

电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

经典绝境逢新生
近代物理的故事

微型“太阳系”

在汤姆逊发现电子的前一年，物理学上还有一个重大的发现，那就是法国物理学家贝克勒尔和比埃尔·居里、居里夫人发现了元素的天然放射性现象。

首先是伦琴发现了X射线，证明阴极射线照射玻璃管壁的时候，不仅产生了绿色的荧光，而且会产生一种穿透力很强的X射线，X射线使很多科学家发生兴趣，除汤姆逊之外，贝克勒尔也是其中之一。他很想知道，X射线同荧光究竟有什么关系。比如，荧光物质在受到太阳光照射发出荧光的同时，是否也会放出X射线呢？

贝克勒尔弄来了很多荧光物质，他选择了含铀矿石。试验方法也很简单：含铀矿石下面放一张用黑纸严密包着的照相底片，含铀矿石经太阳光照射后发出荧光，如果底片“安然无恙”，那就表明没有X射线放出；如果底片感光了，那就说明经太阳光照射的含铀矿石也能发出X射线。

1896年春天贝克勒尔开始试验。事情不巧，那几天天气不好，总是阴雨，不见阳光，他只好把准备好的含铀矿石和黑纸包着的底片一起放到抽屉里。

几天之后，雨过天晴，贝克勒尔在正式进行试验之前，决定先把几张底片拿出冲洗，看看是否漏光失效。冲洗的结果使他大吃一惊，底片居然感光了，而且感光部分的形状正好同含铀矿石的形状完全一致。黑纸没有漏光，含铀矿石也没有受到阳光照射，那么，是谁使底片感光的呢？

经过多次反复实验，证明使底片感光的是含铀矿石中的铀元素放出来的一种看不见的射线，这种射线的穿透力比X射线还强，而且不管外界条件如何改变，它总是不断地放出这种射线。

就这样，贝克勒尔虽然没有完成他预想的试验，但却意外地取得了一项有助于其他科学家更接近于了解原子究竟是什么的发现。人们把物质的这种自发地放出射线的现象叫做放射性现象，而铀就是人类找到的第一种放射性物质。

这项发现引起了另外两位法国青年物理学家比埃尔·居里和居里夫人的注意。他们深入地研究了铀的放射性现象，发现含钍的化合物也有放射性。

在提炼纯铀的过程中，他们又发现作为原料的沥青铀矿的放射性比铀和钍强得多。这说明，铀矿石中除了含有放射性铀之外，一定还含有其他放射性比铀、钍更强的元素。

经过两年的努力，一种放射性比铀强400倍的新元素找到了，取名叫做钋。以后又经过4年的艰辛劳动，从30多吨铀矿石中，提炼到了0.1克另一种新元素——镭的化合物，镭的放射性比铀强几百万倍！放射性的发现告诉我们原子是可以分割的，且有自己的内部结构。

从放射性元素放射出来的射线究竟是什么呢？它们看不见、摸不着，不断地放射，似乎永不停息。

出生在新西兰的英国物理学家卢瑟福解开了这个谜。他让放射性元素发出的射线通过很强的磁场，结果分成了三部分，原来它是由三种射线组成的。

第一种射线根本不受磁场的影响，笔直向前，说明它不是带电的粒子，而是一种像光一样的能量波，卢瑟福把它叫做α射线，α射线的穿透力很强。

第二种射线会在磁场中偏转，偏转得比较厉害，偏转的方向与阴极射线相同，说明它是由带负电的粒子组成的。进一步的研究证明，这种射线就是

同阴极射线一样的速度很高的电子流，卢瑟福把它叫做 α 射线。 α 射线的穿透能力比较强，能穿透大约半毫米厚的铝片。

第三种射线也会在磁场的影响下偏转，但偏转的程度不如 α 射线大，偏转的方向与 α 射线正好相反，这说明它是一种带正电的粒子流，卢瑟福称它为 β 射线。 β 射线的穿透能力最小。一张纸片就可以把它挡住，1/50 毫米的铝片它也穿不过去。

卢瑟福对 β 射线特别感兴趣。通过深入研究，他发现 β 射线是带有两个正电荷的粒子流，粒子的质量几乎等于氦原子的质量，很可能就是氦原子的正离子，即失去了两个电子的氦原子。

原子不像人们原先所想象的那么简单，它不仅是可以分割的，而且内部结构一定挺复杂。

卢瑟福的老师汤姆逊第一个发现了电子。原子中含有电子，那么原子的其他部分又是什么呢？

汤姆逊根据自己的实践经验，又借鉴了别人的研究成果，认定一个原子不可能仅仅由电子组成，因为不然的话，这些电子会“同性相斥”而全部散射开来，宇宙间也就除了看不见的电子之外什么也不存在了。

我们平时看到的物质原子全都是中性的，不带电。那么，原子的其他部分必然带有正电，以便与电子所带的负电相平衡。原子中每个电子所带的每个负电荷，必然在原子的其他部分中存在着一个与之相对应的正电荷。

那么这些正电荷又在原子的哪个部分呢？它们在原子中是怎样分布的呢？

1904 年，汤姆逊根据元素化学性质的周期性，反复推敲出了一个“葡萄干蛋糕式”的原子模型。他认为，原子中带正电的部分是均匀地分布在整个原子球体之中的，而带负电的电子则在这个球体之中运动，就像一块蛋糕里夹着一些葡萄干一样。这个设想非常简单，但是设想是不是事实，还需要通过实践来检验。这项使命后来落到了汤姆逊的学生卢瑟福身上。

原子本身已微不可见，它的内部结构当然更加难以把握。卢瑟福和他的助手首先发明了一种“计数管”，可以数出通过 α 粒子的数目； α 粒子打到硫化锌荧光屏上，还会闪现一下亮光。

根据汤姆逊的原子模型， α 粒子通过“葡萄干蛋糕式”的原子时只能产生很小的偏转，因为在 α 粒子进入原子之前，中性的原子不会对它起作用；进入原子后，电子的质量只有 α 粒子的 1/7000， α 粒子同电子相撞，犹如一个大铁球同一个小玻璃球相撞一样，影响甚微。至于正电荷，由于它们均匀分布在原子中，力量分散，对 α 粒子的偏转也不会产生多大的影响。

卢瑟福开始是相信汤姆逊模型的，他想用实验来加以证实。实验装置很简单：用 α 粒子作“炮弹”，一片极薄的金属箔片作靶子，靶子后面是用来记录打靶结果的荧光屏。如果原子的内部结构真像汤姆逊所说的那样，那么， α 粒子就能几乎不受任何阻碍，轻而易举地穿透金属箔片打到荧光屏上。

但是实验结果使卢瑟福大吃一惊：极少数的 α 粒子撞击金属箔片后的运动方向竟然发生了很大的偏转，有的甚至干脆被弹射回来。

经过多次观察，卢瑟福得出结论：平均每发射 8000 个 α 粒子，就有一个发生大角度的偏转或弹回。他把这种现象叫做 α 粒子的散射现象。

事实终于迫使卢瑟福来反对自己的老师了。事实证明，个别 α 粒子的大角度偏转或弹回，用汤姆逊模型是无论如何也解释不了的；原子不仅不是非

常密实的球体，而且它内部的绝大部分空间是空着的。可以估算出来，原子中带正电的物质只有集中在一个极小极小的核心里， α 粒子只有同这个距离它 $1/10000$ 亿厘米、质量比它大许多倍的正电荷核心相遇时，才会发生那么强大的斥力，把 α 粒子弹向一边。

于是，卢瑟福提出了一个原子结构的模型。这个模型就像一个微型的“太阳系”：“太阳”位于原子的中心，被叫做原子核；电子则像“行星”一样，绕着原子核急速旋转。不同的是在这个微型的“太阳系”里，“太阳”和“行星”都是带电的，“行星”都是一样大小，支配着“微型太阳系”一切的是强大的电磁力而不是万有引力。

卢瑟福的原子有核结构模型得到了一系列实验的证实，终于成为原子结构的基本观点。

电子的发现

电子是人们最早发现的带有单位负电荷的一种基本粒子。英国物理学家汤姆逊是第一个用实验证明电子存在的人，时间是 1897 年。

汤姆逊是一位很有成就的物理学家，他 28 岁就成了英国皇家学会会员，并且担任了有名的卡文迪许实验室主任。

X 射线的发现，特别是它可以穿透生物组织而显示其骨骼影像的能力，给予英国卡文迪许实验室的研究人员以极大激励。汤姆逊倾向于克鲁克斯的观点，认为它是一种带电的原子。

导致 X 射线产生的阴极射线究竟是什么？德国和英国物理学家之间出现了激烈的争论。德国物理学家赫兹于 1892 年宣称阴极射线不可能是粒子，而只能是一种以太波。所有德国物理学家也附和这个观点，但以克鲁克斯为代表的英国物理学家却坚持认为阴极射线是一种带电的粒子流，思路极为敏捷的汤姆逊立即投身到这场事关阴极射线性质的争论之中。

1895 年，法国年轻的物理学家佩兰在他的博士论文中，谈到了测定阴极射线电量的实验。他使阴极射线经过一个小孔进入阴极内的空间，并打到收集电荷的法拉第筒上，静电计显示出带负电；当将阴极射线管放到磁极之间时，阴极射线则发生偏转而不能进入小孔，集电器上的电性立即消失，从而证明电荷正是由阴极射线携带的。佩兰通过他的实验结果明确表示支持阴极射线是带负电的粒子流这一观点，但当时他认为这种粒子是气体离子。对此，坚持阴极射线是以太波的德国物理学家立即反驳，认为即使从阴极射线发出了带负电的粒子，但它同阴极射线路径一致的证据并不充分，所以静电计所显示的电荷不一定是阴极射线传入的。

对于佩兰的实验，汤姆逊也认为给以太说留下了空子，为此，他专门设计了一个巧妙的实验装置，重做佩兰实验。他将两个有隙缝的同轴圆筒置于一个与放电管连接的玻璃泡中；从阴极 A 出来的阴极射线通过管颈金属塞的隙缝进入该泡；金属塞与阴极 B 连接。这样，阴极射线除非被磁体偏转，不会落到圆筒上。外圆筒接地，内圆筒连接验电器。当阴极射线不落在隙缝时，送至验电器的电荷就是很小的；当阴极射线被磁场偏转落在隙缝时，则有大量的电荷送至验电器。电荷的数量令人惊奇：有时在一秒钟内通过隙缝的负电荷，足能将 1.5 微法电容的电势改变 20 伏特。如果阴极射线被磁场偏转很多，以至超出圆筒的隙缝，则进入圆筒的电荷又将它的数值降到仅有射中目

标时的很小一部分。所以，这个实验表明，不管怎样用磁场去扭曲和偏转阴极射线，带负电的粒子又是与阴极射线有着密不可分的联系的。这个实验证明了阴极射线和带负电的粒子在磁场作用下遵循同样路径，由此证实了阴极射线是由带负电荷的粒子组成的，从而结束了这场争论，也为电子的发现奠定了基础。

如何成功地使阴极射线在电场作用下发生偏转？早在 1893 年 赫兹曾做过这种尝试，但失败了。汤姆逊认为，赫兹的失败，主要在于真空度不够高，引起残余气体的电离，静电场建立不起来所致。于是汤姆逊采用阴极射线管装置，通过提高放电管的真空度而取得了成功。通过这个实验和提高放电管真空度，汤姆逊不仅使阴极射线在磁场中发生了偏转，而且还使它在电场中发生了偏转，由此进一步证实了阴极射线是带负电的粒子流的结论。

这种带负电的粒子究竟是原子、分子，还是更小的物质微粒呢？这个问题引起了汤姆逊的深思。为了弄清这一点，他运用实验去测出阴极射线粒子的电荷与质量的比值，也就是荷质比，从而找到了问题的答案。

汤姆逊发现，无论改变放电管中气体的成分，还是改变阴极材料，阴极射线粒子的荷质比都不变。这表明来自各种不同物质的阴极射线粒子都是一样的，因此这种粒子必定是“建造一切化学元素的物质”，汤姆逊当时把它叫做“微粒”，后来改称“电子”。

至此可以说汤姆逊已发现了一种比原子小的粒子，但是这种粒子的荷质比 10^7 约是氢离子荷质比 10^4 的 1000 倍。这里有两种可能，可能电荷 e 很大，也可能质量 m 很小。要想确证这个结论，必须寻找更直接的证据。

1898 年，汤姆逊安排他的研究生汤森德和威尔逊进行测量 e 值的实验，随即他自己也亲自参与了这项工作。他们运用云雾法测定阴极射线粒子的电荷同电解中氢离子所带的电荷是同一数量级，从而直接证明了阴极射线粒子的质量只是氢离子的 1%。

质子的发现

19 世纪末、20 世纪初，贝克勒尔和居里夫妇发现了放射性现象。卢瑟福仔细研究了射线，证明那是由 α 、 β 、 γ 三种射线组成的。射线是如同阴极射线的高速电子流， β 射线是类似 X 射线的电磁辐射，那么 α 射线呢？

通过艰难的探索，卢瑟福证明 α 射线是由带正电的粒子组成的，每个粒子上的电荷是一个电子的两倍，质量是电子的 7300 倍。接着他又设法让粒子吸收电子，抵消正电荷，结果是——他得到了氦。

从放射性元素里居然产生了氦元素，这就证明了他和索迪早在 1902 年就提出的理论：放射性是某些元素的原子自然裂变的表现，裂变的结果是使这种元素变成了另一种元素。

1911 年，卢瑟福通过用 α 粒子轰击金箔的实验，证明原子中有带正电的原子核存在， α 粒子其实就是氦原子的原子核。原子核实在太小了，直径只有 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ 厘米，不及原子直径的 0.1%。

后来，卢瑟福又用 α 粒子去轰击氮原子核，结果得到了氧核和氢核。

人们知道最轻的元素是氢元素，最简单的原子是氢原子。氢原子只有一个电子，绕着只带一个正电荷的原子核旋转。有那么多的原子核，它们带的正电荷都是氢原子核电荷的整数倍，质量也差不多是氢原子核质量的整数

倍。这样看来，各种各样的原子核不都可以看成是由氢原子核组成的吗？

于是，带一个正电荷的氢原子核就被叫做质子，正因为质子很重要，是构成一切原子核的基本材料，所以科学家们用质子——希腊文中“第一”的意思来命名。

质子带正电的电量与电子所带负电的电量相等，都是一个电荷单位，但它的质量比电子大得多，是电子的 1836 倍。

卢瑟福 1919 年的实验，可以说是人类第一次用人工的方法从原子核中击出了质子。

中子的发现

1932 年，英国物理学家查德威克宣布发现了一个全新的粒子——中子，这个发现标志着探索原子核的实验工作和核结构的理论研究进入一个新的阶段。

在查德威克发现中子之前，虽然已有迹象表明，存在着一种电子性的粒子，可是当时谁都没有能抛弃常规的旧观念而向前迈进一步。如卢瑟福在用粒子轰击氮的研究过程中，就认为存在着一种电中性粒子，这种粒子不能被束缚在任何容器之中，他想象这种粒子大概是由当时已知的质子和电子结合而成，因为质子带正电荷，电子带负电荷，两者结合就变为电中性。

此后，玻特和贝克发现用粒子轰击铍原子时会产生一种穿透力极强的射线。约里奥·居里夫妇对这种射线进行研究，他们用石蜡把铍板和测量仪器隔开，结果发现当有石蜡插在中间时仪器记录到的效应比中间没有石蜡时要显著得多，也就是观察到石蜡中放射出一种强质子流的放射现象难以解释。

这时查德威克也一直在进行铍辐射的研究，他敏锐地觉察到铍辐射决不是辐射，很可能就是卢瑟福早先预言的，也是他多年寻找的中子辐射。于是对这种射线进行更细致的研究，并使用了各种记录快速粒子的方法，结果在 1932 年取得令人信服的证据。证明这种中性粒子确实存在，而且其质量与质子的质量相等，这种粒子并不是卢瑟福所假设的那种质子和电子的复合粒子，而是一种全新的粒子。除了不带电荷外，其基本性质与卢瑟福提出的质子几乎一样，查德威克便把这种粒子命名为中子。

中子发现后不久，伊凡宁柯和海森伯都提出了原子核是由质子和中子构成的假说，这个假说成功地解释了核的角动量及其统计性质，说明了同位素的存在，并且使人们对原子核的结构有了新的认识。

介子理论

介子是在探索核力性质时提出的。

由于原子核一般很稳定，这表明核子，即质子和中子之间结合得很紧。但中子不带电，而质子又互相排斥，这种结合力究竟从何而来？而且，这种力只存在于核内，在核外部无作用。为了解释核力的这种特殊性质，日本物理学家汤川秀树提出一种大胆设想：如果利用各种已知的粒子都不能解释核力的话，那么这里面很可能就隐居着新的粒子。于是他模仿电磁作用力的传递机制，对核力的来源提出一个理论——介子理论。

汤川幼时没有任何可能成为物理学家的迹象，他对文学深感兴趣，是什么因素使汤川弃文转向物理学呢？他在晚年回忆说，当他还在中学时，使他走上研究物理学道路的一个重要因素，是人们在日本人中间找到了一位伟大的物理学家——长冈半太郎。汤川把长冈视为楷模。

长冈在决定从事物理学研究之前也犹豫过，他也怀疑过东方人在研究自然科学方面的能力。但当他了解到东方人特别是中国人在过去对科学的贡献曾远远领先于欧洲之后，便毅然决定做一名职业物理学家。长冈曾说：“我如果不能进入先进的研究者行列，并对某一个学术领域做出贡献，那么生而为人就毫无意义。”长冈后来成为磁学、光谱学和原子物理学的一位著名科学家。所有这些，都促使汤川下决心为物理学献身。

汤川是在日本接受全部教育的，而且大部分是在京都读书。在一定程度上，他又是自学成才的。因为当时在日本没有专门研究量子力学的人，以至连懂得这个理论而能够开这门课的人也没有。于是他和他的同学朝永振一郎一起学习量子力学，一部分是从原始论文上学，一部分则是从书本上学。相互帮助，共同切磋。

针对核力的解释，汤川探讨了与核力场有关的量子特征。他认为，作为核力及衰变的媒介存在的新粒子具有有限的静止质量，而他作出这个推理时，所用的理论只不过略超出一点测不准原理和相对论。他估计，该粒子的静止质量大约是电子质量的 200 倍。把这种粒子称为介子正是表示其质量介于质子与电子之间。

介子理论起初并没有引起很大轰动，因为那时还没有人看到与汤川的假设相类似的粒子。然而 1936 年，美国的安德森和尼德迈耶尔在研究宇宙线中发现了一种质量为电子 207 倍的带电粒子，称为 μ 介子，于是汤川的介子理论开始受到人们的重视。

可是，当初在宇宙线中发现的这种介子平均寿命很长，比汤川理论所预言的要大许多倍。为解决这一困难，日本的谷川、坂田和井上及美国的贝特和马沙克，各自独立地提出了一个假设，即观察到的 μ 介子是汤川介子的衰变产物，而尚没有人观察到汤川介子。直至 1947 年，美国的鲍威尔等人在宇宙线中发现了另一种粒子，认定是汤川所预言的介子，被命名为 π 介子。

从 40 年代末到 50 年代末，人们又陆续发现了一些新的基本粒子。这些新粒子都有一种奇特的性质，就是它们都产生得快，衰变得慢。这表明它们在产生过程中起作用的是类似核力的强相互作用，而在衰变过程中却受支配于衰变时出现的那种弱相互作用，两者相差 10^{13} 倍。这种情况颇令人费解，因此人们把这些新粒子统称为奇异粒子。其中有 1947 年发现的比 π 介子重的 K 子，比质子、中子重的兰姆达超子和西格马超子；1954 年发现的克西超子。

尤为值得一提的是，1959 年我国著名物理学家王淦昌在前苏联杜布纳联合原子核研究所，利用 10GeV 的质子同步稳相加速器和他们自己制造的 24L 丙烷气泡室，从 4 万张照片中发现了反西格马负超子，从而引起物理学界新的轰动。

“窃能贼”中微子

衰变是指原子核自发地放射出 α 粒子或俘获一个轨道电子而发生的转变。在研究 α 衰变的初期，人们在实验上遇到一个难以理解的事实，那就是

电子所带走的能量，总比原子核放出的能量要少得多，而且这个能量值每次都不相等。换句话说，原子核所释放的能量有一部分“失窃”了。

围绕着这一桩“窃能”案，物理学家们展开了一场激烈的争论和“破案”工作。

有些大胆的物理学家甚至是物理学权威对衰变中能量是否仍然守恒提出了疑问。如著名的丹麦物理学家玻尔认为，能量守恒定律只是在许多次衰变过程中在平均的意义上才有效，而并非在每一次衰变中都能成立。又如量子力学创始人之一的奥地利物理学家薛定谔也对这种能量守恒只是一条统计定律的说法，表示十分赞赏。

在此之前，德国物理学家索末菲在他那本著名的《原子结构和光谱线》一书中，也曾考虑放弃能量守恒定律的严格确实性。他说：“因此，对于必须应用的波动理论的最温和的修正，是不能承认能量定理对于单个辐射现象是适用的，并且承认它仅仅在很多过程取平均时才是适用的。”

物理学权威们对能量守恒定律表示了怀疑。能量守恒定律在衰变中被破坏和不适用了。这种看法引起了物理学界思想的极大混乱，要是这个定律真的被推翻了，整个物理学的宏伟大厦和精巧建筑会毁于一旦。

这种怀疑和看法，后来被验证是错误的。那么，这些物理学权威们为什么要去怀疑能量守恒定律，提出能量守恒定律不适用的看法呢？产生这种情况是有其原因的。

早在爱因斯坦提出光量子概念，即把光看作是由一份份独立的能量子——光子组成的这一崭新概念时，就没有得到有关物理学权威的承认。他们认为光子说很难被接受，因为它与传统的波动说是那样格格不入，且无法解释光的干涉等波动所特有的效应。

在他们看来，光子说虽有某些特定的实验根据，实际上不过是早已被推翻了的微粒说在新形式下的复活；而波动说虽然在个别实验的解释上遇到困难，但支持它的实验事实却比支持光子说的多得多，新观点怎么能与经过千锤百炼、近乎炉火纯青的旧理论相匹敌呢？但是，作为光子说重要实验根据的光电效应又该怎样用传统的波动说来解释呢？为了“拯救”物理学，这些权威们作了一个异乎大胆的然而又是十分错误的选择，那就是不坚持能量和动量守恒的普遍适用性。因为这样就提供了用传统的波动说“解释光电效应唯一的可能性”，可是他们的这个选择最后是失败了。

基于不承认光子说这样一个保守的原因，他们为着保持辐射的经典的波动理论，于是对衰变中能量守恒问题再次提出了疑问。有的权威声称：“在原子理论的现阶段，我们可以说，无论是从经验上还是从理论上都没有理由坚持在衰变中能量一定守恒。原子的稳定性迫使我们放弃的也许正是能量平衡的观念。”其结果是在衰变能量“失窃”案的侦破中，同样导致了失败。

就在这样一个紧要关头，有一位年轻的物理学家泡利却非同凡响，提出了自己的崭新见解。他预言：能量守恒定律是有效的；在衰变过程中放出了一个难以探测到的中性粒子，而这中性粒子在不知不觉中带走了原子核释放的能量。

1930年12月，泡利向在杜宾根参加放射性工作会议的人们写了一封信。就在这封信中，泡利叙述了他所预言的中性粒子，并给此新粒子取名为“中子”。有了这个预言中的新粒子，衰变中能量守恒的困难就可迎刃而解，

这个“窃能”案也就可以破了。

泡利的这个预言太新奇了，立即引起了当时在哥本哈根的意大利物理学家费密的注意和欣赏。他运用泡利的观点，成功地解释了原子核的衰变，提出了一种新的自然力——弱相互作用理论。费密还给那个“窃能贼”取了一个十分风趣的名字——中微子，意思是“微小的中性小家伙”。

尽管泡利的这个预言简单明确，但当时大多数物理学家对此却持怀疑的态度。物理学家们真是感到左右为难，放弃基本的能量守恒定律吧，他们忧心忡忡；承认中微子吧，实验物理学家不论怎样努力寻找，却又始终未能找到这种新粒子。

这一时期物理学家把实验中出现的矛盾，归之于基本物理定律在原子核中不适用，如对能量守恒定律表示怀疑，而不是去怀疑原子核的内部组成，产生这种错误的认识也是有一定原因的。

首先，当时人们所认识的“基本粒子”寥寥无几，除去光子，能够组成物质的算来只有质子、电子，不要说粒子，连卢瑟福认为的中子也只是质子、电子的复合体，实际上是特殊的原子核，如何设想在认识非常有限的“基本粒子”的基础上能提出新的原子核的组成理论呢？

其次，时代的局限性，限制了人们提出新粒子的可能性。尽管在理论和实验上都显示出新粒子被发现的曙光，但正如狄拉克所说：“在那些日子里，情况就是这样，人们非常不愿意提出一个新粒子。”也就是说，在那时提出一个新粒子的科学预言需要巨大的勇气和胆识。正是有了这种勇气和胆识，才使泡利在纠正所谓能量守恒定律不适用的错误中作出了不懈努力和杰出贡献。

中微子的科学预言在理论上是令人满意的，它完全说明了在衰变过程中“失踪”的能量去向何方，圆满地解决了一些矛盾。然而，在人们尚未捕获中微子之前，预言仅能作为一种假说。

要证实假说，就得通过实验去捕捉中微子。由于中微子不带电，作用极为微弱，捕捉它就显得很困难。中微子是以光速运动的，但它并不是光子。光子非常容易同物质粒子作用，当它们通过物质时很容易被吸收掉。而通过衰变放射出来的中微子却不会被物质吸收。它要穿过大约 1000 亿个地球才会与其内的一个原子核碰撞一次。多么神秘的穿透力！即使做成地球那么大的探测器，当有 1000 亿个中微子通过时，大约只能探测到 1 个。中微子的主要奥秘就在于此。

尽管捕捉中微子如此之难，不少物理学家仍然千方百计去寻找它。1941 年，我国著名物理学家王淦昌提出通过轻原子核俘获 K 壳层电子释放中微子时所产生的反冲探测中微子。在这类过程中，所产生的原子核的反冲能量和动量将仅仅同发射的中微子有关。他把自己的设想写成《探测中微子的建议》一文发表于 1942 年 1 月出版的美国《物理评论》杂志

王淦昌的论文发表不过几个月，美国物理学家阿伦就据此做了的 K 电子俘获实验，证明了丢失的能量和动量正好符合中微子的要求，这是显示中微子存在的第一个实验。王淦昌的设想和阿伦的实验，被认为是 1942 年世界物理学的重要成就之一。

当然更为直接的实验是对已被放射出来而脱离源的中微子进行探测。这个实验直到 1956 年由美国洛斯阿拉莫斯实验室的柯温和莱因斯完成。他们用了 200 升水和 370 加仑液体闪烁体做成探测器，埋在美国一个核反应堆附近

很深的地下，来探测核反应堆放射出来的极强的中微子。经过相当长的时间，才成功地探测到了为数不多的中微子。

柯温和莱因斯的实验是这样设计的：当反中微子 $\bar{\nu}_e$ 射到水中与质子碰撞，便发生下面的反应过程 $\bar{\nu}_e + p_n \rightarrow e^+ + n$ ，由此放出的正电子经过减速后与电子湮没，转化成两个光子。这些光子同时射入两边的两个液体闪烁体，产生一个符合信号。所谓符合信号是两个闪烁体同时记录到光子而产生的信号。这个信号的出现就表明在水中发生了 e^+e^- 的湮没过程。

值得注意的是，上述过程还产生了一个中子(n)，它将经过很多次碰撞，约经过数微秒后，被掺在水中的一个镉(Cd)原子核吸收，同时产生若干个光子 $n + Cd^{d*} \rightarrow d \rightarrow Cd^+ + \dots$ 这些光子再进入闪烁体，又产生一个延迟符合信号。这个信号的出现进一步证明在水中确实发生了上述过程。柯温和莱因斯就是用这种实验方法证实 $\bar{\nu}_e$ 存在的。

这样，20多年的“窃能”案终于被彻底侦破，中微子也就归了案。后来随着人们对弱相互作用的理解加深，对中微子的认识也更清楚了。现在已知道，太阳及遥远的星体内部发生核反应时都会产生中微子，中微子一经产生便向四面八方飞出，到处都有。特别在建造了核反应堆这个强大的中微子源后，虽然中微子只有 $1/10^{20}$ 的捕获率，但依靠现代物理仪器也足以能探测到它的存在，并把它捉拿“归案”。

黑体辐射

1859年10月20日，35岁的中年教授基尔霍夫从海德堡提交了他的第一篇热辐射论文。全篇论文虽然只有两页，却引起了科学思想的又一场革命。

该年7月，是一个阳光灿烂，适于做实验的日子。在海德堡大学一间宽敞的实验室里，基尔霍夫正在专心致志地做着物质吸收光的实验。他把一个三棱镜和光屏放置在靠窗口的长桌上。窗口用布遮盖起来后，便走到棱镜一侧，把酒精灯点燃，用它去烧灼准备好的食盐。被烧灼的食盐立即升起黄色的钠光。钠光透过三棱镜，映在了对面的光屏上。光屏立即显现了两条黄色的明线。

然后，他又轻轻地转过身去，掀起布的一角，让窗口的太阳光通过钠光和棱镜照到光屏上，看看会有什么变化。果然出现了变化：当太阳光较弱时，明线仍然存在；当逐渐增强太阳光，达到某一强度时，明线消失，并在同一位置上出现两条暗线。他把烧灼的食盐拿掉一些，暗线又消失了。基尔霍夫观察到此，内心为之一阵激动，因为他发现了一个不同寻常的物理新现象。

作为严谨治学的实验物理学家是绝不会放过偶然出现的新现象的。他一次又一次重复实验：顺手把拿掉的食盐放回原处，只见光屏上的两条暗线又出现了；当再遮住太阳光时，只见光屏上出现的是两条明线，这究竟是什么原因呢？

经过苦苦思索，基尔霍夫对这一现象的研究过程中，突然心领神会，原来是“物体会发什么光，便会吸收什么光”。也就是说，在上述实验中，金属钠原子能发出两条黄色的明线，因而它从太阳光中吸收与之相同波长的光，并在被吸收掉光的部分留下黑色的痕迹，即出现两条暗线。于是，基尔霍夫又换用其他物质，以相同的方法，反复进行实验，结果得到了相同的结果。由此，他发现了热辐射的定律，后被称为基尔霍夫定律：任何物体的发

射本领和吸收本领的比值与物体特性无关，是波长和温度的普适函数。

作为善于思考的理论物理学家从热辐射定律又引出一种崭新的想法：如果自然界能找到一个这样的物体，对它加热后，随着温度的不同能发出各种光时，它也同样会吸收掉与之对应的各种光，那么这个物体就可称为一个完全“黑”的物体了。顺着这个思路，基尔霍夫于 1862 年提出了理想黑体的概念。

理想黑体是从观察自然中抽象出来的一种物理模型。理论分析表明，一种理想黑体能够全部地吸收投射到它上面的一切辐射，而在同样温度下，它所发出的热辐射也比任何其他物体为强。对于理想黑体，不论其组成的材料如何，它们具有在相同温度下发出同样形式的辐射能量。因此，研究这样的黑体辐射，具有很大的理论意义和实际意义。

然而实际上黑体是不存在的，但可以用某种装置近似地代替黑体。它是一个带有小孔的空腔，并且小孔对于空腔足够小，不会妨碍空腔内的平衡。通过小孔射入空腔的所有辐射经腔内壁多次反射后，几乎全部被吸收，再从小孔射出的辐射极少。

基尔霍夫认为黑体辐射也可称为空腔辐射，他给出了空腔辐射的有效定义：“已知一空间被许多温度相同的物体所闭合，没有辐射能穿透出去，于是这空间中的每束辐射其组成在性质和强度方面与来自同温度的一个理想黑体的辐射一样。”

于是，基尔霍夫向理论学家和实验学家提出了相似的挑战。基尔霍夫强调实验上存在着特大的困难是有道理的，因为实验学家必须解决下列三个问题：

- (1) 构造一个具有理想黑体特性而又易于办到的物体；
- (2) 装置具有相当灵敏度的辐射探测器；
- (3) 找到将测量扩展到大的频率范围的方法。

为了回答基尔霍夫提出的挑战，人们足足做了 30 多年的实验才得到较为足够的实验数据。1893 年，一位年仅 29 岁的德国青年学者维恩从热力学第二定律出发，结合新设计的实验，首先推演出黑体辐射的位移定律。

维恩从 1891 年来到柏林国立物理研究所后，就悉心从事黑体辐射的研究。面对当时科学界正在寻找理想黑体终无所得而束手无策时，他却充分地显示了自己的才能。这就是专门设计了一只箱子，箱子内壁全涂成黑色，形成一个空腔，上面开有小孔；为了加强吸收效果，又在空腔壁上装了许多带孔的横壁，从而使得辐射更不容易直接反射出去。

春天来临，经过无数次实验和思考的维恩，终于发现黑体的温度（绝对温度）同所发射能量最大的波长成反比，即维恩位移定律。

1896 年，维恩把热力学考察和多普勒原理结合起来，应用到空腔辐射的压缩。他指出，在一定温度下的辐射密度可以通过反射壁包围辐射区域的绝热收缩或绝热膨胀，转变到另一温度的辐射，从而得出了黑体辐射的能量按波长（或频率）分布的公式，又称维恩公式。这个公式的短波部分同实验数据很好符合，并足以解释为什么光谱的极大强度在黑体的温度升高时愈来愈向短波方向移动。

那么，维恩公式把空腔辐射的问题解决了吗？没有。1897 年，卢默尔和普林斯海姆对空腔的能量分布进行了测量，发现维恩公式只在波长较短、温度较低时才和实验结果相符，在长波部分却偏离很大、完全不能适用，由此

反映出经典物理学在解释黑体辐射规律时遇到了严重困难。

令人关注的黑体辐射，在英国也投入不少研究力量。特别是瑞利，这位出生贵族家庭的物理学家，时至 1900 年，尽管他已年过半百、颇有声望，可是依然积极致力于研究工作。

就在这一年，瑞利应用经典统计力学和电磁理论来计算一个封闭腔的热辐射。他指出，随着封闭腔被加热，那么腔中将建立一个电磁场，这个电磁场可分解成为一个具有不同频率和不同方向的驻波系统，每一个这样的驻波就是电磁场的一个基本状态。于是在一定频率间隔内的场能的计算变为去导出基元驻波的个数，由此得到一个新的热辐射公式。

可是瑞利在推导中错了一个因数 8，这个错误为英国当时只有 27 岁的金斯所发现。他于 1905 年给《自然》杂志的一封信中加以修正，即把原来的瑞利公式用 8 去除，得到了现在称之为瑞利—金斯公式。

这是企图用古典理论来处理黑体辐射的又一重要尝试。这个公式表明，辐射能量密度的频率分布正比于频率的平方。于是在长波部分与实验数据基本相符，但在短波部分却完全不相符合，因此此时按公式计算而得到的辐射能量将变成无穷大，显然这是不可能的。

古典理论与实验事实产生了很大的矛盾，这种情况曾被荷兰物理学家埃伦菲斯特称为“紫外灾难”。事实上，维恩公式与瑞利—金斯公式，各从一个侧面反映出物体辐射中的部分规律，但在解释全部热辐射现象却产生了矛盾和“灾难”，这就充分暴露了经典物理学本身的缺陷。

光电效应

光电效应是光从金属表面击出电子的效应。它是最早发现的量子现象，即最早发现的据说是不能作出经典解释的现象，人们把被实验事实所否定的经典机制描述如下：

“当辐射击中在原子内振动着的电子时，就将能量转移给电子。如果电场的振动频率恰好是原子中电子的共振频率，电子就会从光波中吸收能量直至它被释放出来。”

提出这一机制以后，人们就不厌其烦地向读者们证明它怎样地与实验事实不符，却从来不屑于想一想这一机制从经典物理学的角度来看是否合理？其实，只要稍微细心一点，就能发现这一机制是经典物理学所不允许的。

第一、实验证明：光只有照射金属才发生光电效应，金属的特点是有大量自由电子，可见光电效应是光与自由电子的相互作用。而自由电子不能有“强迫振动”，因为它没有强迫振动所需要的恢复力（阻止电子逸出金属表面的力是单向的，不是恢复力）。

第二、即使金属中有电子在光作用下强迫振动，其共振频率将是光的频率，因此其振幅将小于光的波长（否则电子的速度将超过光速）。如此频率极大而振幅极小的振动又怎能使电子脱离金属呢？

当然，根据力学原理，即使没有恢复力，电子在光波中也会振动，但这不是本来意义下的“强迫振动”，其振幅也小得不能为宏观仪器所察觉。从这一点出发，我们可得到光电效应的经典解释：

当电子在光波中达到电动平衡时，它将在光的电场作用下振动，在光的磁场作用下以交变的角速度运动，我们称这种运动为“光致运动”。这种运

动使电子激发一个附加的驻波场，我们称它“光致波包”。此外，我们把电子的光致运动的平衡点的运动称为“整体运动”。一般地说，电子在光波中的这种整体运动是等速直线运动，于是电子在光波中有三种运动形式：内部运动、光致运动和整体运动。电子在真空中则没有光致运动，只有内部运动与整体运动。

当电子从真空进入光波时，将从真空中的电动平衡过渡到光波中的电动平衡，这是一个整体过程，我们称它为“入光过程”。在入光过程中，电子将产生光致运动，建立光致波包，为此，电子将从光波中吸收能量，即吸收一份光波。此外，电子的整体运动状态也将因此而改变，从一种等速直线运动状态过渡到另一等速直线运动状态。

电子在入光过程中所吸收的那一份光波，乃是原光波的一部分，从而是一份有限的单色光波波列，由于有限，单色只是近似的，这份光波就是一个爱因斯坦的“光量子”或“光子”。

这份光波作为从原光波中分离出来的一部分，可以用能量 ϵ 和动量 p 来描写它，即把它看作一个以光速运动的物体。另一方面，作为一个波列，又可用

频率 ν 和波数 k 来描写它，其中 $p = \frac{h\nu}{c}$ ， $\epsilon = h\nu$ 。

根据相对论容易证明，当参照系改变时， ϵ ， p ， ν ， k 都将改变，但比值则保持不变。这样，普朗克——爱因斯坦关系 $\epsilon = h\nu$ ， $p = h k$ 就不再显得像一个斯芬克司的哑谜了。但是这一关系式中的常量恰好是普朗克常量

$$h = \frac{a \cdot m^0 c^2}{w^0}$$

则要求从理论上证明（这要求更细致的电子模型）。爱因斯坦和德布洛依心爱的波与粒子的神秘对称性，已经不再是什么“解释”了。

当光照射金属时，金属中的自由电子经历入光过程，吸入一个光子并从静止转入运动，并因此逸出金属表面，这就是光电效应。

这种经典机制可解释最初发现的实验事实：首先，入光过程极为短促，因此光电效应没有明显的“惯性”；其次，光越强，入光过程越短促，因此就有越多的电子在两次与金属的晶格点阵碰撞的自由程内完成入光过程，成为“光电子”，因此，光电子的数目取决于光的强度；最后，电子进入光波以后的光致运动，决定于光的频率而与光的强度无关。因此电子在入光过程中所吸收的光波的能量及电子所获得的动能也决定于光的频率而与光的强度无关。

诚然，爱因斯坦的“光子”对光电效应的解释似乎更简单而准确，但这一成功却以一系列的挫折为代价。

60年代，曼戴尔（Mandel）等人考察了两个独立激光之间的干涉。由于观测时间很长，使得“当下一个光子被两个光源中的任一个发射出来之前，上一个光子已被吸收”，却仍然获得干涉条纹影像，假若把其中的一支激光停掉，就什么干涉也没有。这似乎表明一个光束中的光子会同另一光束的“虚无”发生干涉。

早在1909年，泰罗（Taylor）就做过“单光子干涉”实验：先用强光拍下细针的衍射象，然后把光源衰减，相应地增加曝光时间。最后一次曝光长达3个月，相应的光弱到不可能有多于一个光子同时通过仪器。结果发现衍

射图像与短时间的强光照相同。令人困惑的是：“一个光子怎么可以同时处在两束分光束中呢？”如果是双缝衍射，则问题成为：“一个入射光子怎么可以同时穿过两个狭缝呢？”

在“光子”学说遇到挫折的地方，我们的经典解释却照样通行无阻。

首先，我们应考察光电效应的一个重要的性质：单个原子辐射出来的光子是有限的单色光波波列，在一般情况下，物质所辐射的光波并不是“光子流”，而是大量光子相互迭加而形成的连续波场。在光电效应中，电子所吸收的光子乃是这个连续波场中的一份，它一般不再是某一原子所辐射出来的一个光子。显然，刚好可以从金属表面击出一个电子的光波，必须多于一个光子。

我们可以用一个笨拙的比方来阐明上述结论：将光波比作一桶水，电子比作舀水的杯子，则原子辐射好比用杯子往桶里加水，虽然水是连续的，但在这一加水过程中桶里的水还是一杯一杯地增加。光电效应好比用同一种杯子从桶里舀水出来，一般地说，舀出的这一杯水不再是原来舀进的某一杯水。此外，当桶里刚好还可以舀出一杯水时，桶里一定不止一杯水。

只有光流的强度非常小时，诸光子才成为离散的，不再相互迭加，这样的光波才是名副其实的“光子流”，但这种光子流却已经不可能从金属表面击出光子。

人们常用光电检测器给光子计数，对于强光，这种仪器是足够准确的；但对于弱光，当它告诉说只有一个光子（只击出一个电子）时，那就肯定不止一个光子。

最初曼戴尔的实验是用光电检测器给光子计数的，因此它关于“当下一个光子发射之前上一个光子已被吸收”的报告是不可信的。后来换用底片曝光，也有同样的问题。

至于单光子干涉实验，从我们的角度来看，光子本是一个单色光波波列，可以自己与自己相干涉。因此从实验的干涉机制来看没有困难，但从探测机制来看却存在同一问题：如果光源真是弱到发射“光子流”的程度，则照相底片将不再感光，因此我们估计，泰罗实验中的光源还是比他认为的要强一些。

这一切都还有待实验进一步检验。

普朗克的突破

1900年夏末的一天。在柏林郊外的哥鲁内瓦尔特森林里，德国物理学家普朗克正在和儿子一起散步。就在这长时间的散步过程中，他对儿子热心地谈到了自己在这一年夏天得出的关于热辐射问题的新构想。

据记载，普朗克对儿子说，这个新构想使他作出了第一流的发现，是革命性的发现，恐怕只有牛顿的发现才能与之相比。实际上，普朗克这时对自己工作的认识是正确的，他所作出的量子假说，当之无愧地是第一流的发现，更是革命性的发现。

普朗克早年在慕尼黑和柏林接受大学教育。在柏林大学曾听过亥姆霍兹和基尔霍夫的讲课。他对这两位物理学家人品和科学研究十分崇敬，然而对他们的讲课却感到帮助不大。正像普朗克晚年回忆这段经历时说，亥姆霍兹讲课没有准备，说起话来结结巴巴，经常在黑板上写错字，“我们总是觉

得他自己对讲这门课是厌烦的，弄得我们也厌烦了。基尔霍夫的讲课准备得非常仔细，每句话都挑选得很准，一个字不多，一个字不少，可是既干巴又单调。我们真佩服讲师本身的那股劲儿，可是对他的讲课倒不怎么欣赏。”

正是由于这个缘故，普朗克经常地是自学，研究他们的原著。亥姆霍兹和基尔霍夫的原著立刻就使他感到钦佩，此外是克劳修斯的主要著作《力学的热理论》也对这位年轻的学生产生了强烈的印象，使他立志去寻找像热力学定律那样具有普遍性的规律。

就是在那些年月里，普朗克形成了自己特有的方法论的基本原则。

据说，当时德国实验物理学家约里曾告诉他：物理学基本上是一门已经完成了的科学，因此，要研究物理学不会有有多大成果。可是普朗克还是下决心研究物理学，因为物理学可以探索到绝对客体的更多规律。

普朗克早期主要从事热力学研究，他的博士论文就是《论热力学第二定律》。他认为，热力学第二定律不只是涉及热的现象，而且同一切自然过程有关。热力学第二定律的关系式不仅指出了自然过程的方向，而且由于熵的极大值对应于平衡态，深入地研究熵就可使我们掌握关于物理和化学平衡的一切规律。

简单的热力学关系式能解释那么多现象的这一事实使普朗克深信，在自然界中它们就是真理，是基础，是绝对的，能够描述自然界中一切最简单的、不可动摇的、永恒的东西。普朗克十分向往完成他自己的这种心愿，于是他多年的科研计划就是为了揭示如何从热力学第二定律中得到尽可能多的结果。

普朗克在散步中谈起，直接导致他作出第一流发现的，是关于黑体辐射的研究。普朗克于 1894 年起，就把注意力转向黑体辐射问题。于是立即被基尔霍夫函数的普遍适用性迷住了，他说：“这个所谓的正常能量分布代表着某种绝对的东西，既然在我看来，对绝对的东西所作的探求是研究的最高形式，因此我就劲头十足地致力解决这个问题了。”

1896 年，普朗克在热辐射理论研究中，感觉到应用麦克斯韦的电动力学是解决这个问题的一条直接道路。也就是说，他想象物体的空腔内充满了具有各个不同固有周期的、弱阻尼的线性谐振子或者是共振器；由于热辐射而激起的振子能量交换就会逐渐地达到标准能量分布的、与基尔霍夫定律相符合的定态。

1899 年，普朗克表述了如下不成熟的想法：“我认为，这必然会使我得出这样的结论，即辐射熵的定义因而还有维恩的能量分布定律，两者必定都是通过熵增加原理应用于电磁辐射理论而得出的。因而这条定律有效性的限度，如果它存在着这种限度的话，将与热力学第二定律所受到的完全相同。显然，这使我们对这条定律再做一番实验研究显得更加极端重要了。”

该年年底，普朗克得知鲁本斯等人在 9 月发表的实验报告中指出了维恩公式在 T 时出现明显的偏差，因而表明了维恩理论的缺陷。

第二年，鲁本斯夫妇访问了普朗克，鲁本斯告诉他，在 T 时，瑞利于当年 6 月发表的公式却与实验结果很好地符合。

这使普朗克受到很大启发，立即尝试用内插法去寻找新的辐射公式，使在长波方面渐近于瑞利公式，在短波方面渐近于维恩公式。普朗克于 10 月 7 日当天就得到了一个他所要求的新的辐射公式，并于 10 月 19 日的柏林物理学会上以题为《维恩辐射定律的改进》的论文作了报告。

第二天早晨，鲁本斯告诉普朗克说，在学会会议结束后的当晚，他将这个新公式跟他自己曾经做过的实验数据作了非常仔细的比较，结果是处处相符，令人满意。鲁本斯深信在这个公式中孕育着极其重要的真理，绝不是一个偶然的巧合。

可是当时也有人认为这个公式只是具有形式上的意义，并把它看做是一条靠侥幸猜中的规律而已。这就推动着普朗克去寻找他的公式的理论基础。事后普朗克曾回忆说：“即使这个新的辐射公式竟然能证明是绝对精确的，但是如果可以把它仅仅看做是一个侥幸揣测出来的内播公式，那么它的价值也只是有限的。正是由于这个缘故，从它于10月19日被提出之日起，我即致力于找出这个等式的真正物理意义。这个问题使我直接去考虑熵和几率之间的关系，也就是说，把我引到了玻耳兹曼的思想。”

在这以前，普朗克对玻耳兹曼的统计理论并不欣赏，但他曾负责编辑过他的老师和前任基尔霍夫文集的工作，因而对于玻耳兹曼理论的数学方面是很熟悉的。他根据玻耳兹曼的统计解释，即状态的熵等于这种状态的几率的对数同 K （玻耳兹曼常数）的乘积，来计算同一定能量的单色振子相对应的几率，那么也就可以计算这个体系的熵，从而也可以计算它的温度。至于单色振子相对应的几率，他引用一个新的普适常数 h ，由于 h 的因子是能量与时间的乘积，普朗克就称 h 为作用量子。这样，该几率量度既合乎玻耳兹曼的理论，也适用于辐射现象。

值得注意的是，普朗克在这一处理方法中，实际上他已经作了一个革命性的假设，已经与经典物理学有所不同了。因为按照经典理论看来，所有的各个微观态的总和应当组成一个连续体。也就是说，把所有可能的微观态编排起来，应当得到一个连续的组合。而按照普朗克的思想线索，实际上是认为所有可能的微观态的总组合是分立的集合；一个系统的每一个宏观态对应于完全确定数目的微观态，这个数目就是所谓状态的几率。再从配容入手，很自然要引入能量不连续的假定，因为只有把能量分成一份份的，才能够计算确定的配容数目，如果总能量是可以无限连续地划分的话，能量分配的方式就不可能是有限的。

在1900年末，普朗克终于确信这个公式所包含的无法避免的似乎振子只能包含分立能量子的结论，并于1900年12月14日，在德国物理学会上宣读了他的论文《关于正常光谱的能量分布定律的理论》，明确提出了有关物质微观结构的量子假说。

普朗克指出，为了得到和实验符合的黑体辐射公式（普朗克公式），必须抛弃经典物理学中关于物体可以连续辐射或吸收能量的概念，而代之以新的概念。他认为可以将构成黑体腔壁的物质看做带电的线性谐振子，它们和腔内的电磁场交换能量（辐射或吸收能量）。而这些微观谐振子只能处于某些特定的状态，在这些状态中它们的能量是最小能量 ϵ_0 的整数倍。它辐射或吸收能量时只能由一个可能状态跃迁到另一可能状态，即能量只可一份一份地改变，而不能连续地变化。这最小能量 ϵ_0 称为量子，它与振子的振动频率 ν 成正比，比例系数就是 h （又称普朗克常数）， $\epsilon_0 = h\nu$ 。根据这些假设可以成功地导出普朗克黑体辐射公式。

普朗克的量子假说，突破了经典物理学的旧框框，首次提出了微观系统的量子特性，从而打开了认识微观世界的大门，是现代物理学史上又一次革