

# 扭秤的发明应用对物理学发展的贡献

朱湘柱 胡晓岚

(邵阳师范高等专科学校 422000)

自然科学史的研究中大量事例表明:一项科学技术的发明,它不但对科学技术本身甚至对整个人类的文明进步都将产生重大的影响.本文拟就扭秤的发明应用,全面简述它对物理学理论体系发展的重要贡献.

## 一、扭秤的发明、改进与完善

在法国物理学家库仑的中青年时代,航海业发展十分迅速,对船用指南针的要求也越来越高.在此之前,指南针的磁针普遍采用轴托式支持方式,由于摩擦的影响,造成它的灵敏度不高.为此,1773年,法国科学院悬赏征解,希望找到制造指南针的最佳方案.两年来无人获奖,1775年再次悬赏.此后在法国军队任军事工程师的库仑对此进行了研究,并于1777年与另一名叫斯云登的人同获一等奖.俩人的设计方案都是用丝线悬挂磁针,但库仑不仅在理论上进行了分析,而且还作了大量的实验,并利用悬挂磁针制成了世界上第一台磁扭秤,用于测量地磁,1780年法国天文台就正式采用它进行观测.

然而,法国天文台在观测过程中发现磁针始终在作微小的振动.库仑和天文台台长凯星尼立即进行研究,几经周折,终于找到了磁针作无规微振动的原因是因为磁针带电的影响.因此,库仑决定将丝线用金属线代替.可是,使用金属线其弹性比丝线大得多,这会降低测量的灵敏度,而且最关键的问题是金属丝的扭转弹性的理论问题尚未解决.于是,库仑重新研究扭秤的设计和弹性的理论问题.经过几年的努力,于1784年发表了《扭力和金属丝弹性的理论和实验研究》一文.在弹性理论的研究时,他又创制了一台扭力实验装置,利用扭秤的振动周期与转动惯量,弹性常数等的关系式,由实验得出了扭力定律.理论问题解决之后,于1785年,库仑又制作了一架灵敏的电扭秤用来测量

带电物体之间的作用力,这就是一般文献上所描绘上的那种电扭秤实验装置.扭秤就是这样在科技生产发展的推动之下,经库仑潜心研究多年而发明.

## 二、扭秤在物理学研究中的应用

1785年,库仑利用电扭秤去测量两电荷之间的作用力与两电荷之间距离的关系.在测量过程中,他借鉴引力理论,模仿万有引力的大小与两物体的质量成正比的关系,认为两电荷之间的作用力与两电荷量也成正比关系,因此,库仑在实验时未改变电量进行测量,测量的结果是作用力与距离成平方反比规律,指数偏差小于0.04.接着库仑对磁力也进行了研究,认为磁力也遵循同样的规律.库仑利用类比方法通过实验测量,发现了库仑定律.可以说库仑定律的发现是类比法应用的成功范例.

之后,库仑又用扭秤研究了液体的阻力(论文发表于1880年),又促进了他和其他人研究液体和固体中的分子相互作用力.

悬丝扭秤,一些文献认为是英国米切尔和法国库仑各自独立发明的.据考证,米切尔只提出过有关扭秤的设想,并无任何有关扭秤的论著.扭秤的发明与库仑定律的发现,米切尔事后是知道的.因此他曾建议卡文迪什采用库仑类似的方法去测量万有引力.在米切尔的鼓励之下,卡文迪什于是利用扭秤作了同心球的实验,成为第一个直接测量引力常数 $G$ 的实验者,直接用实验验证了万有引力定律.

欧姆用一根扭丝悬挂一磁针,让通电导体与该磁针平行放置,再用铍和铜温差电池的一端浸入沸水中,另一端浸入碎冰中,并用两个水银槽作极与铜线相联,构成一电流秤.当通以电流时,磁针偏转角与导线中电流强度成正比.此实验结论以题为《金属导电定律的测定》一文发表于1826年.第二年,欧姆进一步将实验的

规律总结成数学公式的形式即  $S = \gamma E$  发表。式中  $S$  为电流,  $E$  为电势差,  $\gamma$  为电导率。这就是欧姆定律。由上可知, 欧姆定律的发现得益于两人的研究成果, 其一是库仑的悬丝扭秤方法和扭力理论, 正是因为库仑扭力定律使欧姆得到磁力矩与扭转角成正比的关系; 其二是塞贝克发现的温差电势为欧姆的实验提供了稳定的电源。

著名匈牙利物理学家厄缶改进了扭秤的设计, 将悬杠两端的重物使它们不仅与水平距离, 而且还与垂直距离有关, 这样使灵敏度达到了空前水平。然后用它去测量各地的重力, 根据各地微小的重力之差推断出地面之下的地质结构, 并首次由重力异常推出了磁力异常的公式。

引力质量和惯性质量的关系问题, 在伽利略时代就认为两者成正比关系。牛顿在创建经典力学时, 他做了单摆实验, 认为引力质量等于惯性质量, 实验为动态方法, 精度为千分之一。厄缶采用铂铱合金悬丝悬挂一40厘米的横杠, 杠两端对称地固定着材料不同, 但重量相同的两重物, 两重物均会受到重力和地球自转造成的离心力的作用。如果惯性质量与引力质量等价, 则两物离心力相等, 力矩抵消, 扭秤平衡, 如果不成正比, 则扭秤失去平衡, 悬丝发生扭转。厄缶以如此简单的原理, 将牛顿的动态实验改为静态实验, 直接比较惯性质量与引力质量, 从而大大提高了实验精度。实验结果引力质量等于惯性质量, 精度达到  $3 \times 10^{-9}$  后来进一步的实验又达到了  $3 \times 10^{-12}$ 。为了纪念厄缶在重力方面研究的贡献, 特意把测量重力位的二阶导数单位命名为 1 厄缶, 奥伊特沃伊什也用扭秤证实了引力质量等于惯性质量。

### 三、扭秤对物理学发展的贡献

从扭秤的几个方面的应用可知, 首先, 扭秤的发明应用推动了经典力学的发展, 并拓宽了

力学的研究范畴。卡文迪什用扭秤测量了引力常数  $G$ , 直接用实验验证了万有引力定律; 库仑则应用扭秤研究了扭转而创立了扭转的弹性理论, 同时他还以此研究了液体的阻力以及后来与其他人研究了液体与固体分子的作用力; 而厄缶将扭秤用于研究地球引力。从这三个人对扭秤的应用可见, 扭秤对引力理论, 弹性理论, 液体的阻力等方面的力学理论都作出了贡献。

其次, 扭秤的发明应用为电磁学奠定了坚实的基础。由扭秤的应用而发现库仑定律, 而库仑定律解决了带电体之间的作用力与静电场的性质问题; 法拉第也根据库仑定律提出力线和场的概念; 麦克斯韦则依据库仑定律与其他基本定律而建立了方程组; 欧姆借助于扭秤又解决了电路的理论问题。由此可见, 电磁学理论体系的“场”和“路”的理论概念的建立, 都得益于扭秤的发明应用。特别指出的一点是库仑定律对于整个物理学理论的重要性。如果库仑定律平方指数有偏差, 必将造成光子静止质量不为零, 这将破坏电动力学的规范不变性, 使电动力学基本性质失去依据, 麦克斯韦方程组需要修改, 电荷将不守恒; 光子的偏振态是 3 不是 2, 破坏光速不变原理, 真空会出现色散, 狭义相对论将会失去理论依据; 同时黑体辐射公式也需要修改等等, 这样, 将会动摇整个物理学理论大厦的基础。因此, 可以说库仑定律是物理学的基本定律。

最后, 厄缶等人证明了引力质量等于惯性质量, 为爱因斯坦创立广义相对论提供了实验依据。爱因斯坦在他的论文中提到厄缶的实验时, 说将这个实验得到的结论当作为扩充相对论辩护的著名物理事实。

扭秤的发明应用, 不仅直接推动着经典力学和经典电磁学的发展, 而且也有力地促进现代物理学相对论的发展。

---

### 太阳能电池研究新进展

在 1998 年 10 月 8 日的《自然》杂志上, Bach 等人报道说, 他们研制出了一种基于染料光敏

型多孔  $\text{TiO}_2$  的新型固态太阳能电池, 其光电转换效率高达 33%。