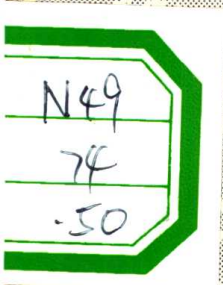


物质的基本粒子

〔苏联〕Л.Б.庫尔諾索娃等著



中華全國科學技術普及協會出版

本書提要

本書是从苏联“科学与生活”雜誌上連續發表的“电子”、“光子”、“質子和中子”、“中微子”、“介子”等文譯稿彙集而成。本書通俗地介紹了有关电子、光子、質子和中子、中微子、介子等物質的基本粒子的知識和它們的应用。为了帮助讀者了解“电子”一文中所提到的量子数，特請中國科学院物理研究所朱洪元先生撰寫“什么是量子数”一文，插入書中。

出版編號：368

物質的基本粒子

著者：Л. В. 庫爾諾索娃等
朱洪元 Л. А. 拉佐烈諾夫
М. И. 弗拉德庚 В. И. 波波夫
Н. Г. 比尔盖尔

原出版者：苏联НАИКА И ЖИЗНЬ雜誌

譯者：鍾志斌 民叶容
吳思慧 郭正誼

校訂者：金星南 鍾建安

責任編輯：徐克明

出版者：中華全國科學技術普及協會
(北京市文津街3號)

北京市書刊出版營業許可證出字第053號

發行者：新華書店

印刷者：北京市印刷一廠
(北京市西便門南大街乙1號)

開本：31×43 $\frac{1}{2}$ 印張：1 $\frac{7}{8}$ 字數：21,000

1956年7月第1版 印數：20,500

1956年7月第1次印刷 定價：(7)1角5分

电 子

苏联科学院列别傑夫物理研究所 Л. Б. 庫尔諾索娃

近几十年來物理学家發現了許多所謂实物的“基本”粒子。这些粒子就是質子、中子、电子、陽电子、中微子、各种質量的帶陽电、帶陰电或不帶电的介子，还有光子。要懂得原子內和原子核內的各种过程以及原子核反应，从而很好地掌握原子能，就得研究这些粒子的性質，研究它們之間的相互作用和彼此的轉化。为了弄清楚有关“基本”粒子的問題，我們先來說明电子的基本性質。

电子的發現和它的性質的研究的歷史，是很有意义的。物理学家在这方面的工作过程中，被迫放棄了許多習慣了的、但是就新的事实來說是陈旧了的观点。關於原子和構成原子的粒子的形而上学的观点被推翻了，这又一次証明了辯証唯物主义對於認識自然的看法的正确性。

上世紀末發現的电子是实物的最小粒子之一，它帶有陰电荷。以前，許多科学家認為原子是实物的最簡單的、不可分的、不变的粒子。电子的發現表明这种看法是不正确的。人們弄清楚了原子的構造是复雜的；它由在中間的帶陽电的原子核和環繞着原子核而旋轉的电子所組成。这个体系在一定条件下可以起根本的变化，甚至可以从一种元素的原子变成另一种元

素的原子。电子可能容易地离开原子而成为自由电子。例如从赤热的金属丝上可以飞出自由电子。在金属的原子中离原子核最远的电子与原子核结合得很不紧，这种电子可能从一个原子跑到另一个原子上去。电流就是由这些在金属中“旅行着”的电子所引起的。

电子具有电荷和磁性，所以它的周围有电场和磁场。1909年密里根第一次较准确地确定了电子的电荷的大小，这电荷等于 4.8×10^{-10} 绝对静电单位。以前科学家已经知道了电子的电荷和电子的质量之比(荷质比)。因此，当知道了电荷的大小，便不难确定电子的质量的大小。可是这里出现了非常奇怪的事情。电子的质量等于 9.106×10^{-28} 克。而一系列特殊的实验指出，只是静止的电子才具有这样的质量。假如电子是运动着的，那么它的质量就比较大；运动的速度愈大，质量的增加也愈大。后来才明白这种关系不仅是电子所具有的，实物的其它“基本”粒子都具有这种关系。旧的形而上学的质量的观念，认为质量好像是物体的不变的性质。由以上事实看来，这种观念是毫无根据的。质量，象任何其它的物理性质一样，是可以改变的；而事实上它正是在改变着的。在这种情况下，实物粒子的静止质量(或实物粒子自身的质量)同它的与运动相联系的和由电磁作用而产生的质量就有了不同。实物粒子的与运动相联系的和由电磁作用而产生的质量，是可以改变的，它依照一定的方式随着粒子的速度而改变。

质量可以改变，对于某些物理学家的形而上学理论还不是唯一的打击。实际上，当推翻了原子是丝毫不变的、绝对简单的、不可分割的陈旧观念之后，具有形而上学思想的科学家又

企圖把电子設想为構成宇宙的最后粒子。但是，电子質量的可变性的事实，証明电子不能設想为具有固定的性質的簡單粒子。这又一次証明了著名的辯証唯物主义的原則：在自然界中根本沒有任何原始的、永恒的、不变的物質；物質（甚至最微小的粒子）都是不可窮尽的。因此，在电子質量与电子速度的关系發現以后，列寧強調說，將來科学还要遇到电子的新的、大家都还不知道的性質，因为“电子象原子一样是不可窮尽的”。

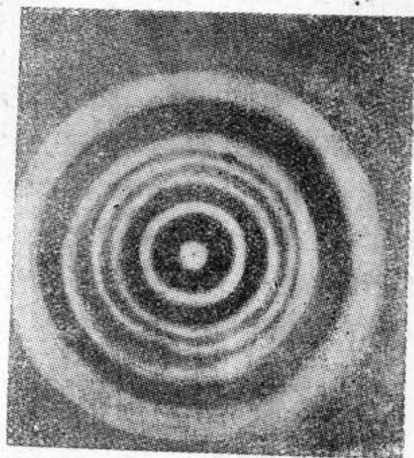


圖 1 电子有波动性質。这可以从电子的繞射現象中看出來。這張照片所拍攝的就是电子通过極薄的銀片而發生的繞射現象。

的确，随着电子性質的研究，得出了更出乎意外的結果。在 1926—1928 年間進行过許多实验，觀察到电子的波动性質。人們發現，一束电子射綫中途碰到了微小的障礙，便象光一样產生明顯的繞射現象，电子象光波一样繞过障礙。这也就是說，电子不是簡單的粒子，而是“粒子波”，同时它的波長也不是一定不变的，而是与电子的質量和速度有关系的。电子（正如其他的任何粒子一样）的質量愈大，运动的速度愈快，它的波長愈短。所以就这方面看來，电子是变化的，多样的，絕不是靜止的实物的“小球”。

研究电子繞原子核的运动，还發現了电子的更多的不同性

質。以前科學家認為每一個電子沿着嚴格的一定的軌道旋轉，而且軌道在空間的位置是不變的。但是正如所預料到的一樣，這些觀點都是錯誤的。

科學家首先證明，雖然電子不能沿着所有可能的軌道運動，而僅僅是沿着某些具有一定特征的軌道運動着，但是電子在一定情況下，在放出或吸收整數的能量子後，就從某一“容許”軌道轉移到另一軌道上去；所以為了要確定原子中電子的位置，首先應該指出電子所佔有的軌道的號數，或者換句話說，應該確定所謂主量子數。

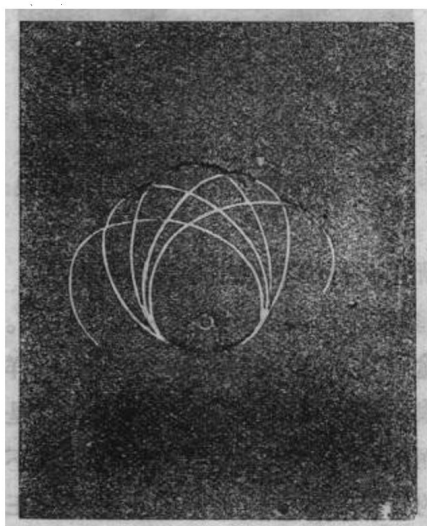


圖 2 電子在原子中的運動是非常複雜的。其中可以注意的是電子軌道本身也在繞原子核旋轉。因此電子的運動（如果向電子的軌道的平面上觀察的話）看起來是“花結”形的。

電子只是在特殊的簡單的情況下，才沿着圓形軌道運動。通常它是沿着伸長的橢圓形軌道運動着的。在同一个軌道號數（主量子數）下，電子可能按照圓形軌道和各種不同的橢圓形軌道旋轉着。橢圓的伸長程度是由第二量子數（角量子數）來決定的。此外，軌道本身也不是固定不動的，它由於電子的質量變化而繞着原子核旋轉。因此，電子的總的運動（如果向軌道平面上觀察這個運動的話）呈“花結”的形狀。

各个电子旋轉的軌道是在空間中不同的平面上的，这些平面之間構成不同的(但是一定的)角度。軌道分布的特性是由第三量子数(磁量子数)來決定的，因为軌道分布的特性是以各个电子繞原子核运动而形成的磁場間的相互作用为轉移的。

电子不僅繞原子核而旋轉，也繞它本身的軸而旋轉着。这样的运动叫做“自旋”。我們知道电子自旋可以有兩種方向，一种是順时針方向，另一种是反时針方向。第四量子数(自旋量子数)是表示自旋的。可是，这里應該記住，“自旋”不能归結为电子繞自己的軸作簡單的机械运动，而是电子內部状态的某种特殊性質。

1926年著名物理学家泡利提出一个普遍原理，指出原子的电子壳層里不可能有兩個四个量子数完全相同的电子。这就是說，每一个电子所作的运动与另一个电子的运动是不同的，至少其中有一个量子数是不同的。根据“泡利原理”，好象我們只要知道每一个电子在原子中的四个量子“座标”，我們就能徹底地和准确地完全描述这些“基本”粒子的运动了。然而，这还不是那么簡單。

为了要解釋电子运动的特殊規律性，大約在三十年前產生了新的量子力学(或波动力学)。按照量子力学，更正确地說，电子不是在精确的电子軌道上运动，而是在特殊的电子壳層上运动。电子大多处在这个壳層本身的中間部分，与一定的軌道相当的地位，但也有处在靠近壳層的內外緣的可能，不过离壳層正当中部分愈远，可能性就愈小。从这里可以知道，电子不僅本身的性質是多种多样性的，而且在原子中的运动也很复雜，这种运动，不可能归結为純粹的机械运动。

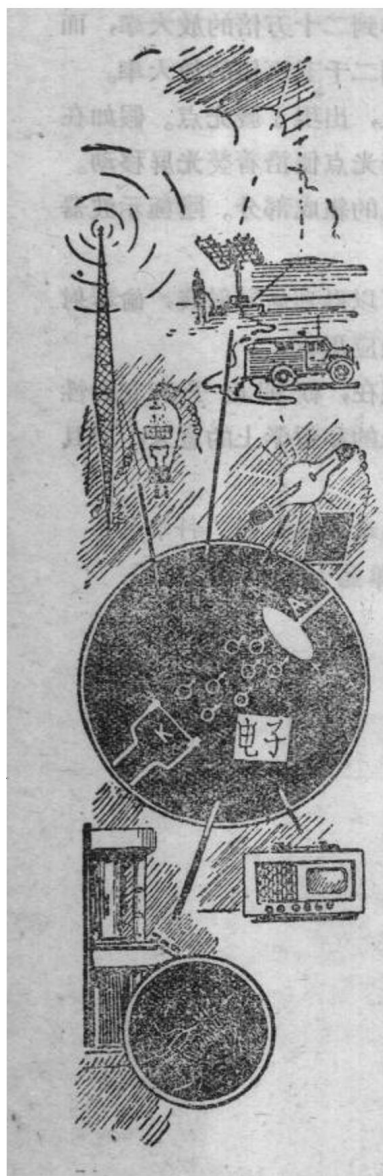
上面所說的還不足以說盡電子的特性。在研究電子與電子間、電子與其它粒子間的相互作用的过程的時候，以及在研究它包括電子在內的各种“基本”粒子的各种相互轉化的过程的時候，發現電子的很多新的特性。

電子和其它任何“基本”粒子一樣，它們的特性不僅是性質多和變化大，而且它們能變成性質不同的粒子，或者參與这种變化。

科學家早已從理論上知道陽電子的存在，陽電子與電子有相同的質量，但是與電子有相反的电荷（陽電荷）。1932年在宇宙綫里發現陽電子，知道陽電子的壽命是極短的，它與電子碰撞后即變成光子，也就是短波电磁輻射的粒子。這樣一來，電子和陽電子相互作用后，可以變成另一种完全不同的“基本”粒子——光子。光子具有一系列的特殊性質（沒有靜止質量，只以光的速度運動着等等）。

不應該認為電子的一切性質我們都已經知道了，因為電子是不可窮盡的。有關電子的許多問題科學上還沒有解決，例如目前還不清楚電子的大小。理論告訴我們，電子的直徑是很小的，比 10^{-60} 厘米還小。但是現代實驗技術還不可能測量如此微小的東西。現在只可以肯定說，電子的直徑無論如何是比原子核的直徑（ 10^{-13} 厘米）小。

我們也不知道，為什麼電子剛好具有象由實驗觀察到的那樣的質量和電荷，而不是其它任何數值的質量和電荷。關於各种“基本”粒子質量間的关系、它們內部的結構等等的一般科學概念還很不清楚。為了要發現原子世界內所有的秘密，現在各國成千上萬的物理學家正在努力地工作着。



对电子进行纯科学的研究，常常与技术上开始广泛地利用电子分不开。只要略举一些利用电子特性的重要领域，就足以说明电子在我们的生活中占有怎么重要的位置了。这里首先要提到的是许多利用电流的机器和仪器。其次是广泛地用在无线电技术、雷达装置、自动控制和远距离控制仪器等上的各种电子管。最新的电子计算技术迅速地发展着，但是这种技术没有特制的电子管和其它电子装置是不可能存在的。电子计算机使我们在做最复杂的计算的时候可以节省许多时间。

科学家也善于利用电子的波动性质。他们制成了电子显微镜。在电子显微镜里，人们用一束飞驰的电子代替光线。电子穿过各种“电子透镜”（即一定的电磁系统）会聚在焦点上，使极微小的物体的象放

圖 3 电子的实际应用非常多样。电子仪器是无线电接收机、无线电发射机，雷达机、电视装置、伦琴射线机、电子显微镜以及其他许多重要仪器的基础。

大。多虧這種電子光學，我們才能得到二十萬倍的放大率，而最好的光學顯微鏡只不過提供二千到二千五百倍的放大率。

電子射綫落在示波器的熒光屏上，出現了發光點。假如在示波器管的極板上加上交變電壓，發光點便沿着熒光屏移動。這樣的儀器是陰極示波器以及電視機的組成部分。陰極示波器使我們能夠觀察非常迅速的過程。

使迅速飛馳的電子停止下來，可以得到倫琴射綫，倫琴射綫在醫學和技術的許多部門中廣泛地應用着。

這樣，我們看出，不論過去和現在，研究電子和它的性質，不僅有很大的原則上的、理論上的和哲學上的意義，而且還給出重大的實用成果。

(鍾志斌譯自蘇聯“科學與生活”雜誌 1954 年 10 月號)

[附錄] 什么是量子数

中國科学院物理研究所 朱洪元

原子世界最顯著的特点之一，就是不連續性。例如，水銀在室溫下是液体，看起來似乎是連續的，可以任意分割的。但深入到原子世界去看，便發現水銀並不是連續的，並不是可以任意分割的。水銀是由一粒粒水銀原子組成的。而水銀原子却不能任意分割。將水銀原子分成兩半后，得到的便不再是水銀原子，而是兩個其他元素的原子了。

再举一个例子吧。各种原子的重量也是不連續的。最輕的原子是氫，它的原子量是 1.008。其次就是氦，它的原子量一下子就跳到 2.015。再其次就是氖，它的原子量又一下跳到 3.017。此后还是一步一步跳躍地增加，而不是連續地增加。

原子世界中許多性質都具有这种不連續性。我們可以称这种不連續性为“量子性”。

例如，电子在氫原子中运行的軌道也具有量子性。这就是說：电子並不能在任意的軌道上运行，而只能在一定的某些軌道上运行。这些軌道之間是不連續的。要是电子从一个軌道移到另一个軌道上去运动，这种轉移只能跳躍地進行，而不能逐漸地过渡。

氫原子中电子的結合能也具有量子性，它只可能是：

$$E_0 \text{ 或 } \frac{E_0}{4} \text{ 或 } \frac{E_0}{9}, \dots\dots\dots, \text{ 或 } \frac{E_0}{n^2} \quad (1)$$

其中 n 是一个正整数, $E_0 = 13.55$ 电子伏。(电子伏是一个十分微小的能量单位, 1 电子伏等于 1 个电子在电势差为 1 伏的电场中通过所得到的能量, 等于 1.6×10^{-12} 尔格。)因此, 氢原子中电子的结合能最大是 13.55 电子伏($n=1$)。其次就一下子跃降到 3.39 电子伏($n=2$)。再其次又一下跃降到 1.50 电子伏($n=3$)。它不可能具有(1)中所给数值以外的任何数值。

假使有一个在某一个轨道上运行的电子, 它的结合能是 $\frac{E_0}{n^2}$, 那么我们称 n 为这一轨道的“主量子数”(第一量子数)。

电子按照一定轨道运行而产生一定的角动量。(角动量, 又叫做动量矩。运动物体的质量 m 、线速度 v 和从某一轴綫到运动綫的垂綫的长度 r 三者的乘积 mvr , 叫做这个运动物体对于这条轴綫的角动量。)电子的角动量也是具有量子性的。它只可能是:

$$0, \text{ 或 } \sqrt{2} h, \text{ 或 } \sqrt{6} h, \text{ 或 } \sqrt{12} h, \dots\dots\dots, \text{ 或 } \sqrt{l(l+1)} h \quad (2)$$

其中 l 可能是任何正整数或零, 不可能是任何其他数值; h 是一个十分微小的角动量的单位, 是常数。假使电子按一定的轨道运动, 它的角动量是 $\sqrt{l(l+1)} h$, 那么我们称 l 为这一轨道的“角量子数”(第二量子数)。

电子由于轨道运动而产生的角动量在某一方向的分量也具有量子性。它只可能是 h 的整数倍。假使电子在某一轨道上运动, 由此而产生的角动量在某一个一定方向的分量是 mh (m 一定是一个整数), 那么我们称 m 为这一轨道的“磁量子数”(第

三量子数)。

电子在氫原子中按一定的軌道运动，具有一定的結合能、角动量和角动量分量，因此也就具有一定的主量子数、角量子数和磁量子数。知道了这三个量子数，也就將电子的軌道完全确定了下來。

但是电子除了沿着軌道运行以外，还能繞着自身的軸旋轉。以上所說的三个量子数只能决定电子运行的軌道，却不能决定电子繞着自身的軸的旋轉运动，因此还不能决定电子在氫原子中的全部运动。

由於电子繞自身的軸旋轉而產生的角动量叫做“自旋”。电子的自旋等於 $\sqrt{\frac{3}{2}}h$ 。电子自旋在一定方向的分量是具有量子性的，不是等於 $\frac{h}{2}$ 就是等於 $-\frac{h}{2}$ ，不能具有任何其他数值。我們称 $\frac{1}{2}$ 为具有自旋分量 $\frac{h}{2}$ 的电子的自旋量子数(第四量子数)， $-\frac{1}{2}$ 为具有自旋分量 $-\frac{h}{2}$ 的电子的自旋量子数。电子的自旋量子数知道了，那么电子如何繞自身的軸旋轉运动便确定了。

知道了主量子数、角量子数、磁量子数和自旋量子数四个量子数，电子在氫原子中的运动便完全确定了。

光 子

苏联数理科学副博士 Л. А. 拉佐烈諾夫

大家都知道光把能量送到很远的距离。光的能量与实物互相作用后就成为热的形式：被照射的表面就会热起来。这种能量的运送是怎样发生的呢？

根据上世紀已經建立的学說：光是电磁波，它用很高的速度（在真空中每秒鐘約 300,000 千米）傳播着。用波动学說對於解釋下列許多現象是有利的：例如對於光的折射、干涉（就是光波的重疊，在空間某些点光波被加强，在另一些点光波被削弱）、繞射（光波繞过微小的障碍物）和某些其他現象。

向四周傳播着的电磁波是运送着从光源所發出來的能量的。現在已經确知，有許多波長不同的电磁波存在着。例如無線电波具有从几千米到十分之几毫米的波長。可見光具有万分之四到万分之八毫米的波長，而放射性物質放射出來的 γ 射線的波長却短到不及可見光的波長的万分之一。

但是随着科学的繼續進展，許多新的現象被發現了，这种新現象是不可能从光的波动学說的观点來理解的。这些現象中的一个就是 1887 年德國科学家赫芝所發現的並且由俄國科学家 А.Г. 斯托列托夫詳細研究过的光电效应。在光的作用下，实

物（例如金屬表面）就会放出电子，这就是所謂光电效应。从波动学說的观点來看，“打出來”的电子的速度應該与光的强度有关。但是实验証明並不是这样。在很弱的光綫照射下，电子仍然是用和在强光照射下同样的速度飛出來，不过每單位時間內放出來的电子数目却減少了。为了要解释这个事实，就不能不假設光能量是以固定的一分一分（量子）傳遞給电子。从这个观点來看，光是具有固定能量的粒子流，並且由光的强度來决定这种粒子的数目，光的这种粒子就称为光子。

在以后的研究中，明白了从金屬表面“打出來”的电子的动能和照射的光波的頻率有关。这样就得到下列結論：光子的能量与光波的頻率成比例（頻率就是每秒鐘振动的次数）。

以后确知，不僅是光，其它形式的电磁輻射（例如 γ 射綫或倫琴射綫）都是光子流，不过这些光子所帶的能量比可見光的光子所帶的能量要大許多倍。

C.И.瓦維洛夫院士關於强度極微弱的光的特性的研究，就是証明光子存在的許多实验中的一个。原來我們的眼睛具有一种特性：在一定的条件下，能將眼睛的感受性增大到几十万倍。大約在黑暗中耽了一小时之后，我們可以看見距离200千米远的硬脂酸蠟燭的火焰，这时候到达眼睛的視觉感受部分的全部光子每秒鐘只有几十个。如果在暗室中安置一个很弱的光源，从極小的孔隙中去观察它，就会有極少数的光子進入眼睛，这时候光子的数目可以少到接近視閾（視觉的感受限度）。光子的数目如果對於它的平均值有所偏离，就会使我們感到閃爍。

不錯，我們的眼睛能將視觉印象保留一些時間，这样就会

使閃爍的現象模糊起來。所以，要在光源和觀察者中間放置一個帶有小孔的轉動圓盤。當小孔正對着眼睛的時候，觀察者就感覺到閃光。但這不總是如此。有時候由於光子數目偶然的漲落，在閃光的時候，光子的數目減少到眼睛不能感覺的程度，觀察者就不會看見閃光。光源的亮度如果逐漸減低，看不見閃光的次數就會逐漸增加，這種情形已經由實驗証明了。因此我們感覺到閃光或是感覺不到閃光，完全是由於網膜最敏感部分受到的光子的數目有着不很大的差別的結果。

作為實物粒子的光子和實物的原子互相作用。隨著光子的能量不同，這種互相作用的特點也有所不同（或者，換句話說，

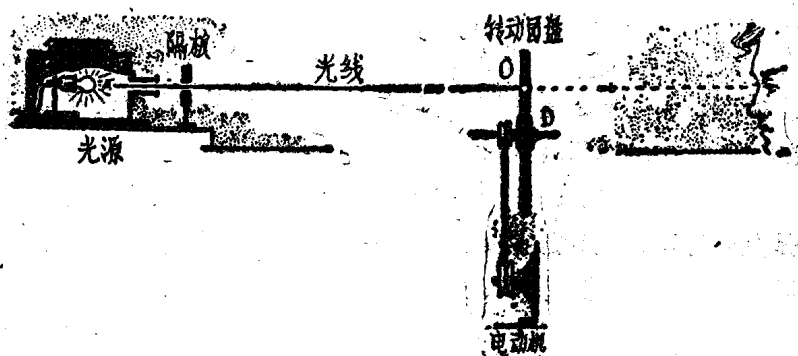


圖 4 用肉眼觀察少數光子羣的儀器裝置簡圖
A—一種微弱的光源；D—每秒轉一周的圓盤；O—圓盤上的小孔，光綫通過它射入觀察者的眼中，每秒鐘一次。

隨著決定光子能量的電磁輻射波長而改變）。大家知道，原子是由重的原子核和圍繞着它旋轉的电子所構成的。因為原子核帶陽電，电子帶陰電，所以在它們間就有吸引力在作用着。电子的位置距離原子核愈近，使电子與原子核“脫離”並離開原子

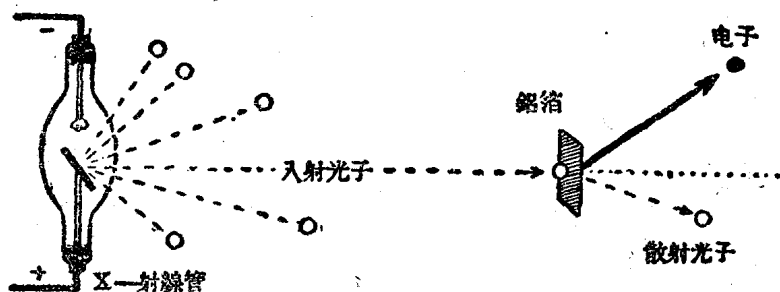


圖 5 光子和別的基本粒子，特別是電子互相作用。例如倫琴射綫的光子穿過鋁箔，按照彈性碰撞的規律和電子相撞。結果光子將它的一部分能量傳遞給電子，光子和電子就按照一定的角度從鋁箔散射出去。

所需要的能量就愈大。從原子外面飛進來的光子，把它的全部能量給予了一個電子，就可以使電子跳到距離原子核較遠的另一條軌道上去。這樣被“激發”的原子就儲藏起來了附加的能量。這附加的能量就等於被吸收的光子的能量。當電子跳回到原來的軌道上來的時候，就放出帶有恰巧同樣的能量的光子。觀察由於原子激發所形成的發射光譜，我們就能夠深入洞察原子的電子壳層構造的特征。

如果光子具有足夠的能量，並且把它的全部能量傳遞給電子，它就能使電子完全“脫離”原子。由於失去電子而帶正電的原子稱為離子，而這種使電子“脫離”原子的過程稱為電離。離子和電子結合，又能重新變成中性的原子。

電磁波的頻振愈高（因而波長愈短），光子擁有的能量就愈大，它的粒子特性也就愈加顯著。例如當 γ 射綫的光子與電子碰撞的時候，這種特性可以很顯明的看出來。 γ 射綫的光子的能量，遠超過使電子“脫離”原子所必需的能量。這種碰撞好像彈性球的碰撞。結果光子的一部分能量傳遞給了電子，電子