

关于库仑定律的适用条件,这样说对吗?

杨海青 张士伟 李 勇

(阜阳市第三中学 安徽 阜阳 236000)

(收稿日期:2016-10-03)

摘 要:观摩2016年中国教育学会物理教学专业委员会年会课堂教学展示课,争鸣库仑定律的适用条件,然后从物理学史的角度逐本溯源,再参考大学物理及电动力学求真还原库仑定律的物理本质,最后研讨了这个规律的外延条件在中学物理教学层面个上的处理建议.

关键词:库仑定律条件 问题争鸣 比例系数 k 物理本质 中学物理教学

1 问题提出的背景

在2016年中国教育学会物理教学专业委员会年会课堂教学展示课库仑力这一节上,做课老师强调,库仑定律的适用条件:必须是真空.这一句话,引起了笔者和一起观摩的同事李勇老师的争论:这样说对吗?

2 有关问题的争鸣

李老师:没必要这样说,甚至可以说这样说是错的.库仑定律的力学公式 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 中系数 k 与介质有关,所以公式的适用条件与真空无关,不真空有介质公式照样是对的.介质不同系数不同,仅此而已!即使存在第3个带电物体,公式依然是对的,两两套公式求解,然后再求矢量和就搞定了.因此系数 k 就

所产生的场的分布,那么两者之间相互作用的势能必然与检验物体的场量 x (可能是质量 m 或电荷量 q 或其他量) 成正比,与场源物体的“场源量” X 以及两者之间的距离 r 有关,即任意势能形式上均可以表为: $E = xU(X, r)$, 其中 $U(X, r) = \frac{E}{x}$ 即为广义的“势”(引力势,电势等).它是从能的角度来描述场源物体所产生的场的分布的一个物理量.这一点,即任何势能总是与表征场的作用对象的一些场量 x 成正比,与作用对象到场源物体的距离有关,不仅是理论分析的结果,也是逻辑的必然!

当我们用天平来测量物体的质量时,我们必须假定:同一点的重力与质量成正比,如果没有这个约定,我们将无法量度一般物体的质量.设想天平的左右力臂相同,左边放1kg的砝码时产生的重力为9.8 N,平衡时我们就认定右边物体的质量也为1 kg,左边放2 kg的砝码时我们认为产生的力是19.6 N,平衡时右边为2 kg,没有重力与质量成正比的约

定,根本无法量度质量.如果第一个1 kg的砝码产生的力为9.8 N,两个同样的1 kg的砝码产生的重力不是19.6 N而是10 N,则我们通过天平测出的物体的质量的大小就不能准确反映物质的多少,可能会出现质量越大的物体测得越不准确的现象.

而势能不过是物体从某点到参考点的过程中,场力所做的功,既然各点的重力都与质量成正比,必然有重力势能与物体的质量成正比!因此,重力势能与质量成正比不仅是理论分析的结果,也是准确测量任意物体质量的前提条件,是逻辑的必然!

本文的目的不完全是为了纠正文献[1]的错误,更主要是为了让广大物理教师对能量、势能、势等一些基本概念有更深刻的理解,若真能达此目的,笔者将深感欣慰!

参 考 文 献

- 徐海,华继干.对重力势能影响因素的不同思考.物理通报,2016(5):103
- 复旦大学 上海师范大学物理系 沈德滋等.物理学(力学).上海:上海科学技术出版社,1978.192~202

是大学物理中的 ϵ ,根本不用说“真空”这个条件.

杨老师:个人认为,探究物理规律的内涵,同时强调此规律的外延是很有必要的,更可以说这是物理规律教学所必然的要求.就库仑定律这一物理规律而言,如果带电体A不是在真空的物理环境中,则周围就有其他微小的粒子.带电体会在其周围激发产生电场,电场会使处在其中的导体粒子产生感应电荷 c ,使绝缘介质粒子产生极化电荷 d .而新产生的两种电荷也会对另一个带电体B有库仑力的作用,因此求解带电体B所受的库仑力不能单纯的使用 $F = k \frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$ 计算了.而且即便是按照李老师您的说法,笔者觉得还应该加上“均匀介质”,这更是一个理想化的条件,因为不同介质有不同的介电常数 ϵ ,但前提是这种介质均匀分布,方才有一个确定的介电常数 ϵ .所以,要说条件,而且还需强调“真空”.

3 问题的物理本质

3.1 库仑定律建立的物理史

库仑定律是法国科学家库仑在1785年确立的.他注意到电荷之间的静电力与万有引力有许多类似之处,大胆地假设静电力的规律与万有引力定律有类似的形式.如公式 $F = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$.为了证实这一假设,他精心设计了一些实验,其中主要的一个是研究同性电荷相互作用力的“扭秤实验”.扭秤的结构如图1所示,令球A与B间的距离稳定于 $\frac{r}{2}$.读出秤头的转角便不难推知银丝的扭角.库仑发现这个扭角等于当两球相距为 r 时的银丝扭角的4倍.注意到扭力矩与扭角成正比以及两球电荷并无变化^[1],可知静电力与距离的平方成反比.

关于静电力与电荷成正比的验证要更困难一些.当时人们只知道物体有没有带电荷,却根本没办法精确地测定物体所带的电荷量.为了寻找静电力与电荷量间的关系,库仑用了一个虽不够严密但极为巧妙的方法.他从对称性的物理思想出发,令一个带电金属球与半径、材料完全相同的另一个不带电金属球接触后分开,每球的电荷应为原带电球的电荷的一半^[1],库仑就用这种对称均分的方法验证了

静电力与电荷量成正比的规律.

还一个难点是:电荷量到底是如何测定出来的?其实电荷这个电磁学基本物理量的严格定义还是科学家高斯所为.从物理学史的角度探究库仑定律的适用条件,由此可见是研究不出来的,其中有理想化的处理和不严格的推理.但毋庸置疑的是这段物理学史蕴含着物理学家的智慧是值得传颂的,其中的物理思想,如类比思想、转化研究对象法、微小量放大法、对称思想、理想化模型法(研究对象的模型化、物理条件的理想化)等是很值得显性化教学的,是值得学生深刻领会顿悟的.

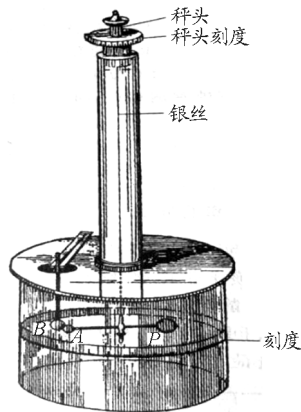


图1 库仑扭秤

3.2 大学物理中库仑定律的阐述

文献[2]将库仑定律文字陈述为“两个静止点电荷之间相互作用力(或静电力)的大小与这两个点电荷的电荷量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,而与这两个点电荷之间的距离 r_{12} (或 r_{21})的平方成反比,作用力的方向沿着这两个点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸”.文献[3]认为“在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力,其大小与它们电荷的乘积成正比,与它们之间距离的二次方成反比;作用力的方向沿着两点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸”.由此可见大学普通物理教材对此表述也不一致.

从物理规律的另一种表现形式——数学函数表达式.库仑定律的数学表达式,文献[2]写成

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} e_{r_{12}}$$

式中 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 常数 ϵ_0 称为真空电容率或真空介电常数.

文献[3]认为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r$$

其中 ϵ_0 叫做真空电容率,注说明 ϵ_0 又称真空介电常数.因此大学普通物理教材是在用另一种形式强调“真空”这个外延条件.

进一步文献研究,在电动力学层面上郭硕鸿教授这样论述“真空中静止的点电荷 Q 对另一个静止点电荷 Q' 的作用力 F 为

$$\mathbf{F} = \frac{QQ'}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r}$$

ϵ_0 是真空电容率(真空介电常量)”[4].在电磁场与电磁波层面上谢处方、饶克谨教授这样阐述“其数学表达式为

$$\mathbf{F} = e_R \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 R^3} \mathbf{R}$$

ϵ_0 是真空(或自由空间)的介电常量”[6].因此库仑定律“真空”这一条件是该物理规律的组成部分,题中之意.

从场的观点看,在静电场领域中静止的电荷在其周围空间会激发产生电场,实践证明两电荷间的库仑力作用不是超距作用,而是通过场来传递这种相互作用力的.对电荷有力的作用,是场这种特殊物质特征化的性质.空间分布的物质,分布是否均匀等都会对场的力学性质和能量性质产生影响.所以真空与否,静电力差别很大,比例系数 k 会不同,宏观表现为介质的介电常数 ϵ_r 随介质的变化而变化.

综上探究,我们认为库仑定律是一个由实验得到的量化物理规律,它适用的物理环境是充满均匀介质的,最简单的均匀介质环境就是真空.从物理学研究、物理学教学的一般步骤上由简单到复杂及 k 值的规定来看,应该要强调“真空”这一条件.后续研究、学习才有了静电力叠加原理和其他均匀介质的介电常数 ϵ_r ,才能计算出多物体、非均匀介质中的静电力.因此李老师、杨老师各有正确的部分,而又都不完全正确.

4 中学物理教学层面个上的处理建议

就本节课而言,建议充分挖掘利用有关库仑扭

秤实验这段物理学史的教育教学价值,库仑扭秤实验是物理学中的著名实验,在物理学发展史上有里程碑式的意义,它蕴含了多种物理思想,能彰显物理学和物理学家的无限魅力,对于培养学生的物理学科核心素养,尤其是物理观念的深层建构、科学思维的渗透培养、实验探究的意识强化和能力提高有着非常重要的作用.从情感态度与价值观的角度讲,教师更可以多方查阅资料,深度备课,在课堂中展现物理大师库仑当年设计实验验证猜想建立库仑定律历史过程中的实验设计、各种限制、心路历程、坚持突破等,创设物理学史式的情境,在物理伟人的关键脚步处做物理探究式学习研讨.这样大胆精心的设计处理,对培养学生的探究情怀,科学责任,创新精神等都是非常有好处的.这段发展史及库仑扭秤其教育价值超越了物理学科的局限,是不可多得的教学资源.

就库仑定律的外延条件上的教学,由于学生认知能力、物理学科知识的限制,加之中学物理课程培养目标的规范性引领,教师在处理上是很受限制的,建议模糊化而又不失科学性的方式处理:库仑定律的研究对象是理想化模型点电荷,在真空中库仑力比例系数 $k=9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$;物理环境的复杂性导致物理公式的可变性,若在其他不同介质中静电力比例系数也不相同,只有当介质相同且空间均匀分布,这个系数才一样.请同学更多地关注库仑定律研究对象的模型化、规律条件的理想化,领悟抓住主要矛盾的哲学思想,体验简化问题给力解决的成就感!

参考文献

- 1 梁灿彬,秦光戎,梁竹健.普通物理学教程·电磁学.北京:高等教育出版社,2012.4~6
- 2 程守洙,江之永.普通物理学(上册).北京:高等教育出版社,2014.246~247
- 3 马文蔚.物理学(上册).北京:高等教育出版社,2009.151~152
- 4 郭硕鸿.电动力学.北京:高等教育出版社,2010.3
- 5 谢处方,饶克谨.电磁场与电磁波.北京:高等教育出版社,2013.38~39