

[物理故事]

第一朵乌云——黑体辐射疑难

文_赵 峥

赵峥，1967年毕业于中国科技大学物理系，1981年于北京师范大学天文系获硕士学位，1987年于布鲁塞尔自由大学获博士学位。曾任北京师范大学研究生院副院长、物理系主任、中国引力与相对论天体物理学会理事长、中国物理学会理事。现为北京师范大学物理系教授，理论物理博士生导师、教育学博士生导师。

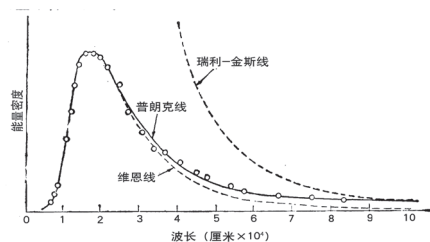


图1 黑体辐射曲线

1900年4月27日，德高望重的物理学家开尔文勋爵在英国皇家学会迎接新世纪的年会上致辞。他充满自信地讲道：“物理学的大厦已经建成，未来的物理学家只需要做些修修补补的工作就行了。只是明朗的天空中还有两朵乌云，一朵与黑体辐射有关，另一朵与迈克耳孙实验有关。”这两朵乌云，都与光的本性有关。

第一朵乌云，与光究竟是粒子还是波的问题有关，当时波动光学和电磁理论都表明光是波动，但是黑体辐射的问题却使人对光的波动说产生了怀疑。解释这一实验产生的困难，最终导致了光量子理论的诞生，使人们惊讶地看到光不是简单的、单纯的波动，光还具有粒子性。光既是波，同时又是粒子，这是怎么回事呢？

1870年，普法战争结束，法国战败割地赔款，德国在得到阿尔萨斯和洛林两个省和一大笔战争赔款后，开始实施其工业化的目标。德国的工程技术人员和科学家很快认识到提高钢铁质量的关键之一是控制炉温。为此他们发明了通过钢水的热辐射来确定炉温的方法。在高炉或平炉上开一个小孔，他们发现从小孔射出的热辐射的能量分布会呈现为一条曲线，他们称其为黑体辐射曲线。当时已经知道热辐射是光波的一种，本质上是电磁波。也就是说，黑体辐射的成分就是电磁波。

图1中这条黑体辐射曲线，横坐标表示辐射波长，左边波长短，呈现为蓝白色光，右边波长长，呈现为红色光。纵坐标表示辐射能的密度。科学家们发现这条曲线的高矮胖瘦的形状与温度有关，从对这些辐射曲线的描绘和测量，可以探知辐射的温度，它也就是钢水或铁水的温度。

而令科学家困惑不解的是，黑体辐射的能量分布为什么会呈现出这种形状的曲线。于是他们试图构造物理模型来加以说明。当时原子论已经被多数科学家接受，一般人认为物质的最小结构单元就是原子。物质发射和吸收辐射就是由一个个原子进行的。原子就像弹簧支配的谐振子，在不断地振动，吸收辐射，振动就加剧；

放出辐射，振动就减弱。维恩按照这样的思路，构造了一个物质发射和吸收辐射的模型，并通过计算描出了一根热辐射曲线，即图中的维恩线。这根线在短波波段与实验数据（图中圆点所示）符合得很好，但在长波波段却偏离实验结果。

英国当时正在继续他们的工业革命，也在努力提高炼钢技术，他们也在研究炉温的测量与控制。面对同样的黑体辐射曲线，英国物理学家瑞利和金斯也设想了一个物理模型，与维恩的模型不同，从他们的模型绘出的曲线，即图中的瑞利—金斯曲线，在长波波段与实验数据符合得很好，但在短波波段则大大偏离实验值，呈现为出现无穷大的发散曲线，学术界称其为“紫外光灾难”。这是因为紫外线比可见光波长短，紫外线是当时知道的波长最短的电磁波。

维恩线与瑞利—金斯线均与实验不符，这就是开尔文所说的第一朵乌云——来自黑体辐射的困难。

1900年的下半年，德国物理学家普朗克在反复考虑黑体辐射导致的困难时偶然发现，如果认为原子在发射和吸收辐射时，不是连续的，而是一份一份的，每份电磁辐射的能量和频率之间有正比关系，那么得到的黑体辐射谱的理论曲线将如图1的实线所示，恰好与实验点（图中圆点）相符合。电磁理论和波动光学都告诉我们，辐射能应该是连续的，怎么可能不连续呢？普朗克百思不得其解。

于是，普朗克在校内报告了他的这一发现。不过，普朗克很担心这一工作是否有问题，所以在报告时极其谨慎，以至于有些听众认为这次白来了一趟，普朗克教授什么也没有讲出来。

然而，在私下与儿子散步时，普朗克告诉儿子：“我最近有一个发现，这个发现如果是正确的，将可以与牛顿的成就相比美！”可见，普朗克还是很清楚这一发现的重要性的，只不过他当时无法肯定此发现是否确实无误，因为在他和当时的所有物理学家看来，电磁辐

射能都应该是连续的，不可能是一份一份的。电磁能不连续的想法，无法从麦克斯韦的电磁理论和波动光学理论得到支持。

不过，普朗克提出的量子论是不彻底的。他认为原子在吸收和发射电磁辐射时，辐射能是不连续的，但在辐射脱离原子的时候，会和其他辐射融合在一起，仍然是连续的。由于普朗克一会儿说辐射是不连续的，一会儿又说辐射是连续的，一些人听不明白，有一个记者就问他：“你一会儿说辐射是连续的，一会儿又说是不连续的，那么到底辐射是连续的还是不连续的呢？”普朗克回答说：“有一个湖，湖旁边有一缸水，有人用小碗把缸里的水一碗碗舀出来倒到湖里，你说水是连续的呢，还是不连续的呢？”这个回答，非常清楚地表达了普朗克对电磁辐射究竟连续还是不连续的理解。不难看出，普朗克认为辐射本质上还是连续的，仅当原子辐射或吸收时，才表现出不连续性。

1905年，《德国物理年鉴》收到一篇稿件，作者是个名不见经传的人，叫爱因斯坦。这篇文章是解释刚发现不久的光电效应的。作者在文章中指出，辐射不仅在原子发射和吸收它的时候是一份一份的，辐射在脱离原子在真空中运动时依然保持不连续性，依然是一份一份的。也就是说，爱因斯坦认为电磁辐射本质上就是不连续的，是一粒一粒的光量子。爱因斯坦把普朗克的量子说，发展成为光量子说。

普朗克不同意爱因斯坦的看法，不承认脱离原子而存在的光量子。但是爱因斯坦的这一理论可以解释光电效应。普朗克虽然觉得爱因斯坦的理论十分可疑，但觉得它能解释实验，所以还是同意杂志发表这篇文章。他同时又给爱因斯坦写了一封信，提出对他的理论的怀疑。普朗克表现出大家风范，不给小人物设置障碍，还十分客气地向他讨教，后来还派他的助手劳埃去拜会这位初出茅庐的年轻人，与他平等探讨。

普朗克在相当长的一段时间内对爱因斯坦的光量子理论持怀疑和反对的态度。普朗克在给维恩的一封信中谈到光量子理论时说：“当然，爱因斯坦的这一观点肯定是错误的。”然而，普朗克没有因为自己有不同意见而阻止爱因斯坦的理论的发表，后来还连续支持了爱因斯坦的所有论文的发表，使1905年成了爱因斯坦的丰收年，使爱因斯坦一下成为了世界著名的物理学家。

一直到1913年，普朗克和能斯特一起推荐爱因斯坦担任普鲁士科学院院士的时候，他们在高度评价和赞扬爱因斯坦在众多领域的重大成就的同时，依然表达了对光量子学说的保留。他们在推荐信中说：“总之，我们可以说，在具有丰富内容的现代物理学的所有重大问题上，几乎没有哪个问题没有爱因斯坦的巨大贡献。可能有时他的设想也会迷失方向，例如，他的光量子假说。但不能以此来否定他，因为即使在最精确的科学中，也不可能不冒一点风险而能提出新的观点。”

具有讽刺意味的是，1922年，在诺贝尔奖评委会决定授予爱因斯坦1921年的诺贝尔物理学奖时，授奖原因不是他的相对论，也不是他的其他成果，恰恰就是他的光量子理论。瑞典皇家科学院宣布的授奖原因是爱因斯坦“对理论物理，特别是对光电效应定律的发现”所作的贡献，也就是他的光量子理论。在通知他获奖的信中还明确告知，“但是没有考虑您的相对论（指狭义相对论）和引力理论（即广义相对论）一旦得到证实所应获得的评价。”这一方面是因为，评委会没有对相对论的正确性和重要性达成一致看法，另一方面也许是有些评委还想为他的相对论和引力理论再颁一次奖。但后来大概评委会改变了主意，不想给一个人颁两次奖了，所以爱因斯坦没有再次获奖。他对科学和人类的最大贡献——狭义和广义相对论，没有获得诺贝尔奖，这不能不说是诺贝尔奖的一大遗憾。■