

新概念

高中物理读本

第 二 册

赵凯华 张维善 著

人民教育出版社



责任编辑 周誉葛
封面制作 李宏庆

ISBN 7-107-19437-2



9 787107 194375 >

ISBN7-107-19437-2 定价：31.40 元
G · 12527

新概念 高中物理读本

第二册

赵凯华 张维善

人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

新概念高中物理读本. 第2册/赵凯华 张维善.

北京:人民教育出版社,2006

ISBN 7-107-19437-2

I. 新...

II. ①赵...②张...

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(2006)第 015084 号

人民教育出版社出版发行

(北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼 邮编:100081)

网址:<http://www.pep.com.cn>

北京人卫印刷厂印装 全国新华书店经销

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16 印张:14.75

字数:247 千字 印数:0 001~3 000 册

定价:31.40 元

目 录

第一章 静电场	1
§ 1. 电荷及其守恒定律	1
1.1 两种电荷	1
1.2 静电感应	4
1.3 电荷守恒定律	5
§ 2. 库仑定律	6
2.1 万有引力与静电力	6
2.2 库仑定律	7
§ 3. 电场 电场强度	12
3.1 电场	12
3.2 电场强度矢量	13
3.3 点电荷的场强	14
3.4 电场强度叠加原理	15
3.5 电场线	19
§ 4. 电势 电势差	22
4.1 电场力做功与电势能	22
4.2 电势和电势差	24
4.3 点电荷电场的电势 电势的叠加	26
4.4 电势差与电场强度的关系	28
4.5 等势面	29
§ 5. 带电粒子在电场中的运动	31
5.1 密立根实验	31
5.2 带电粒子在电场中受力和运动	33
5.3 示波管的原理	36
§ 6. 静电场中的导体	38
6.1 导体的静电平衡	38
6.2 静电平衡时导体上的电荷分布	40
6.3 导体空腔与静电屏蔽	42

§ 7. 电容和电容器	46
7.1 孤立导体的电容	46
7.2 电容器及其电容	47
7.3 电介质对电容的影响	49
7.4 电容器中储存的能量	50
7.5 电场能	51
第二章 恒定电流	57
§ 1. 电场和电流	57
1.1 从电火花到电流	57
1.2 导线中的电场	58
1.3 恒定电流	59
§ 2. 电流的实验定律	64
2.1 欧姆定律	64
2.2 焦耳定律	65
2.3 电阻率	68
§ 3. 闭合电路	70
3.1 电源的电动势	70
3.2 闭合电路中的欧姆定律	72
3.3 路端电压与负载的关系	73
3.4 闭合电路的输出功率	74
§ 4. 串联电路和并联电路	76
4.1 串联电路	76
4.2 并联电路	77
4.3 串、并联电路的计算	78
4.4 电流表和电压表	82
4.5 电源的串联和并联	84
第三章 恒磁场	91
§ 1. 磁现象	91
1.1 天然磁现象	91
1.2 电流的磁效应	92
1.3 磁作用的几种表现	94
1.4 磁现象的本源	95
§ 2. 磁场 磁感应强度	96
2.1 磁场	96

2.2 磁感应强度	97
2.3 磁感线和磁通量	99
2.4 几种常见的磁场	100
2.5 均匀磁场	103
§ 3. 带电粒子在磁场中的运动	104
3.1 洛伦兹力	104
3.2 带电粒子在匀强磁场中的运动	106
3.3 荷质比的测定和电子的发现	108
3.4 回旋加速器	111
3.5 霍耳效应	114
3.6 磁约束	115
§ 4. 磁场对载流导线的作用	119
4.1 洛伦兹力和安培力	119
4.2 两根长直载流导线间的相互作用力	121
4.3 磁场对载流线圈的作用	122
4.4 直流电动机	123
4.5 磁电式电流计	124
§ 5. 物质的磁性	127
5.1 物质按磁性的分类	127
5.2 顺磁性与抗磁性	128
5.3 铁磁性	129
第四章 电磁感应	134
§ 1. 电磁感应现象	134
1.1 科学发现的启迪	134
1.2 电磁感应现象	136
§ 2. 电磁感应定律	139
2.1 感应电流的方向 楞次定律	139
2.2 感应电动势 法拉第电磁感应定律	141
§ 3. 动生电动势和感生电动势	146
3.1 动生电动势	146
3.2 感生电动势	148
3.3 直流电机 反电动势	149
§ 4. 自感与互感	153
4.1 自感电动势和自感系数	153

4.2 互感电动势和互感系数·····	155
4.3 磁场能·····	156
§ 5. 涡电流·····	159
5.1 涡电流的热效应·····	159
5.2 涡电流的机械效应·····	160
第五章 交流电 ·····	166
§ 1. 交流电的产生及变化规律·····	166
1.1 交流电概述·····	166
1.2 简谐交流电的产生及变化规律·····	167
1.3 描述简谐交流电的特征量·····	169
§ 2. 交流电路·····	172
2.1 纯电阻电路·····	172
2.2 纯电感电路·····	172
2.3 纯电容电路·····	174
§ 3. 交流电的功率·····	177
3.1 电流与电压的相位关系·····	177
3.2 瞬时功率和平均功率·····	178
3.3 功率因数·····	180
§ 4. 变压器·····	181
4.1 变压器·····	181
4.2 互感器·····	183
4.3 电能的输送·····	184
§ 5. 三相交流电·····	186
5.1 三相交流电·····	186
5.2 相电压和线电压·····	186
5.3 三相电路中负载的连接·····	187
5.4 三相感应电动机·····	188
第六章 电磁场与电磁波 ·····	191
§ 1. 电磁场·····	191
1.1 前赴后继的两位物理学家·····	191
1.2 电磁场·····	192
§ 2. 电磁波·····	194
2.1 电磁波及其产生·····	194
2.2 电磁波的性质·····	197

§ 3. 电磁波实验发现	199
3.1 赫兹实验	199
3.2 电磁波谱	201
§ 4. 电磁波的发送与接收	203
4.1 电磁波的发送	203
4.2 电磁波的接收	204
4.3 无线电通讯概述	205
第七章 狭义相对论	208
§ 1. 狭义相对论的创立	208
1.1 严肃而深刻的矛盾	208
1.2 爱因斯坦的抉择	210
1.3 一个天真的问题:时间是什么?	211
§ 2. 时空的相对性	211
2.1 牛顿时空观与伽利略变换	211
2.2 时间的相对性	213
2.3 长度的相对性	216
§ 3. 洛伦兹变换与速度合成	218
3.1 洛伦兹变换	218
3.2 速度的合成	220
§ 4. 相对论的质量和能量	223
4.1 质量和速度的关系	223
4.2 质量和能量的关系	225
4.3 质量亏损	226

第一章 静电场

§ 1. 电荷及其守恒定律

1.1 两种电荷

牛顿曾说：“我不过像是一个在海边玩耍的小孩，不时为发现比寻常更光滑的一块石子或比寻常更美丽的一片贝壳而沾沾自喜，但对展现在我面前的浩瀚的真理海洋却全然没有发现。”是的，牛顿并没有揭示值得我们知道的每一样东西，其中就包括电现象、磁现象……。

其实，研究电现象和磁现象的历史比起对机械运动的研究远为广阔和丰富，电和磁的世界也比简单机械位移的世界复杂和丰富多彩。

公元前 600 年左右，希腊人泰勒斯(Thales, 公元前 624 ~ 546)就发现了用毛皮摩擦过的琥珀能吸引轻小物体的现象。公元一世纪，我国学者王充在《论衡》一书中也写下“顿牟掇芥”。顿牟就是琥珀或玳瑁，掇芥是吸引轻小物体。公元 16 世纪，英王御医吉尔伯特(W. Gilbert, 1544 ~ 1603)在研究这类现象时首先根据希腊文“琥珀”(elektron)创造了英文中的“电”(electricity)这个词，用来表示琥珀经过摩擦以后具有的性质，并且认为摩擦过的琥珀带有**电荷**(electric charge)。

人们还发现，摩擦后能吸引轻小物体的现象，并不是琥珀所独有的，像玻璃棒、硬橡胶棒、硫磺块或水晶块等，用毛皮或丝绸摩擦后，也能吸引轻小物体。

物体有了这种吸引轻小物体的性质，就说它带了电，或有了**电荷**。带电的物体叫**带电体**。

使物体带电叫做起电。用摩擦方法使物体带电叫做**摩擦起电**(electrification by friction)。

实验指出，两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒互相排斥；两根用绸子摩擦过的玻璃棒也互相排斥；可是，用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与用绸子摩擦过的玻璃棒互相吸引，这表明硬橡胶棒上的电荷和玻璃棒上的电荷是不同的。实验表明，

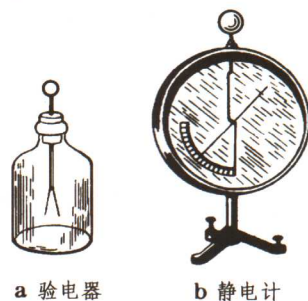
所有其他物体，无论用什么方法起电，都只吸引上述带电橡胶棒和玻璃棒中的一个，而排斥另外一个。这表明，它所带的电荷或者与玻璃棒上的电荷相同，或者与硬橡胶棒上的电荷相同。所以，自然界中只存在两种电荷，而且同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

小 议 论

A. 橡胶棒和玻璃棒所带的电相互吸引，如果有第三种物体所带的电对它们二者都吸引，是否就不得不认为存在两种以上的电荷了呢？电荷与万有引力有些相像，质量相当于电荷。但甲、乙两质点相吸，质点丙对它们二者都吸引，我们并不认为存在两种以上的质量。

B. 你忘了，不是先已证明同种电荷之间是排斥力吗？质量只有一种，所有质量都是相互吸引的。

物体所带电荷数量的多少，叫做**电荷量**（electric quantity），简称**电量**。电量的单位是**库仑**，用字母 C 表示。测量电量的最简单的仪器是**验电器**，如图 1-1a 所示，在玻璃瓶口上装一橡胶塞，塞中插一根金属杆，杆的上端有一金属球，下端有一对悬挂的金属箔片。当带电体和金属球接触时，就会有一部分电荷传到两块金属箔片上，它们就因带同种电荷互相排斥而张开，所带电荷愈多，张角就愈大。



a 验电器

b 静电计

为了便于定量地确定电荷的多少，还可用**静电计**来测量。静电计是在金属外壳中绝缘地安装一根金属杆，在金属杆上安装一根可以偏转的金属指针，并在杆的下端装一个弧形标度尺来显示指针偏转的角度，如图 1-1b 所示。

如果静电计原已带了电，我们再把同种电荷加到它上面，指针的偏转角就会增大；把异种电荷逐渐加上，就会看到指针的偏转角开始时缩小，减到零之后又复张开，这时它所带的是后加上那种电荷。这些事实表明，两种电荷就像正数和负数一样，同种的放在一起互相增强，异种的放在一起互相抵消。两种电荷互相完全抵消叫做**中和**。为了区别两种电荷，我们把其中一种（用绸子摩擦过的玻璃棒所带的电荷）叫做**正电荷**（positive charge），另一种（用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷）叫做**负电荷**（negative charge）。它们的数量分别用正数和负数来表示。

电荷的正、负本来是相对的，把两种电荷中的哪一种叫做“正”，哪一种叫做“负”，本是任意的。上述命名法是美国科学家富兰克林(B. Franklin, 1706~1790)首先提出的，国际上一直沿用到今天。

小 议 论

A. 电荷有两种，我们可以称它们阴的和阳的，也可以称它们黑的和白的，或红的和蓝的，无非是大家约定的名称而已。称它们是正的和负的，有什么好处？

B. 这是因为实验表明，等量的两种电荷放在一起会中和，就像正负数相加可以抵消一样。

A. 我忽然产生一个奇怪的想法，如果电荷有三种而不是两种，等量的三种不同电荷放在一起才会中和，那我们怎样称呼它们才好呢？

B. 世界上根本不存在那样的东西，何必费那个心思。

C. 我在科普书上看到，夸克有三种，三种不同的夸克放在一起会中和。科学家把这三种夸克叫做红、绿、蓝，正像红绿蓝三原色一起成为白色（或者说无色）一样，三种“颜色”的夸克放在一起也会中和。不过夸克之间的相互作用不是电磁相互作用，而是强相互作用，与此相关的“荷”不叫电荷而叫“色荷”。

A. 真有意思，我不过随便说说罢了，天下居然真有这样的事。

早年人们对于这种电现象的本质并不认识。直到 20 世纪，当物理学终于解开物质的分子、原子的内部结构之谜后，人们对它才有了较深入的了解。现在我们已经知道，物质是由分子、原子组成的，而原子又由带正电的原子核和带负电的电子组成，原子核中有质子和中子，中子不带电，质子带正电。一个质子所带的电量和一个电子所带的电量数值相等。也就是说，如果用 e 代表一个质子的电量，则一个电子的电量就是 $-e$ 。

物质内部固有地存在着带有这两种基本电荷的电子和质子正是各种物体带电过程的内在根据。由于在正常情况下物体中任何一部分所包含的电子的总数和质子的总数是相等的，所以对外界不表现出电性。但是，如果在一定的外因作用下，物体(或其中的一部分)得到或失去一定数量的电子，使得电子的总数和质子的总数不再相等，物体就呈现电性。

两种不同质料的物体互相摩擦后所以都会带电，是因为通过摩擦，每个物体中都有一些电子脱离了原子的束缚，跑到另一物体上去。但是，不同材料的物体彼此向对方转移的电子数目往往不相等，所以总体上讲，一个物体失去了电子，另一个物体得到了电子，结果失去电子的物体就带正电，得到电子的物

体就带负电。因此，摩擦起电实际上就是通过摩擦作用使电子从一个物体转移到另一物体的过程。

1.2 静电感应

不同物质的原子或分子的结构不同，核外电子的运动状况就不同。由大量原子或分子组成大块物质时，由于原子或分子间的相互作用，核外电子的运动状况也会有所变化。这些情况都会使不同物质中的电子在受到外界作用时产生不同的结果。例如，在大量金属原子组成的金属中，原子中离原子核最远的外层电子可以摆脱原子的束缚，在整个导体中自由运动，这类电子叫做**自由电子** (free electron)。原子中其余部分叫**原子实** (atomic kernel)。在固态金属中原子实排列成整齐的点阵，称为**晶格或晶体点阵**。自由电子在晶体点阵间跑来跑去，像气体的分子那样作无规运动，并不时地彼此碰撞或与点阵上的原子实碰撞。凡是内部存在着可以自由移动的电荷的物体叫做**导体** (conductor)，其中可以自由移动的电荷叫做**自由电荷** (free charge)。金属导体中的自由电荷就是自由电子。

当一个带电体靠近导体时，由于电荷间相吸或相斥的作用，导体中的自由电荷便会产生趋向或远离带电体的运动，使导体靠近带电体的一端带异种电荷，远处的一端带同种电荷。这种现象叫**静电感应** (electrostatic induction)。利用静电感应使金属导体带电叫做**感应起电** (electrification by induction)，所带电荷叫做**感应电荷** (induced charge)。下面是一个感应起电的实验：

取一对用绝缘支柱支持的金属导体 A 和 B，使它们彼此接触。起初它们不带电，贴在它们下部的金属箔片是闭合的。现在把带正电荷的球 C 移近导体 A，可以看到 A、B 上的金属箔片都张开了，表示 A、B 都带上了电荷(图 1-2a)。

如果此时先把 A 和 B 分开，然后移去 C，可以看到 A 和 B 仍带有电荷(图 1-2b)。最后让 A 和 B 接触，它们上面的金箔再次闭合(图 1-2c)，表明所带电荷全部消失，且 A、B 重新接触前所带的电荷是等量异号的。

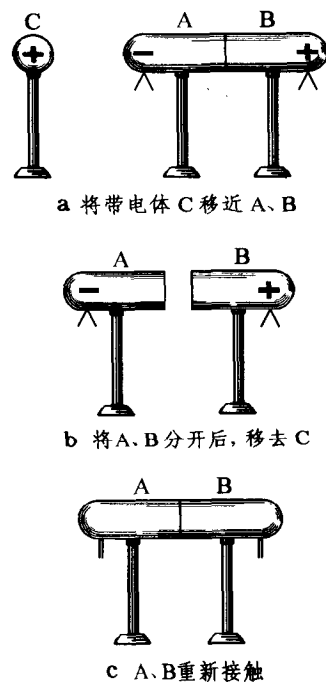


图 1-2 静电感应

并非只有金属才是导体，只是在不同类型的导体中，自由电荷的微观载体是不一样的。例如，在电解液中，自由电荷不是电子而是溶解在其中的酸、碱、盐等溶质分子离解成的正、负离子；在电离的气体（如日光灯中的汞蒸气）中，自由电荷也是正、负离子，不过气体中的负离子往往就是电子。

与导体不同，在一些物体中绝大部分电荷都只能在一个原子或分子的范围内作微小的位移。这种电荷叫做**束缚电荷**(bound charge)。这些物体叫**绝缘体**(insulator)。由于绝缘体中自由电子很少，它们的导电性能很差，也就不会发生感应起电，而只能靠摩擦起电的方式带电。

此外，还有一些物体叫**半导体**(semiconductor)。在半导体中导电的粒子(叫做**载流子**)，除带负电的电子外，还有带正电的“空穴”。当其中多数载流子是电子时，称为N型半导体；当多数载流子是“空穴”时，称为P型半导体。将N型和P型半导体结合起来，可以制成晶体二极管、三极管等各种半导体器件，在现代电子技术中有着广泛的应用。

1.3 电荷守恒定律

摩擦起电和静电感应的实验表明，起电过程是微观带电粒子如电子从一个物体(或物体的一部分)转移到另一物体(或同一物体的另一部分)的过程，得到电子者带负电，失去电子者带正电，因此两者总是分别带上等量异号电荷。

大量事实表明，电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分，也就是说，在**任何物理过程中，电荷的代数和是守恒的**，这叫做**电荷守恒定律**(law of conservation of electric charge)。电荷守恒定律不仅在一切宏观过程中成立，近代科学实验证明，它也是一切微观过程(如核反应和“基本”粒子过程)所普遍遵守的。例如，高能光子(γ 射线)和原子核相碰时，会产生一对正负电子^①；反之，当一对正负电子互相靠近时会融合而消失，在消失处产生 γ 辐射。光子不带电，正负电子所带的电荷等量异号，故此过程中尽管粒子产生或消灭了，但过程中电荷的代数和没有改变。电荷守恒定律是物理学中普遍的基本定律之一。

还应指出的是，物质的电结构表明，电荷的量值是离散的(近代物理学

^① 正电子是美国物理学家安德森于1932年发现的，它是除了所带电荷为正外，在其它方面与电子相同的一种微观粒子。

中把这叫做“量子化的”)。电荷的量值有个基本单元,即一个质子或一个电子所带电量的绝对值 e 。每个原子核、原子或离子、分子,以及宏观物体所带的电量,都只能是这个基元电荷 e 的整数倍。 e 的数值最早是由美国物理学家密立根(R. A. Millikan, 1868 ~ 1953)在1913年测得的。这是他1923年获得诺贝尔物理学奖的重要原因。根据1999年国际上公布的数据,它的量值为

$$e = 1.602\ 176\ 462 \times 10^{-19} \text{C}$$

其近似值为

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$$

电子的电量 e 与电子的质量 m_e 之比,叫做电子的比荷(specific charge),也是一个重要的物理量。电子质量 $m_e = 0.91 \times 10^{-30} \text{kg}$,电子的比荷为

$$\frac{e}{m_e} = 1.76 \times 10^{11} \text{C/kg}。$$

思考与练习

1. 带电体A排斥带电体B,吸引带电体C,C又排斥D。已知D带正电,那么B带哪种电荷?
2. 带电棒吸引干燥软木屑,木屑接触棒以后,往往又剧烈地跳离此棒。试解释之。
3. 用手握金属棒与丝绸摩擦,金属棒不能带电。带上橡皮手套,握着金属棒和丝绸摩擦,金属棒就会带电。为什么两种情况有不同结果?
4. 将一个带正电的小球移近一个绝缘的不带电的导体,小球受到吸引力还是排斥力?若将导体远端接地,情况如何?近端接地呢?若导体未接地前与小球接触一下,情况又如何?
5. 在塑料桌面上放有三个相同的互相接触的金属块,将带有大量正电荷的两个物体分别放在这排金属块的两端,靠近而不接触。然后用不带电的绝缘棒把三个金属块分开,再取走带正电的物体。这时每个金属块上各带哪种电荷?
6. 1C相当于多少个电子所带的电量?

§ 2. 库仑定律

2.1 万有引力与静电力

发现电现象后两千多年的长时期内,人们对电的了解一直处于定性的初级

阶段。这是因为，一方面社会生产力的发展还没有提出应用电力的急迫需要，另一方面，人们对电的规律的研究必须借助于较精密的仪器，这也只有在生产水平达到一定高度时才能实现。但是，无论如何，对于 18 世纪的物理学家而言，物体因带电而彼此吸引或排斥是一个特别重要的现象，因为它表明，在非接触物体之间，除了此前已知的万有引力之外，又有了电力。在牛顿力学成功地描述了物体的万有引力和机械运动之后，他们很自然地把带电物体的相互吸引或排斥与力学中的作用力联系起来，因而寻找电力遵循的规律成为引人注目的研究课题。

在实验研究尚未开展之前，富兰克林曾注意到一个使他不解的现象：将细线悬挂的带电软木小球放在带电金属筒外时，小球明显地受到电力作用而倾斜，但当把小球放入筒内时则几乎不受电力作用而竖直下垂。他把这一发现告诉了他的好友普利斯特利。普利斯特利通过类比，认为电力与万有引力一样，也应具有与距离平方成反比的特性，这是因为均匀物质球壳对球外物质小球具有引力作用，但当把小球置于球壳内任意位置时，小球所受万有引力为零。可以证明，这是万有引力与距离平方成反比的必然结果（参见下面 3.4 节例题 1-5）。

在普利斯特利重复富兰克林实验并作出类比分析之前 20 年，卡文迪什也做了相似的实验，并确信平方反比定律适用于电力。

一方面是类似的现象暗示着类似的特征，另一方面是电力和万有引力也有显著的不同，例如电力有吸引和排斥，带电有正、负之分，而万有引力总是彼此吸引，且没有负质量的物体；除此之外，仅当一个中空物体的密度均匀且为球形时，位于其内的物体所受的引力才为零，而富兰克林的实验表明，不管金属空腔的形状如何，腔内带电小球均不受电力。所有这一切表明，卡文迪什和普利斯特利的类比猜测都在召唤着实验的直接测量。

2.2 库仑定律

法国工程学天才库仑 (C. A. Coulomb, 1736 ~ 1806) 是试图通过直接测量来寻找电力规律的第一人。他原先研究力学，曾发现固体间的滑动摩擦定律 $f = \mu' N$ 。他还是研究和制作扭秤的专家，并得出扭秤金属悬丝所受的扭力矩与扭转角度成正比，比例系数与细丝的长度、直径、切变弹性模量等有关。

库仑在 1784 至 1785 年间设计制作了一台精巧的能够测出 10^{-8}N 微弱作用力的扭秤，用以测量两个带同号电荷的点电荷之间的电斥力。所谓点电荷

(point charge), 是指这样的带电体, 它本身的几何线度比起它到其他带电体的距离小得多。于是, 在研究问题时, 它的形状和电荷在其中的分布就无关紧要了, 因此我们可以把它抽象成一个几何点。点电荷的概念类似于力学中的质点, 是一种理想化的物理模型。

库仑的扭秤实验如图 1-3 所示, 在金属细丝下悬挂一根秤杆, 秤杆的一端是一带电小球 A, 另一端有平衡体 P, 在 A 旁还置有另一与它大小一样的固定带电小球 B。因 A 球受 B 球的电力使秤杆偏转, 转动细丝上端的旋钮, 可使 A 球回复到原来位置。由于细丝所受扭力矩等于 A 球所受电力矩, 而扭力矩与旋钮指针转过的角度成正比, 所以电力矩的大小可以通过扭转角来比较和测量。库仑认定, 与引力中的质量类似, 电力的大小取决于 A、B 两小球所带电量的乘积, 接着通过扭秤的转角比较各种距离下 A、B 两球之间的电力。库仑测出, 当两球间距离之比为 36:18:8.5 时, 相应的扭转角为 36° 、 144° 、 576° , 即当两球间距离减小为一半和约四分之一时, 其间的电力增大为 4 倍和 16 倍。由

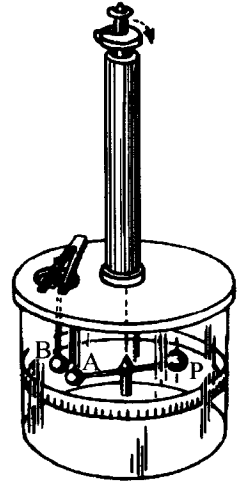


图 1-3 库仑扭秤

此他得出: 两个带同种电荷的点电荷之间的相互排斥力和它们之间距离的平方成反比。这就是库仑扭秤实验的结论。

与电斥力不同, 在异种电荷相吸引的情形下, 秤杆上的小球 A 总会被固定小球 B 吸引过去与之接触, 从而扭秤不能达到平衡。为此, 库仑改做了电引力扭摆实验。

我们已经知道, 在地球重力作用下, 单摆的振动周期为 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 。如考虑普遍的万有引力, 式中 $g = \frac{GM}{r^2} \propto \frac{1}{r^2}$, 则有

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{GM}} r \propto r,$$

式中 r 是摆球到引力中心的距离, l 是摆长, M 是产生引力的物体的质量, G 是万有引力常量。因此, 当 l 与 M 给定时, T 应与 r 成正比。显然, 这正是万有引力与距离平方成反比的结果。

库仑的电引力扭摆实验如图 1-4 所示, 细线下悬挂着一水平绝缘细棒, 一端是带电小球 A, 另一端是平衡体 P, 固定的金属球 B 带有异号电荷。受电引