# 第十三章 5 能量量子化

## 问题

把铁块投进火炉中，刚开始铁块只是发热，并不发光。随着温度的升高，铁块会慢慢变红，开始发光。铁块依次呈现暗红、赤红、橘红等颜色，直至成为黄白色。为什么会有这样的变化呢？



## 热辐射

我们周围的一切物体都在辐射电磁波，这种辐射与物体的温度有关，所以叫作热辐射。物体在室温时，热辐射的主要成分是波长较长的电磁波，不能引起人的视觉。当温度升高时，热辐射中波长较短的成分越来越强。例如，随着温度的升高，铁块从发热，再到发光，铁块的颜色也不断发生变化（图13.5-1）。

图13.5-1 铁块从发热到发光的颜色变化

大量实验结果表明，辐射强度按波长的分布情况随物体的温度而有所不同。

除了热辐射外，物体表面还会吸收和反射外界射来的电磁波。常温下我们看到的不发光物体的颜色就是反射光所致。如果某种物体能够完全吸收入射的各种波长的电磁波而不发生反射，这种物体就叫作黑体。黑体虽然不反射电磁波，但是却可以向外辐射电磁波。因为黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与它的温度有关，所以，在研究热辐射的规律时，人们特别注意对黑体辐射的研究。

物体中存在着不停运动的带电微粒，带电微粒的振动会产生变化的电磁场，从而产生电磁辐射。于是，人们很自然地要依据热学和电磁学的知识寻求黑体辐射的理论解释。但是，用经典的电磁理论解释黑体辐射的实验规律时遇到了严重的困难。

## 能量子

为了得出同实验相符的黑体辐射公式，德国物理学家普朗克进行了多种尝试，进行了激烈的思想斗争。最后他不得不承认：微观世界的某些规律在我们宏观世界看来可能非常奇怪。

1900年底，普朗克作出了这样的大胆假设：振动着的带电微粒的能量只能是某一最小能量值*ε*的整数倍。例如，可能是*ε*或2*ε*、3*ε*……这个不可再分的最小能量值*ε*叫作**能量子**（energy quantum），它的大小为

*ε*＝*hν*

*ν*是电磁波的频率，*h*是一个常量，后人称之为**普朗克常量**（Planck constant），其值为

*h*＝6.626 070 15×10-34 J·s

借助于能量子的假说，普朗克得出了黑体辐射的强度按波长分布的公式，与实验符合得非常好。

普朗克的能量子假设是对经典物理学思想与观念的一次突破，连普朗克本人都很犹豫，当时的多数物理学家自然更难接受。

能量子的观点与宏观世界中我们对能量的认识有很大不同。例如，一个宏观的单摆，小球在摆动的过程中，受到摩擦阻力的作用，能量不断减小，能量的变化是连续的。而普朗克的假设则认为微观粒子的能量是量子化的，或者说微观粒子的能量是不连续（分立）的。

年轻的爱因斯坦认识到了普朗克能量子假设的意义，他把能量子假设进行了推广，认为电磁场本身就是不连续的。也就是说，光本身就是由一个个不可分割的能量子组成的，频率为*ν*的光的能量子为*hν*，*h*为普朗克常量。这些能量子后来被叫作**光子**（photon）。

## 能级

微观世界中能量取分立值的观念也适用于原子系统，原子的能量是量子化的。这些量子化的能量值叫作**能级**（energy level）。通常情况下，原子处于能量最低的状态，这是最稳定的。气体放电管中的原子受到高速运动的电子的撞击，有可能跃迁到较高的能量状态。这些状态的原子是不稳定的，会自发地向能量较低的能级跃迁，放出光子。

原子从高能态向低能态跃迁时放出的光子的能量，等于前后两个能级之差。由于原子的能级是分立的，所以放出的光子的能量也是分立的，因此原子的发射光谱只有一些分立的亮线（图13.5-2）。

图13.5-2 氦原子光谱

19世纪末和20世纪初，物理学研究深入到微观世界，发现了电子、质子、中子等微观粒子，而且发现它们的运动规律在很多情况下不能用经典力学来说明。20世纪20年代，量子力学建立了，它能够很好地描述微观粒子运动的规律，并在现代科学技术中发挥了重要作用。核能的利用，计算机和智能手机的制造，激光技术等的应用都离不开量子力学。是量子力学引领我们迈入了现代社会，让我们享受到丰富多彩的现代生活。

## 科学漫步

**“聆听”宇宙**

宇宙浩瀚无垠，神秘莫测。古人通过肉眼观察星空，绘制星图。望远镜的发明拓展了人类的视野，使人们对天体的了解更加清楚。

通过可见光波段观测宇宙是有局限的。实际上，天体的辐射覆盖了整个电磁波段。例如，宇宙微波背景辐射是一种充满整个宇宙的热辐射，特征和温度与2.725 K的黑体辐射相同，频率属于微波范围；宇宙中到处存在的中性氢可以产生波长为21 cm的谱线，这一谱线书写了宇宙的故事；脉冲星（一种高速旋转的中子星）会发出周期性的电磁脉冲信号。

射电望远镜是在无线电波段观测天体的。由于无线电波可穿透宇宙中大量存在而光波又无法通过的星际尘埃，因而射电望远镜可以观测更遥远的未知宇宙。实际上，宇宙微波背景辐射、星际有机分子、脉冲星等重要天文发现都与射电望远镜有关。

射电望远镜与光学望远镜不同，它既没有望远镜镜筒，也没有物镜、目镜，它由天线和接收系统两大部分组成。望远镜的直径越大，会聚的无线电波越多。来自太空天体的无线电信号极其微弱，阅读宇宙边缘的信息需要大口径射电望远镜。

本章的章首图是我国于2016年9月25日在贵州落成启用的世界最大的500 m口径球面射电望远镜（简称FAST），被誉为“中国天眼”，其接收面积达到 30 个标准足球场。与号称“地面最大的机器”的德国波恩100 m望远镜相比，FAST灵敏度提高约10倍；与被评为人类20世纪十大工程之首的美国Arecibo 300 m望远镜相比，其综合性能提高约10倍。FAST像一只庞大而灵敏的耳朵，捕捉来自遥远星尘最细微的“声音”，洞察隐藏在宇宙深处的秘密。

FAST作为一个多学科基础研究平台，有能力将中性氢观测延伸至宇宙边缘，通过观测中性氢的分布来研究宇宙膨胀速度，并推算暗能量的性质。FAST能观测和发现更多的脉冲星，可以利用脉冲星探测引力波、为太空飞船导航；FAST能使深空通信数据下行速率提高数十倍，同时填补美国、西班牙和澳大利亚三个深层空间跟踪站在经度分布上的空白；FAST还能搜寻、识别星际通信信号，开展对地外文明的搜索。

FAST工程是我国科学工作者奋发图强、立志创新的具体实践，其中被人们誉为“天眼之父”的南仁东则是这个群体的杰出代表。他的诗句“感官安宁，万籁无声。美丽的宇宙太空以它的神秘和绚丽，召唤我们踏过平庸，进入它无垠的广袤”体现了一位科学家的追求与胸怀。

南仁东（1945—2017）

## 练习与应用

1．对应于7.4×10-19 J的能量子，其电磁辐射的频率和波长各是多少？

2．氦氖激光器发射波长为632.8 nm的单色光，这种光的一个光子的能量为多少？若该激光器的发光功率为18 mW，则每秒发射多少个光子？

3．晴朗的夜空繁星闪烁（图13.5-3），有的恒星颜色偏红，有的恒星颜色偏蓝。对于“红星”和“蓝星”，你能判断出哪种恒星的表面温度更高么？说出你的道理。

图13.5-3