



波呢, 还是粒子?

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}$$

IRANKE XUE XIAOCONGSHU

自然科学小丛书

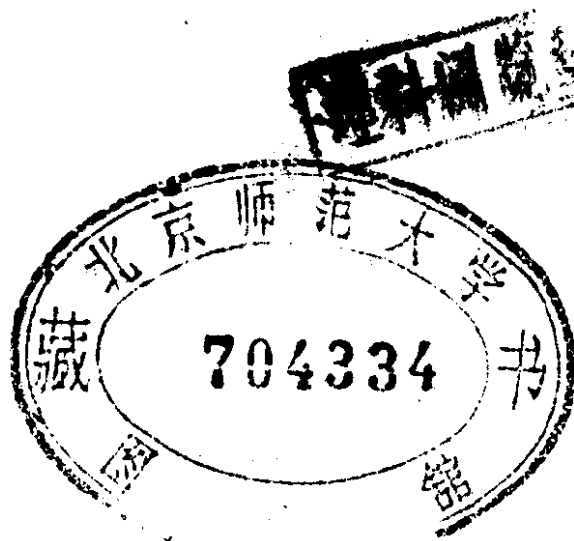
北京出版社

自然科学小丛书

波呢, 还是粒子?

张三慧

701162/07



北京出版社

自然科学小丛书
波呢, 还是粒子?

张 三 慧

*

北京出版社出版
(北京崇文门外东兴隆街 51 号)

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 2.25 印张 33,000 字

1980 年 5 月第 1 版 1980 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—15,000

书号: 13071·102 定价: 0.19 元

编辑说明

为了帮助广大青年、学生和工农群众学习自然科学知识，更好地为社会主义现代化建设服务，我们编辑了《自然科学小丛书》。

这套小丛书是科学普及读物，它以马克思主义、列宁主义、毛泽东思想为指导，用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点，结合生产斗争和科学实验的实际，介绍自然科学基础知识。在编写上，力求做到深入浅出，通俗易懂，适合具有初中文化水平的广大读者阅读。

由于我们水平有限，又缺乏编辑科学普及读物的经验，难免有缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

目 录

- 一 什么是粒子，什么是波？……………（1）
问题的提出（1） 粒子的经典图像（4） 电子是粒子（6） 常见的水波和声波（9） 波能绕弯传播——衍射（12） 两列波要相互干涉（13） 波的经典图像（15）
- 二 关于光的本性的早期争论……………（17）
古老的微粒说（17） 初期的波动说（19） 谁是谁非（21）
- 三 波动说的几近全胜……………（24）
波动说的大步前进（24） 波动说压过了微粒说（27） 光的电磁理论（29）
- 四 微粒说的复活——光子论……………（33）
特殊的媒质——“以太”（33） 根本没有“以太”（34） 光电效应的发现（37） 波动说遇到了困难（39） 光微粒再次登场——光子（41） 光子论（42） 关于波的新理解（45） 光的二象性（48） 思想上的启发（50）

五	实物粒子也有波动性	(52)
	关于实物波的猜想(52) 实物波的实验证明	
	(54) 电子波说明什么?(56) 不确定关系(58)	
	电子能瞄准吗?(60) 不大不小的 h 值(63)	
六	结束语	(66)

一 什么是粒子，什么是波？

问题的提出

大自然是物质的世界。呈现在我们面前的东西真是大小不一，各种各样，光怪陆离，气象万千。但是现代科学告诉我们，在广袤无垠的大自然里，从我们身边直到极远的宇宙深处，物质是以两种基本形式存在着的。一种我们叫做“实物”。它指的是日月星辰、鸟兽车船以及尘粒等。我们能直接看得见摸得着的实物叫做宏观物体。它们都有一定的大小，占据一定的空间。我们直观地感觉到它们是实实在在存在的东西——“实物”这个名称就是由此而来。科学已经证明：宏观物体是由很小的、人们不能直接看到的分子、原子，或者更深入一层，是电子、质子、中子等粒子组成的。这种粒子我们叫做微观实物粒子。

另一种物质的形式叫做“辐射”，也叫做“场”。这种形式的物质也是常见的。最常遇到而且是人类生活

不可缺少的就是光。它是从灯、太阳、星星等叫做光源的物体发出的。除了人眼能看到的“可见光”以外，还有人眼无法感知的不可见光。消毒用的紫外线，烘烤或作军事侦察用的红外线，都是不可见光。已经广泛进入人类现代生活的无线电技术，包括无线电广播、

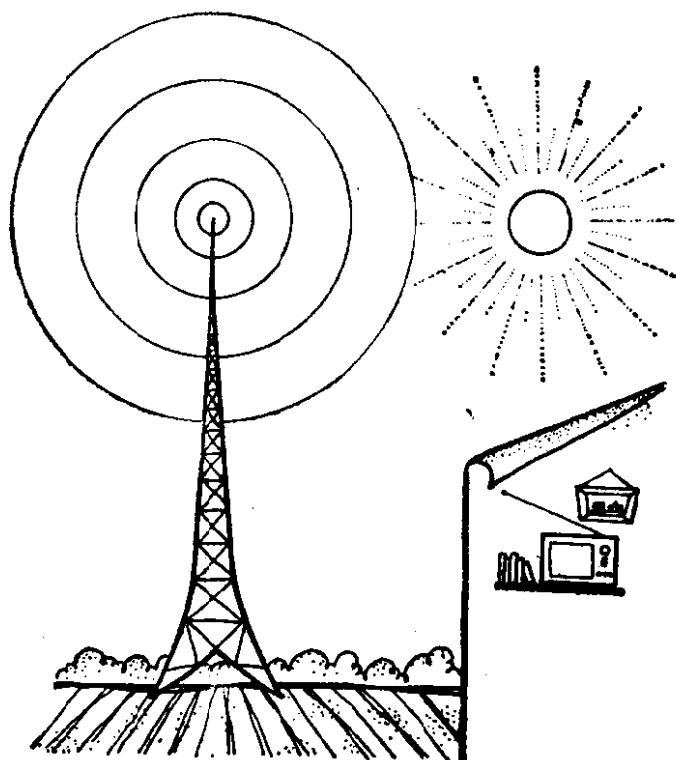


图1 实物与辐射

电视广播、人造卫星与宇宙飞行器的遥控与通讯联络都靠的是另一种不可见的光——无线电波(图1)。由于这些物质都是从某种源(如光源、无线电台、人造卫星等)向四外发射的，所以就把它叫做

“辐射”。又因为它们无所谓大小，总好象充满了空间，所以又把这种物质叫做“场”——无边际的空间的意思。说来也巧，就在十几年前(1965年)，的确发现了在整个星际空间都充满了一种温度极低的辐射。它的温度只比“绝对零度”高2.7度，叫做“3K背景辐射”。你看，尽管我们不能全看得见摸得着，但辐射

这种物质是多么普遍又多么重要呵！

千百年来，也可以说从有人类以来，人的一切活动就都是跟实物和辐射打交道。从古老的年代起，好奇的人类就开始发问：实物是什么？辐射又是什么？作为文明史的一部分的自然科学史中，就有一条线是为追求这个问题的解答而发展的。早期人们认为实物是由一颗颗粒子组成的，辐射也好象是这样。后来人们又认识到辐射是一种波，而波却是分布在空间中的振动。进入本世纪后，人们又发现实物也有波的性质。这样，两种物质就相互沟通，它们的本性也交织在一起了。这是怎么回事？物质到底是波呢，还是粒子？波和粒子是怎么结合在一起的呢？

围绕这个问题的探索是一个相当长期而又发人深思的故事。下面我们就大致按历史的顺序，以便于理解的方式向大家介绍这个问题是如何逐步得到明晰的答案的。

为了说明物质是波呢，还是粒子，必须先弄明白粒子和波各有什么特征。下面我们就先来说明，人们早先(从远古直到上一世纪末)对波和粒子是如何认识的。这种早期的认识就形成了波和粒子的古老的图像，在物理学上叫做经典的图像。

粒子的经典图像

人们总是首先通过直接感觉来认识物质的。首先，人们认识的粒子是一个个较小的物体，如石子、小球、弹丸等。当然，物体的大小只具有相对的意义。和几千米的射程相比，枪弹甚至炮弹都的确很小，因而可以当成粒子。和弹丸相比，飞机、轮船就是庞然大物；但是和它们在空中或海上的成千成万公里的航程相比，它们也小得很而可以当成粒子。地球和飞机轮船相比，其大小又不可同日而语了。可是，地球和它绕太阳运行的轨道相比，它又是微不足道而可以被认为是粒子了。这种能被人直接观察到的“粒子”，叫做宏观粒子。这种粒子的概念，牛顿把它叫做“质点”。

粒子的最明显的特点就是它的“集中性”。它的质量集中在一定的空间区域内，即粒子本身中。它运动时就具有动能。一个粒子的动能就由这个粒子集中地携带着。质量为 m 以速度 v 运动着的粒子，它的动能就是

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

一个粒子的动能跟它的质量以及速度的平方成正比。

关于宏观粒子的运动规律，早在十七世纪中叶就被牛顿发现了。那就是牛顿三定律。在说明粒子的运

动时,我们总可以指出它在任一时刻的位置和速度。在力学中,常用动量的概念代替速度的概念来说明粒子的运动。动量就是粒子的质量和它的速度的乘积。以 p 表示粒子的动量,就有

$$p = mv$$

速度是个有方向的量,因而动量也是有方向的。动量的方向就是速度的方向。这样粒子的特征就表现在:在任一时刻粒子既有确定的位置,也有确定的动量,二者能同时准确地测定。牛顿定律正是建立在粒子的这样的特征的基础上的。牛顿定律给出的关于粒子运动的规律告诉我们:如果知道了某一时刻粒子的位置和动量,再知道粒子此后所受的力,那么粒子此后任一时刻的位置和动量就完全确定而且可以预知了。这样的规律性叫做“牛顿力学规律性。”

粒子的上述特征和力学规律性可以用石子的上抛或斜抛运动

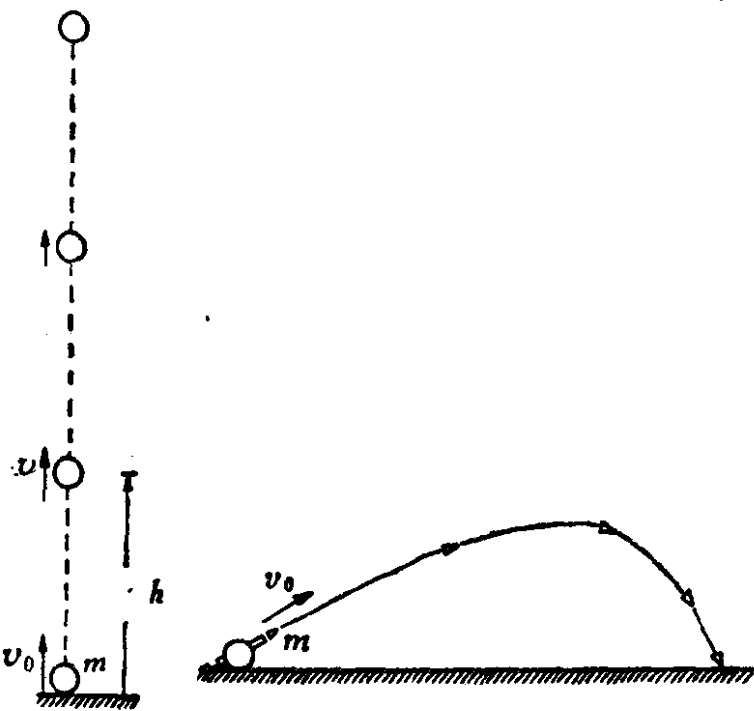


图2 宏观粒子的运动举例

来说明。例如从地面向上以初速 v_0 抛出一个质量为 m 的石子（图 2）。它在开始时刻的位置 ($h = 0$) 和动量 (mv_0) 都知道了。此后在重力作用下（我们忽略空气阻力）石子上升，速度逐渐减小，到达最高点，而后又回落。这整个过程中每一时刻石子的位置（以 h 表示）和动量 (mv) 都是完全确定的，而且可以根据牛顿定律计算出来。

人造卫星和人造行星的发射和控制也是利用了宏观粒子的这一特征。天然的卫星与行星的运行也同样地遵守牛顿定律。正因为这样，我们才能够准确地预言月亮或行星何时何处以多大的速度运动，并能精确地预报日蚀和月蚀。

总结起来，质量集中，具有一定的能量和动量，位置和动量能同时准确地确定，而且服从牛顿力学规律，这些就是经典粒子的特征或图像。

电子是粒子

随着科学的发展人们进入了微观领域，开始和分子、原子、电子这些微小粒子打交道。这些不能直接看到的东西真是粒子吗？它们具有宏观粒子的特征吗？是的，约·约·汤姆逊在1897年首先认定电子也是粒子。

在 1897 年前不久，人们已经发现了阴极射线现象。在一个玻璃管内安装两个金属电极，然后把里面的空气抽出来。当在两个电极之间加上高电压时，就发现有一种射线从阴极 K 发出射向阳极 A。射线本身是看不见的，但它在阳极背后的玻璃管壁上所投下的荧光亮斑却能看得见，并由此可以推断它的存在（图 3）。

这种射线就叫阴极射线。人们通过实验已经判定它是带负电的。但它究竟

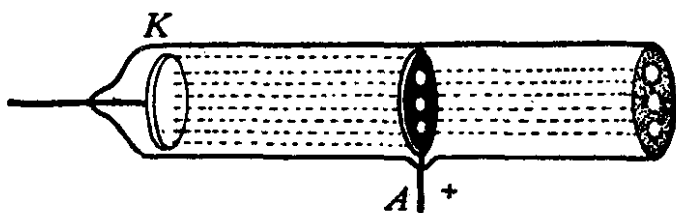


图3 阴极射线管

是什么东西，是一种连续不断的物质流动呢？还是由一个个粒子组成的射束？当时无法确定。约·约·汤姆逊就企图来解开这个谜。

汤姆逊用的阴极射线管如图 4 所示。管中封有两个平行的极板 D_1 和 D_2 。阴极射线从阴极 K 发出，一直从两个极板间穿过后就打到前面涂有发光材料的玻

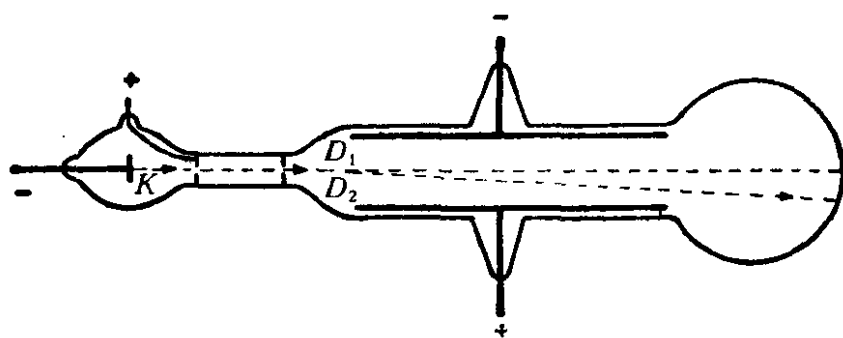


图 4 约·约·汤姆逊的实验装置

璃管的内壁上。他使两极板带电，在极板间就有了电场，同时在板间加上垂直的磁场，就能控制阴极射线的运动方向。阴极射线的运动可以根据荧光亮点位置的变化来分析。他按经典粒子的图像，根据电场和磁场的作用，应用牛顿定律来预言阴极射线的运动，结果和实验很好地符合。他由此认定阴极射线是由象子弹头那样的经典粒子组成的，当然质量要小得多(9.1×10^{-31} 千克)。由于它带电，所以就叫电子。电子就是这样被发现的。

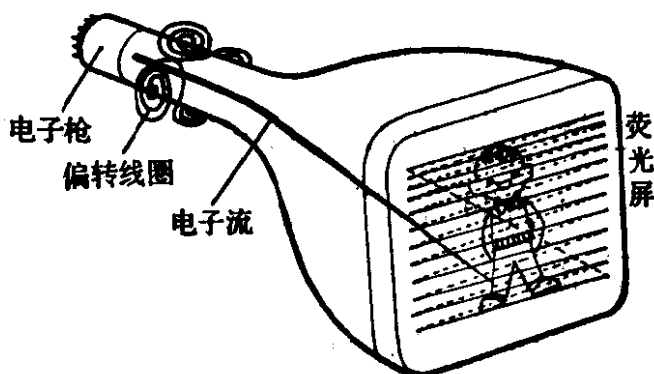


图5 显像管中的电子流

汤姆逊实验的原理，现在已经广泛地应用在电子显像技术中了。电视接收机是最常见的例子。抽成真空的

电视显像管的前面是一个荧光屏(图5)，电子打到上面时会发出白的亮光，而光的亮度由射到上面的电子数决定。显像管的尾部是一个叫做“电子枪”的装置，它能象机枪射击似地不断地向荧光屏发射高速的电子流。这电子流出“枪”口后要受到磁场的作用而偏转，因而能不停地很快地扫射整个荧光屏。电子流中电子的多少，受影像信号控制而不断地改变，因此荧光屏

上就有了明暗之分，活动的图像就这样显示出来了。

从电子的发现到广泛的应用，都说明电子是粒子。那末，电子是否真的象子弹那样的遵守牛顿定律的经典粒子呢？科学的进一步发展，给出了否定的答案。1927年，一些物理学家，包括约·约·汤姆逊的儿子等，用实验证明了电子的性质要复杂得多，它不仅具有粒子的性质，还具有波的性质。这是怎么回事？为了弄明白这一点，还需要把波的图像搞清楚。

常见的水波和声波

波是运动在一定媒质中传播的形式。

最常见的波是水波。向平静的湖面上扔下一个石子，湖面上就会以石子落水处为中心泛起一圈一圈的波（图6）。这实际上是石子引起的水面的振动向外传播。盯住一圈看去，可看到它逐渐扩大。后面又跟着一圈圈地向外扩展。由此可以看出：波具有不断扩展的广延性，并不能集中在一点。

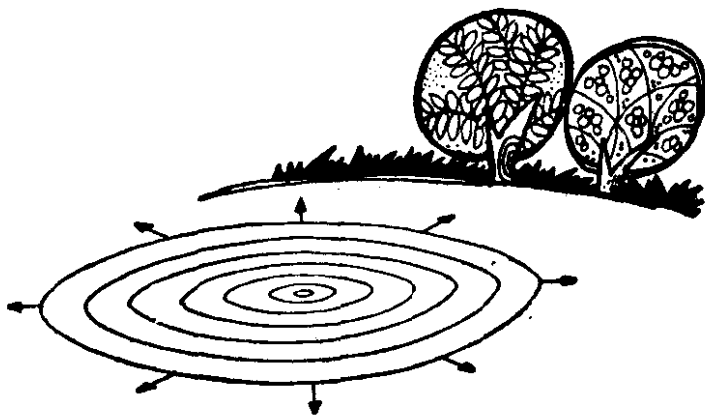


图6

波也具有能量。它的能量也是铺展开的，随着波

而传播开去。在一处水面上投石，当它引起的波传到另一处水面时，能使那里漂在水面上的木片也上下摆动起来，就说明波的能量由此处传到了彼处。波形成时，水面上各点都在上上下下地振动，上下振动的范围叫振幅（图7）。波的能量大小就决定于振幅，振

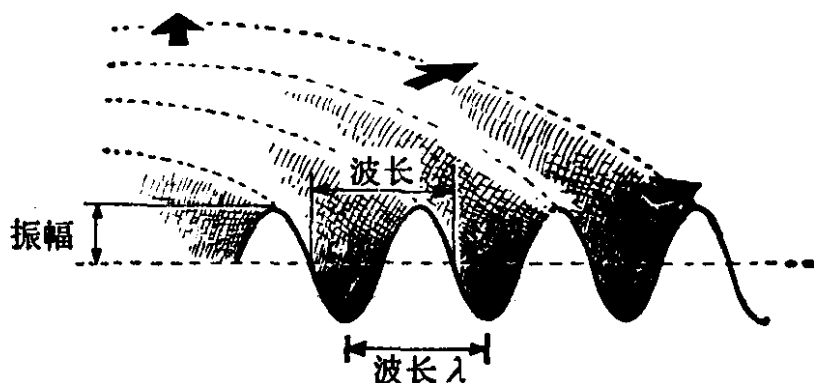


图7 波的振幅和波长

幅越大，能量越大。微风袭来，吹皱一池春水，这样形成的一片涟漪，它的能量是很小的。大海上的滔天白浪是有很大大能量的。海底火山喷发或地震时形成的海啸，则是能量更大的波。不要说近处的船只要被它颠覆，就是传到几千公里外的海岸时，它也还能推翻船只或房屋哩！

声音也是一种波——声波。声波就是声源引起的振动在媒质（通常是空气）中的传播（图8）。声波也具有能量。我们能听到声音，就是声源的能量以声波的方式传到了我们耳内，引起耳膜振动的结果。声波的能量也决定于振幅。震耳欲聋的噪声的振幅就很大，它

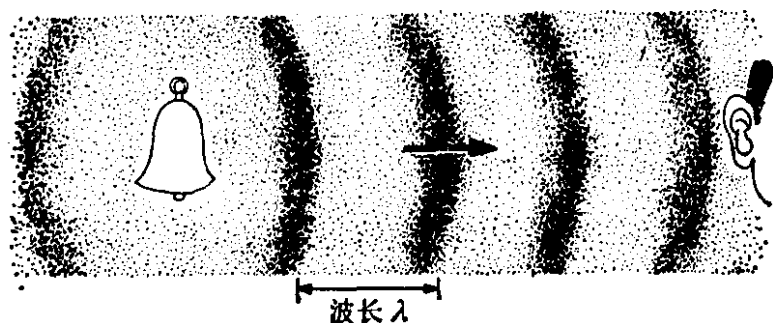


图8 声波

的能量达到了人耳难以忍受的程度。

细致地观察水波,就会发现它具有周期性。首先,水面上各点都在上上下下地振动(观看水面上漂着的木块可以看得更明显些)。这种振动不断重复,一秒钟内振动重复的次数叫波的频率,常用希腊字母 ν 表示,它的单位叫“赫兹”,一赫兹就是每秒振动一次。就整个波来看,有水波的湖面上有凸起,有凹陷,它们分别叫做波峰和波谷。波峰和波谷总是等距离地相间排列着。从一个波峰(或波谷)向外,每隔一定距离就又出现一个波峰(或波谷)。这也是一种周期性。两个相邻的波峰(或波谷)之间的距离叫做波长(图7)。不同的波,它们的频率或波长不同,湖面的水波波长从几厘米到几十厘米,海面上水波的波长从几米到几百米或更长。在声波中,平常说话或歌声的波长大约从几十厘米到一、两米。