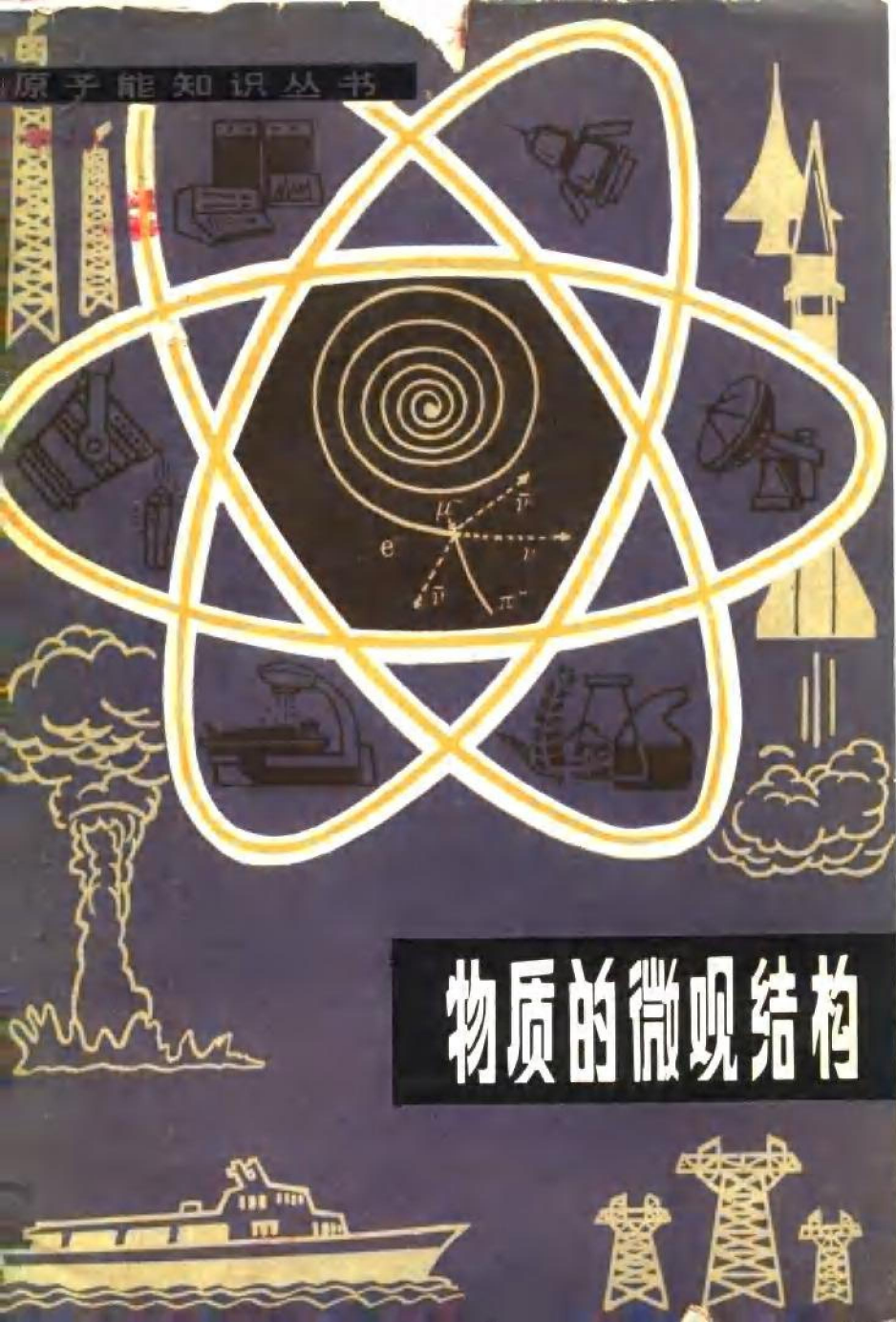


原子能知识丛书



物质的微观结构

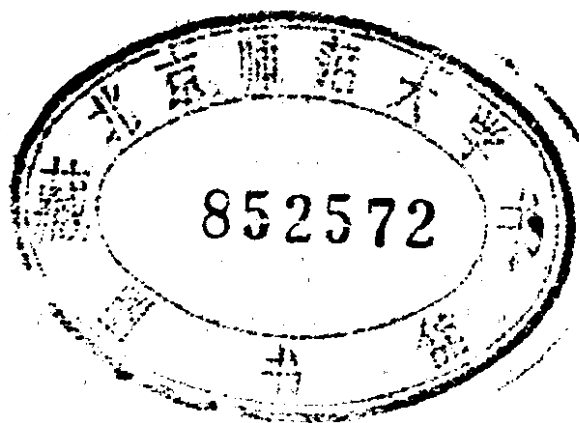
371/68/19

原子能知识丛书

物质的微观结构

〔美〕克利福德·E·斯沃茨

张李征 译



原子能出版社

物质的微观结构

〔美〕克利福德·E·斯沃茨

张李征 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京华丰印刷厂印刷

(北京市丰台区靛厂村)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张2·字数42千字

1982年1月第一版·1982年1月第一次印刷

印数001—2900·统一书号:15175·284

定价:0.24元

出版说明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书 (Understanding the Atom Series)。这套丛书取材广泛、内容丰富、语言生动、深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

随着科学技术的急速发展，书中引用的有些材料已经过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

引言.....	(1)
粒子的性质	(4)
粒子的真实性	(4)
波-粒二重性	(6)
相对论效应	(10)
性质识别	(13)
相互作用或力	(22)
万有引力	(23)
电磁	(25)
强核力	(26)
弱相互作用	(27)
相互作用的比较	(28)
粒子相互作用模型	(29)
守恒定律	(31)
质-能关系	(31)
动量	(32)
角动量	(33)
电荷	(34)
轻子和重子	(34)
奇异性和同位旋	(34)
宇称	(35)
粒子.....	(36)
强核力作用下稳定而不衰变的粒子	(36)
强核相互作用下衰变的粒子	(41)

附录一	探测工具	(46)
附录二	微观世界的语言	(52)
附录三	跟踪粒子	(54)

引言

远在我们的太阳系和银河系之外，有上百亿个其他的银河系充满到宇宙的各处。而在我们的一个手指尖里，每一个原子的大小仅是人的一根头发宽度的百万分之一，而原子又是它自己中心的原子核的一万倍大。看来，这个巨大的尺寸范围使得我们难以对物质做统一的解释（见图 1）。

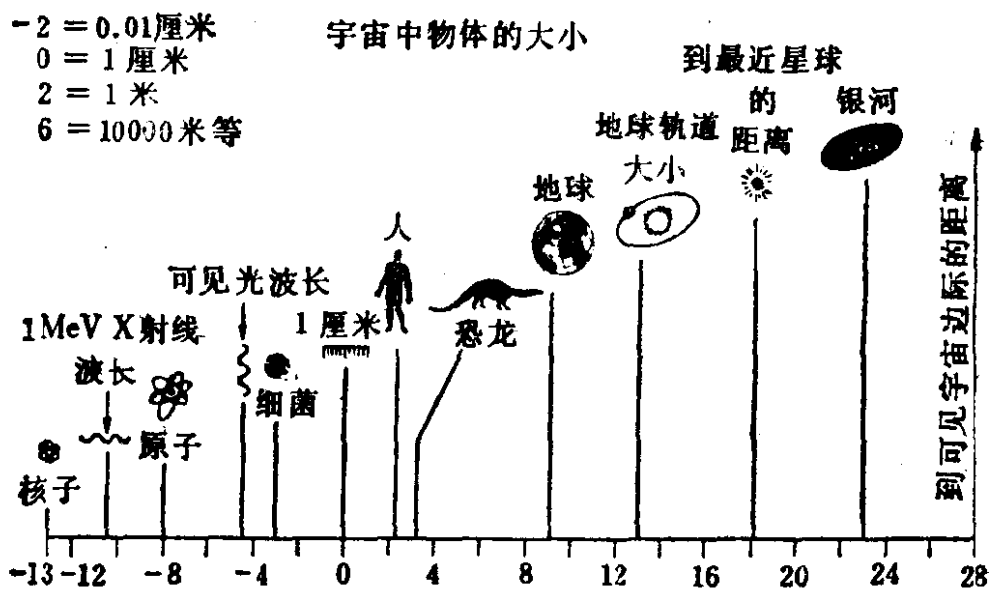


图 1 宇宙间物体的大小

物质的大小不是了解其性质仅有的障碍。宇宙中的物质呈现出几百万种形式——气体、液体、固体、有生命的、无生命的，使任何大概的分类都很困难。

可是，人们总是有一种感觉，或者说至少有一种欲望，

那就是说，物质的性质或许可以用一种能依简单方式结合或分离的结构单元 (building block) 来解释。希腊人认为可能有基本的原子，每一样东西都可由它们构成。公元前四百年，安培陶克里斯 (Empedocles) 认识到：万物都由四元 (element) 和四素 (essence)

所组成。他的四元四素的几何排列见图 2。他把普通的物质想像为由被不同的素连结而成的纯元组合而成。木头也许看起来是由土造的，但是如果你把它加热，就会看到，它还包括火和空气。

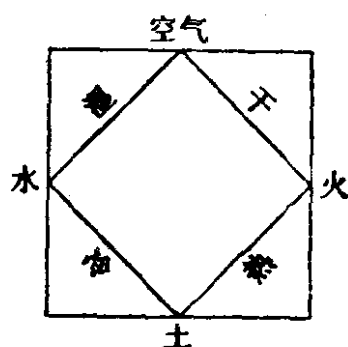


图 2 希腊世界的四元四素

这一系统既深奥莫测而又无意义，它具有神秘的色彩，这只能

导致炼金术以及想把铅变成金的徒劳的努力。

而今天我们已得到一组结构单元，它们表面上看来和希腊人的差不多一样少。在最近四十年中，我们已经把组成通常的92种元素的原子分裂开来，并学习到如何变化那些原子的核心，而终于得以实现炼金术士们的梦想，不过，不是把普通物质变成金，而是把它们转化成更有价值的放射性物质。自二次世界大战以来，我们一直在忙于将组成原子核的质子和中子分裂开。除了质子、中子和电子外，我们还发现一些其他粒子，¹¹人们习惯上称它们为“基本”粒子。我们把这些粒子列于表 1 里做一介绍。粒子及其性质的更详尽的表格可见图20(见插页)和42页表 2。如果我们把表内所列的都认为是粒子，粒子就几乎和元素一样多，当然，它们不能全是“基本”的。后面将看到，会有方法把它们再分成少数更基本的

表1 粒子的简明图表

族	名称	符号	质 量	电 荷	作 用 及 特 点
类质子 粒 子	奥米伽	Ω	1.78倍质子	+ 或 -	衰变成 Λ 和K介子
	克 西	Ξ	1.40倍质子	+, -, 0	衰变成 Λ 和 π 介子
	西格马	Σ	1.27倍质子	+, -, 0	衰变成质子和 π 介子
	拉姆达	Λ	1.19倍质子	零	衰变成质子和 π 介子
	质 子	p	{ 1839倍电子 (1.7×10^{-24} 克)	+ 或 -	原子核的主要组成份子, 在我們的世界里, 质子通常是正的。
	中 子	n		零	
核力 能 因	η 介子	η	1070倍电子	零	质子和中子非常靠近时的一个核力能因。
	K介子	K	970倍电子	+, -, 0	质子和中子非常靠近时的一个核力能因。
	π 介子	π	270倍电子	+, -, 0	核力能因之一。质子和中子间交换介子提供“核胶”。
类电子 粒 子	μ 子	μ	207倍电子	+ 或 -	介子衰变的后裔。形成半数在海平面的“宇宙线”。
	电子	e	质子质量的 $1/1839$	+ 或 -	原子中的负电子, 平衡核的正电荷。
	中微子	ν	零	零	从放射性 β 衰变中同电子一起发射出来。
无质量	光子	γ	零	零	电磁力的能因(光、X射线等)。
玻色子	引力子	-	零	零	万有引力的能因, 至今尚未探测到。

上表中只有质子、电子、中微子、光子和引力子是稳定而不衰变的。有上角标的符号表示带特定的电荷, 例如 π^0 是零电荷 π 介子。

形式。

不管粒子是怎样组成的, 它们构成了这本小册子要论述的物质的精细结构。(这门科学通常叫做粒子物理学或高能物理学, 因为大多数和粒子有关的实验都需要极高能量的粒

子束。)

在考虑粒子的分类之前，我们在下一节将分析粒子的性质和用以识别它们的特征。我们是通过粒子间相互作用力去了解有关粒子的许多性质的，这些力将在第二节“相互作用或力”中介绍。这些相互作用服从守恒定律，并在第三节做简要的叙述。最后在第四节中叙述一些新概念，从这些概念出发我们可把许多粒子看成是很少数结构单元的不同表现形式。

虽然在这本小册子里，我们主要关心的是粒子本身，而不是产生或观察它们的仪器设备，但通常还是需要知道所用仪器的性能，以了解我们所观察的对象。附录一对探索微观世界所用的工具作了简短叙述；附录二列出了一些粒子群并规定一些粒子世界的语言。附录三告诉我们如何去解释本书所用的粒子径迹图象。你可期望参考这些资料来帮助你了解后面所讲的内容。

粒子的性质

粒子的真实性

所有物质都是由极小的原子构成的概念，几乎每一个人都是熟悉的。说到不能再分的极小原子时，也许会使我们得出结论：由于我们不能在普通光下看到原子粒子，它们一定只是理论上的概念，而不是实在物体。但是我们确能“看到”原子，甚至“看到”原子中的粒子，清楚得就像我们在电视上看到的人一样，而且这一过程并不复杂。

在电视摄象室里，光从人的脸上反射到电子管前面的屏上，从而改变电视屏部分区域的电荷。用一束电子来扫描电视屏，并被反映到一个放大器，因而产生一个像信号。再经复杂的电路将像信号转变为电磁波信号，于是你自己的电视机在数英里之外就接收到了电磁波信号，并把它变成荧光屏上的发光区。因此你就能“看到”了人的面孔。

现在我们来考虑用来探测高能粒子的气泡室的工作情况。我们将一盛有热液体的容器内的压力快速地减小，此时液体的温度会突然超过其沸点。但是就在液体开始沸腾，并产生气泡之前，我们把一些从高能粒子加速器来的核粒子送去通过该容器。这些核粒子就会破坏液体中的原子，而这些原子就做为种子，像液体开始沸腾时一样，在其上面形成第一个气泡。这时如果有一道光闪一下，我们的眼睛或照相机就能“看到”这些粒子。

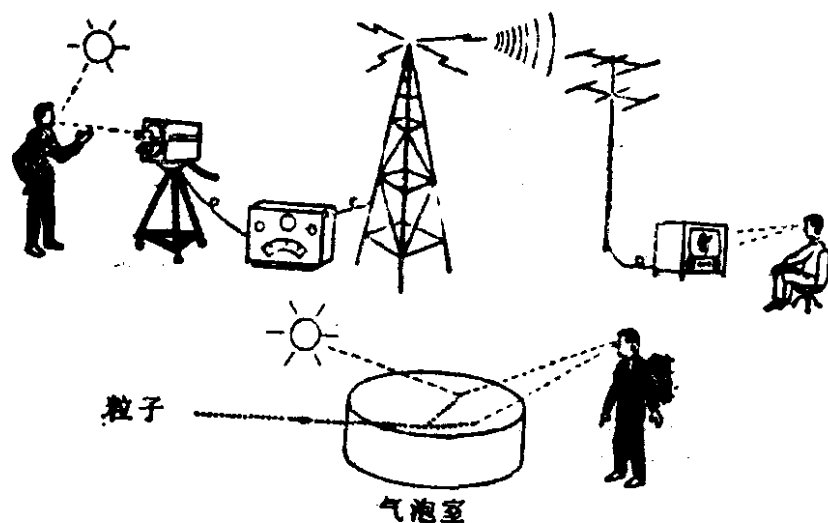


图3 在气泡室中看到粒子比在电视机上看见一个人要容易

事实上，在气泡室中观察粒子比我们彼此直接面对面能

看得更清楚。粒子显然只有少数性质完全保持不变，并能被测量到。粒子的存在是实在的，相比之下，它像人一样的复杂性反而几乎使它变成理论上的概念了。

波-粒二重性

我们所熟悉的原子结构的概念，示于图 4 的模型中。由于我们不能很精确地测量一个电子的位置去证明电子如图中所示位于围绕原子核的轨道上，所以今天人们认为数学模型更接近正确。数学描述可以预测在离不同距离处找到电子的几率，并且这些预测和实验非常一致。描述所有粒子状态的困难之点就在于电子轨道的不确定性。

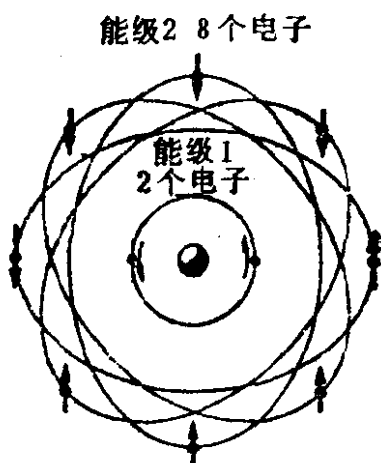


图 4 玻尔原子

当测量一个非常小的物体的位置时，不可能不用测量工具扰动它，并使其速度有轻微的改变。同样地，在一段非常短的时间里，一个运动体系的能量由于有一个未知不定量而不确定。这些极小的变动在我们的日常世界里是无关紧要的，但在原子的时间和距离尺度上，它们就会产生料想不到的结果。这些测量位置和速度之间，以及能量和时间的关系，叫做“海森堡测不准定律”^{*}，扼要地表示在图 5 中。

描述粒子运动的方程将告诉我们一个粒子具有某一确定位置和速度值的几率。实验上的发现进一步证实测量值有一

^{*} 1932年，由诺贝尔物理奖获得者德国的海森堡首先阐明。

粒子的本性

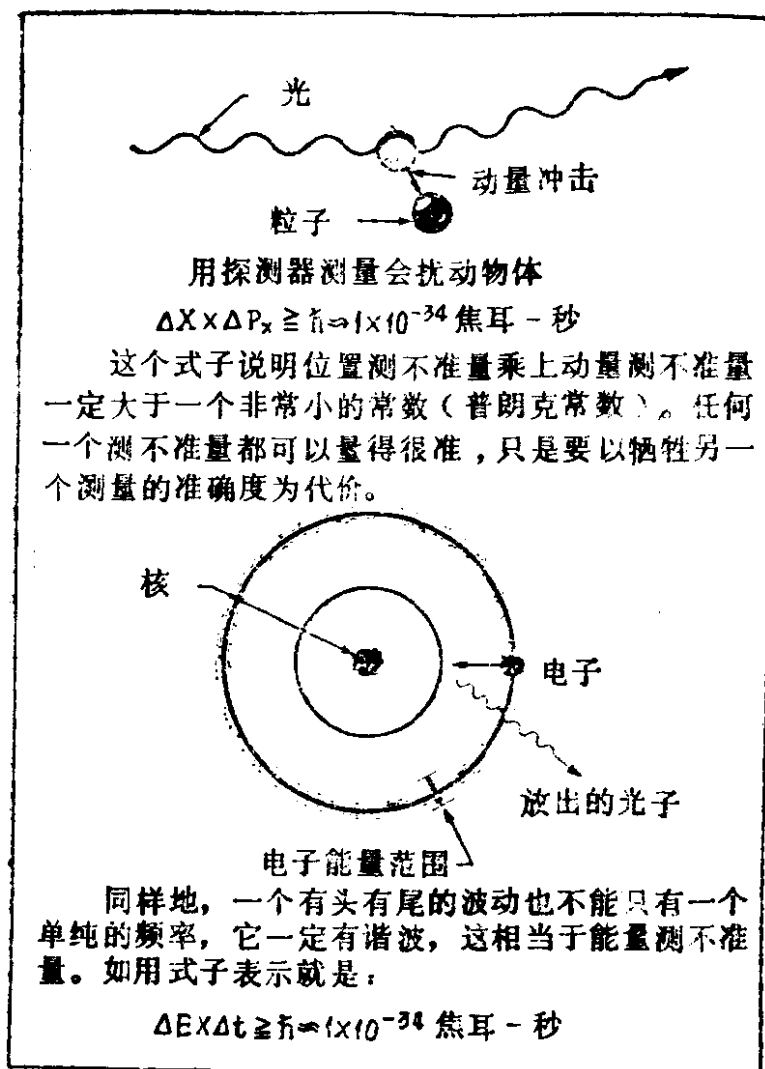


图 5 海森堡测不准关系

范围，或称“几率分布”。具有较大动量的粒子的行为非常像硬子弹，所以我们会预料到：描述粒子作用的等式类似于描述子弹的式子。在一给定时刻，它们的位置应当完全确定。而另一方面，在低动量粒子相互作用后，其位置是很不确定的。数学上是用几率来描述这种不确定性。低动量粒子

方程的解和描述波动的方程式的解非常相似。

这并不意味着我们一定得用两组方程式或两种不同的理论去描述粒子。大多数描述物理事件的方程式都没有完全而简单的解，而是用近似的解法来代替。

例如，我们考虑一个描述下落物体的方程式：

$$F - KV^2 = MA$$

此式告诉我们，重力（ F ）减去与物体速度（ V ）的平方成正比（ K ）的空气摩擦力，等于物体的质量（ M ）乘上其加速度（ A ）。可是，这里假定空气摩擦和速度平方成正比是一种近似。此式严格的解是复杂的，而且需要用微积分。不过，在两种极端的情况下，进一步的近似方法可以把解变得很简单。首先，如果落体为流线形， K 值就很小，摩擦力也就极小，因此我们就得到一个真空中自由落体的简单方程式，而降落的距离和降落所用时间的平方成正比：

$$\Delta X = \frac{1}{2} at^2. \quad \text{解 1}$$

另一种情况下，摩擦力可能很大。例如降落伞以匀速下落，弹子在糖浆里也以稳定的速率下降。在这种情况下，此方程式的解为

$$\Delta X = Vt.$$

这种近似法是使摩擦力等于重力，因而加速度等于零。

没有人因为同一方程产生两组不同的解而想像到会引起自相矛盾的地方。对于描述粒子作用的方程式，我们也应该这样。在某种实验条件下，最好的近似法是使描述粒子作用的方程式变成类似于波动方程。在其他实验条件下，适当的近似法可以产生同描述坚实粒子性质相类似的方程式。在这

里，我们并不主张这个粒子“是”一种波或“是”一个硬粒子，它只不过是在特殊情况下表现出不同的样子罢了。我们也不应该把粒子想像成摇摇晃晃，像波那样运动。具有波的特性的是“几率函数”，而且此函数仅能预言找到给定粒子在一特定时刻处在某位置或某种速度值的机会。

图6表明粒子的波动性。这种干涉图样是由发射电子通过一个小孔产生的。当然，并没有电子真正沿波动的路径运动，但是电子的波样“分布”确是由描述波的数学来描述的，照片中明暗相间的线和水波或光波的干涉现象的效果类似。

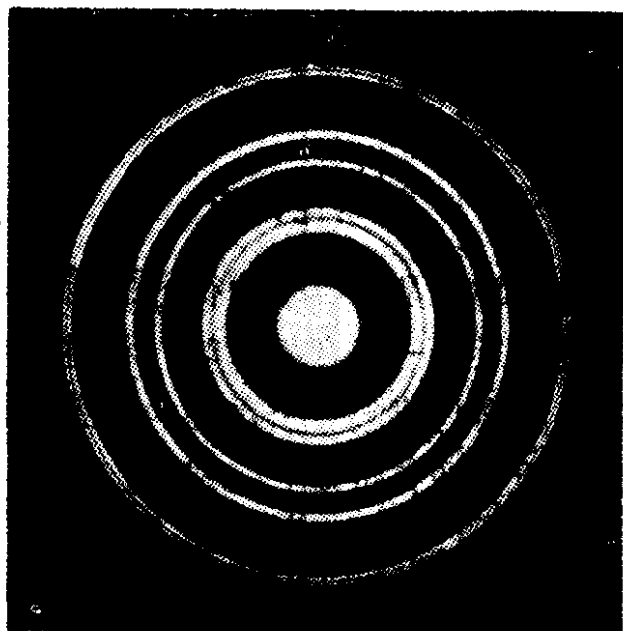


图6 粒子的波动性质

所有这些论述适用于电磁辐射的自然单位——光子，同样也适用于其他粒子。对波长较长的无线电波来说，最好是用波动模型。对高能X射线，粒子模型通常是最适合的。对于可见光，如果与它作用的物体的大小与它的波长大约相

等，波动模型就可对其效应给出简单的解释。例如，如果光穿过一个非常小的孔，它就会像波一样散播开来。反之，如果和光作用的物体与光的波长比较，显然很大的话，用粒子模型描述其效应就比较容易。

这两个模型的一个实用性的例子，可见于通过一个刀口的平行光（来自极远的源）所投射的阴影。初看起来，阴影有一个非常明确的边界，这可认为是粒子流要么通过刀口，要么被挡住。不过，仔细检查阴影边界就会发现，在一段很短的距离之内，阴影边缘并不清楚，而且包含一组很接近的光带和波动特征的阴影。然而，这里却没有“二重性”的问题。对于某些情况来说，用粒子模型来描述光是最好的，可是光有它本身的特性，它既不是波，也不是粒子。

相对论效应

粒子的另一个特征是，粒子的行进速度常常几乎和光一样快。当其速度趋近这一速度极限时，相对论效应（由狭义相对论所阐述）就会扮演起一个重要的角色。其中我们最熟悉的是，能量和质量变得可以相互转换，即

$$E=mc^2.$$

具有质量的粒子能够由其他粒子剩余的能量中创造出来，也能损失其质量而衰变回去。这种创造的一个例子见图7。这里有一高能量的X射线（或 γ 射线）将其全部能量转化为一正一负两个电子的质量和动能。其相反过程的例子可见图8。一个反质子（将在后面谈到）与一个普通质子碰撞，两者的质量全部湮灭而转变成一些新的粒子——介子——的质量和动能，而后介子又衰变，几乎把它们所有质量

用于产生更轻粒子的能量。

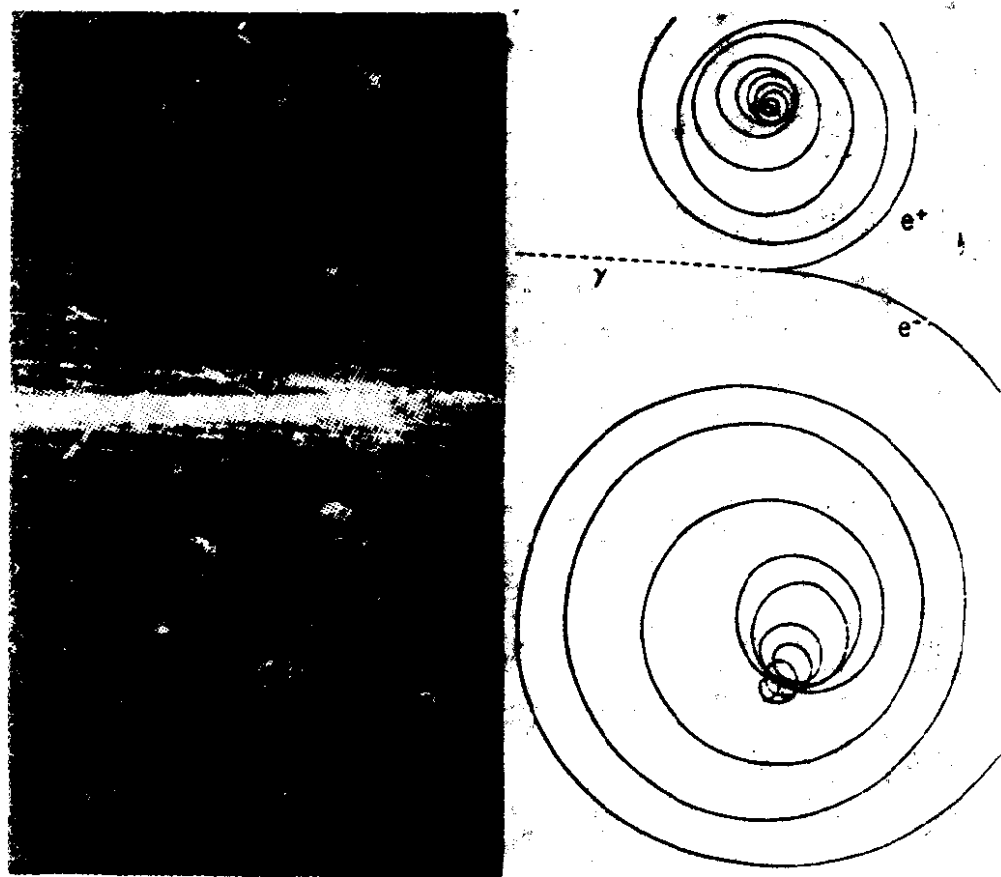


图 1 电子对的产生