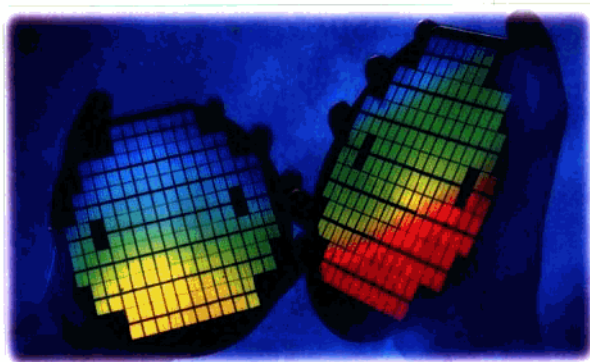


思维点拨丛书

高中物理 电学

◎ 王光明 编著

◆ 静电场 ◆ 稳恒电流
◆ 磁 场 ◆ 电磁感应
◆ 交变电流 ◆ 电学实验



上海科学技术文献出版社

内 容 提 要

依据教育部颁发的最新教学大纲和人教版最新教材的相关内容,对高中物理电学内容进行了分层次编写,章节安排完全与现行教材同步。内容翔实、重点突出,注重基础知识疏理和能力训练,通过对精选例题的示范解析、小结启示,给予解题思路和学习方法的具体指导,逐步培养学生联系实际、应用知识、分析和解决问题的能力。

全书共分六讲,每节中设有知识要点和基本方法、基础型训练题思维点拨、提高型训练题思维点拨,每一讲都备有单元测试题A、B两套试卷,训练题信息新,题型全,贴近考试实际,实用性、针对性强;增设综合与博览,注重吸收新知识、新成果,开拓学生知识面,培养知识迁移能力和创新意识。

本书既可作为高二学生的同步参考用书,也可作为高三学生系统复习资料,亦可供中学物理教师的参考。

前 言

在新一轮基础教育课程改革中,物理教学内容的改革取得了很大的进展。高中物理新教材的推广,改变了原教材缺乏弹性、内容偏旧和过于注重书本知识的状况,加强了教学内容与学生生活和现代科技发展的联系,关注学生的学习兴趣和经验,有利于培养学生的创新精神和实践能力,及适应社会生活的能力。为了配合新教材的使用和学习,我们编写了这套高中物理思维点拨丛书,以倡导学生主动学习、乐于探究、勤于思考,培养学生搜集信息、处理信息和自学能力。

本丛书依据教育部最新颁发的教学大纲和考纲要求及新教材的相关内容,对高中物理按专题分层次编写。在《高中物理新教材解读》中,着重对物理综合问题、应用问题、实验问题、思想方法四个热点专题作了精要的概括与剖析,强化方法意识,拓宽分析思路,帮助学生进一步巩固和深化相关知识,提高发现问题、分析问题及解决问题的兴趣和能力的。本丛书的章节安排基本与教材同步,其中每节中分为以下几个栏目:

1. 知识要点和基本方法:对每节内容中的知识要点进行简明扼要的概括,梳理知识,帮助学生把握本节的重点内容和教学要求,理清知识脉络,牢固掌握知识点;对知识应用中的基本方法进行适当分析,具有指导性,起到了画龙点睛的作用。

2. 基础型训练题思维点拨:偏重于物理概念的辨析和基础型题解题过程的分析。前一部分通过对精选例题的示范解析、小结启示,给予解题思路和学习方法的具体指导,逐步培养学生联系实

际、应用知识、分析和解决问题的能力。后一部分是基础训练题,以检查和巩固学习效果。

3. 提高型训练题思维点拨:偏重于综合应用题和疑难问题的分析和点拨。通过解题指导,对问题的思考方法和综合应用能力的培养作了合理的延伸和拓展,旨在提高学生的综合能力与应用能力。训练题中精心选择体现能力和素质,能反映当前社会生活和实际需要的题目,适应了目前社会的形势与发展,体现了高考对能力的要求,也照顾了不同层次学生的要求。

4. 综合与博览:通过一些科技材料,或者通过几个物理知识在生活、生产实际中的应用实例,提出与社会实际和学生生活经验相联系的若干问题,引导学生自主地研究问题,开拓知识面,培养学生的知识迁移能力和创新意识,激发学生的兴趣,这个栏目与目前高考改革的趋势十分吻合,有一定新意。

5. 单元测试,每讲都备有单元测试题 A、B 两套试卷,难易程度不同,用于综合能力反馈测评,便于学生灵活选用。

由于水平所限,难免疏漏不妥之处,希望广大师生在使用过程中多提宝贵意见,以利提高,谢谢。

编者

2003 年 6 月

目 录

第一讲 静电场	1
1.1 电荷 库仑定律	1
1.2 电场 电场强度(电场线)	14
1.3 电势差 电势(等势线) 电势差与电场强度的 关系	25
1.4 电场中的导体 电容器 电容	39
1.5 带电粒子在匀强电场中的运动	51
单元测试卷	68
A 卷	68
B 卷	73
综合与博览	80
 第二讲 稳恒电流	89
2.1 欧姆定律 电阻定律 电阻率	89
2.2 电功和电功率	102
2.3 闭合电路欧姆定律	115
2.4 电压表和电流表 电阻的测量	135
单元测试卷	155
A 卷	155
B 卷	161
综合与博览	170

第三讲 磁场	180
3.1 磁场 磁感线 磁感应强度	180
3.2 安培力 电流表的工作原理	187
3.3 磁场对运动电荷的作用力	205
3.4 带电粒子在磁场中的运动规律 质谱仪 回旋加速器	221
单元测试卷	244
A 卷	244
B 卷	251
综合与博览	259
第四讲 电磁感应	267
4.1 电磁感应现象	267
4.2 法拉第电磁感应定律——感应电动势的大小	274
4.3 楞次定律——感应电流的方向	290
4.4 自感 日光灯原理	314
单元测试卷	323
A 卷	323
B 卷	330
综合与博览	340
第五讲 交变电流 电磁场和电磁波	349
5.1 交变电流的产生和变化规律	349
5.2 表征交流电变化快慢的物理量	359
5.3 电感和电容对交变电流的影响 变压器	368
5.4 电能的输送 三相交变电流	378
5.5 电磁振荡 电磁振荡的周期和频率	385
5.6 电磁场 电磁波	393
单元测试卷	402
A 卷	402

B 卷	408
综合与博览	416
第六讲 电学实验	427
实验一 用描迹法画出电场中平面上的等势线	429
实验二 描绘小灯泡的伏安特性曲线	432
实验三 测定金属的电阻率	436
实验四 把电流表改装为电压表	440
实验五 研究闭合电路欧姆定律	443
实验六 测定电源电动势和内阻	446
实验七 练习使用示波器	450
实验八 用多用电表探测黑箱内的电学元件	454
实验九 传感器的简单应用	458

第一讲 静 电 场

1.1 电荷 库仑定律

一、知识要点和基本方法

1. 掌握电荷的概念

(1) 两种电荷：自然界只存在两种电荷，即正电荷和负电荷，用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷是正电荷；用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷是负电荷。同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

(2) 电量及单位：电荷的多少叫电量，电量的国际单位是库仑(C)。

(3) 元电荷：电荷具有不连续性。任何电荷的电量等于元电荷 e 的整数倍，且 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

电子的比荷： $\frac{e}{m_e} = 1.67 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ 。

2. 知道电荷守恒定律

(1) 内容：在一个与外界无电荷交换的系统内，净电荷(正负电荷的代数和)保持不变。

(2) 应用：摩擦起电、感应起电和接触起电是使物体带电的三种方法。起电不是创造了电荷，而是使物体中的正负电荷分开，其实质就是电子的转移。

3. 掌握库仑定律

(1) 点电荷：如果带电体间的距离比带电体本身大小大得多，则带电体可视为不计大小和形状的点电荷。

(2) 库仑定律的适用范围：真空(或空气)中的两个点电荷间的相互作用。

(3) 库仑力的大小：库仑力大小为 $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ 。其中： $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ ，叫做静电力常量。但两个点电荷间的相互作用的库仑力满足牛顿第三定律——大小相等、方向相反(不能认为电量不等的两个点电荷相互作用时，所受的库仑力不相等)。

(4) 在理解库仑定律时，常有人根据 $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ ，设想当 $r \rightarrow 0$ 时，得出库仑力 $F \rightarrow 0$ 的结论。其错误的原因是，当 $r \rightarrow 0$ 时，两电荷已失去了点电荷的前提条件，也就是说此时，电荷已不能再看成是点电荷，所以违背了库仑定律的适用条件，不能再运用库仑定律分析两电荷间的库仑力大小。

二、基础型训练题思维点拨

【解题指导】

例 1 如图 1-1 所示，A、B 是被绝缘支架分别架起的金属导体，并相隔一定距离，其中 A 带正电，B 不带电。由于静电感应 B 左端出现负电荷，右端出现正电荷，则以下说法正确的是：()

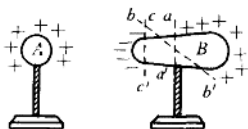


图 1-1

- A. 导体 B 左、右端感应出的电量大小相等
- B. 若 A 不动，将 B 沿图中的 aa' 分开，则两边的电量大小不等
- C. 若 A 不动，将 B 沿图中的 bb' 分开，则两边的电量大小相等
- D. 若 A 不动，将 B 沿图中的 cc' 分开，则左边的电量小于右边的电量

分析和解 在带电导体 A 的作用下，原来不带电的 B 导体上的自由电子重新分布，呈现出电性相反的等量电荷分布在其表面上，由于电荷不能创造，故 B 导体上被感应电量的代数和仍为零。

也就是说,无论导体形状如何,怎样把 B 导体分为两部分,只要两部分带电,必各带等量的异性电荷。所以正确的选项: A、C。

提示 电荷守恒定律是自然界中一个非常重要的规律,它揭示了在电荷的分离和转移的过程中,总量保持不变的规律。要注意它在中和现象、三种起电(接触起电、摩擦起电、感应起电)过程、静电感应现象中的应用。

例 2 真空中两个带电金属小球 A 和 B (A 、 B 可看作点电荷)相距 18 cm,已知 A 球带负电 Q_1 为 1.8×10^{-12} C,它们之间的引力大小为 $F = 1.6 \times 10^{-12}$ N,求 B 球所带的元电荷数。

分析和解 由于是真空中点电荷相互作用,符合运用库仑定律解题的条件。

由库仑定律 $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ 可得:

$$Q_2 = \frac{F \cdot r^2}{k Q_1} = \frac{1.6 \times 10^{-12} \times (0.18)^2}{9.0 \times 10^9 \times 1.8 \times 10^{-12}} = 3.2 \times 10^{-12} \text{ C}$$

$$\text{元电荷数 } n = \frac{Q_2}{e} = \frac{3.2 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2 \times 10^7 \text{ 个}$$

说明 由于两电荷表现为引力,故 Q_2 带正电,即缺少电子数 2×10^7 个。需要指出的是,从微观的角度来看,任何带电体所带电量都是元电荷 e 的整数倍,因此严格地讲带电体的电量是不连续的,但从宏观的带电体来看,由于元电荷数很大,一般不考虑这种微小的差别。

例 3 一半径为 R 的绝缘球壳上均匀带有电量为 $+Q$ 的电荷,另有电量为 $+q$ 的点电荷放在球心 O 上,由于对称性,点电荷受力为零。现在球壳上挖去半径为 r ($r \ll R$) 的一个小圆孔,则此时置于球心的点电荷所受力的的大小为 _____ (已知静电力恒量为 k),方向 _____。

分析和解 因为是均匀带电球壳,可以把它分成很多小块,以至每一小块都可看成点电荷,每一对称的两小块点电荷对放在球心的点电荷 $+q$ 的库仑力大小相等、方向相反。因而点电荷 $+q$ 所

受合力为零,如图 1-2 所示。

挖去小圆孔后,由于 $r \ll R$, 可认为被挖部分是点电荷。等效于在小圆孔处放了一等量的异种电荷 Δq , 且:

$$\Delta q = \rho \Delta S = \frac{Q}{4\pi R^2} \times \pi r^2 = \frac{Qr^2}{4R^2}$$

$$\text{由库仑定律得: } F = k \frac{\Delta q q}{R^2} = k \frac{Q q r^2}{4R^4}, \text{ 方}$$

向由球心指向小孔中心。

说明 用假设电荷的方法,运用叠加原理可以简化解题过程,是解决物理问题常用的方法。此题也可从另一角度去分析,同学们可一试。

【训练题】

1. 关于元电荷的理解,下列说法正确的是: ()

- A. 元电荷就是电子
- B. 元电荷是表示跟电子所带电量数值相等的电量
- C. 元电荷就是质子
- D. 物体所带的电量只能是元电荷电量的整数倍

2. 关于摩擦起电的下列说法中,哪些是正确的? ()

- A. 摩擦导体一定不能使它带电
- B. 两种不同材料的绝缘体互相摩擦后,它们必定同时带上等量异种电荷
- C. 摩擦起电时,质子从一个物体转移到另一物体
- D. 摩擦起电时,电子从一个物体转移到另一个物体

3. 如图 1-3 所示,有一带正电的验电器,当一金属 A 靠近验电器的小球 B (不接触)时,验电器的金箔张角减小,则: ()

- A. 金属球可能不带电
- B. 金属球可能带负电

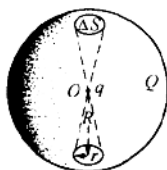


图 1-2

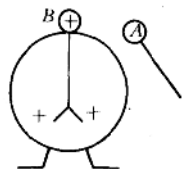


图 1-3

- C. 金属球可能带正电
D. 金属球一定带负电

4. 关于库仑定律,下列说法正确的是: ()

- A. 库仑定律适用于点电荷,点电荷其实就是体积很小的带电体

- B. 根据 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$, 当两个点电荷间的距离趋近于零时,库仑力将趋向无穷大

- C. 库仑定律的表达式和万有引力定律的表达式很相似,都与距离的平方成反比例

- D. 静电力常量 k 的值为 $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

5. 在绝缘光滑水平面上,相隔一定距离有两个带同种电荷的小球,同时从静止释放,则两小球的加速度和速度大小随时间变化的情况是: ()

- A. 速度变大,加速度变大 B. 速度变小,加速度变小
C. 速度变大,加速度变小 D. 速度变小,加速度变大

6. 如图 1-4 所示,有两个半径为 r 的金属球,相距为 $100r$,带电量分别为 $+Q_1$ 、 $-Q_2$,此时受到的库仑力为 F ,保持它们的电量不变,把它们之间的距离减小到 $10r$,此时受到的库仑力是 f ,则: ()

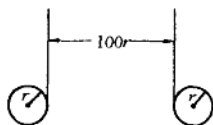


图 1-4

- A. $f = 100F$ B. $f > 100F$
C. $f < 100F$ D. 以上都不对

7. 真空中两个相同的带等量异种电荷的小球 A 和 B (A 、 B 可看作点电荷),分别固定在两处,两球间静电力为 F 。用一个不带电的同样小球 C 先和 A 接触,再与 B 接触,然后移去 C ,则 A 、 B 球间的静电力应为 _____ F ,若再使 A 、 B 球距离增大一倍,则它们的静电力为 _____ F 。

8. 如图 1-5 所示,两个可视为质点金属小球 A、B 质量都是 m 、带正电电量都是 q ,连接小球的绝缘细线长度都是 l ,静电力常量为 k ,重力加速度为 g ,则连接 A、B 的细线张力为多少? 连接 O、A 的细线张力为多少?

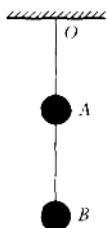


图 1-5

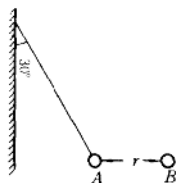


图 1-6

9. 如图 1-6 所示,质量为 m 的带电小球 A 挂在绝缘细线上,将另一带电量为 q 的小球 B 靠近小球 A,当小球 A 静止时,A、B 球在同一水平面上相距 r ,细线与竖直方向成 30° 角,则小球 A 所带电量为多少库?

10. 固定的两个带正电的点电荷 q_1 和 q_2 ,电量之比为 $1:4$,相距为 d ,引入第三个点电荷 q_3 ,要 q_3 能处于平衡状态,试讨论:
(1) 对 q_3 的位置、电性、电量有何要求? (2) 若 q_1 和 q_2 不固定,则对 q_3 又有什么要求?

【参考答案与提示】

1. B,D 2. B,D 3. A,B 4. C,D 5. C 6. B

7. $1/8, 1/32$ 8. $mg + kq^2/l^2, 2mg$ 9. $\frac{\sqrt{3}mgr^2}{3kq}$

10. 若 q_1 和 q_2 固定,对 q_3 的电性和电量无要求, q_3 的位置应在 q_1 和 q_2 连线之间靠近电量小的电荷 $d/3$;若 q_1 和 q_2 不固定, q_3 的电性必须是负的,电量为 $q_3 = 4q_1/9$

三、提高型训练题思维点拨

本节的重点是综合应用电荷守恒定律和库仑定律。应用库仑

定律研究电荷间的相互作用,实质是一个力学问题,在充分考虑库仑力特点的前提下,正确运用力学概念、规律进行分析研究。要注意的是库仑力的特点。① 两点电荷间库仑力大小相等,不是电量大的受力大;② 库仑力的方向沿两点电荷的连线,画图表示库仑力方向。

【解题指导】

例 4 有三个完全相同的金属球 A、B、C,其中 A 带电量 $+10Q$, B 带电量 $-Q$, C 不带电。将 A 和 B 固定,然后让 C 反复与 A 和 B 接触,最后移走 C 球。试问 A、B 间的相互作用力大小变为原来的多少倍?

分析和解 让 C 球反复与 A 和 B 球接触的最终状态应理解为一个稳定状态,即最后的接触已不会发生电荷的转移,意味着 A、B、C 三个相同小球均分净电荷,其电量为:

$$Q' = \frac{10Q + (-Q)}{3} = 3Q$$

A 和 B 间原来的相互作用力大小为:

$$F = k \frac{Q_A Q_B}{r^2} = k \frac{10Q^2}{r^2}$$

A 和 B 间碰后的相互作用力大小为:

$$F' = k \frac{Q'_A Q'_B}{r^2} = k \frac{9Q^2}{r^2}$$

比较后可知

$$F' = \frac{9}{10}F$$

故 A、B 间的相互作用力变为原来的 $9/10$ 。

说明 此题考查了接触起电及电荷守恒定律、库仑定律等内容。这两个定律是电磁学中重要的基本定律,应用时要注意定律的适用条件。

例 5 带电量为 $+4Q$ 和 $-Q$ 的点电荷 A 、 B 相距 L ，要求引入第三个点电荷 C ，使三个点电荷仅在库仑力作用下都处于平衡状态。试讨论点电荷 C 带何种电荷，并求 C 的电量和位置。

分析和解 要使 A 、 B 、 C 均处于平衡状态，则每一个小球所受合力为零。要使 C 球平衡，则 C 必须放在 BA 延长线上离 B 电荷 x 的某点。为使 A （或 B ）受力平衡， C 球必须带正电。如图 1-7 所示。

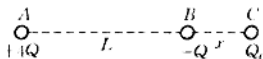


图 1-7

对每个点电荷建立平衡方程为（电量都取绝对值）：

$$\text{对 } A: k \frac{4Q \cdot Q_C}{(L+x)^2} = k \frac{4Q \cdot Q}{L^2}$$

$$\text{对 } B: k \frac{4Q \cdot Q}{L^2} = k \frac{Q \cdot Q_C}{x^2}$$

$$\text{对 } C: k \frac{4Q \cdot Q_C}{(L+x)^2} = k \frac{4Q \cdot Q}{x^2}$$

3 个方程任取其中两个联立可解得： $Q_C = 4Q$ ， $x = L$ 。

说明 反思上题的分析，可推知，在光滑绝缘水平面上放置三个点电荷，且均处于平衡状态的前提是：三点共线、两大夹小、两同夹异。

思考 若 A 、 B 两球是固定的，对 C 的位置、电性、电量又有何要求？

例 6 如图 1-8 所示， A 、 B 是带有等量的同种电荷的两小球，它们的质量都是 m ，它们的悬线长度是 L ，悬线上端都固定在同一点 O ， B 球悬线竖直且被固定， A 球在力的作用下，偏离 B 球 x 的地方静止平衡，此时 A 受到绳的拉力为 T ；现在保持其他条件不变，用改变 A 球质量的方法，使 A 球在距 B 为 $\frac{1}{2}x$ 处平衡；则 A 受到绳的拉力为：（ ）

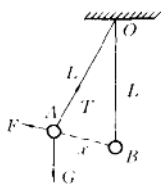
A. T B. $2T$ C. $4T$ D. $8T$ 

图 1-8

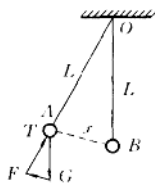


图 1-9

分析和解 对 A 球受力分析,如图 1-8 所示。由于 A 平衡,则顺次连接 G、F、T 三力的矢量必然构成封闭三角形,如图 1-9 所示中的 $\triangle TGF$ 。容易证明 $\triangle TGF \sim \triangle OBA$,由相似三角形的相似比得 $T = mg$ 、 $F = \frac{x}{L}mg$ 。

当 A 球质量变为 m' 并使它在距 B 球 $\frac{1}{2}x$ 处平衡时,同理可得:

$$T' = m'g \text{ 和 } F' = \frac{\frac{1}{2}x}{L}m'g$$

由库仑定律容易得到 A 球前后所受库仑力之比 $\frac{\frac{1}{2}xm'g/L}{xm g/L} =$

$\frac{4}{1}$,解得 $m' = 8m$, $T' = m'g = 8mg = 8T$; 本题答案为 D。

例 7 在光滑绝缘的水平桌面上有相距为 L 的两个点电荷小球 A、B,它们的质量分别为 m 和 $2m$,由静止开始运动。初始时刻, A 的加速度为 a ,经过一段时间后, B 的加速度大小也是 a ,速度大小为 v 。求: (1) A、B 是同种电荷,还是异种电荷? (2) 当 B 的加速度大小也是 a 时, A、B 的距离是多大? A 的速度 $v_A = ?$ (3) 从初始时刻起至 B 的加速度大小为 a 这段时间内, B 对 A 库仑力做了多少功?

分析和解 (1) 由牛顿第三定律可知: 不论 A 、 B 间距如何变化, 它们所受库仑力总是大小相等、方向相反并且作用在 A 、 B 连线上。由 $F = ma$ 得任意时刻的 $a_A : a_B = 2 : 1$ 。初始时, $a_A = a$, 所以 $a_B = \frac{1}{2}a$; 经过一段时间 B 的加速度为 a , 说明 A 、 B 间库仑力增大, 距离一定减小, 故 A 、 B 一定是异种电荷。

(2) 由 $F = ma$, 对初状态的 A 和另一状态的 B 分别列式:

$$\text{对 } A \quad \frac{kQ_A Q_B}{L^2} = ma \quad ①$$

$$\text{对 } B \quad \frac{kQ_A Q_B}{L'^2} = 2ma \quad ②$$

$$\text{由①、②两式解得} \quad L' = \frac{\sqrt{2}}{2}L$$

若把 A 、 B 作为一个系统来考虑, 系统在水平方向上不受外力作用, 满足动量守恒定律, 即 $0 = mv_A + 2mv$, 解得 $v_A = -2v$ (负号表示 A 、 B 速度方向相反)。

(3) A 、 B 在相向运动过程中, 它们之间的库仑力是非线性的变力, 故无法用功的定义式 $W = F \cdot s \cos \theta$ 去求解库仑力的做功。对 A 运用动能定理, 则

$$W_{\text{库仑力}} = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_A^2 - 0 = 2mv^2$$

说明 电荷之间的作用力——库仑力, 虽然在本质上不同于重力、弹力、摩擦力, 但产生的效果是服从牛顿力学中的所有规律。所以在计算库仑力时应根据库仑定律; 分析效果时, 应根据力学中的解题思路去分析, 去思考。

【训练题】

1. 有两个带同种电荷的小球, 用长度相同的绝缘细线悬挂在同一点, 因同种电荷相互排斥而使悬线张开, 如图 1-10 所示, 两球所带电