读书的时候，做不到由厚到薄，那么读书越多越麻烦，就会如堕书堆的烟海之中不能自拔。高中生学习各门功课时，在学完每一单元、章、编和全册之后，都应该把学过的内容进行全面系统的温习，通过对所学知识进行比较、分析、归纳、综合，升华出知识的本质属性及其相互间的内在联系，做到由厚到薄。我社约请北京市东城、西城、海淀、朝阳等区有经验的教师和教研员，按教学的“基本要求”和“较高要求”编写的这套《高中语文、数学、物理、化学精要》是这种由厚到薄的成功尝试。

这套丛书每科分上、下两册，曾多次在较大的范围内与读者见面，对广大高中教师和学生复习中，进行由厚到薄的工作起了卓有成效的指导作用，受到读者的广泛欢迎。我们这次根据新颁布的教学大纲的要求做了修订，再次将它奉献给读者，切望得到大家的批评指正。

目 录

第三编 电磁学	(1)
第一章 静电场	(1)
第二章 稳恒电流	(28)
第三章 磁场	(65)
第四章 电磁感应	(79)
第五章 交流电	(101)
第六章 电磁振荡和电子技术基础	(123)
第四编 光学	(141)
第一章 几何光学	(141)
第二章 光的本性	(215)
第五编 原子结构和原子核	(234)
综合检查题	(245)
练习、检查题答案	(269)

第三编 电 磁 学

第一章 静电场

一、本章概述

电场有两种，一种是静止电荷产生的电场，另一种是变化的磁场产生的电场，本章研究的是静止电荷产生的电场，叫静电场。

本章应重点复习的内容有电场强度、电势和电容三个基本概念，库仑定律和电容器串、并联的基本规律以及带电粒子在电场中的运动。其中电场强度和电势的概念比较抽象，较难理解和掌握，可以联系引力场，采取对比分析的方法，以帮助理解和掌握这些概念。

本章涉及的许多问题要应用力学的基本规律解决。例如带电粒子在电场中的运动就要应用运动学规律和牛顿定律或应用动能定理解决。因此通过这一章的学习可以加深同学对力学规律的理解。

本章学习的电场强度、电势和电容等基本概念，在电磁学其他几章都要用到，因此这一章的内容又是学习电磁学其他几章的基础。

二、双基知识

(一) 库仑定律

1. 库仑定律：在真空中，两个点电荷间的作用力与它们的电量的乘积成正比，与它们间距离的平方成反比。作用力的方向在它们的连线上。用公式表示为

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}.$$

式中 k 是静电力恒量，在国际单位制中 $k = 9 \times 10^9$ 牛顿·米²/库仑²。如果两个点电荷在充满电介质的空间里，它们之间的相互作用力是真空中作用力的 $1/\epsilon$ 倍。公式应写成

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon r^2}.$$

式中 ϵ 是电介质的介电常数。

2. 点电荷：如果带电体间的距离比带电体的线度大得多，以致带电体的形状和大小对相互作用力的影响可以忽略不计，这样的带电体就可以看成点电荷。带电的球形导体因电荷均匀分布，它在球面外的空间产生的电场与其上电荷全部集中在球心时产生的电场一样，对球外空间来说可以把带电球体看做是点电荷。

3. 电介质的介电常数： $\epsilon = \frac{E_0}{E}.$

式中 E_0 是真空中场强， E 是电场区域内充满电介质后的场强。

(二) 电场强度

1. 电场强度的定义：引入电场中某一点的检验电荷受到的电场作用力与它的电量的比值，叫做这一点的电场强度，简称场强。表示为

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

在国际单位制中电场强度的单位是牛顿/库仑，也可以表示为伏特/米。

电场强度是矢量。在电场中某一点放置的正电荷的受力方向规定为这点电场强度的方向。

注意：电场强度是电场的位置函数，与检验电荷的电量以及正负无关。电场强度是反映电场本身力的性质的物理量。

2. 匀强电场：在电场的某一区域里，各点的场强的大小和方向都相同，这个区域的电场就叫做匀强电场，匀强电场是有着广泛应用的电场。

3. 点电荷电场中各点的电场强度：当点电荷在无限均匀电介质中，其电场中某点的电场强度可表示为

$$E = k \frac{Q}{\epsilon r^2}.$$

式中 Q 是形成电场的点电荷（可以简称为场电荷）的电量， r 是该点到场电荷的距离， ϵ 是电介质的介电常数。

4. 电力线：电场中画出一条条曲线，曲线上任何一点的切线方向都和这点电场强度的方向相同，这些曲线就叫做电力线。电力线的特点：

(1) 电力线起始于正电荷（或来自无限远），终止于负电荷（或延伸到无限远）。(2) 电力线永远不会相交。(3) 场强越大的地方电力线越密，场强越小的地方电力线越稀。

(4) 电力线总是指向电势降低的方向。

注意：不能说电力线就是带电粒子的运动轨迹，例如当电力线是曲线时，该电场中的带电粒子就不可能沿着电力线运动。

5. 电场的叠加：

因为电场强度是矢量，所以合电场的电场强度等于各分电场电场强度的矢量和。

(三) 电势

1. 电势能：在电场中移动电荷时，电场力所做的功只与电荷的起始位置和终止位置有关，与电荷经过的路径无关。即电场力做功与重力做功有着相同特点。因此电荷在电场中也具有势能，这种势能叫做电势能。而且电场力做功等于电荷的电势能减少量，克服电场力做功等于电荷的电势能的增加量。若用 ϵ 表示电势能，用 W 表示电场力做的功，则

$$W_{AB} = \epsilon_A - \epsilon_B.$$

2. 电势：(1) 电势的定义：在电场中某一点检验电荷的电势能与它的电量的比值叫做这一点的电势。表示为

$$U = \frac{\epsilon}{q}.$$

国际单位制中电势的单位是伏特[焦耳/库仑]。

注意：电势是电场的位置函数，与检验电荷的电量以及正负无关。电势是描写电场本身能的性质的物理量。

(2) 电势是标量：在理论研究中常取无限远处的电势为零，在实际应用中又常取地球的电势为零。电场中某点电势大于零则为正值，电场中某点电势小于零则为负值。经过推证可以得到正的点电荷周围空间电势为正值，负的点电荷周围空间电势为负值。

(3) 等势面：电场中电势相同的点构成的面叫做等势面。

等势面的特点：i. 在同一等势面上任何两点间移动电荷时，电场力做的功为零；ii. 等势面与电力线垂直，与场强

方向垂直；iii. 电场中的两个等势面不能相交。

3. 电势差：(1) 电场中两点间电势的差值叫做电势差。例如 A, B 两点电势差

$$U_{AB} = U_A - U_B.$$

电场中 A, B 两点的电势差在数值上等于在 A, B 两点间移动电荷时，电场力做的功与这个电荷电量的比值。表示为

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

(2) 电势差与电场强度的关系：场强的方向就是电势降落陡度最大的方向。

如图3-1-1所示，在匀强电场中 $U_{AB} = Ed \cos \alpha$ ，式中 d 是 A, B 间的距离， α 是 AB 与电场方向的夹角。

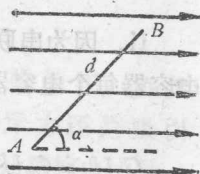


图3-1-1

(四) 电容

1. 电容的定义：电容器所带的电量与它的两板间电势差的比值叫做电容器的电容。它是反映电容器容电能力的物理量，表示为

$$C = \frac{Q}{U}.$$

在国际单位制中电容的单位是法拉（库仑/伏特），1 微法 = 10^{-6} 法拉，1 皮法 = 10^{-12} 法拉。

2. 平行板电容器的电容：

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}.$$

式中 S 是平行板电容器的正对面积， d 是平行板电容器两板间距离， ϵ 是板间充满的电介质的介电常数， k 是静电力

恒量。

3. 电容器的串联和并联

(1) 电容器的串联：i. 串联电容器总电容的倒数等于各个电容器电容的倒数之和。如果是两个电容器串联，公式写成

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

ii. 因为串联电容器每个电容器的电量相等，所以串联电容器每个电容器的电压与电容成反比。即

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 = Q, \text{ 或 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}.$$

(2) 电容器的并联：i. 并联电容器的总电容等于各个电容器的电容之和。如果是两个电容器并联，公式写成

$$C = C_1 + C_2.$$

ii. 因为并联电容器每个电容器的电压相等，所以并联电容器每个电容器的电量与电容成正比。即

$$\frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = U, \text{ 或 } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2}.$$

(五) 电场中的导体

1. 静电感应和静电平衡状态

(1) 导体的电荷由于受到外电场的作用而重新分布的现象叫做静电感应。

(2) 导体中（包括表面）没有电荷的定向移动的状态叫做静电平衡状态。

2. 导体处于静电平衡状态时的特点

- (1) 导体内部的电场强度处处为零。
- (2) 导体表面上任何一点的电场强度方向与该点表面垂直。
- (3) 导体是一个等势体，它的表面是一个等势面。
- (4) 净电荷只能分布在导体的表面上。

三、复习中应注意的问题

(一) 关于库仑定律

应用库仑定律计算静电力时，如果将电荷的正、负代入，计算得到的力的正、负只能说明力是排斥力还是吸引力，不能说明力的方向。因此应用库仑定律计算静电力时，可不将电荷的正、负代入，这样只计算出力的数值，而力的方向再另做分析判断。

例如两个正点电荷 q_1 、 q_3 相距 r ，在它们连线上与 q_1 相距 r' 的地方，引入另一个负点电荷 q_2 ，试分析 q_2 所受的力。

如果把电荷的正、负代入，算得 q_1 给 q_2 的静电力 F_{12} 和 q_3 给 q_2 的静电力 F_{32} 都是负的。这样就可能得到 q_2 受到的合力 $F = F_{12} + F_{32}$ 的错误结论，如果不把电荷的正、负代入，计算得到的只是静电力 F_{12} 和 F_{32} 的绝对值，再分析力的方向如图3-1-2所示。由此看到 F_{12} 和 F_{32} 方向相反，这样就可以正确求出 q_2 受到的合力。

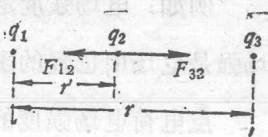


图3-1-2

(二) 关于电势和电势差的定义式

应用电势的定义式 $U = \frac{\varepsilon}{q}$ 和电势差的定义式

$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 讨论问题时，如果把式子中各个物理量的正、负号代入进行计算，可以简化讨论问题的过程。

例如：试证明负点电荷周围空间电场的电势是负值。

假如把正的检验电荷从无限远移到电场中任意一点 A 时，电场力做正功，因此检验电荷的电势能减少。而电荷在无限远处的电势能是零，所以检验电荷在 A 点的电势能 ϵ_A 是负值，再根据 $U_A = \frac{\epsilon_A}{q}$ 得到 A 点的电势是负值。而 A 点是电场中任意一点，由此得到负点电荷周围空间电场的电势都是负值。

又例如电场中有 A, B 两点，把负电荷由 A 移到 B 时电场力做负功，试分析 A, B 两点哪点电势高？

A, B 间移动的是负电荷，即 q 是负值，电场力做负功， W_{AB} 也为负值。根据 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 得到 U_{AB} 为正值，即 $U_A > U_B$ 。

(三) 电场强度和电容定义式与有关决定式的区别

例如：电场强度定义式 $E = \frac{F}{q}$ ，普遍适用于各种电场。场强是电场中位置的函数，与检验电荷电量 q 无关。

点电荷电场强度的公式 $E = k \frac{Q}{er^2}$ ，只适用于点电荷电场。场强的大小与场电荷电量 Q 成正比，与该点到场电荷的距离 r 的平方成反比，与电场中电介质的介电常数成反比。

例如：电容定义式 $C = \frac{Q}{U}$ ，普遍适用于各种电容器。电

容反映了电容器容电的特性，与电容器所带的电量和两板间的电势差无关。

平行板电容器电容的决定式 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$ ，只适用于平

行板电容器，平行板电容器的电容与两板正对面积成正比，与板间距离成反比，与两板间充满的电介质的介电常数成正比。

(四) 电场强度和电势的区别

电场强度是说明电场力的性质的物理量，是矢量，定义式是 $E = \frac{F}{q}$ 。电势是说明电场能的性质的物理量，是标量，

定义式是 $U = \frac{\phi}{q}$ 。

要注意电场强度是零的地方，电势不一定是零。例如两个等量同种电荷连线的中点，电场强度是零而电势不是零。电场强度相等的地方，电势不一定相等。例如匀强电场各处电场强度相等但电势并不相等。电场强度大的地方，电势不一定高。例如负点电荷周围空间的电场，离电荷越近的地方电场强度越大而电势越低。

(五) 电容器串联与并联的判断

初学者往往从串、并联定义的字面上，从连接的形式上来判断。但是这种判断方法，没有突出电容器串、并联的实质，所以是不可靠的。分析电容器串联和并联时的特点，可看出如果两个电容器串联接入电路，每个电容器两极板的电势就依次在降低（或升高），并且每个电容器所带的电量都相等。如果两个电容器并联接入电路，其中一个电容器的两极

板与另一电容器两极板的电势将分别相等。因此，若接入电路的每个电容器两极板的电势依次在降低（或升高），每个电容器的电量也相等，则这几个电容器的连接方式就是串联；若接入电路的每个电容器用导线相连的极板电势都相同，每个电容器两板间电势差也相同，则这几个电容器的连接方式就是并联。

例如：在如图 3-1-3 所示的电路中， $C_2 = 2C_1$ ，电源电动势为 $\mathcal{E}$ ，先闭合电键 K_1 ，然后断开 K_1 ，再闭合 K_2 ，讨论这时电容器 C_1 的电压是多少？

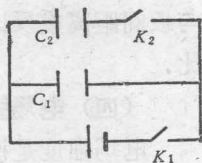


图 3-1-3

闭合 K_1 时，电容器 C_1 被充电，电压为 $\mathcal{E}$ 。而当断开 K_1 再闭合 K_2 时， C_1 要向 C_2 放电，达到静电平衡时， C_1 与 C_2 用导线连接的两极板的电势和各电容器两极板的电势差将分别相等，因此可以判断 C_1 与 C_2 是并联。又因为原来电容器 C_1 的电量与后来并联电容器 C_1 ， C_2 的总电量相等，电压变为 U 。

则有：
$$\mathcal{E}C_1 = (C_1 + C_2)U.$$

得到：
$$U = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \mathcal{E} = \frac{1}{3} \mathcal{E}.$$

四、例 题

〔例 1〕 $q_1 = 6.25 \times 10^{-9}$ 库仑， $q_2 = -1.0 \times 10^{-7}$ 库仑，两电荷相距 90 厘米。引入第三个电荷 q_3 ，使 q_1 ， q_2 和 q_3 均处于平衡状态。 q_3 应放在什么位置？ q_3 应是什么电荷？电量多大？

分析：要使 q_3 处于平衡状态， q_1 给 q_3 的作用力 F_{13} 与 q_2 给 q_3 的作用力 F_{23} 应大小相等，方向相反，并且要在一直线上。

这样 q_3 应放在 q_1 与 q_2 连线的延长线上,而且要在电量小的 q_1 的外侧,如图3-1-4所示。

解:假定 q_3 与 q_1 相距 r' 。根据 $F_{13}=F_{23}$,可以得到

$$k \frac{q_1 q_3}{(r')^2} = k \frac{q_2 q_3}{(r+r')^2}.$$

计算得到 $r'=30$ 厘米。

分析:要使 q 与 q_2 也处于平衡状态, q_3 应与 q_2 是同种电荷,即为负电荷。考虑到 q_1 平衡,应有 $F_{31}=F_{21}$ 。又因为 $F_{13}=F_{23}$,所以 $F_{32}=F_{12}$ 。即只要 q_1 平衡,则 q_2 也平衡。

解:根据 $F_{31}=F_{21}$,可得

$$k \frac{q_1 q_3}{r'^2} = k \frac{q_1 q_3}{r^2}.$$



图3-1-4

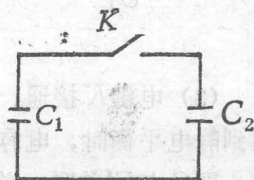


图3-1-5

计算得到 $q_3=1.11 \times 10^{-8}$ 库仑。

[例2]如图3-1-5所示, $C_1=3.0$ 微法拉, $C_2=6.0$ 微法拉, C_2 原来不带电。 C_1 充电恰能使电容器中间一个质量 $m=1.0 \times 10^{-4}$ 克、带电量 $q=1.0 \times 10^{-3}$ 库仑的微粒处于静止状态。已知 C_1 两板相距 $d=1.0$ 厘米。(1)原来 C_1 两板电势差 U_1 是多大?(2)原来 C_1 带电量 q_1 多大?(3)将电键 K 接通,带电微粒将发生什么现象?

分析: C_1 中带电微粒在重力和电场力的作用下处于静止

状态。设原来 C_1 两板间匀强电场的电场强度是 E_1 ，则根据力的平衡条件应有 $E_1q = mg$ 。又因为微粒带正电，它受到的电场力方向与电场方向相同，所以电场方向竖直向上。

解：(1) 根据

$$E_1q = mg, \quad E_1 = \frac{mg}{q},$$

在匀强电场中

$$U_1 = E_1d = \frac{mg}{q}d = \frac{1.0 \times 10^{-7} \times 9.8}{1.0 \times 10^{-8}} \times 1.0 \times 10^{-2} \\ = 0.98 \text{ (伏特)}.$$

(2) 根据

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1}, \quad q_1 = C_1U_1 = 3 \times 10^{-6} \times 0.98 \\ = 2.94 \times 10^{-6} \text{ (库伦)}.$$

(3) 电键 K 接通，电容器 C_1 放电，电容器 C_2 被充电。当达到静电平衡时，电容器 C_1 和电容器 C_2 两板电势将分别相等，即 C_1 与 C_2 并联，总电容 $C_1 + C_2 > C_1$ 。但 K 接通前、后 C_1 与 $C_1 + C_2$ 电量相等。在电量不变的条件下，电容器的电压与电容成反比。因此 K 闭合后，电容器 C_1 的电势差减小，场强减小，带电粒子受到的电场力减小。设后来电容器 C_1 两板间匀强电场场强为 E' ，则 $E'q < mg$ ，所以带电粒子将向下板运动。

〔例3〕如图3-1-6所示，竖直放置的两块足够长的平行金属板，相距10厘米。板间的电压是3000伏特。在两板间的电场中用丝线悬挂着质量是10克的带电小球。平衡后，丝线跟竖直方向成 30° 角。求：(1) 小球所带的电量？(2) 如果将