# 第九章 2 库仑定律

## 问题？

带正电的带电体C置于铁架台旁，把系在丝线上带正电的小球先后挂在P1、P2、P3等位置。带电体C与小球间的作用力会随距离的不同怎样改变呢？

P1

P2

P3

C

*F*

在同一位置增大或减小小球所带的电荷量，作用力又会怎样变化？ 电荷之间作用力的大小与哪些因素有关？

## 电荷之间的作用力

通过上面的实验可以看到，电荷之间的作用力随着电荷量的增大而增大，随着距离的增大而减小。

电荷之间的作用力会不会与万有引力具有相似的形式呢？也就是说，电荷之间的相互作用力，会不会与它们电荷量的乘积成正比，与它们之间距离的二次方成反比？

事实上，电荷之间的作用力与万有引力是否相似的问题早已引起当年一些研究者的注意，英国科学家卡文迪什和普里斯特利等人都确信“平方反比”规律适用于电荷间的力。不过，最终解决这一问题的是法国科学家库仑。他设计了一个十分精妙的实验（扭秤实验），对电荷之间的作用力开展研究。最后确认：**真空中两个静止点电荷之间的相互作用力，与它们的电荷量的乘积成正比，与它们的距离的二次方成反比，作用力的方向在它们的连线上**。这个规律叫作**库仑定律**（Coulomb’s law）。这种电荷之间的相互作用力叫作**静电力**（electrostatic force）或库仑力。

库仑（Charles-Augustin Coulomb，1736—1806）

类比在库仑定律的建立过程中发挥了重要作用。类比会引起人们的联想，产生创新。但是类比不是严格的推理，不一定正确，由类比而提出的猜想是否正确需要实践的检验。

那么，什么是点电荷呢？

实验事实说明，两个实际的带电体间的相互作用力与它们自身的大小、形状以及电荷分布都有关系。任何带电体都有形状和大小。当带电体之间的距离比它们自身的大小大得多，以致带电体的形状、大小及电荷分布状况对它们之间的作用力的影响可以忽略时，这样的带电体可以看作带电的点，叫作**点电荷**（point charge）。

点电荷类似于力学中的质点，也是一种理想化模型。

## 库仑的实验

库仑做实验用的装置叫作库仑扭秤。如图9.2–1，细银丝的下端悬挂一根绝缘棒，棒的一端是一个小球A，另一端通过物体B使绝缘棒平衡，悬丝处于自然状态。把另一个带电的金属小球C插入容器并使它接触A，从而使A与C带同种电荷。将C和A分开，再使C靠近A，A和C之间的作用力使A远离。扭转悬丝，使A回到初始位置并静止，通过悬丝扭转的角度可以比较力的大小。改变A和C之间的距离*r*，记录每次悬丝扭转的角度，就可以找到力*F*与距离*r*的关系，结果是力*F*与距离*r*的二次方成反比，即

*F*∝

C

A

B

图 9.2–1 扭秤实验装置

在库仑那个年代，还不知道怎样测量物体所带的电荷量，甚至连电荷量的单位都没有。不过两个相同的金属小球，一个带电、一个不带电，互相接触后，它们对相隔同样距离的第三个带电小球的作用力相等，因此，可以断定这两个小球接触后所带的电荷量相等。这意味着，如果使一个带电金属小球与另一个不带电的完全相同的金属小球接触，前者的电荷量就会分给后者一半。多次重复，可以把带电小球的电荷量*q*分为

，，，…

这样又可以得出电荷之间的作用力与电荷量的关系：力*F*与*q*1 和*q*2 的乘积成正比，即

*F*∝*q*1*q*2[[1]](#footnote-1)

综合上述实验结论，可以得到如下关系式

*F* = *k*

式中的 *k* 是比例系数，叫作**静电力常量**。当两个点电荷所带的电荷量为同种时，它们之间的作用力为斥力；反之，为异种时，它们之间的作用力为引力。

在国际单位制中，电荷量的单位是库仑（C），力的单位是牛顿（N），距离的单位是米（m）。*k* 的数值是

*k* = 9.0×109 N·m2 / C2

## 静电力计算

根据库仑定律，两个电荷量为 1 C 的点电荷在真空中相距 1 m 时，相互作用力是 9.0×109 N。差不多相当于一百万吨的物体所受的重力！可见，库仑是一个非常大的电荷量单位，我们几乎不可能做到使相距 1 m 的两个物体都带 1 C 的电荷量。

通常，一把梳子和衣袖摩擦后所带的电荷量不到百万分之一库仑，但天空中发生闪电之前，巨大的云层中积累的电荷量可达几百库仑。

### 【例题1】

在氢原子内，氢原子核与电子之间的最短距离为 5.3×10−11 m。试比较氢原子核与电子之间的静电力和万有引力。

**分析** 氢原子核与质子所带的电荷量相同，是 1.6×10−19 C。电子带负电，所带的电荷量也是 1.6×10−19 C。质子质量为 1.67×10−27 kg，电子质量为 9.1×10−31 kg。

根据库仑定律和万有引力定律就可以求解。

**解** 根据库仑定律，它们之间的静电力

*F*库 = *k*

= 9.0×109 ×N

= 8.2×10−8 N

根据万有引力定律，它们之间的万有引力

*F*引 = *G*

=6.7×10-11 ×

N

= 3.6×10−47 N

 = 2.3×1039

氢原子核与电子之间的静电力是万有引力的 2.3×1039 倍。

可见，微观粒子间的万有引力远小于库仑力。因此，在研究微观带电粒子的相互作用时，可以把万有引力忽略。

库仑定律描述的是两个点电荷之间的作用力。如果存在两个以上点电荷，那么，每个点电荷都要受到其他所有点电荷对它的作用力。两个或两个以上点电荷对某一个点电荷的作用力，等于各点电荷单独对这个点电荷的作用力的矢量和。

实验表明，两个点电荷之间的作用力不因第三个点电荷的存在而改变。

库仑定律是电磁学的基本定律之一。库仑定律给出的虽然是点电荷之间的静电力，但是任何一个带电体都可以看成是由许多点电荷组成的。所以，如果知道带电体上的电荷分布，根据库仑定律就可以求出带电体之间的静电力的大小和方向。

### 【例题2】

真空中有三个带正电的点电荷，它们固定在边长为 50 cm 的等边三角形的三个顶点上，每个点电荷的电荷量都是 2.0×10−6 C，求它们各自所受的静电力。

**分析** 根据题意作图（图 9.2–2）。每个点电荷都受到其他两个点电荷的斥力，因此，只要求出一个点电荷（例如 *q*3 ）所受的力即可。

*F*1

*F*2

*q*3

*F*

*q*1

*q*2

图 9.2–2 一个点电荷所受的静电力

**解** 根据库仑定律，点电荷 *q*3 共受到 *F*1 和 *F*2 两个力的作用。其中

*q*1 = *q*2 = *q*3 = *q*

每两个点电荷之间的距离 *r* 都相同，所以

*F*1 = *F*2 = *k*= N = 0.144 N

根据平行四边形定则可得

*F* = 2*F*1 cos30°= 0.25 N

点电荷 *q*3 所受的合力 *F* 的方向为 *q*1 与 *q*2 连线的垂直平分线向外。

每个点电荷所受的静电力的大小相等，数值均为 0.25 N，方向均沿另外两个点电荷连线的垂直平分线向外。

## 练习与应用

本节题目的重点是训练运用库仑定律解决问题的能力。其要求是逐步提高的，梯度比较合理。第1题帮助学生了解库仑的实验，巩固库仑实验中巧取不同电荷的方法，对学生科学思维的训练是有益的。第 2 题认识电荷之间相互作用的规律及其适用条件，强调点电荷这一特性，对学生思维的严密性有较高要求。第 3 题中电荷量分配是对第 1 题的再次提升。同时，理解库仑定律的应用。第 4 题考查静电力的叠加和力的平行四边形定则，要求比较高。第5题是电学与力学的综合题，不仅提供了一种测量电荷量的方法，而且可以起到复习力的分解知识的作用，要求也是比较高的。

1．有三个完全相同的金属球，球 A 带的电荷量为 *q*，球 B 和球 C 均不带电。现要使球 B带的电荷量为 ，应该怎么操作？

**参考解答**：根据库仑的发现，两个相同的带电金属球接触后所带的电荷量相等。所以，先把球 A 与球 B 接触后分开，此时球 B 带电 ；再把球 B 与球 C 接触后分开，则球 B、C 分别带电 ；最后，球 B 再次与球 A 接触后分开，球 B 带电 *q*B = = 。

2．半径为 *r* 的两个金属球，其球心相距 3*r*，现使两球带上等量的同种电荷 *Q*，两球之间的静电力*F* = *k*吗？说明道理。

**参考解答**：不等于。因为库仑定律的适用范围是真空中的点电荷，两个半径为 *r* 的金属球球心相距 3*r* 时，由于距离太近，电荷分布发生变化，两球已经不能视为点电荷，因而它们之间的作用力的大小已不能直接用库仑定律进行计算，所以 *F* ≠ *k*。

3．真空中两个相同的带等量异种电荷的金属小球 A 和 B（均可看作点电荷），分别固定在两处，两球之间的静电力为 *F*。现用一个不带电的同样的金属小球 C 先与 A 接触，再与 B接触，然后移开 C，此时 A、B 之间的静电力变为多少？若再使 A、B 之间距离增大为原来的 2 倍，则它们之间的静电力又为多少？

**参考解答**：*F*；*F*

4．在边长为 *a* 的正方形的每个顶点都放置一个电荷量为 *q* 的同种点电荷。如果保持它们的位置不变，每个电荷受到其他三个电荷的静电力的合力是多少？

**参考解答**：，方向沿对角线的连线向外。

5．两个分别用长 13 cm 的绝缘细线悬挂于同一点的相同小球（可看作质点），带有同种等量电荷。由于静电力 *F* 的作用，它们之间的距离为 10 cm（图 9.2–3）。已测得每个小球的质量是 0.6 g，求它们所带的电荷量。*g* 取 10 m/s2。

图 9.2–3

10 cm

*F*

*F*

**参考解答**：5.3×10−8 C

# 第 2 节 库仑定律 教学建议

## 1．教学目标

（1）通过库仑定律的探究过程，体会实验与类比在定律的建立过程中发挥的重要作用。

（2）通过与质点模型类比，知道点电荷模型的物理意义及建立点电荷模型的条件，进一步体会科学研究中的理想模型方法。

（3）理解库仑定律的内涵和适用条件，能够应用库仑定律计算点电荷间的静电力，会利用力的合成的知识解决多个电荷问的相互作用问题。

（4）体会库仑扭秤实验的设计思路与实验方法。

（5）对比库仑定律和万有引力定律的形式，体会物理学的和谐统一之美，提高物理学习兴趣。

## 2．教材分析与教学建议

本节内容的核心是库仑定律，它为后面建构电场、电场强度的概念奠定了基础。通过实验研究，重视让学生体验从猜想到验证、从定性上升到定量的科学探究的过程，使学生的认识从感性认识上升到理性认识。在此基础上，展现库仑定律建立的历史背景，突现类比的方法在库仑定律建立过程中所起的重要作用。库仑的实验是建立库仑定律的重要基础，其实验结果有力地证实了多位科学家的猜想。本节的教学要特别重视通过实验探究引导学生学习物理方法，渗透科学本质观的教育。

本节的重点和难点是理解库仑定律及其适用条件，原因有两个。第一，“点电荷”与“质点”虽然是相类似的理想模型，但是质点模型的抽象基础是物体运动，学生有感性认识。而点电荷概念比较抽象，学生在生活中对它并没有感性认识，它依赖于学生对质点模型的理解。所以教学中要让学生知道建立点电荷的原因，懂得如何建构点电荷模型，体会点电荷模型在研究具体问题中的作用。第二，库仑定律给出的虽是点电荷间的静电力，但是任一带电体都可看成是由许多点电荷组成的，根据库仑定律和力的合成法则就可以求出带电体间的静电力大小和方向。所以这里需要通过例题中的具体情景渗透叠加思想，使学生体会局部与整体的辩证关系。

### （1）问题引入

本节对静电力的认识从定性研究转向定量研究。教科书中的“问题”正是从定量研究的需要出发设计的一个定性实验，如果有条件尽可能设计成半定量实验。

此实验一方面丰富了学生的感性认识，有利于学生展开对定量关系的猜想，为进一步定量研究打下基础；另一方面体现了探究电荷间相互作用力与哪些因素有关的过程与方法。

**教学片段**

**影响电荷间相互作用力的因素**

教师活动：如图 9–2，将静电摆球跟带电体 A 接触后挂在 P1 位置，引导学生观察、解释现象。提出问题：电荷间作用力的大小决定于哪些因素呢？

图 9–2

学生活动：猜想可能与距离、电荷量大小、球的形状和材料等有关。

教师活动：引导学生参与实验设计并交流。

学生活动：参与设计实验。

①实验装置设计（教师组织学生解释装置设计的必要性）：静电摆悬线采用双线摆，静电摆球的体积和质量要小一些。为了便于观察静电摆与铅垂线的偏角大小，可以加反衬板，在板上做竖直标记。如果是一个静电摆，也可以做弧形标尺。悬线最好使用质量较小的绝缘丝线，在悬挂前可用石蜡涂抹；金属球 A 宜选择略大一些的，这样可以使其带有较充足的电荷。A 球的绝缘支柱要洁净，并在绝缘支柱下方垫石蜡以防漏电。

②研究方法设计：采用控制变量方法。引导学生讨论怎样改变小球所带的电荷量。学生可能有多种方法，选择用不带电的静电摆球与原来带电的静电摆球接触。学生会推测接触后原来的带电摆球电荷量会减少。教师继续引导学生思考：如果两摆球形状完全相同，电荷量可能会如何分配？鼓励学生猜想并评价。

选择简单可行的装置（图 9–2），学生设计实验步骤，教师操作，学生观察。

①控制电荷量不变，增大 A 与静电摆的距离，观察到偏角减小。

②使带电体 A 与静电摆恢复到原来的距离，用不带电的静电摆与原来的静电摆接触，原静电摆所带的电荷量减少。再观察静电摆与铅垂线的偏角大小如何变化。

学生总结：电荷量不变时，距离增加，作用力减小；距离不变时，电荷量减小，作用力减小。

探究过程中要引导学生主动参与，鼓励学生设计更多的实验方案。假如实验不成功（如因漏电），应引导学生分析原因，并提出相应的改进措施，重新演示。这样有利于培养学生的核心素养：坚持实事求是，彰显科学态度。

上述实验有两个作用：第一，通过接触带电改变电荷量，并强调平分电荷量的条件，这与库仑扭秤实验改变电荷量的方法有一致性；第二，运用控制变量方法设计实验。

### （2）库仑的实验

在完成上述实验的基础上，需要向学生明确的是，该实验属于定性研究，还需要更精确的定量研究才能得出定量规律。整个探究的思路是：从定性实验到猜想，再到定量实验验证。

引导学生运用类比方法猜想定量关系，同时可以介绍库仑定律建立的历史背景。了解库仑定律建立的历史背景知识，一方面可以使学生的思维和科学家的思维产生共鸣，体会类比法的成功，同时了解物理学家的智慧和勇气以及对科学真理的不懈追求；另一方面可以增加学生的好奇心和求知欲，为进一步学习库仑实验做铺垫。

学习这部分内容时，学生可能会遇到一些困难。在知识层面，库仑扭秤实验涉及用悬丝的转角（库仑扭秤的主要工作部件）间接测量静电力变化的比值关系，涉及扭力的概念和力矩平衡的知识，学生没有学过这些，需要教师补充讲解。在技能层面，由于库仑扭秤结构上的复杂性和操作上的精确性，不要求学生熟悉实验器材和掌握操作方法。教师可以借助实验装置模型或挂图，侧重介绍库仑扭秤实验的设计思路与实验方法。

本实验与“探究加速度与力、质量的关系”实验保持了一致性，继续沿用定量探究的一般研究方法——控制变量法，但还需要突出本实验巧妙的思想方法：转化放大、平分电荷量。

库仑扭秤的特点是可以定量测量微小的力。引导学生仔细观察教科书图 9.2–1，了解扭秤的工作原理——通过力矩平衡实现“小量放大”。

库仑当年实验时，还不知道怎样测量物体所带的电荷量，甚至连电荷量的单位都没有。库仑根据实验现象判断：两个相同的带电金属小球互相接触后所带的电荷量相等。应该要求学生理解库仑这一判断的实验依据，这不仅能够培养学生严谨的科学态度，而且能够培养学生的理性思维能力。

### （3）静电力计算

对库仑定律的教学应明确以下几个问题：

①知道点电荷的物理意义，以及在具体的物理情境中建立点电荷模型的条件，体验物理理想模型的研究方法，感悟科学研究申建立理想模型的重要意义，并能在其他场合中尝试运用这种方法研究物理问题。点电荷是学生在电磁学中接触的第一个理想模型，可以把它与学过的质点理想模型联系起来，以加深学生对这种方法的体验。建议引导学生讨论如下情景：a．在两带电体之间距离接近 0 时，能根据库仑定律得到静电力无穷大的结论吗？b．两带电体距离大就可以简化成点电荷吗？c．在两带电体间的距离远远大于自身线度时，可以简化成点电荷吗？由此使学生理解，只要带电体自身大小和电荷的具体分布是次要因素，即可以忽略时便可将其视为点电荷。

建议教学中引导学生比较质点模型与点电荷模型的共同点与不同点。例如，引导学生讨论，可以简化成质点的带电体是否一定可以简化成点电荷。

②叙述库仑定律的内容时，不仅要说明静电力的大小，而且要说明静电力的方向。

点电荷电荷量用绝对值代入公式进行计算，然后根据同性电荷相斥、异性电荷相吸判断是引力还是斥力方向。

库仑力也称为静电力。*F* = *k* ，*F* 是 *q*1 与 *q*2 之间的相互作用力。*F* 既是 *q*1 对 *q*2 的作用力的大小，也是 *q*2 对 *q*1的作用力的大小，这两个力是一对作用力和反作用力，即大小相等、方向相反。不能理解为 *q*1 ≠ *q*2 时，它们所受的力也不相等。

③静电力常量是个重要的常量，建议教学中让学生根据库仑定律的公式推导出它的单位。学生理解静电力常量 *k* 的单位是由公式中的 *F*、*q*、*r* 的单位确定的，有利于学生巩固“根据物理关系推导出某一物理量的导出单位”的方法。进而理解常量 *k* = 9.0×109 N·m2/C2 只在国际单位制下成立，因此在使用此常量利用库仑定律计算时，*F*、*q*、*r* 的单位必须是：牛顿（N）、库仑（C）、米（m）。教科书通过介绍 *k* 的物理意义、列举生活中起电物体所带电荷量的大小，说明库仑是一个非常大的电荷量单位。此处在强化对抽象物理量大小的感性认识，培养学生注重理论联系实际的学习态度。

④库仑定律给出的虽是点电荷间的静电力，但是任一带电体都可看成是南许多点电荷组成的，根据库仑定律和力的合成法则就可以求出带电体间的静电力大小和方向。这可以使学生体会到，研究问题的基本方法总是从简单的情况入手，再研究复杂的情况。

教科书中选取的两道例题具有很强的针对性，教学中要认真加以分析。

例题 1 是通过定量计算，使学生进一步明确在微观带电粒子（电子、质子、原子核和失去外层电子的离子等）的相互作用中，静电力远大于万有引力。强调解题规范，如指数的运算，各物理量的单位、数量级等。

例题 2 是多个点电荷对同一点电荷作用力的叠加问题。此题的功能有两个。第一，巩固库仑定律和对电荷在电场中受力的分析、力的合成与分解，并强调解题规范。让学生体会画好矢量图，可以搭建思维平台。第二，为下一节电场强度的叠加做铺垫。为了强化第二个功能，教学中还可以做如下拓展。

**教学片段**

**例题 2 的拓展**

拓展问题 1：如果保证 *q*1、*q*2 不动，在 *q*1、*q*2 连线的中垂线上移动 *q*3 并远离 *q*1、*q*2，则 *q*3 受力大小如何变化？在什么条件下可以将 *q*1、*q*2 看成一个电荷量为（*q*1 + *q*2）的点电荷？

拓展问题 2：如果从 *q*1 到 *q*2 的连线是一根均匀带电的直棒，所带的屯荷量为（*q*1 + *q*2），那么此棒对 *q*3 的作用力方向如何？

对拓展问题 2，可以启发学生把直棒分割成很多小段，每一小段都可以看作一个点电荷，利用点电荷位置的对称性分析合力的方向。这样做有利于学生理解教科书中关于“任何一个带电体都可以看成是由许多点电荷组成的”表述。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节题目的重点是训练运用库仑定律解决问题的能力。其要求是逐步提高的，梯度比较合理。第 1 题帮助学生了解库仑的实验，巩固库仑实验中巧取不同电荷的方法，对学生科学思维的训练是有益的。第 2 题认识电荷之间相互作用的规律及其适用条件，强调点电荷这一特性，对学生思维的严密性有较高要求。第 3 题中电荷量分配是对第 1 题的再次提升。同时，理解库仑定律的应用。第 4 题考查静电力的叠加和力的平行四边形定则，要求比较高。第5题是电学与力学的综合题，不仅提供了一种测量电荷量的方法，而且可以起到复习力的分解知识的作用，要求也是比较高的。

1．根据库仑的发现，两个相同的带电金属球接触后所带的电荷量相等。所以，先把球 A 与球 B 接触后分开，此时球 B 带电 ；再把球 B 与球 C 接触后分开，则球 B、C 分别带电 ；最后，球 B 再次与球 A 接触后分开，球 B 带电 *q*B = = 。

2．不等于。因为库仑定律的适用范围是真空中的点电荷，两个半径为 *r* 的金属球球心相距 3*r* 时，由于距离太近，电荷分布发生变化，两球已经不能视为点电荷，因而它们之间的作用力的大小已不能直接用库仑定律进行计算，所以 *F* ≠ *k*。

3．*F*；*F*

提示：设 A、B 两球的电荷量分别为 *q*、− *q*，距离为 *r*，则 *F* = − *k* 。

当用 C 接触 A 时，A 的电荷量变为 *q*A = ，C 的电荷量也是 *q*C = ；C 再与 B 接触后，B 的电荷量变为 *q*B = = − 。此时，A、B 间的静电力变为 *F*ʹ = *k* = − *k* = − *k* = *F*。在此情况下，若再使 A、B 间距离增大为原来的 2 倍，则它们之间的静电力变为 *F*ʺ = *F*ʹ = *F*。

4．，方向沿对角线的连线向外。

提示：第四个点电荷受到其余三个点电荷的排斥力如图 9–3 所示。*q*4 共受三个力的作用，由于 *q*1 = *q*2 = *q*3 = *q*4 = *q*，相互间的距离分别为 *a*、*a*、*a*，所以 *F*1 = *F*3 = *k* ，*F*2 = *k* 。（根据平行四边形定则，合力沿对角线的连线向外，且大小是 *F* = 2*F*1cos 45° + *F*2 = ）。由于对称性，每个电荷受到其他三个电荷的静电力的合力的大小都相等，且都沿对角线的连线向外。

图 9–3

5．5.3×10−8 C

图 9–4

提示：带电小球受重力、静电斥力和线的拉力作用而平衡，它的受力示意图见图 9–4。静电斥力 *F* = *k* 。由共点力平衡可知，*F* = *mg*tan*θ*，而 tan*θ* = 。解得 *q* = = 5.3×10−8 C。

1. 库仑最初的实验是用带电木髓小球进行的，并非金属小球。这个关系式是由库仑作为假设提出的。文中所说的实验可以看作对这个假设的检验。 [↑](#footnote-ref-1)