

不够,还需采用温度补偿来进一步减小环境温度变化对仪器的影响.由于温度补偿的重力仪不可能在一个较宽的范围内补偿得很好,因此这些重力仪需寻找最佳工作点,在最佳工作点上,温度变化对仪器的影响最小. Lacoste 重力仪的最佳温度点在 $55^{\circ}\text{C}$ 附近.

DZW 型重力仪采用高精度控温,控温精度优于 $0.0001^{\circ}\text{C}$ ,因而毋需温度补偿.由于没有温度补偿,因此仪器工作温度的选择较为自由,只需工作温度高于环境温度即可.

设计高精度的恒温控制器必须注意以下五个方面:(1)选用性能十分稳定的热敏元件;(2)采用合理的热结构;(3)采用低漂移和高输入阻抗的前置放大;(4)要有高的环路增益;(5)选用恰当参数的控制电路.

在 DZW 型重力仪的控温系统中,通过工艺措施使热敏电阻与加热丝之间热耦合的时间常数尽可能地小(时间常数小于 $2\text{s}$ ).时间常数愈小,控制环路愈稳定,环路增益可以更高,并可免去控温系统中的校正网络.因此 DZW 型

重力仪的控温电路显得特别简单.(在国内外的许多文献中,高精度的控温电路一般都需用校正网络来稳定控制环路.)

热敏电阻采用美国 Yellow Spring 公司生产的44008型热敏电阻,在恒温条件下的月漂移小于 $0.0001^{\circ}\text{C}$ .

热敏电阻自热温升的变化会导致控温误差.在该仪器的控温系统中,通过电路设计和工艺措施,降低自热温升的绝对量和相对变化量,使自热温升的变化量小于 $0.0001^{\circ}\text{C}$ .

此外,我们发现气压变化会引起热敏电阻自热温升的变化.气压下降时,自热温升则增大,为此,我们将热敏电阻密封,以防止气压变化对控温精度的影响.

在 DZW 型重力仪中,对热结构进行合理的设计,故该仪器受环境温度变化的影响显著地减小.当气温剧变时,原联邦德国 GS 型重力仪为此不能正常工作,而置于同一实验室内 DZW 型重力仪却不受影响.

## 普朗克的第二次量子假设

王晓明

(盐城师范专科学校物理系,盐城 224002)

1900年12月14日,德国理论物理学家马克思·普朗克在德国物理学会上公布了他的第一次量子假设,这一假设的提出大大改变了物理学的进程,人们习惯地把这一天称之为量子概念的诞生纪念日;而在1911年2月3日,普朗克又一次提出了量子假设,我们把它称之为第二次量子假设.量子假设使物理学发生了一场深刻革命,这是众所周知的,但许多人对普朗克的第一次量子假设做了大量研究,而对普朗克为什么提出第二次量子假设却很少有人问津,并存在一些误解,认为普朗克提出第二次量子假设的行动是一种退却行动,在量子问题上普朗克一直持保守态度.对此我不敢苟同,并想对这一

问题进行初步探讨.

### 一、第一次量子假设提出后的反应

在1900年普朗克提出第一次量子假设后的几年时间内,人们对这一假设的反应几乎等于零.这可从当时的文献反映出来.人们只是在一定程度上接受了他的黑体辐射定律,而对他的黑体辐射定律的理论解释考察很少.即使普朗克本人也认为“这纯粹是一个形式上的假设,我实际并没有对它想得太多,而只是想到,要不惜任何代价得出一个积极的成果来.”<sup>[1]</sup>

直到1905年情况才开始出现转机.1905年3

月,26岁的爱因斯坦发表了一篇题为《关于光的产生和转化的一个启发性观点》的论文,提出了光量子假设,它比普朗克的量子假设更进了一步.爱因斯坦的光量子命运并不比普朗克的量子命运好多少,事实上更糟.连普朗克这位量子概念的创始人,也表示反对,并且在相当一段时间内一直拒绝它.普朗克在给爱因斯坦的信中写道:“我为基元作用量子寻找的不是它在真空中的意义,而是它在吸收和发射地方的意义,并且我认为,真空中的过程已由麦克斯韦方程作了精确的描述.”<sup>[1]</sup>普朗克许多年一直持这种见解.

爱因斯坦怀着对量子的极大兴趣,于次年(1906年)3月发表了另一篇量子论的论文《论光的产生和吸收》,文中表明了他对普朗克量子的认识.认为普朗克的量子假设与他的光量子假设在某些方面是一致的,并指出普朗克的辐射理论所依据的理论基础与电磁理论不相容.

爱因斯坦是第一位认识到量子概念重要性的人,量子概念已动摇了经典物理学的根基,经典物理学必须进行修正,接着于同年11月,他又发表了第三篇关于量子论的重要论文《普朗克的辐射理论和比热理论》.爱因斯坦抱着量子已击中问题要害的信念,大胆地对分子运动论进行了修正,把量子概念运用到被开尔文勋爵称为19世纪物理学两朵乌云之一的比热问题,获得了成功.索末菲称爱因斯坦的比热理论是继普朗克辐射公式之后的第二根“坚强的量子论支柱”.爱因斯坦的比热理论还间接推动了第一届索尔维会议的召开,因此,它在量子论的发展史上占有很重要的地位.

尽管爱因斯坦当时已充分认识到量子概念的重要性,但是他当时既没有知名度也太年轻,因而他的观点不能使物理学家们信服.

真正发生转机的是1908年的洛伦兹罗马演讲之后.1908年4月8日,洛伦兹在罗马召开的第四届国际数学家会议上发表了一篇题为《能量在可称量物质和以太之间的分配》的演讲.这位当时科学界的领袖、电子论的权威,讨论了他推导黑体辐射定律的结果,即他也得到了瑞利和

金斯(J. Jeans, 1887—1946)的定律,但他在普朗克辐射理论和金斯理论之间不能抉择,仍希望用实验来予以肯定.而当时普朗克的辐射公式和实验测量数据符合得非常好,因此,他的演讲立刻遭到了维恩和陆末等一些物理学家的强烈批评.洛伦兹很快就接受了批评,转而相信普朗克理论,并一针见血地指出,量子假说和经典物理的连续性格格不入.洛伦兹的转变带动了一批物理学家重视量子问题,这归功于洛伦兹的声望和学识,我认为这在量子论发展史上是一件很重要的事件.这就象爱因斯坦的狭义相对论一样,在得到德高望重的普朗克相信后不久就在人们当中传播开来并引起重视.洛伦兹的转变也影响了普朗克.在这之前,普朗克并未意识到量子的引入会对经典物理学的连续性原理构成威胁,现在他开始认识到问题的重要性了.从1908年后,他又重新投入到对黑体辐射本性问题的研究之中.

## 二、普朗克的信念和历程

普朗克一生的主要信念有两个:一是自然界的统一性,二是自然界的客观性.纵观普朗克的一生,他追求科学的动机和对科学所作出的伟大贡献以及在量子问题上的态度都没有逃出这两个信念的魔圈.

任何一位研究者的世界观都决定性地影响着他科学工作的方向;他的研究成果同时也会对他的哲学世界观产生影响.普朗克从事科学的动机在他的《科学自传》中写得很明白:“引导我致力于科学研究和从青年时期就爱好它的原因,是一个不显而易见的事实,即我们的思维规律和我们从外界接受到的自然过程的规律是吻合的,因而人们有可能通过纯粹思维对这种规律作出解释.对此具有重要意义的是,外部世界是我们所面对的、独立于我们而存在的绝对存在,而探索这种绝对存在所适用的规律,我认为就是最崇高的科学研究任务.”<sup>[2]</sup>

对绝对普适规律的执着追求和深笃信念,正是普朗克科学信念和哲学信念最深厚、永不

涸竭的源泉。这伫立在普适规律后的最高存在和绝对，仿佛就是彼岸一束不灭的灯光，他的内心时时受它的激励和引导。

能量守恒定律是符合普朗克信念的第一个定律，正是对能量守恒定律的强烈兴趣把普朗克引进了热力学研究领域。在对热力学的深入研究中，他感到不可逆过程显示着某种绝对性，因而他认为必须把熵摆在研究问题的中心。他的博士论文就是专门论述热力学第二定律的，文中创造性地概括了熵的概念。当他的注意力被吸引到黑体辐射正常能量分布这种绝对规律时，他就是把熵放在突出位置，从熵与几率关系中找到了突破口，从而敲开了量子大门。

在普朗克的全部物理学思路和哲学思考中，有一个最高目标总是象夜空中一颗特大的亮星那样在那里闪烁，起着根本性的指导作用和有力的召唤，即追求统一的自然观。普朗克的第一次量子假设，在他看来并未破坏他的统一信念，相反，他认为对绝对普适规律的追求，是向统一目标靠近了一步。当他用量子假设来解释他的黑体辐射公式时，他并未认为量子假设会和任何已确立的理论相矛盾。他相信，他所采取的一切步骤都还停留在热力学、麦克斯韦电动力学和麦克斯韦及玻耳兹曼的统计力学范围内。在他看来，他只是通过给出辐射熵的一种适当的统计解释而对麦克斯韦和玻耳兹曼的统计力学作出了一定的贡献而已。因此，在他提出量子假设后的五年间并未对量子假设不安。在这期间他很少发表对量子的评述，更谈不上发表论文，他只是把量子假设看成是解释已知事实的一种必要手段，并未认识到量子所蕴藏的巨大含义。普朗克30多年后回忆说：“我已经和辐射与物质之间的平衡问题斗争了六年（从1894年开始）而没有得到任何成功的结果。我明白，这个问题在物理学中是有根本重要性的，而且我也知道了描述正常谱（即黑体辐射谱）的能量分布公式，因此就必须不惜任何代价来找出它的一种理论诠释，不管那代价有多高。”<sup>[4]</sup>显然普朗克对用量子假设能够恰当地解释黑体辐射公式而感到满意，因为一切步骤的理论基础

都是现有的，但他对公式中的恒量  $h$  感到困惑，因此“无论如何，理论必须对普适作用量子  $h$  的物理意义给出更深刻的解释。”<sup>[5]</sup>就象相对论中的光速  $c$  一样，作用量子  $h$  在普朗克心中占有非常重要的地位。

普朗克在对绝对有效规律追求的科学生涯中，科学事实一次又一次佐证和加强了她的统一信念。普朗克从步入研究生涯开始，就把自己的研究建立在对历史考察的基础之上，他的每部专著、论文和演讲几乎都涉及对历史的回顾和评价，物理学发展的每一步他都了如指掌。在世纪之交，整个物理学呈现出比以前更趋统一的前景，物理学个别范畴相互熔化，声学全并入力学、电学、磁学和光学全并入电动力学，开尔文勋爵乐观地认为物理学的大厦已基本建成，后辈物理学家只需修修补补就行了，普朗克也为之感到鼓舞和振奋。他认为“现在还有两大范畴对立着：力学与电动力学，或者说物质的物理与以太的物理。前者包括声、热、化学现象，后者包括磁、光和热辐射。这种划分是终极的吗？我不信，因为两者彼此界限并不严密”<sup>[6]</sup>当时，普朗克似乎感到物理学统一尽管还有困难，但已为期不远。

1905年爱因斯坦的关于相对论的论文吸引了普朗克，为此，他花了三年左右的时间专心致力于狭义相对论的研究。他认为最小作用量原理在相对论中具有特别重要的意义。“最小作用量原理处于比两者（能量守恒和动量守恒）更优越的地位，自然界的所有可逆过程都受其支配。”<sup>[7]</sup>能量守恒定律可以从最小作用量原理推出，而反过来却不行。最小作用量原理在洛伦兹变换下具有不变性，不变性意味着某种绝对，这正是他追求的目标。而自然界的可逆过程又可归结于最小作用量原理，这又与他的统一信念不谋而合。

普朗克的统一信念在1908年的莱顿演讲中表现得最为充分和明显。莱顿演讲的题目就是《物理世界相的统一》。演讲中，他从物理局部的统一谈到整个世界的统一。他认为物理学的最高目标是把“物理现象错综复杂的多元性，综合

到一个统一的体系,假若可能的话,把它综合到一个唯一的公式。”<sup>[8]</sup>而人类的最高目标是达到这样一种统一图案:“图案中所有分立部分统一,空间和时间统一,所有的研究者、民族、文化都统一。”<sup>[9]</sup>人们探求的每一条真理都是该图案中不可缺少的一部分,有其相应的位置。

在1908年前,普朗克仍未认识到他的量子概念从根本上动摇了物理学大厦,经典物理学赖以存在的自然不作跃变的连续性原理已岌岌可危,在物理学领域必须进行一场彻底的概念革命。普朗克的莱顿演讲也表明他的辐射理论仍建立在经典电动力学基础之上,在他的眼中只有力学与电动力学的对立。1908年洛伦兹的罗马演讲之后,事件发生了某些变化。洛伦兹在给维恩的信(1908年6月6日)中强调普朗克的量子理论和经典理论不相容。普朗克在一定程度上接受了洛伦兹的结论,他同意瑞利-金斯辐射定律可以从标准理论推出,然而他不同意洛伦兹和爱因斯坦的这一意见:作用量子的引入通过在电磁现象的描述中造成一种不连续性而和麦克斯韦电动力学发生了矛盾。同年10月7日在写给洛伦兹的信中说:“我仍然看不出放弃自由以太绝对连续性假设并放弃以太中的一切连续过程的任何理由。其结果就是,作用量子  $h$  是共振子的一种性质。”<sup>[10]</sup>与洛伦兹的通信讨论,加上物理学当时的大气候,使具有无比忠实负责精神的普朗克,不能不对他提出的量子负责,从而又回到对量子问题的研究中来。尽管从1905年到1909年期间,普朗克未发表有关量子问题的文章,但他还是一直在关心量子问题,这期间的许多通信和简评证实了这一点。可以说,普朗克从1909年才重新开始研究量子问题,尤其是对洛伦兹提出的尖锐问题作了深刻的思考。经过一年左右时间的缓慢消化和吸收,普朗克的认识发生了改变。到1910年初普朗克终于相信并公开承认不连续性进入了物理学,必须放弃经典理论的部分内容。1910年普朗克发表了一篇有关量子的论文,文中写道:“在金斯理论中,确定的基元过程被假定是连续的,而事实上,是不连续的……依我的观点,不能为此目的去放弃最物理

小作用量原理,因为它已被强有力地证明具有普遍意义,但是,不得不放弃哈密尔顿微分方程有效性这一假设。”<sup>[11]</sup>

尽管普朗克已认识到他的量子假设已把不连续性带进了物理学,已触动了物理学的部分根基。他的统一信念仍趋使他认为,经过几百年前辈物理学家们建立起来的并经过许多风风雨雨吹打的物理学宏伟大厦,在整体上仍是坚固的,现在只是大厦的某些部分建筑得还不够牢固,必须进行适当的修补。虽然量子不连续性已不能从物理学领域中驱赶出去,但经修补后仍可把它纳入经典物理学的领域。他把不连续性限于局部区域,认为不连续性仅在局部区域内起作用。因而,就致力于把量子不连续性纳入经典物理学的研究之中,归入他的物理世界图象之内,力求使世界和谐统一。于是,他又提出了第二次量子假设。

### 三、第二次量子假设

和第一次量子假设一样,普朗克仍然从共振子这一有效模型出发,讨论在一个黑体辐射空腔中,共振子怎样辐射和吸收能量的。这个过程是连续的还是不连续的呢?按照经典电动力学,频率为  $\nu$  的一个赫兹振子在时间间隔  $\tau$  中从频率为  $\nu$  而强度为  $J$  的辐射中吸收能量  $E$ ,此处  $E = 3c^2\sigma J\tau/16\pi^2\nu$ 。式中  $\sigma$  代表共振子的阻尼恒量。对于小的强度  $J$  和大的频率  $\nu$ ,吸收一个能量子  $h\nu$  所需的时间间隔  $\tau$  会变得很大。因此,普朗克论证说,吸收过程不可能是一个不连续过程,它必须是完全连续的,而能量从振子的发射却应该是以不连续的方式发生的。这就是所谓的“量子发射加连续吸收”假设。

普朗克的这一假设导致了一个重要的结果。与第一次量子假设得出的振子能量相比,振子的能量变大了,多了一个恒量  $h\nu/2$ 。

普朗克立即核对了他的第二次量子假设的一切推论。他发现这种假设可以很好地描述当时已知的那些量子现象,例如光电效应和比热在低温下的变化。于是他宣布,它“不但适用于

消除辐射理论和麦克斯韦电动力学的最重要的基础之间的严重矛盾,而且这样一来也就在某些迄今无法适当地概括起来的其他现象上投射了更明亮的光辉。”<sup>[12]</sup>普朗克在许多场合阐述了他的第二次量子假设.例如在1911年4月11日在巴黎召开的法国物理学会的会议上,以及1911年7月13日的一次普鲁士科学院例会上,尤其是在1911年秋天在布鲁塞尔召开的第一届索尔维会议上,普朗克在报告中又一次讨论了它.这对当时物理学的发展起了一定的影响.

第一届索尔维会议在量子论的发展史上起了决定性的作用.量子问题从此得以广泛地传播并引起人们的高度重视.尽管能斯脱是这次会议的倡导者和组织者,但普朗克在这次会议的召开上也起了举足轻重的作用.当能斯脱把自己准备召集一次国际会议的念头去信征求普朗克意见时,普朗克回信表示积极支持和赞同,并在会议召开前和能斯脱及洛伦兹一起制定了议程,决定了相应的演讲人和负责讨论的人选.会上普朗克的发言激起了长时间热烈的讨论,尤其是他的第二次量子假设引起了不少人的注意.人们认为它为量子的应用提供了新的动力.例如它可用来解释电子发射.爱因斯坦和斯特恩在1913年曾为维护第二次量子假设进行过论证.

普朗克的第二次量子假设最吸引人们注目的是附加项  $h\nu/2$ ,即零点能.尽管这个附加项并不蕴涵辐射公式的任何变动,但却大大改变了振子在低温下的性能.普朗克指出:“对于  $T=0$ ,  $\bar{U}$  不是等于零而是  $h\nu/2$ .这种静止能量(零点能)即使在绝对零度的温度下也还和振子在一起.因为如果  $\bar{U}$  变得小于  $h\nu$  了,它就不会发射任何能量了.”<sup>[13]</sup>这一结论很快被物理、化学家们应用于低温研究,尤其是低温下单原子理想气体的量子效应.1914年 Arnold Eucken 报告说:可以肯定,低温下零点能的存在.从这以后,越来越多的人研究和利用零点能.

另一方面,第二次量子假设对分析原子和分子及其光谱作出了有意义的贡献.普朗克介绍的多量子发射提供了一个重要模式:如果振

子发射时穿过了相平面上的  $n$  个椭圆基元,那么第二次量子假设理论要求它发射的正好是  $n$  个量子,且发射以振子回到零点能而告终.而这一发射概念正是玻尔.1913年初理解光谱发射的关键.玻尔在有关这方面的第一篇论文中,三处引用了普朗克第二次量子假设理论.直到1916年,有关原子、分子及其光谱方面的文章都提及了第二次量子假设.

第二次量子假设与第一次量子假设相比也有自身的弱点.第一,在普朗克理论原来的形式中,引入能量子假设就足以导出辐射定律,而新理论所包含的不确定性只能靠进一步的假设来消除,即处在稳定状态的许多原子作为一个整体,吸收的能量最终等于发射的能量.第二,新理论中发射和吸收所处的地位是不平等的,即发射不连续而吸收连续,这仍与经典理论不符.

最终改变第二次量子假设命运的是量子概念在处理光谱问题上的应用.玻尔氢原子量子理论的成功证实了不但发射,而且吸收也不连续.当玻尔的理论为人们所接受,并且成为量子研究的基本工具时,第二次量子假设就渐渐地物理学领域中消失了.在1918年玻尔的《线性光谱的量子理论》及1919年索末菲的《原子的结构和线性光谱》两书中,都未提到第二次量子假设理论,而这两本书是此后几年中训练下一代物理学家的主要参考书.在物理化学方面,到了20年代似乎只对零点能关心,第二次量子假设已不再为人们提起.至此,普朗克的第二次量子假设的历史使命宣告结束.

综上所述,普朗克的第二次量子假设是当时物理学发展的历史条件与普朗克的思想信念相结合的产物.第二次量子假设理论与第一次量子假设理论不同,这是普朗克完全从不连续的观点出发得到的第一个理论.尽管从我们现在的观点来看,普朗克的第二次量子假设比第一次量子假设有所倒退,但实际上,普朗克在提出第二次量子假设时,对量子的认识要比第一次进了一大步.在当时量子这个新生事物的谜底尚未揭开的情况下,普朗克的行为是一种积

极的、稳健的、具有负责精神的探索行动,而不是退却. 他的第二次量子假设为推动当时量子论的发展起了很大的促进作用. 正是由于普朗克的积极参与,才使量子这颗种子迅速在物理学大地上生根、开花、结果.

- [1] M. Planck, in *Theoretical Concepts in Physics*, M. S. Longair ed., Cambridge Univ. Press, (1984), 222.
- [2] M. Planck, in *The Genesis of Quantum Theory (1899—1913)*, A. Hermann ed., MIP Press, (1971), 56.
- [3] M. Planck, in *Max Planck, Ein Leben für die Wissenschaft (1858—1947)*, J. L. Heilbronn ed., S. Hirzel Verlag Stuttgart, (1988), 225.
- [4] Ref. [1], 223.

- [5] J. Mehra and H. Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. 1, Part I, Springer—Verlag New York Inc., (1982), 59.
- [6] M. Planck, *A Survey of Physics*, New York Dutton, (1925), 7.
- [7] *Ibid.*, 80
- [8] *Ibid.*, 1.
- [9] *Ibid.*, 32.
- [10] M. Planck, in *Black-Body Theory and The Quantum Discontinuity (1894—1912)*, Thomas S. Kuhued., Oxford Univ. Press, (1978), 304.
- [11] M. Planck, *Ann. d. Phys.*, 31(1910), 760.
- [12] M. Planck, *Verh. d. Deutsch. Phys. Ges.*, 13(1911), 148.
- [13] *Ibid.*, 146.

## 吉布斯和他对热力学、统计力学的贡献

杨建邺

(华中理工大学物理系, 武汉 430074)

段永法

(空军雷达学院基础课部, 武汉 430010)

肖明

(湖北省教育学院物理系, 武汉 430060)

约瑟亚·威纳德·吉布斯(Josiah Willard Gibbs, 1839—1903)是在美国出现的第一个闻名世界的理论物理学家. 他在他的名著《统计力学基本原理》中<sup>[1]</sup>, 将热学的唯象论和分子运动论两个基本理论统一到一个整体中, 完成了经典物理的又一次伟大的综合, 经典物理大厦的三大支柱, 也因此最终竖立起来.

由于吉布斯伟大的贡献, 他于1901年获得英国皇家学会颁发的 Copley 奖章, 这也许是当时科学界的最高奖赏. 1950年, 纽约大学的伟人堂建起了吉布斯的半身铜像, 他的功绩终于为美国人所肯定.

### 一、吉布斯的早期生活和前期工作

1839年2月11日, 吉布斯出生在一位著名物理

学家、宗教文学教授的家中.

在中学时, 吉布斯就读于霍普金斯中学, 这是一所在美国很有名的中学. 中学学习四年之后, 吉布斯考取了耶鲁大学. 在大学学习期间, 他是一个成绩全面优秀的学生, 不仅在数学上获得过奖励, 在拉丁文、希腊文上也同样获得过奖励. 按耶鲁大学当时的规定, 任何人只要获得以上奖励中的一种, 就可以在耶鲁大学继续攻读研究生. 于是, 吉布斯就在小希利曼(B. Silliman, Jr.)和休伯特·牛顿(H. A. Newton)两位教授指导下继续深造.

1863年, 吉布斯获得耶鲁大学哲学博士学位, 他是最早获得这种学位的美国人中的一个. 他的博士论文题目是《转动中齿轮的齿形》. 人们也许会奇怪, 这个题目与“理论物理学家”似乎风马牛不相及, 但实际上该文表现出他具有