

耐人寻味的物理常量

李 德 华

(内蒙古大学职业技术学院公共课教学部 呼和浩特 010023)

如果说钢琴、小提琴、马头琴等乐器能为我们奏响美妙动听的音乐,那么,在研究物理学的过程中,我们围绕一些物理常量,能够讲述许多有趣动人的故事。它们的问世,为物理理论建立创造了最基本的前提条件。

物理学中有许多常量。回顾一下物理学发展史,从经典物理到现代物理,从普通物理到理论物理,最引人注目的物理常量是重力加速度 g 、玻耳兹曼常数 k 、真空中的光速 c 、普朗克常数 h 。它们在揭示物理现象及其规律,建立物理理论过程中都具有划时代的意义。

一、重力加速度 g

当年伽利略(Galileo Galilei, 1564 ~ 1642 年),采用实验和数学的方法研究论证落体运动、抛体运动、运动合成等问题时,得出一个结论:在一个范围不大的空间里,任何物体在重力作用下自由下落的过程中,具有相同的加速度 g (即重力加速度)。为了在世人面前进一步展示自己的论证结果,他曾在意大利比萨斜塔顶上作了一次两个铁球同时落地的演示实验。这一实验结果,轰动了罗马,震动了世界。它直接否定了亚里士多德 2000 多年来提出的重物比轻物先落地的说法。有人称真正的物理学就是从这开始的。

在当时的历史条件下,伽利略这种崇尚科学,挑战权威、追求真理的精神,是永远值得我们学习的。正如他自己讲的:“老实说,我赞成亚里士多德的著作,并精心加以研究。我只是责备那些使自己完全沦为他思想的奴隶的人,变得不管他讲什么都盲目地赞成,并把他的话一律当作丝毫不能违抗的圣旨一样,而不深究其任何依据。”他的这种治学精神,研究论证问题的思想方法,给后人以启迪。

正是受伽利略的影响,受他这种研究论证重力加速度的思想方法及结论的影响,200 多年后,爱因斯坦(Albert Einstein, 1879 ~ 1955 年)萌发了建立广义相对论的念头。他讲:“……在引力场中一切物体都具有同一加速度。这条定律也可以表述为惯性质量同引力质量相等定律。它当时就使我认识到它的

全部重要性。我为它的存在感到极为惊奇,并猜想其中必定有一把可以更加深入地了解惯性和引力的钥匙。”引力和加速度等效,这是广义相对论的理论基础。

二、玻耳兹曼常数 k

玻耳兹曼(Ludwig Boltzmann, 1844 ~ 1906 年)与克劳修斯(R. Clausius)和麦克斯韦(J. C. Maxwell)在研究分子运动论过程中,玻耳兹曼由麦克斯韦分布律引入了玻耳兹曼因子 $e^{-E/kT}$,据此得到了能量均分定理。

在研究非平衡的输运过程中,确定了非平衡态的分布函数 $f(r, v, t)$ 。1872 年他从某一状态区间的分子数的变化是由于分子运动和碰撞两个要素出发,建立了一个关于 f 的既有积分又有微分的玻耳兹曼微分方程,运用方程建立了输运过程的精确理论。利用分布函数 f 引入了另一个函数:

$$H = \int f \ln f d v_x d v_y d v_z$$

并证明当 f 变化时, H 随时间单调地减小,即

$$\frac{dH}{dt} < 0$$

平衡态相当于 H 取极小值状态。 H 随时间 t 的变化率给人们一个系统趋向平衡态的标志,这就是著名的 H 定理。它第一次用统计物理的微观理论证明了宏观过程的不可逆性或方向性。

在 1865 年,克劳修斯用宏观的热力学方法建立了关于不可逆过程的规律,即熵增加原理。 H 定理和熵增加原理是相当的,都表明宏观过程的不可逆性。

1877 年,玻耳兹曼把熵 S 与热力学概率 w 联系起来,得出:

$$S = k \ln w$$

1900 年,普朗克(Mau K. Planck, 1858 ~ 1947 年)引入了比例常数 k ,则:

$$S = k \ln w$$

把这叫做玻耳兹曼关系式。把 $k \left(k = \frac{R}{N_0} \right)$ 称为玻耳兹曼常数。 R 和 N_0 分别是普适气体常数和阿佛加德罗常数,即:

$$R = 8.31\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$N_0 = 6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$$

将其代入上式得:

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J}/\text{K}$$

玻耳兹曼常数是统计物理研究的产物,同样是热力学和统计物理的不可分割的重要组成部分。在有关理论中经常出现。

三、真空中的光速 c

有趣的是,重力加速度 g 是建立广义相对论的理论根据,无独有偶,真空中的光速 c 也是建立狭义相对论的重要依据。

在牛顿力学研究的基础上,人们在研究电磁现象的过程中,特别是麦克斯韦电磁理论,他预言光也是电磁波,不久就被著名的赫兹实验所证实。在进一步研究物体运动的电磁现象时,在不同的惯性系中,如果用伽利略变换对电磁现象的基本规律进行变换,发现这些规律并不具有相同的形式。这样就说明伽利略变换和电磁现象应符合相对性原理的假设产生了矛盾。

在这个问题中,以 c 表示光在某参考系 s 中测得真空中的速率,以 c' 表示光在另一参考系 s' 中测得真空中的速率,根据伽利略变换,得:

$$c' = c \pm u$$

式中 u 为 s' 相对于 s 的速度,它前面的正负号由 c' 和 u 的方向确定。但这与麦克斯韦的电磁理论结果不符。在麦氏理论中真空中的光速为:

$$c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$$

其中:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} \text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

这是电磁学中的两个常量。将这两个值代入上式,得:

$$c = 2.99 \times 10^8 \text{m}/\text{s}$$

由于 ϵ_0 和 μ_0 与参考系无关,因此 c 也应与参考系无关。即在任何参考系中测得真空中光的速率应是这个值。这一结论被 1887 年著名的迈克尔逊(Michelson)和莫雷(Morley)实验所证实。他们的实验证明了光速的测量结果与光源和测量者的相对运动无关,即光的速率的测量结果与参考系无关。这就证明了光和电磁波的运动不服从伽利略变换。

正是根据光在真空中的速度与参考系无关这一

性质,在激光测量技术的基础上,现在把光在真空中的速率规定为一个基本物理常量,其值被测定为:

$$c = 299792458 \text{m}/\text{s}$$

光速与参考系无关这点是与人们的预计相反的。因为人们习惯地认为伽利略变换是正确的。事实上,在 $v \ll c$ 的情况下,确实伽利略变换是对的,但在高速运动的情况下,即运动物体的速度 $v \sim c$ 时,伽利略变换就不再适用了。这就是伽利略变换的局限性,也是伽利略变换与电磁规律矛盾的原因。爱因斯坦对这个问题进行了深入的研究,并在 1905 年发表的《论动体的电动力学》这篇著名论文中,作出了对整个物理学都带有根本意义的假设:“物理规律对所有惯性系都是一样的,不存在任何一个特殊的(例如‘绝对静止’的)惯性系。”

爱因斯坦称这一假设为相对性原理,即爱因斯坦相对性原理。同时,爱因斯坦在这篇论文中还提出了另一个假设,即:

“在任何惯性系中,光在真空中的速率都相等。”这一假设被称为光速不变原理。在这两条假设的基础上,爱因斯坦建立了一套完整的全新的物理学理论——狭义相对论。从此,物理学又揭开了崭新的一页。

四、普朗克常数 h

在 19 世纪末,随着德国工业的大发展,许多德国的实验和理论物理学家都非常关注黑体辐射的研究。有人精巧地测出了黑体辐射中光谱辐射出射度 M (系指单位时间内从物体单位表面积发出的频率在 ν 附近单位频率区间的电磁波的能量)与频率的关系曲线。人们试图从理论上解释这一物理现象。1896 年维恩(W. Wien)从经典热力学和麦克斯韦分布率出发,导出了一个公式,即维恩公式:

$$M = \frac{2\pi^5}{15} \frac{c^2}{15} \nu^3 e^{-h\nu/kT}$$

其中 h 和 k 均为常量。这一公式算出的结果,在高频范围内与实验值符合得很好,但在低频范围内与实验值偏差较大。

1900 年 6 月瑞利(Rayleigh)根据经典电磁学和能量均分定理导出了公式(后来由金斯(J. H. Jeans)稍加修正)。即瑞利—金斯公式:

$$M = \frac{2\pi^5}{15} \frac{c^2}{15} \nu^3 kT$$

这一公式的计算结果,在低频范围内能与实验值相符,但在高频范围内与实验值相差甚远。在黑体辐



走近电离辐射

蒋 绚

(南京师范大学物理科学与技术学院 南京 210097)

提起辐射,人们很自然地联想到手机、电脑的电磁辐射,对电离辐射则比较陌生。其实,这种电磁辐射就是

电离辐射的一种。电离辐射还包括电子、质子、中子及较重粒子的粒子源,微波辐射,光辐射,同步辐射等。我们的生活环境中存在着天然电离辐射和人工电离辐射,可以说,电离辐射就在我们身边。电离辐射可以造福于人类,它在工业、医学、农业上有着广泛的应用;电离辐射也可以给人类带来巨大的灾难,特别是核武器和辐射事故的发生。因此,我们对待电离辐射这把双刃剑时,既要充分利用它来造福人类,又要严防它的危害。

一、身边的辐射源

天然电离辐射

人们一般很难躲避自然界的辐射源,如宇宙射线、陆地辐射、食入或吸入的长寿命放射性核素和氡同位素。宇宙射线来自地球以外的宇宙空间,能量高、穿透力强。影响宇宙射线剂量的主要因素有高度(随高度增加而增大)、纬度(随纬度增大而增大)、屏蔽(如因房屋阻挡而减少)。所以机组人员和居住在高海拔的人会受到更多的辐射,室内的射线强度要比室外低 20%。陆地辐射是由土壤、岩石、路面材料和建材等所含的放射性核素所致。比如土壤和岩石中的钍和钾在蜕变时会释放射线,而建筑材料是由地表物质制造出来的,故也含有放射性。我们不可避免地会食入或吸入放射性核素,

射研究中出现这一经典理论的失效,曾被当时的物理学家们称为“紫外灾难。”

1900年12月14日,普朗克发表了他导出的黑体辐射公式,即普朗克公式:

$$M = \frac{2}{c^2} \frac{h^3}{e^{h/kT} - 1}$$

按照这一公式计算出的结果,能符合全部辐射频率范围内的实验值。

普朗克在热力学分析研究的基础上,大胆地提出“能量量子化”的假设。对空腔黑体的热平衡状态,他认为是组成腔壁的带电谐振子和腔内辐射交换能量而达到热平衡的结果。他创造性地假设谐振子可能具有的能量是不连续的,其能量只能取一些离散的值。以 E 表示一个频率为 ν 的谐振子的能量,普朗克假定:

$$E = nh \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

普朗克将上式中给出的每个能量值称为“量子”。这是历史上第一次提出量子的概念。由于这一概念的产生,即普朗克常数 h 的出现,很快量子力学就产生了。于 1918 年普朗克因此而获得了诺贝尔物理学奖。

回首往事,不难发现,在物理学研究中,往往一

个重要假设的产生,就是新的物理理论创立的开始;往往一个重要物理常量的出现,必然导致新的物理理论的产生。因此,这些重要物理常量 g 、 k 、 c 、 h 的发现,都是对人类认识客观世界规律的重大贡献。现将几个物理常量和有关的物理理论列入表 1。

表 1 物理常量与物理理论对照表

物理常量	物理理论
重力加速度 g	广义相对论和经典力学
玻耳兹曼常数 k	热力学和统计物理
真空中的光速 c	狭义相对论
普朗克常数 h	量子物理

现在我们正处于科学技术飞速发展的信息时代,我们面对物理学的热点问题(例如多体问题,耗散结构中的混沌与分形、湍流和孤波……),借助现代化的科技手段,必将加快研究的步伐。在研究中,同样需要大胆的科学假设,同样可能出现重要的物理常量。比如费肯鲍姆(Feigenbaum)常数和李雅普诺夫(Lyapunov)指数等,在研究非线性物理学中都是非常重要的。可以猜想,随着新的重要物理常量的发现,必将揭开蒙在物理难题上的神秘面纱,其中的奥秘随着物理工作者的努力探索将大白于天下。