

近代自然科学史概论

张瑞琨 主编

(下册)

华东师范大学出版社

近代自然科学史概论

下 册

张瑞琨 主编

华东师范大学出版社出版发行

(上海中山北路3663号)

新华书店上海发行所经销 吴县光福印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 12.5 字数: 320千字

1989年11月第一版

1989年11月第一次印刷

印数: 1—2,500 本

ISBN7-5617-0399-6/N·015 定价: 3.40 元

目 录

第五篇 二十世纪部分

第十八章

§1 世纪之交的物理学革命	(1)
§2 旧量子论的诞生和发展	(10)
§3 狭义相对论建立和爱因斯坦	(22)
§4 原子有核模型的诞生	(34)
§5 二十世纪生物学发展的源流	(47)
§6 生理学研究方法的更新	(52)
§7 魏格纳和他的《海陆的起源》	(58)
§8 广义相对论的建立过程及其意义	(64)

第十九章

§1 数学发展的特点	(75)
§2 数学基础研究中的哲学流派	(84)
§3 量子力学的历史沿革	(101)
§4 狄拉克及其对量子力学发展的贡献	(111)
§5 经典遗传学的发展	(118)
§6 赫罗图和恒星演化的研究	(135)
§7 银河系与河外星系研究史	(143)
§8 物理学向地球科学的渗透	(149)

第二十章

§1 核结构研究的沿革	(156)
§2 现代化学的发端	(162)
§3 元素周期律的新发展	(166)
§4 现代化学键理论的建立和发展	(173)

§5 物质结构(结构化学)的理论与实验.....	(185)
§6 量子场论的问世与发展.....	(198)
§7 化学反应理论的全面发展(一)——化学热力学的发展.....	(204)
§8 化学反应理论的全面发展(二)——化学动力学的发展.....	(213)
§9 化学反应理论的全面发展(三)——溶液理论的发展.....	(221)

第二十一章

§1 抽象代数、拓扑学和泛函分析的形成和发展.....	(232)
§2 我国科学家在地质学上的主要贡献.....	(248)
§3 有机化学的新发展和高分子化学的崛起.....	(257)
§4 分子生物学的孕育、诞生和发展.....	(271)
§5 射电天文学的兴起及其最初的研究成果.....	(291)
§6 太阳系起源的灾变说的复兴和新星云说的提出.....	(295)
§7 现代宇宙学的诞生和发展.....	(303)

第二十二章

§1 对基本粒子结构认识的发展.....	(313)
§2 量子电子学的起源和激光器的诞生.....	(325)
§3 现代化学的发展前沿.....	(340)
§4 生命起源问题的研究进展.....	(346)
§5 板块构造说与现代地学革命.....	(359)
§6 二十世纪海洋科学的发展.....	(372)
§7 环境科学的出现.....	(377)

结语

第十八章

自然科学刚跨入二十世纪，物理学领域内首先掀起了革命的浪潮。由于上世纪末物理学实验上一系列的重大发现，冲击着经典物理学的连续观念、绝对时空观念和原子不可再分的观念，使原有的经典理论显得无能为力。在科学家们共同努力下，量子论、相对论和原子结构理论先后诞生，使人们的观念为之一新。这三大支柱，不仅支起现代物理学的大厦，同时又是现代自然科学的几根擎天大柱。

与此同时，化学、生物学都起了变化，都有了新的发展，甚至连古老的地学，人们也在探讨海陆的起源。对那些人们感兴趣的问题都在不断地探究着，想探究出一些原来想知道而还没能了解的问题的答案。这样就使不少学科向着纵深的方向发展。

§ 1 世纪之交的物理学革命

自然科学进入到十九世纪以后，在收集到的大量科学材料的基础上，进行整理，分门别类地加以研究，使各门学科都得到了发展，物理学也不例外。经过将近一个世纪的努力，物理学在经典力学的基础上，热学、分子物理学、光学、电学、磁学都得到了发展。关于光的本性之争，经过长达百年的争辩，光的波动说获得了胜利，从而物理光学得以很快地发展。经过奥斯特、法拉第等人的努力，使人们认识到电与磁之间有着密切的联系，在一定的条件下，可以相互转化。经过麦克斯韦的研究，使电磁理论更加完善，致使一部分人认为这样的理论是无懈可击的。

当物理学取得如此巨大的成就时，不少物理学家除了赞叹以

外，还流露出满足和无所作为的思想感情。著名德国物理学家基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824~1887)曾经表示过：“物理学将无所作为了，至多也只能在已知规律的公式的小数点后面加上几个数字罢了。”普朗克的导师也曾经说过，物理学将会很快地具备自己的终极的稳定的形式。并表示，虽然在这个或那个角落里，还可能发觉到或消除掉一粒尘土或一个小气泡，但作为整体的体系却足够牢固可靠了。理论物理学已明显地接近几何学一百年来已经具有的那种完善程度。在刚跨入二十世纪的第一天，世界著名的英国物理学家开耳文也曾经说过：“在已经建成的科学大厦中，后辈物理学家只能做一些零碎的修补工作了。”但是 he 与众不同，在这同时，他又敏锐地发现，在物理学晴朗的天空里，还有两朵小小的令人不安的乌云。这两朵“乌云”是指什么？为什么这两朵乌云会引起这样著名的物理学家的不安呢？

让我们追溯一下历史。物理学进入到十九世纪八十年代以后，与物理学经典理论不断完善的同时，物理学实验上却陆续地发现了一些重大的实验结果，这些结果使旧有的物理学理论显得无能为力。这些实验中间，至少有七个是重大的发现，不但旧有理论无法解释，有的还导致观念上的更新。

第一个实验是 1887 年赫兹在验证麦克斯韦预言电磁波存在的实验过程中，发现了光电效应。¹⁾ 德国物理学家赫兹 (H. R. Hertz, 1857~1894) 在研究电磁波发射和接收的实验过程中，当使发生火花的间隙产生的光与接收间隙隔绝时，则接收间隙必须缩短，才能使它发生火花；任何其他火花的光射到间隙的端点，也能使间隙之间发生火花。赫兹进一步研究后，发现这一现象中起作用的是光的紫外部分。当这种光射到间隙的负极时，作用最强。这就表示紫外光照射负电极时，负电极更容易放电，表明有更多的电子可以逸出负电极的表面。用其他的光照射时，就没有这

1) 所谓光电效应，就是指金属中的电子在光的照射下，从金属表面发射出来的现象。

种现象。按照经典理论，从金属表面逸出的电子数目是和光的强度有关，而与光的频率是无关的。这一矛盾，赫兹无法解释，但他仍以“论紫外光对放电现象的效应”为题发表论文，描述了这一现象，向物理学经典理论发起了挑战。

第二个实验是1887年的迈克耳逊-莫雷实验。十九世纪初，经过托马斯·杨和菲涅耳的研究，使光的波动说取得了很大的成功。但是根据经典力学的观点，认为波的传播必须要有介质存在。既然光是一种波，那末它必须要通过某种介质才能传播。所以人们想借助“以太”来传播光，并想利用各种方法来检验“以太”的存在，确定它的属性。到了八十年代，根据天文学和物理学的知识，认为“以太”是充满整个太阳系，地球就在这个“以太”的海洋中运动，但是又认为地球在这个“以太”海洋中运动，不会扰乱“以太”原有的分布。根据这一图象，人们就希望利用实验来测定地球相对于“以太”的运动速度，这就是平时所说的“以太”的漂移速度。美国物理学家迈克耳逊(A. A. Michelson, 1852~1931)从1880年开始，就设计和利用干涉仪表测量“以太”的漂移，以检验“以太”的存在。那时他想比较光在直角时的路径作为发现地球相对“以太”运动的一种方法。当时他也意识到保持干涉仪的恒温是一个主要困难。后来他又和美国化学家莫雷(E. W. Morley, 1838~1923)合作，继续研究这个问题。经过一段时间的努力，于1887年12月发表论文“论地球运动和传光的以太”，宣布了得到否定结论的实验结果，表明测量不出“以太”的漂移速度，由此说明地球和以太之间不存在相对运动。这就是物理学史上有名的“零结果”。这一结果表明过去的这一幅图象是不正确的，从而表明以往的观念和理论有他的片面性。这一结果使持有光是“以太”中的波动这一观点的人大失所望，根本无法了解这一实验结果的意义，连迈克耳逊本人也不了解这一实验结果的重要意义。

第三个实验是1895年伦琴发现了X射线。¹⁾十九世纪下半

1) 张瑞琨“伦琴射线的发现”，《自然杂志》，上海科学技术出版社，1981年第三期。

叶，很多物理学家对气体的放电过程进行实验和理论的研究，从1895年起，德国物理学家伦琴(W.K.Röntgen, 1845~1923)在实验室里研究阴极射线管中气体的放电过程的实验。该年的11月8日，他照例地做着实验，但偶然地发现了一个新的现象：在暗室中做放电实验时，当用黑色硬纸把阴极射线管密包起来后，在一段距离外的涂有一种荧光材料（铂氰酸钡）的屏上竟发出微弱的荧光。伦琴立即进行仔细的观察，肯定激发这种荧光的東西来自阴极射线管，但同时又可以肯定这种东西不可能是阴极射线，因为后者是透不过阴极射线管的玻璃壁的。伦琴认真地对待这个偶然的发现，一面继续进行实验，一面进行理论上的思索。他推论，当阴极射线（后来知道就是电子流）撞击管子的玻璃壁时，是否会形成一种不知道的射线，而它可以透过玻璃，再撞击在化学药品上时，便会激发荧光。伦琴又发现，当金属厚片放在管子与涂有铂氰酸钡的屏之间时，便会发生投射的阴影，表明这种射线不能穿过金属厚片；平时不透光的、轻的物质（如铝片、木片、纸张等）放置在这两者之间时，发现在这种射线范围内，投射阴影几乎看不见，表明这种射线可以穿过这类物质。同时发现，当玻璃管内的气体愈少，则这种射线的贯穿本领愈高。由于肌肉和骨骼对这种射线的吸收情况不一样（肌肉对它的吸收比骨骼弱得多），所以具有相当“硬度”的这种射线照射时，便在屏上留下骨骼的阴影。伦琴又发现，这种射线并没有表示出明显的普通光的特性（如反射、折射、衍射等），所以他误认为所发现的射线与光无关。考虑到它的不确定的本性，所以伦琴把这种射线称为X射线，后人也称它为“伦琴射线”。

经过一个多月的研究，1895年12月28日，伦琴在维尔茨堡举行的医学物理学学会会议上，宣读了第一篇论文“论新的射线”，过不久，又制造出世界上第一只产生这种射线的玻璃管（后人称为

“伦琴射线管”)¹⁾。这一发现纯属偶然，伦琴也认为“是偶然发现射线穿过黑纸的”，但是这种机遇只是偏爱那种有准备的头脑者。在前一年，有一位物理学家也发现类似的现象，但是没有重视它，反而认为是外来的干扰，千方百计地想排除这一“干扰”，结果失去了这个可以导致重大发现的机会。这一发现的重要意义在于对“不可入性是物质的固有属性”观念的挑战，也是对建筑在这一观念基础上的经典物理学理论的挑战。由于这一重要的贡献，伦琴荣获了1901年的诺贝尔物理学奖，他就成为诺贝尔物理学奖第一个获得者。

第四个实验是1896年贝克勒尔发现了放射性辐射。伦琴的重大发现，轰动了整个社会。非但开拓了一个新的研究领域，同时也使科学界引起震动，使不少科学家思考着新的问题。法国物理学家贝克勒尔(H. Becquerel, 1852~1908)就是其中之一。在1896年1月下旬举行的法国科学院科学例会上，贝克勒尔得知伦琴发现了X射线。同时，彭加勒认为X射线似乎是从阴极对面的有荧光的部位发出的。由此，贝克勒尔便联想起X射线与荧光之间可能存有某种联系。于是他想通过实验来验证荧光物质是否会发出X射线。二月下旬，贝克勒尔选用一种铀盐（硫酸铀酰钾），采用惯常的办法，即用黑纸包好这块铀盐，并放在照相底片上，在日光下爆晒一段时间，使铀盐发荧光，然后冲洗照相底片，看看是否像X射线那样使照相底片感光。实验结果与预料的一样，的确能使照相底片感光。这个实验结果，使贝克勒尔相信，经日光爆晒后的铀盐发出荧光，然后发出具有贯穿能力的射线，致使照相底片感光。接着，贝克勒尔用反射光、折射光进行实验，都得到相同的结果。这样，于1896年2月24日向法国科学院提交了题为“论磷光辐射”的报告，描述了这些实验的结果。在贝克勒尔看来，似乎X射线是由铀盐发荧光时发射出来的。他准备进一步实验，

1) 张瑞琨“威廉·伦琴和X射线”，《自然科学史、自然辩证法文集》，华东师范大学出版社，第1辑，1984年，第41页。

以证实自己的论点，并准备在下周的科学例会上提出正式报告。但是，碰巧的事情发生了。这几天天气不好，没有太阳光，无法进行实验。他只得把黑纸包好的铀盐和照相底片一起放到抽屉里，等待太阳光的到来。隔了几天，由于晴天而想继续实验。实验之前，贝克勒尔想对底片作预先的检查，于是冲洗了上面的第一张底片，结果发现底片上非常清晰地出现了铀盐色的影象轮廓。这一事例，使贝克勒尔陷入了深思。他马上想到，这一个使照相底片感光的过程是在黑暗的抽屉里进行的，与日晒、荧光根本无关。于是他推论，照相底片感光的真正原因，必定是铀盐自身发出的某种还不被人们知道的射线所引起的。第二天刚好召开科学院的科学例会，贝克勒尔在会上公布了这一重要的发现。这种射线当时被称为“贝克勒尔射线”，后来根据居里夫人的建议，凡是具有这种性质的物质统称为放射性物质，其射线也称为放射性辐射。不久，贝克勒尔发现，这种铀盐所发出的射线，不仅可以使照相底片感光，同时也可以使气体电离成导体。并发现，只要有铀元素的存在，就有这种贯穿辐射产生。过了两个月，贝克勒尔又发现，不发磷光的铀盐，也能发出不可见的射线。

贝克勒尔的发现，和伦琴的发现相比，情景大不相同，并没有引起多大的反响，也没有引起人们多大的激动。这一发现在报纸上也没有披露，因为人们还在继续谈论和研究X射线。当然，贝克勒尔继续在研究。直到两年后，由于居里夫妇的研究工作和成果，使放射性的研究工作发生了一次大的飞跃。由于贝克勒尔的贡献，他和居里夫妇同获1903年的诺贝尔物理学奖。

第五个实验是1897年J.J. 汤姆逊发现了电子。阴极射线发现以后，就其本质问题，即是以太振动还是粒子流，一直争论不休，直至1897年才告一段落。英国著名物理学家J.J. 汤姆逊(J.J. Thomson, 1856~1940)从1890年开始就研究气体放电问题，后来也转移到研究阴极射线的性质问题上来。经过研究，他认为把阴极射线看作是电磁波是没有道理的。但是为了证明阴极射线是

粒子流，并确定它的物理性质，J.J. 汤姆逊进行并完成了一系列阴极射线的实验。首先是测定阴极射线所带电荷的性质。实验结果表明阴极射线与负电荷在磁场和电场作用下遵循着同样的路径。由此证明阴极射线是由带负电荷的粒子组成的，从而结束了关于阴极射线性质的长期争论。其次是利用阴极射线在电场与磁场中的偏转来测定带电粒子的荷质比和速率。在实验结果的基础上，经过推测，估计到阴极射线的带电粒子的质量还不到氢离子质量的千分之一。1897年4月30日，J.J. 汤姆逊在英国皇家研究院报告了这些结果。由此断定，物质内部存在着比分子还要小得多的带电粒子，后来人们把阴极射线的带电粒子称为“电子”。之后，J.J. 汤姆逊为了证实电子的存在，曾化了不少精力，设计了许多巧妙的实验，取得了令人信服的成果。

电子发现和证实之后，便向建筑在经典物理学基础上的旧观念发起了冲击，表明比原子小的粒子是存在的，原子并不是最小的客体，指出了经典的物质结构理论的局限性。J.J. 汤姆逊是获得了1906年的诺贝尔物理学奖，是表彰他在气体导电方面的理论和实验研究成果，而只字未提电子的发现。这就表明科学界中传统的观念是较深的，不少人是不能接受新事物的。

第六个实验是1898年居里夫妇发现放射性元素。贝克勒尔发现了放射性辐射以后，这方面的研究工作进展不大，是由于科学界对它并不关注。正在徘徊不前的时候，法国科学家居里（P Curie, 1859~1906）和居里夫人（M.S. Curie, 1867~1934）却以极大的热忱，投入到放射性研究领域中去，作出了开创性的工作。贝克勒尔的工作，引起居里夫人的猜想，放射性辐射既然是铀原子本身的性质所决定的，是否在自然界还存在其他一些象铀那样具有放射性的化学元素呢？经过实验的测定，除了铀以外，的确还有钍也具有放射性。通过实验，居里夫人发现，铀（或钍）的化合物的放射性强度与化合物中的铀（或钍）的含量成正比。这样使居里夫人得出结论，放射性是原子的一种特性，放射性是从原子内部

产生的。

居里夫人进而检验各种矿物放射性的强度，意外地发现有几种矿物的放射性比铀元素应有的放射性来得强。由此推想，一定还有放射性很强的新的放射性元素存在。这一想法却遭到了一些科学家的反对和攻击，但是居里夫人并没有动摇，在丈夫皮埃尔·居里的支持下，以沥青铀矿为原料，提炼这种新元素。¹⁾经过艰苦的历程，废寝忘食，昼夜不停，终于在1898年7月18日向法国科学院报告了新元素的发现，它的放射性强度比铀要高出400倍。居里夫人对此元素取名为“钋”，以纪念自己的祖国——波兰。

后来又发现，钋元素的放射性并不很强，没有能达到他们寻求放射性很强的化学元素的目的。于是他们继续努力。居里夫妇用钡作载体进行浓缩，又得到了能产生放射性的极少量的钡化合物，但是钡和它的化合物寻常都是没有放射性的，而居里夫妇得到的少量氯化物，其放射性比铀大900倍。通过其他科学家的协助，对该物质的光谱进行分析，发现了一种新的射线，它不属于任何一种已知的元素。“这种射线在放射性比铀大60倍的氯化物中几乎难以看见，但是在经过分馏而使放射性大于铀900倍的氯化物中，却变得非常鲜明。这种射线的强度随着放射性的增加而增加。”¹⁾实验表明，这种元素的放射性比钋强，而化学性质与钡类似。该年的圣诞节后的一天，他们又向法国科学院宣布了第二个新元素——镭的发现。

在短短的几个月内，接连发现了钋和镭，这是一个了不起的功绩。但是由于钋和镭是不可直接捉摸的，所以不少化学家还是半信半疑，要求拿出纯镭的实物。这一要求，激励着居里夫妇继续努力，奋斗了三年半，从几吨矿物残渣中提炼出 1.2×10^{-4} 千克的纯氯化镭，并测得镭的原子量是225（现在公认是226），其放射性比铀强千万倍。又化了三年时间，金属纯镭也提炼成功。这样，使化

1) W.F. Magie, «A Source Book in Physics», McGraw-Hill Book Co. 1935, pp. 615—616.

学家们确信无疑了。

这一重要发现,同样证明化学元素是要蜕变的,而原子并不是不可分的,它会放射出更小的粒子而改变自己的性质,再次说明经典理论的局限性。由于这一发现,居里夫妇和贝克勒尔共获 1903 年的诺贝尔物理学奖。1911 年居里夫人再次获得诺贝尔化学奖。

第七个实验是黑体辐射实验。由于城市、企业中人工照明技术的发展,从 1895 年开始,德国物理学家普朗克(M. Planck, 1858~1947)就研究热辐射谱中的能量分布问题。热辐射就是物体因自身的温度,而以电磁波的形式向外辐射能量的一种现象。热辐射的辐射能量按波长的分布情况是随温度而变化的。温度较低时,主要是不可见光的红外辐射;在 500°C 以至更高温度时,则发出较强的可见光以至紫外辐射。为了搞清不同温度下物体热辐射的波长分布的情况,开始研究黑体辐射问题。黑体是一种能全部吸收外来辐射而毫无反射和透射的理想物体。真正的黑体并不存在,但是用一个开有小孔的密封腔体,可以近似地看成黑体。通过实验,普朗克发现了黑体辐射谱中的能量分布与经典理论(特别是热力学、电动力学、统计理论)形成尖锐的矛盾。普朗克重视这一矛盾,并进行了几年的研究,终于在 1900 年 12 月 14 日,向德国物理学会提交论文“谈谈正常光谱能量分布定律的理论”,首先抛弃了经典物理学特有的两条原则:从一个状态过渡到另一个状态必须是连续的原则,吸收和释放能量必须是连续的原则,提出了“量子”的概念,宣布了量子物理学的诞生。虽然普朗克自身思想并没有完全搞通,形成徘徊倒退,¹⁾但他还是提出了这一理论,解释了黑体辐射能量谱,向经典理论挑战,推动了物理学的发展。为此,普朗克获得了 1918 年的诺贝尔物理学奖。

除上述的以外,当然还有其他的实验发现,但是主要的是这 7

1) 张瑞琨,“量子论和普朗克的徘徊”,《自然科学史、自然辩证法文集》第 1 辑,华东师范大学出版社,1984 年,第 30 页。

个实验。这些实验结果经典的物理学理论根本无法加以解释。第三个实验对传统的观念(即“不可入性是物质的固有属性”)发起了冲击,说明“不可入性”并不是物质的“固有的”属性。第四、五、六个实验,表明化学元素会蜕变,会变成其他元素;比原子小的微粒——电子的发现,说明原子并不是不可再分的最小的实体,对原子是不可再分的观念也发起了冲击。第七个实验开创了量子物理学,同时应用量子论的观念也能解释第一个实验的结果。第二个实验,只有等待狭义相对论诞生以后,就能很好地解释这一实验结果。

由此可以解释,为什么开耳文在赞叹经典物理学的伟大成就时,同时也敏锐地看到“两朵乌云”,这两朵乌云就是指迈克耳逊—莫雷实验和黑体辐射实验。其实这并不是什么“乌云”,而是一个前奏。当物理学进入到二十世纪后,就诞生了量子论和相对论,开创了现代物理学。实际上应该还有一朵乌云,就是前面提到的第四、五、六三个实验。这朵乌云导致二十世纪现代物理学中的关于物质结构理论的发展。由此清楚地看出,世纪之交的物理学革命,确切地说,应该是物理学实验的革命,它导致了现代物理学的诞生,也导致了现代自然科学的诞生。这段历史深刻地说明了,终极真理的观念、无所作为的观念都是不对的,都是不符合千万年的自然史和几百年自然科学史的史实的。

§ 2 旧量子论的诞生和发展

量子理论起源于麦克斯·普朗克 1900 年对黑体辐射律的研究。为了研究黑体辐射律,需要有一个“非常清醒而又逻辑性强的头脑”,普朗克在这方面是完全够格的。普朗克出生在德国基尔,父亲是基尔大学的法学教授。普朗克禀承了他父亲做学问的资质,但是没有继承他父亲的事业。1879 年普朗克以一篇关于热力学第二定律的论文获得博士学位,此后他就一直把熵的问题摆在

自己研究的中心：“由于最大的熵表明最后达到了平衡，因此，一切物理平衡和化学平衡都可从所知道的熵推导出来。我在其后几年所进行的各项研究中，都详细地做了这项工作，起初是对聚集态的变化，继而对混合气体，最后对溶液。”¹⁾ 这几项研究没有给普朗克带来特别的成功。1894年以后，普朗克在辐射热领域里发现了新的场所。

辐射热的正式研究是从德国物理学家基尔霍夫 (G.R.Kirchhoff, 1824~1887) 开始的。1860年基尔霍夫引进了“辐射本领”、“吸收本领”、“黑体”等概念，并且用热力学第二定律证明了一切物体的辐射本领和吸收本领之比与同一温度下黑体的辐射本领相等，而黑体的辐射本领则是温度和频率的普适函数。当普朗克的注意力转到热辐射方面时，他立即被基尔霍夫函数的普遍适用性迷住了。赫兹实验以后，麦克斯韦的理论引起了德国人与日俱增的兴趣。作为一个理论物理学家，普朗克自然会想到把热力学和新的电动力学结合起来推导黑体辐射律。从1895年到1899年，普朗克先是设想了一个由赫兹振子组成其壁的空腔，²⁾ 通过假设振子发射与吸收的电磁辐射相等，而求得振子平均能 U 和空腔能量密度 ρ 的关系；³⁾ 然后普朗克定义了一个振子熵，由此导出了维恩公式。当时实验已经表明，维恩公式精确地符合于低温高频端的测量结果。但在1899年年底，帝国技术物理研究所的一些实验物理学家在测量空腔辐射时观测到了与维恩公式的偏差，这偏差越到温度高和频率低的地方就越显著。1900年10月，鲁本斯

1) 转引自阿尔明·赫尔曼《量子论初期史》，商务印书馆，1980年，第9页。

2) 实验室中所用的黑体大都是开有一个小孔的空腔。这个小孔的行为和一个黑体的行为一样，它吸收入射于其上的全部辐射。如果我们均匀地对腔壁加热以提高其温度，腔壁就向腔内发射热辐射，其中一小部分则从小孔射出。显然，从小孔射出的热辐射也就是充满空腔内的热辐射的一个样本，因而腔内的热辐射和黑体辐射具有相同的特征。

3) $U\nu = \frac{C^3}{8\pi\nu^2} \rho\nu$ 。

(H. Rubens, 1865~1922)告诉普朗克, 根据他们的观测, 辐射强度在高温下与温度成正比。既然 $\rho_\nu \propto T$, 而且 $\rho_\nu \propto U\nu$, 于是普朗克写下了按能量均分定理本来立即可以写下的 $U\nu = \text{const} \cdot T^D$, 再根据热力学的关系 $\frac{ds}{dU} = \frac{1}{T}$, 容易写出适合于高温低频场合

的谐振子的熵对其平均能的二阶导数 $\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{\text{const}}{U^2}$ 。另一方面, 从普朗克早先定义的那个振子熵也可以求得低温高频场合下的 $\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{\text{const}}{U}$ 。普朗克认为, 这两个式子各自代表了一条真实

物理定律的两个极限情形, 因此他在两者之间进行合理内插,¹⁾即

令, $\frac{d^2S}{dU^2} = \frac{\alpha}{U(\beta + U)}$, 由此得到了一个新的辐射公式²⁾。这个公式

被公布于柏林物理学会 1900 年 10 月 19 日的一次会议上, 当晚就得到鲁本斯的证实, 肯定它在整个能谱范围内都同观测相一致。

普朗克清醒地意识到, 新的辐射公式还只是“一个侥幸揣测出来的内插公式”, 接下去他准备“以任何代价”为它找出一个恰当的解释。普朗克后来承认, 直到那时为止, 他一直不关心熵和几率之间的关系, 因为每一条几率定律都有例外的情形, 而他那时认为热力学第二定律是毫无例外地有效的。但是, 在整个物理学发展中起着作用的、迫使人们承认现实的力量, 使普朗克“只好试试玻耳兹曼的方法”, 于是他把玻耳兹曼常数 k 引进首先为玻耳兹曼所指出的熵 S 和热力学几率 W 的对数关系, 写下了 $S = k \ln W$ 。接受热力学的统计观念, 被普朗克称为“孤注一掷的行动”, 一旦迈出这决定性的一步, 接下去的推导对他那个“逻辑性强的头脑”就不那么困难了。仿效玻耳兹曼, 普朗克首先确定将总能量 $U_N = NU$ 统一分配给 N 个振子的可能方式的总数 W 。显然, U_N 不能是无

1) 如果普朗克知道能量均分定理, 他首先得到的将是瑞利-爱因斯坦-金斯公式。

2) 张瑞琨, 吴以义 *Pr 华东师范大学学报(自然科学版)*, 1981年, 第三期。

$$3) \rho_\nu = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(C_2/\lambda T) - 1}.$$

限可分的,不然就会有无限多种分配方式,所以普朗克把 U_N 看作一个由 P 个相同的能量元 ε 组成的分立量,即 $U_N = P\varepsilon$ 。按照组合分析法则, P 个能量元在 N 个振子间分配的可能方式的总数 $W = \frac{(N+P-1)!}{(N-1)!P!}$ 。这样,利用斯特令近似求得系统总熵,进而就可以求得单个振子的熵 $S = k \left[\left(\frac{U}{\varepsilon} + 1 \right) \ln \left(\frac{U}{\varepsilon} + 1 \right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right]$ 。

另一方面,普朗克从维恩位移定律推知 $S = f\left(\frac{U}{\nu}\right)$, 即谐振子的熵仅为 $\frac{U}{\nu}$ 的函数。两者相比较,可知能量元 ε 的大小与频率 ν 成正比,即 $\varepsilon = h\nu$ (h 表示与振子特性无关的常数)。将它代入振子熵表达式,直接可以求得 $U\nu = h\nu \left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]^{-1}$ 。再将此式同 $U\nu = \frac{C^3}{8\pi\nu^2} \rho\nu$ 结合起来,普朗克就得到了能量按频率分布的黑体辐射公式;它很容易变换成先前那个按波长分布的形式。1900年12月14日,普朗克在柏林物理学会上报告了他的推导。普朗克强调指出,振子能量“ E 如果被看作无限可分的量,这分配就可以取无限多种方式。但我们认为——这也是整个计算中最重要的一点—— E 由一些为数完全确定的有限、相等的部分所组成,为此我们利用了自然常数 $h = 6.55 \times 10^{-27}$ 尔格·秒。”¹⁾ 这样,普朗克发现了一个对物理科学的意义只有光速常数 C 可以与之比拟的新的自然常数。²⁾ 整个量子理论的基础已经奠定。这一天,将近二十年后被德国物理学家索末菲(A. Sommerfeld, 1868~1951) 称作为“量子论的生日”,记载在他那本“为整整一代物理学家所学过”的教科书中³⁾。

然而,普朗克的推导远非无懈可击。今天我们看得很清楚,在

1) M. Planck, Verh. d. Deutsch. phys. Ges. (2)2(1900)p.239.

2) h 的最新值为 $6.626176(36) \times 10^{-27}$ erg.sec(5.4ppm).

3) A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Braunschweig: Fr. Vieweg & Sohn (1919), p.213.