

物理学中的常量

周薇 李德华 干耀国 杨积光



物理学中有很多重要的常量,如万有引力常量 G 、基本电荷量 e 、普朗克常量 h 、光速 c 等,它们都是具有特征性的普适量,当方程中出现某一常量时,该方程一定与某一特定的物理学内容相联系。例如出现 G 时表示方程与万有引力有关;出现 e 时表示与电学有关;出现 c 时表示与相对论有关;出现 h 时表示与量子论有关。这些常量的出现以及测定它们数值的过程,往往是漫长而曲折的,与此相应的是物理学理论的发展和完善。本文试图从历史的角度考察这一过程,重温物理学先驱们的伟大思想历程,并从中受到启发。

万有引力常量 G

万有引力定律是牛顿对人类最伟大的贡献之一。在牛顿之前,开普勒已经归纳出著名的行星运动三定律,其中第三定律已经蕴涵了平方反比的思想,不过在牛顿创立的力和质量的确切概念之前,这种思想是含混不清的。牛顿在长达 20 年的时间里(1665~1685)致力于引力问题的研究,从苹果落地到月地检验,再到行星运动问题,牛顿把引力的思想不断扩大,最终给出万有引力定律 $f=G\frac{m_1m_2}{r^2}$,其中 G 是一个与物质无关的普适量,称为万有引力常量。

测定万有引力常量 G 的实验,最早是在 1798 年,牛顿发表万有引力定律 100 多年后,由卡文迪什完成的。卡文迪什用的是扭称装置,他测定的万有引力常量数值为 $G=6.754\times 10^{-11}\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$,其后近百年的时间里无人超过他的测量精度。从卡文迪什到现在的 200 年里,许多人用不同的方法测量 G 的数值,但由于引力太弱,又不能屏蔽干扰,实验很难做,万有引力常量也是目前测量的最不精确的一个基本物理常量。粒子物理组织 2004 年推荐的数值为 $G=6.6742(10)\times 10^{-11}\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$ 。

卡文迪什实验的意义不仅在于此,它实际上给出了测量地球质量 M_{\oplus} 的方法。地球表面的物体受的重力与它和地球之间的万有引力相等,因此重力加速度 $g=GM_{\oplus}/R_{\oplus}^2$,由地球半径 $R_{\oplus}=6371\text{km}$ (牛顿时期就已经有了用“纬度一度对应地球表面 60 哩的

距离”估计地球半径的方法), $g=9.81\text{m/s}^2$,以及上述 G 值,可以算

出 $M_{\oplus}=5.976\times 10^{24}\text{kg}$ 。这其中的思想基础在于相信 G 是一个对于整个宇宙的普适量,这在当时并不是显然的。

基本电荷量 e

在回顾基本电荷量的测定之前,我们应首先回顾电子的发现过程。

19 世纪中叶,随着电的知识的积累和真空技术的提高,真空放电及电的本性的研究越来越引起人们的兴趣。1858 年德国物理学家普吕克尔在观察放电管中的放电现象时,看到正对阴极的管壁发出绿色的荧光。1876 年,另一位德国物理学家哥尔茨坦认为这是从阴极发出的某种射线,并命名为阴极射线。1871 年,英国物理学家瓦尔利从阴极射线在磁场中偏转的事实,提出这一射线是由带负电的物质微粒组成的观点。

卡文迪什实验室教授 J. J. 汤姆孙从 1890 年开始研究阴极射线,他注意到他人的实验,特别是在更好的真空条件下研究了阴极射线在磁场和电场中的偏转,并于 1897 年得出结论:这些射线不是以太波,而是物质粒子。他反问自己:“这些带电的粒子是什么呢?它们是原子还是分子,还是处在更精细的平衡状态中的物质?”他又作了比值 m/e 的测定,发现这个比值与阴极的材料和气体的性质无关,并且它的值 10^{-7} 比起电解质中氢离子的值 10^{-4} 要小得多,他说:“这么小的 m/e 之值可能是由于 m 小或 e 大,或者是两者组合的结果。我想,阴极射线的粒子要比普通分子小,因为阴极射线可以穿过铝箔。”接着,汤姆孙和他的学生用几种方法直接测到了阴极射线粒子所带的电量,证明的确跟氢离子的带电量相同。1899 年,汤姆孙采用“电子”一词来表示阴极射线粒子。“电子”原本是 G. T. 斯坦尼在 1891 年用于表示电量的自然单位的名称。

汤姆孙的工作无疑已确证了电子的实际存在,

而在他的开创性工作之后,科学家们提出了各种各样的测量这个基本单位的方法,其中密立根所提出的方法是最精确的,这就是著名的密立根油滴实验。在这个实验中,他让一个油滴在两个水平板之间升降,由于它可能捕获一个或多个离子而产生速度变化。密立根结论性地证明,实验中油滴所带的电量总是某个值的整数倍,这个值正是一个电子所带的电量 e 。密立根在1917年测得的 e 值是 $1.603 \times 10^{-19} \text{C}$ (现代测定值是 $e = 1.60217653(14) \times 10^{-19} \text{C}$)。密立根的精密测量是对物理学的不可估量的贡献,它能使我们以较高的精密度计算大量最重要的物理常数。

普朗克常数 h

普朗克常数 h 的出现缘于对“黑体”辐射的研究。

关于热辐射的能量分布问题,很早就引起了人们的注意。例如,炉温的高低可以根据炉火的颜色判定;明亮的发青的灼热物体比暗红的温度高。1881年,美国人兰利发明了热辐射计,可以很灵敏地测量辐射能量。1895年,卢梅尔和维恩创造了一个带有小孔的空腔,它相当于一个黑体,这使得热辐射的实验研究大大地推进了一步,辐射能量曲线更加精确。

与此同时,理论物理学家也对热辐射问题展开了广泛的研究。1879年,斯忒藩总结出热辐射的总能量 E 与绝对温度 T 的四次方成正比: $E = \sigma T^4$, σ 是斯忒藩-玻耳兹曼常量;1893年,维恩提出平衡辐射场的辐射能量密度 u 随波长 λ 的变化关系即能量分布律是 $u = b\lambda^{-5}e^{-a/\lambda T}$, T 是平衡辐射场的温度, a 和 b 是两个经验参数;1900年,瑞利给出的能量分布律为 $u \propto \lambda^{-4}T$ 。维恩和瑞利的能量分布律分别在长波和短波部分与实验不一致,它们都是能量均分定理的必然结果,也是经典力学和经典电动力学的必然结果,这种理论与实验的不一致暴露了经典理论的严重缺陷。

普朗克抛弃了能量均分定理,推导出了和实验符合的理论公式。在这个公式的推导中,他大胆地使用了一个新的假设,这个假设现在使物理科学的许多基础得到了根本的改造。普朗克的思辨过程如下:在不知道原子的精确结构的情况下,他假定存在以频率 ν 振动的假想“振子”。振子发出辐射,它本身因此失去能量。除非有新的能量供给振子,否则它会趋于静止。而如果有频率 ν 的辐射落在振子上,则这辐射将被振子吸收。如果一定温度的辐射体具有同样

频率 ν 的大量振子,则说明频率 ν 的振子中发射和吸收处于平衡态,发射的能量必定等于吸收的能量。普朗克假设物体中有许多不同频率的振子群,它的辐射如同“黑体”的辐射。设 N_ν 是频率为 ν 的振子数,它们的总能量为 E_ν ,其中任一振子的能量是一个变量,在吸收时增加,在发射时减少。这时普朗克遇到了这样一个问题:在这 N_ν 个振子中配分能量 E_ν 有多少种方式?

一种假设是振子中的能量有不受方式限制和不受大小限制的可分性,这导致了能量均分学说和相应的辐射公式,正如我们所知它与实验不符。普朗克开始尝试不同的假设,他把能量看做由不可分的单位(能量子)所组成,这些单位仅以有限个数的方式分给一群振子中的每一个,而配分方式数服从概率论。普朗克进一步指出,不同频率的振子的能量子也不同,与频率成正比,可以用 $h\nu$ 表示,其中 h 正是普朗克常数,普朗克对 h 的估计值是 6.5×10^{-27} 尔格·秒。现在我们使用的 h 值为 $6.6260693(11) \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$,它无法直接测定,只能从其他关系式推出。

根据普朗克的假设,能量不会从辐射体“流出”,而是以分立的一些“能包”的形式放出。能量是呈“粒状”的,不同的辐射频率有不同大小的 $h\nu$ 能量子。 h 的数值虽然很小,但它的存在却有着重大的意义,如果 h 严格地等于零,那么宇宙间的物质能量将在瞬间全部变成辐射。禁止发射任何小于 $h\nu$ 的辐射,实际上是禁止了除具有足够大的能量的原子以外的任何发射。正是这一点保证了整个宇宙的存在。

光速 c

对光速的测量始于17世纪,这之前人们普遍认为光的传播不需要时间。1607年伽利略首先尝试测定光速,并提出可以通过观测木星卫星的蚀来测光速的设想。丹麦天文学家罗默实现了这一设想,并给出光速的估计值 $c = 215000 \text{km/s}$ 。之后,1849年菲索用旋转齿轮法测出光速 $c = 313000 \text{km/s}$;1851年傅科用旋转镜法测得光速 $c = 298000 \text{km/s}$;迈克耳逊自1878年后一直致力于光速的测量工作,他和皮斯、皮尔孙于1933年(实验完成时迈克耳逊已去世)测得的光速值为 299774km/s 。这些方法总的思想都同伽利略一样:测定光在一定时间内往返所需时间。1958年,佛罗默用微波干涉法测光速,他同时测定微波的波长 λ 和频率 ν ,再以 $c = \lambda\nu$ 算出光速值,方法上有了改进,精度也提高了。激光的

物理学在生命科学发展过程中的作用

曾庆军 姚平

在现代科学发展过程中,生物学取得了引人注目的成就,其中物理学、化学、数学向生物学领域的广泛渗透,为分子生物学的产生和发展奠定了基础,分子生物学的兴起,DNA 双螺旋结构的建立,使得生物学的面貌发生了革命性的变化,被看成是生物学发展的一个新的里程碑,它不仅使人们对生命本质的认识飞跃到了一个崭新的阶段,而且带动了整个分子生物学向分子水平的发展,特别是推动了对各种神经系统尤其是大脑活动过程的研究。“生物学”这一传统学科概念正逐步被“生命科学”所取代,同时,生命科学的进步也向物理学提出了新的问题,为物理学开辟了新的研究领域。德国结构生物学家、诺贝尔奖获得者米歇尔(H. Micher)说“我认为最好将物理学和生物学结合起来,称为生命科学”。可见物理学在生命科学发展过程中起着至关重要的作用。

一、物理学与生物学的关系源远流长

生物发光是最古老的生物物理论题之一,早在17世纪基尔彻(Kircher)就研究过动物的发光现象;达芬奇(Da Vinci)研究过鸟的飞行动力学问题;18世纪伽伐尼(Galvani)研究了蛙肌的静电性质而发

出现更是把这一方法推向新的阶段,1978年胡德斯等人通过测定激光谱线的频率和波长,得到光速 $c=299792.4588\pm 0.0002\text{km/s}$ 。

在测定光速的漫长历程中,有两个事件值得我们注意。其一是关于光的本性。17世纪存在两种说法,即牛顿的微粒说和惠更斯的波动说,两者分别成功地解释了光的反射和折射等现象。但由微粒说推出光通过较密的介质时速度较大,波动说则认为较小。牛顿的权威使人们在长达100年的时间里一直排斥波动说,直到1850年,傅科测出了光在介质中的传播速度小于在真空中的速度,从而使微粒说遭到致命打击,微粒说才被抛弃,这个实验也成了微粒说与波动说之间决定胜负的著名的判决性实验。其二是关于“以太漂移”问题。19世纪,当波动说获得成功以后,科学界普遍认为,应当存在一种可以传播光波的介质,这就是无所不在、绝对静止的以太。以

现生物电现象;托马斯·杨(T. Yang)在提出光的波动学说和色觉理论的同时,研究了眼的几何光学性质及心脏的流体动力学作用;19世纪,确立热力学第一定律(能量转化和守恒定律)的三位科学巨匠迈耶(R. Mayer)、焦耳(J. R. Joule)和亥姆霍兹(H. L. F. Vonheltz)中迈耶和亥姆霍兹当时都是生物学家,他们之所以提出能量守恒定律都受益于对生物问题,如热带地区人体静、动脉血液颜色及能量供给的思考和热、功与生理过程关系的研究,同时他们提出光合作用也是能量转换过程;进入20世纪,物理学与生物学更是进行了深层次的结合,物理学与生物学的结合具有悠久的历史。

二、物理理论和技术的应用

使生命科学取得突破性进展

20世纪是物理学发展的辉煌百年,相对论和量子力学的建立使近代物理学以雷霆万钧之势将世界推入现代高科技时代,原子能、微电子、激光、超导、纳米材料等导致了第三次工业革命,推动了人类社会的飞跃发展,物理学理论和技术向生物学领域的渗透,使生命科学取得了一系列的突破性进展。X射线衍射结构分析阐明DNA双螺旋结构和基因

太一度成为人们关注的对象,很多人试图从实验中检验以太的存在和它的属性,并希望测出地球相对于以太的速度即所谓“以太漂移”速度。其中最精确的当属迈克耳逊—莫雷的干涉仪实验,然而实验结果指出:真空中光的速度和光源或观察者的运动无关。这并不是迈克耳逊所预期的结果,但却成了爱因斯坦狭义相对论的验证。

1983年10月20日,在巴黎召开的第十七届国际计量大会通过:一米是光在真空中 $1/299792458$ 秒的时间间隔内所传播路径的长度。这一定义的意义在于:把真空中的光速值规定为一个固定常数,真空中的光速值在物理学中不再作为一个可测量的量,它的不确定度为零,从而结束了历时300多年精密测量光速的历史。尽管如此,这些测量工作对物理学发展所起的推动作用仍然是不可磨灭的。

(青岛山东科技大学理学院 266510)