



## ——物质结构深处的新的矛盾

柯 之

不是由原子核和周围环绕运转的电子组成的吗？电子怎么会掉到原子核里去呢？

吕：不是开玩笑。今天我们大家都知道了原子的结构，就没有人再提电子为什么不掉到原子核里去这个问题了，可是当初开始研究原子结构的时候，这真是

玲：叔叔，好久没听你讲故事啦。上几次你给我讲了那么多“基本”粒子的故事，我常常想，这“基本”粒子世界真是一个特别的世界，其中的各种现象和我们日常见到的各种现象大不一样了。

吕：小玲，你说说看，“基本”粒子世界的现象的主要特点是什么？

### “基本”粒子世界的现象的主要特点

玲：首先是特别小。

吕：说的对，还有呢？

玲：还有就是能量高。而且好象越是物质结构深处的现象，它所牵涉到的能量也越高。比如你最近一次讲的新粒子的发现，产生这些新粒子所需要的能量比从原子核里打出质子和中子所需要的能量高得多。

吕：不错，你算是把“基本”粒子世界各种现象的两个主要特点抓住了。第一，这些现象都是在极微小的时空范围里产生的，所以又叫做微观现象。刚才你只讲了空间范围很小，其实产生这些现象的时间间隔也是极其短暂的。

玲：我想起来了，上次你讲原子核的“年”只有 $10^{-22}$ 秒，“基本”粒

子大家庭中的绝大部分成员的寿命都是短得出奇呢。

吕：就是啊！还有，你讲第二个特点是高能高速。光子和中微子就是“基本”粒子大家庭中高速的代表，它们永远以每秒30万公里的速度前进。总的说来，“基本”粒子世界的现象又可称为“微观高速”现象。

玲：微观是“小”，高速是“快”，“小”和“快”都只代表量的变化。可是叔叔，你前次不是讲过有质的变化吗？

吕：这是一个很好的问题。小玲，你知道量变会引起质变。“基本”粒子世界也是这样，在微观和高速的特殊条件下，就有了质的变化，就出现了新的特殊的矛盾。伟大领袖毛主席教导我们，“矛盾的普遍性即寓于矛盾的特殊性之中”。“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。”

玲：那么，“基本”粒子世界的特殊的矛盾性是什么呢？

吕：我们就先从电子为什么不掉到原子核里去讲起吧。

### 电子为什么不掉到原子核里去

玲：叔叔，你别跟我开玩笑啦，原子

一个大问题哩！

玲：是这样吗？

吕：小玲，你听说过有些人造卫星在绕地球转了一段时间之后，又自己掉回到地球上来的事吗？

玲：我听老师说过，在地球周围大气层之外，还有少量的气体分子和宇宙尘包围着，有些轨道不太高的人造卫星，在这些气体分子和宇宙尘的阻力之下，速度渐渐变慢，经过一段时间之后，速度慢到小于第一“宇宙速度”（每秒7.9公里），它就抗不过地球的引力而掉到地球上来了。老师还说，这些人造卫星在进入离地面几十公里范围的稠密大气层以后，由于和空气剧烈摩擦而产生高温，结果就烧成碎片再掉下来。可是，叔叔，原子核周围有什么阻力呢，为什么说电子会掉到原子核里去呢？

吕：当初人们提出这个问题也是有道理的，因为运动的电子在拐弯的时候，或者在振荡的时候，都会由于放出光子而失去能量。例如在X射线管中，高速的电子打钨靶，在经过钨原子核近旁时，由于钨原子核的吸引，电子会突然拐弯而放出X光（图1）；又例如，在无线电台

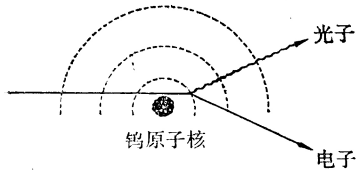
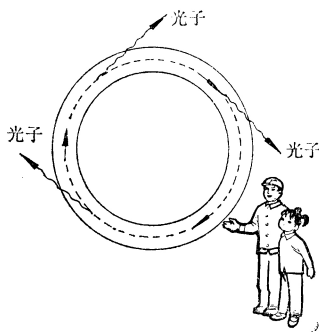


图 1

的发射天线中，电子由于来回振荡而放出无线电波。还有，在圆形电子加速器中，由于电子连续转圈，它也会放出光束(图2)，因为连续转圈就是不断拐弯。利用这个道理，可以建立光子工厂。



玲：照这么说，电子在原子核周围绕圈，也应该放光了。

吕：是啊，当初人们就是这么想的：电子在原子核周围绕圈，它就应该不断地放出光子，并且因此而不断失去能量……

玲：老师说，人造卫星的速度和动能如果越来越小，它的轨道半

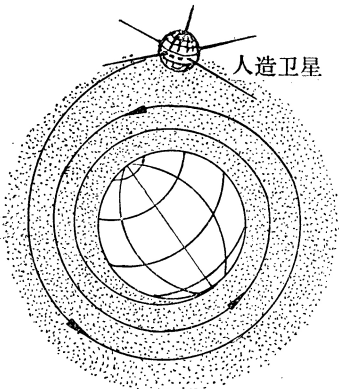


图 3 人造卫星受地球周围气体分子和宇宙尘的阻力而逐渐减速，终于被地球吸回到地面上。

会越来越小，结果走成一条螺旋线，最后落到地球上。

吕：电子在原子核周围运转时，如果不断放光而失去能量，它也会走成一条螺旋线。

玲：叔叔，你这么讲，我也要问为什么电子不掉到原子核里去了。

### 束缚状态的电子和驻波花样

吕：这是因为在原子这个 $10^{-8}$ 厘米直径的小范围内，已经不能再把电子看作是一个古典力学(也就是牛顿力学)的粒子了，电子的波动性已经开始起重要的作用了。

玲：为什么呢？

吕：以前我和你讲过，人造地球卫星需要一个速度，用来对抗地球的吸引力，叫第一宇宙速度。如果电子是一个古典力学的粒子，象人造卫星那样绕着原子核转，那它必定也需要一个速度，用来对抗原子核的吸引力。

玲：这速度要多大？

吕：大概每秒两千多公里。小玲，你记得吗？以前我们讲电子的波动性和电子显微镜的时候说过，电子的速度越大，波长就越短。速度每秒二千多公里的电子的波长是多少呢？恰好是 $10^{-8}$ 厘米的数量级。

玲：哟，那不是和原子的大小一样了吗？

吕：就是啊！所以说在原子里面把电子看做是古典力学的粒子是不行的，它的波动性在这里起重要作用。另外我们也不要忘记，原子中的电子被原子核紧紧吸引着，处于被束缚的状态，所以电子的波不能随便从原子中跑出来。什么样的波有不能随便跑走的性质呢？只有“驻波”才有这种性质(图4)。

玲：什么叫驻波呢？

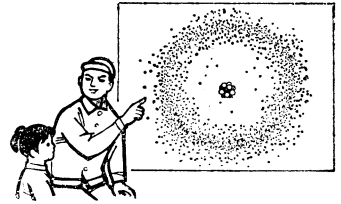


图 4

吕：小玲，你会跳绳吧？我这里有一条绳子。我先把这根绳子放在地上，我拿住绳子的一头，用手上下抖一下，……看，一个波沿着绳子很快地跑到你那边去了(图5)。这种不断往前跑的波叫行波。现在你拿住那一头，咱们再来甩绳子，……看，这根绳子上除两端外每一点都在转圈，但整个波形是不往前跑的。这就是一种驻波(图6)。现在我再甩快些，你不要动……

玲：嗨，变成两节了(图7)。

吕：你看，这根绳子除了两头和当中一点外，每一点都在转圈，但整个波形也是不往前跑的。这也是一种驻波。你再看，……

玲：叔叔你甩得真快，变成三节，……又变成四节了，……

吕：三节也好，四节也好，……这些都是驻波(图8)，波形都是固定不往前跑的。小玲，你有没有看出来这条绳子上的驻波有一个什么特点。

玲：是一节、二节、三节、四节……有特定的波动花样。

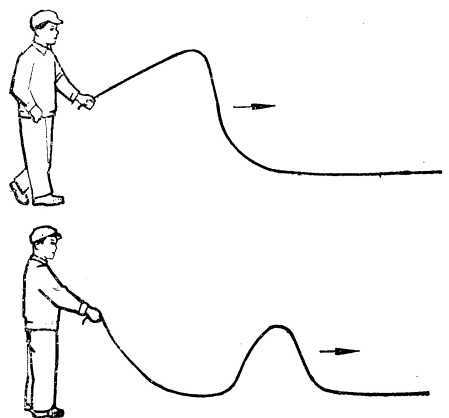


图 5 一个行波可以不断往前跑。

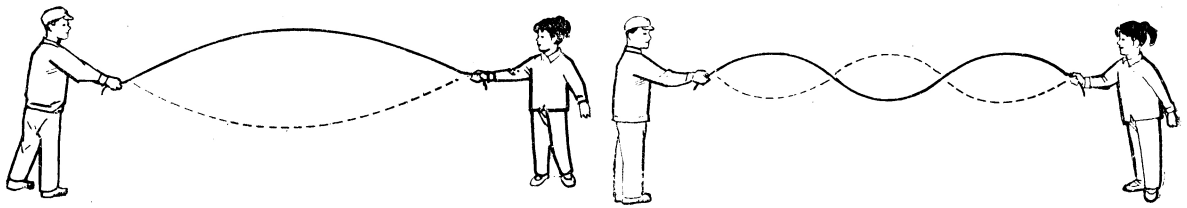


图 6

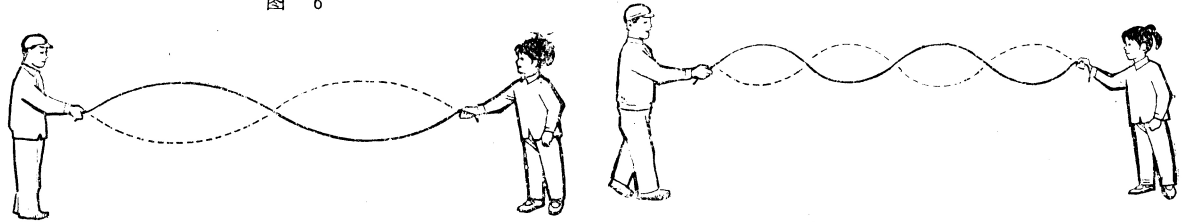


图 7

吕：对了。不仅一根绳子上的驻波有刚才说的特性，其他更复杂的驻波也有类似的特性。这就是说，它们只能是按若干种特定的波动花样来振荡的。例如往鼓面上撒一些砂粒，打鼓时它们就会随着鼓面的振动而显出一些花样，因为鼓面的振动也是一种驻波。

玲：既然束缚在原子中的电子的波是驻波，它们就要有特定的波动花样了吧？

吕：对呀，这就回答了刚才的问题。第一，在原子中，束缚在原子核周围的电子的波动性起重要作用，因此它决不会象一颗人造卫星那样沿着一条螺旋形的轨道运动。第二，束缚在原子核周围的电子波必定有一定的驻波花样，它既不会无缘无故跑到原子外面去，也不会无缘无故钻到原子核里面去。小玲，以前我给你看过一些电子云的花样，它们都是电子波的驻波花样（见《对话》②）。这里画的也是电子波的一些驻波花样（图10）。它们都可以用量子力学的方法求出来。每一个驻波花样代表原子中的电子的一个运转状态，每一个运转状态都有一定的能量。

玲：照这么说，每一个驻波花样都有一个能量了？

吕：对，把这些能量按高低排列起

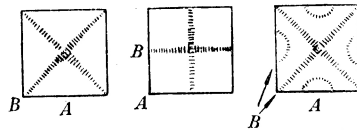
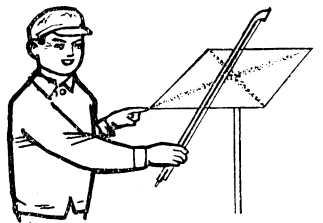


图9 一片中心固定的黄铜片上，撒一些细沙。用提琴弓弦摩擦黄铜片的边缘，并用手指碰着黄铜片边缘的不同地方，细沙就会随着黄铜片的振动而显出一些花样，这也是驻波花样（A是弓弦接触处，B是手指接触处）。

来画成图表，就象一个梯子，每一个能量就叫一个能级（图11）。从这可以看到束缚态电子和自由态电子的不同之处：自由态电子的能量可以连续变化，例如在电子加速器里，电子的能量就是逐渐地连续增上去的。而束缚态电子的能量就不可能连续地变化，它只能从一个能级跃迁到另一个能级（对应于从一个驻波花样跃迁到另一个驻波花样），而决不可能跃迁到两个能级之间，……等等。因为没有这样的驻波花样，就好象刚才甩绳子，驻波只能是一节、两节、三节……不能一节半、两

图 8

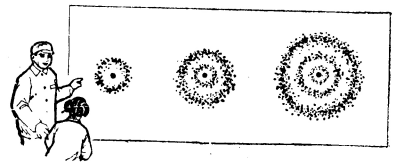


图10 氢原子中电子的一些驻波花样最左边的驻波花样平均离原子核最近，最右边的有三道波纹，平均离原子核比左边的要远。

节半……。行波就不受这个限制，行波的波形可以是随便什么样的（图12）。原子中的电子的这些性质既来源于它的波动性（能级由驻波花样来定），也来源于它的颗粒性（电子有确定的电荷，被原子核所吸引，从而形成束缚态，这个事实反映了电子的颗粒性），实际上原子中电子的运动和跃迁，正好是电子的颗粒性与波动性这一对矛盾又斗争又统一的结果。

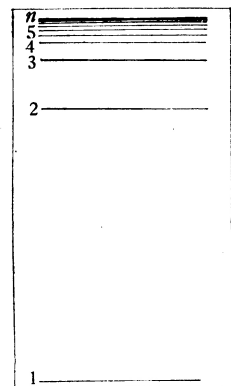


图11 氢原子的能级

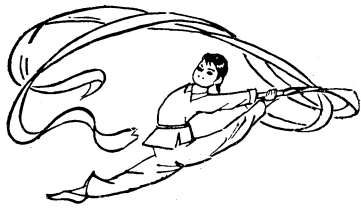


图 12  
绸带上的波动是行波,行波的形状  
不象驻波那样受限制。

### 量子状态、跃迁和不相容性 费米子和玻色子

玲: 刚才讲的是氢原子, 其中只有一个电子。如果是其他原子, 其中有很多电子, 这些电子的波是不是也是驻波呢?

吕: 是的, 每个束缚态电子的运转状态都是一个驻波状态, 这种状态一般称为量子状态。在包含很多电子的原子核, 因为原子核的正电荷比较大, 而且电子与电子之间也有同性电的排斥力, 所以这些电子的驻波状态和氢原子核一个电子的驻波状态既有相同之处, 也有不同之处。

玲: 上次我看到一本书, 书上说原子核的电子是在一个一个轨道上运转的, 这些轨道和量子状态一定有什么联系吧?

吕: 那是一种习惯的说法。但是, 刚才讲了, 原子核的束缚态电子的波长和原子核的大小相仿佛, 不能用古典力学的粒子去看待这些粒子。所以在原子核, 古典力学的粒子轨道的图象失去了意义。

玲: 那本书上画了好几条轨道, 有的离原子核近, 有的离原子核远, 这和量子状态有什么关系吗?

吕: 是有关系, 那里每一条轨道其

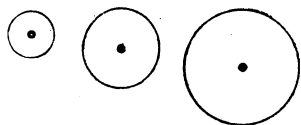


图 13 图 10 中的三个驻波花样  
可以用三条轨道来代表。

实就代表一个驻波花样, 也就是代表一个量子状态。有的驻波花样和原子核的平均距离近, 有的驻波花样和原子核的平均距离远。所以轨道就有的离原子核近, 有的离原子核远。离原子核近的轨道所代表的量子状态的能级较低, 离原子核远的轨道所代表的量子状态的能级较高。

玲: 这倒和前次讲的人造卫星一样, 人造卫星发射得越高, 离地球越远, 所需要的能量也越大。能量大到一定程度, 人造卫星的速度达到了“第二宇宙速度”, 它就脱离地球引力的范围, 不再绕地球转了。

吕: 是啊, 前次还讲过用光子把电子从原子核打出来。如果光子能量不够大, 但又不太小, 那末它虽然不能把电子打跑, 却也可能把里面轨道上的电子打到外圈轨道上去, 也就是说, 使电子从较低能量状态的驻波花样跃迁到较高能量状态的驻波花样。反之, 在较高能量状态的电子也能够跃迁到较低能量状态, 同时放出一个光子。这光子的能量恰好就是电子从较高能量状态跃迁到较低能量状态的过程中所失去的能量。所以总的能量没有变。这是前次说过的能量守恒的又一个例子。研究原子光谱的科学工作者就是根据原子放出的各种光子的能量(光波频率)来推断原子中的电子的各种能量状态(能级)并识别各种原子的。

玲: 叔叔, 经你这么一说, 我倒想问一个问题: 刚才说电子不能掉到原子核里去, 这我懂了。可是, 在有很多电子的原子核, 是不是所有的电子都可以一方面放出光子, 一方面跃迁到最低能量的量子状态中去呢? 换句话说, 它们虽然不能掉到原子核里去, 但它们能不能全都掉到最里面的轨道(即最靠近原

子核的驻波花样)中去呢?

吕: 小玲, 这个问题问得很有意思。要回答这个问题还是要通过科学实验的实践。研究原子光谱的科学工作者们发现, 原子核的电子不可能全都掉到同一个最低能量的驻波花样中去, 而且每一个驻波花样最多只能有两个电子。

玲: 哟, 这又是什么道理呢?

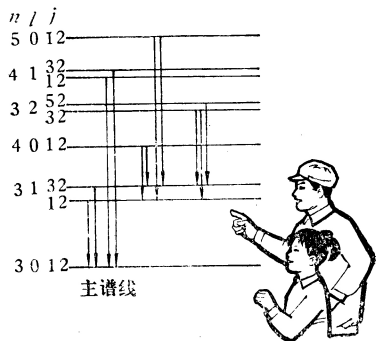


图 14 钠原子最外面的电子的能级。带箭头的直线代表能级间的跃迁, 每一个跃迁相应于钠的光谱中的一条谱线。

吕: 人们发现, 这两个电子的驻波花样虽然相同, 但是它们的自旋方向却是相反的。因此, 这两个电子仍然是处于不相同的运转状态(量子状态)。

玲: 照这么说, 原子核里面任何两个电子都不能处于相同的运转状态了。

吕: 对了, 这就叫电子的不相容性。

玲: 这倒有意思了, 别的粒子也有这种性格吗?

吕: 也有。凡是自旋为  $\hbar/2$  的奇数倍的粒子(即  $\hbar/2$ 、 $3\hbar/2$ 、 $5\hbar/2$ ……)都有这种不相容性。这一类的粒子统称为费米子。它们都服从费米统计, 就是说, 每一个运转状态只能有一个粒子。电子、质子、中子、 $\mu$ 子、中微子的自旋都是  $\hbar/2$ , 都是费米子。自旋为  $\hbar/2$  的偶数倍的粒子(即  $0$ 、 $\hbar$ 、 $2\hbar$ ……)都没有这种性质, 如光子、 $\pi$ 介子等等, 这一类的粒子统称为玻色子。它

们都服从玻色统计,就是说,每一个运转状态的粒子数不受限制。

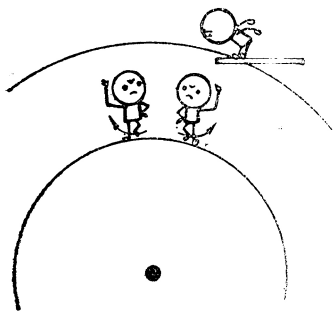


图 15 每一个轨道只能装两个电子,它们的自旋相反。装满两个电子后,就不允许第三个电子再跃迁到这个轨道中去。

### 粒子和反粒子是一对矛盾

玲: 刚才讲的都是和“小”(微观)这个特点相联系的。可是“基本”粒子世界不是还有一个特点“高速”吗,和“高速”这个特点相联系有些什么矛盾呢?

吕: 在物理学里,“高速”现象又称为“相对论”现象,因为“狭义相对论”就是专门为了研究高速现象而提出来的。一个静止的观测者和一个高速运动的观测者所看到的同一个粒子的运动行为当然是不同的。但是,按照狭义相对论,这两个不同的观测者所看到的粒子或粒子波所遵循的运动规律(表现为粒子或粒子波的运动方程式)却必须是完全等同的。就这一点来看,“相对论”也可称为“绝对

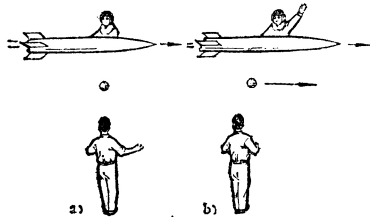


图 16 a、静止的观测者看见粒子是静止的,高速飞行的观测者看见粒子是高速向后飞。b、高速观测者看见粒子是静止的,静止观测者看见粒子是高速向前飞。

论”,因为它承认客观运动规律具有某种绝对性,是不随观测者而改变的。

玲: 叔叔,我看这是有道理的,运动规律是客观存在的,如果它随观测者不同而改变,那还叫什么规律呢?

吕: 说的对。运动规律不随观测者而改变的性质简称为“相对论协变性”。

玲: 运动规律的相对论协变性产生了什么样的实际后果呢?

吕: 不说别的后果,只说其中有一个后果,就是预言了反粒子的存在。

玲: 这是怎么回事?

吕: 是这样的,如果把粒子波的运动方程写成相对论协变的形式,就会发现它的解的个数(即驻波花样的种类数和行波的种类数)要比非相对论协变形式的方程的解的个数多一倍。具体说,除了有代表质量大于0,动能大于0的电子的各种解之外,还有代表质量小于0,动能也小于0的电子的各种解。

玲: 质量小于0是什么意思?

吕: 就是说,这种状态的电子具有负质量,地心引力对它的作用不是引力,而是斥力。所以,如果真有这种电子,它就会自动飞离地球。

玲: 这倒好,发射人造卫星不需要火箭了,只要多装点负质量的电子就行了。

吕: 可是实际上负质量的电子并没有找到。人们进一步地分析,才发现这种表面上具有负质量的粒子有联系,这种粒子的质量和电子相同(大于0),但电荷和电子相反。

玲: 这不是前次说过的阳电子吗?

吕: 是的,不久以后就在宇宙线的研究发现了阳电子。我们把阳电子叫做反电子,因为它是电子的反粒子(电荷相反,而不是质量相反)。

玲: 叔叔,上次你不是说过不仅电子有反电子,而且质子有反质子,中子还有反中子(图 17),氦核还有反氦核吗?

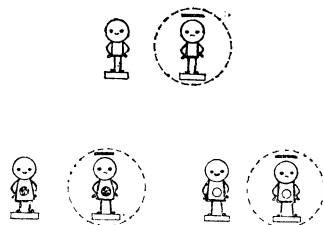


图 17 头上画了负号的是反粒子,它们的电荷、磁矩等都是反的。

吕: 对了,粒子和反粒子这一对矛盾对于“基本”粒子世界是普遍存在的,只要有一种粒子,就必定有它的反粒子。上次也说过,有少数粒子的反粒子就是它自身,例如光子、 $\pi^0$ 。粒子和反粒子这一对矛盾,在“基本”粒子的一切运动和转化过程中都起着重要的作用。这一对矛盾的发现又一次有力地证明了毛主席所指出的“对立统一规律是宇宙的根本规律”这一条辩证唯物主义的真理!

### 产生和消灭又是一对矛盾

玲: 刚才讲的粒子和反粒子这一对矛盾和“高速”这个特点有密切联系,此外还有吗?

吕: 还有。例如,在高速的条件下粒子的“产生”和粒子的“消灭”就又构成一对矛盾。

玲: “消灭”是什么意思呢?

吕: 在“基本”粒子的转化过程中,有的粒子产生了,有的粒子消灭了,这就是“消灭”。

玲: 原来是转化的意思,我还以为是物质消灭了。

吕: 举两个例子:一个高能光子在经过原子核近旁的时候,可以转化为一对电子和反电子。在转化过程中,光子消灭了,电子和反电子产生了(图 18a)。反之,一对电子和反电子相遇,又可以转化为一对光子。在这个

过程中,电子和反电子消灭了,一对光子产生了(粒子与反粒子发生作用,转化成别的东西,叫作湮灭,例如电子与阳电子湮灭,产生光子)(图 18b)。这种例子是举不胜举的。以前发现原子的時候,有人认为原子是永恒不变的。等到发现了放射性,发现了电子和原子结构,这个形而上学的论断就被冲垮了。然而又有人认为,电子和质子是永恒不变的,现在在高速的条件下,出现了产生和消灭这一对矛盾,电子和质子永恒不变的形而上学的论断又被冲垮了。这些事实一而再、再而三地说明,客观事物本身包含着辩证法,和形而上学是不相容的。“基本”粒子世界决不是一个单调不变的世界,产生和消灭这一对矛盾,使得它成为一个变化万千、永不宁静的丰富多采的世界!

**既有粒子性,又有波动性  
的量子化的场  
场也是物质的一种存在形式**

玲:看来,“基本”粒子世界真是一个充满了矛盾的世界。又是粒子性和波动性的矛盾,又是粒子和反粒子的矛盾,又是产生和消灭的矛盾,……

吕:我们先回过头来看看充满这些客观存在的矛盾的“基本”粒子世界,到底有一个什么样的面貌。

玲:那好极了,不然我的脑子里装进去的矛盾就要满出来了。

吕:我们还是从产生和消灭这一对矛盾说起吧。在老的古典力学的图象里,“基本”粒子的数目是既不能增加,也不能减少的。不仅如此,在量子力学的图象里,“基本”粒子的数目也是既不能增加一个,也不能减少一个。比方说吧,用量子力学来描述氢原子(一个原子核,一个电子)、氦原子(一个原子核,两

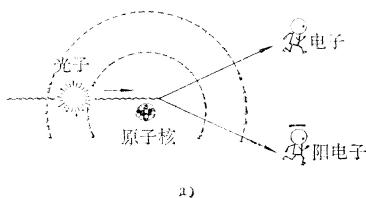


图 18a

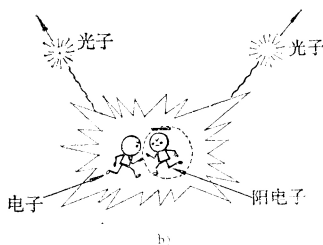


图 18b

个电子)……是可以的,但是用量子力学来描述光子转变成电子与阳电子的过程,和电子与阳电子转变成一对光子的过程就不行了,因为在这些过程中,电子和阳电子的数目不是不变的。

玲:是啊,既然粒子可以产生和消灭,粒子的数目就不会不改变,那怎么办呢?

吕:现在先看一看光子。前次我们说过,光子是电磁场的量子。小玲,你还记得吧?

玲:我记得,电磁场里有电磁波,电磁波的能量是一份一份的,每一份就是一个光子。光子能量的大小,正比于它的频率。

吕:很对,电磁场具有这种客观性质,所以我们说电磁场是量子化的。当电磁场获得能量的时候,它就激发到较高的能量状态,表现为光子的产生;当电磁场失去能量的时候,它就跃迁到较低的能量状态,表现为光子的消灭。而且正因为电磁场是量子化的,所以它获得能量的方式是一份一份地获得的,失去能量的方式也是一份一份地失去的。这恰恰反映了一个光子的产生和一个光子的消灭。

玲:可是光子的频率和能量并不是只有一种啊?

吕:就是,光子的频率和能量实际上有无限多种,所以电磁场的激发方式也有无穷多种,这比原子的激发(电子从较低能量的运转状态跃迁到较高能量的运动状态)要复杂。小玲,你能说一说没有量子化的电磁场和量子化的电磁场之间的区别吗?

玲:让我想一想……没有量子化的电磁场可以有电磁波,但电磁波的能量吸收和放出一份一份的,而是可以连续的,对不对?

吕:对,所以没有量子化的电磁场只有波动性,没有粒子性,这个图象是不符合微观世界的客观实际的。

玲:量子化的电磁场也有电磁波,但电磁波能量的吸收和放出一份一份的,所以它既有波动性,又有粒子性。对不对?

吕:对,所以量子化的电磁场的图象符合微观世界的客观实际。还有呢?

玲:还有,量子化的电磁场可以有光子的产生和消灭,没有量子化的电磁场能量是连续变化的,不能反映光子的产生和消灭。

吕:不错,所以说量子化的电磁场既包含着粒子性和波动性这一对矛盾,又包含着产生和消灭这一对矛盾。

玲:噢,这么看来,量子化的电磁场倒是一种比较合理的反映微观世界的物理图象。那末,还有粒子和反粒子这一对矛盾呢?

吕:好吧,我们举电子一反电子(阳电子)作为例子。由于电子的数目和反电子(阳电子)的数目也是可以改变的,所以和光子是电磁场的量子相类似,电子和反电子也是某个场的量子,这个场我们简称它为电子场。电子场也有粒子性和波动性,

也有产生和消灭。所不同的是，光子的反粒子也是光子，所以电磁场只能激发出光子；电子的反粒子则不是电子，而是阳电子，所以量子化的电子场既要能激发出电子，又要能激发出阳电子来。事实上，如果量子化的电子场满足刚才说过的狭义相对论的协变性（电子场的运动规律不随观测者而改变），它就既能激发出电子，又能激发出阳电子来。

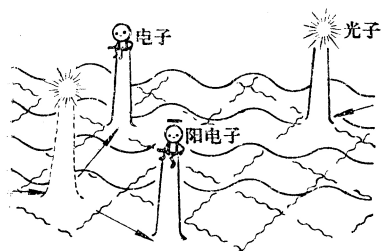


图 19 量子化的场示意图

横的波纹代表电磁场，斜方格波纹代表电子场。右方有一个光子——电磁场的激发。左方有一个光子转化为一个电子和一个阳电子——电子场的激发。

玲：这样一来，量子化的电子场也就包含了粒子和反粒子这一对矛盾，物理图象就更完备了。这一点我有些懂了……叔叔，前次说过电子和光子是物质的。可是电子场和电磁场显然是弥漫于整个空间的东西，它们也是物质的吗？

吕：是的，量子化的电子场和电磁场都是客观存在的东西，都是物质的一种存在形式。

### 原子精细结构的研究和电子反常磁矩的发现，说明“真空”也是物质的

玲：那在真空的情况下还有电磁场和电子场吗？

吕：这是一个很有趣的问题。在古典力学里，真空就是“没有物质的空间”，空间只是空的容器，它完全和物质相脱离，物质可以装到里面去。但是，“基本”

粒子世界的客观事实，否定了这种形而上学的对于空间的理解。在“基本”粒子世界，“真空”无非是没有电子，没有阳电子，没有光子……什么粒子都没有的一种状态。换句话说，在真空的情况下，电子场处于不激发状态，电磁场处于不激发状态……所有的量子化的场都处于不激发状态（最低能量状态）。

玲：是啊，我就是想问，在非真空的情况下，有电子，有光子……电子场处于激发状态，电磁场也处于激发状态，这时候说电子场、电磁场是物质的存在形式还是好理解的，可是在真空的情况下，电子没有了，光子没有了……电子场、电磁场都是“空”的，还能说它们是物质的吗？

吕：在真空的情况下，虽然没有电子，没有光子……但是电子场还在，电磁场还在，它们只是没有激发而已，可是它们并不是空无所有的（图 20）。比方说，真空的电磁场仍然可以和电子发生相互作用，真空的电子场仍然可以和光子发生相互作用。

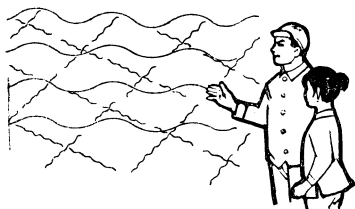


图 20 真空时没有自由粒子，但场还在。

玲：哎呀，真新鲜！真空还能和电子发生相互作用！叔叔，怎么作用呢？

吕：在真空的情况下，量子化的场虽然没有激发出自由粒子，但是它仍然有振荡，这种振荡在电磁场叫做“真空起伏”。举例来说吧，量子化的电磁场在真空（不激发）的状态下，虽然其中没有自由光子，但电磁场的

“真空起伏”仍然可以影响电子，使电子在电磁力的作用下振动起来，相当于电子的电荷在周围铺展开来了（图 21）。另

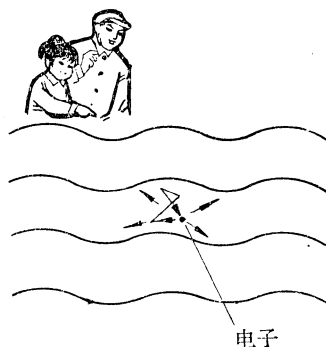


图 21

一方面，量子化的电子场在真空（不激发）时，其中虽然没有自由电子和自由阳电子，但在与真空的电磁场的相互作用下，它也有振荡，表现为成对的正负电荷不断地出现，又不断地中和。这种振荡可以对电磁场起作用，就象真空本身是一种电介质一样。小玲，你听说过电介质吗？一般来说，电介质的分子是由带正负电的离子构成，在外电场作用下，带正负电的离子可被电场拉开一个很小距离，这是电介质的一种“极化”（图 22）现象。真空的电子场中不断出现又不断中和的成对的正负电荷，在外电场的作用下，也有类似行为，叫做“真空极化”（图 23）。

玲：没想到真空还有这么多的名堂。

吕：电磁场的“真空起伏”，电子场的“真空极化”，这些都是有实验根据的。早先，在研究原子结构的时候，因为实验方法不够精密，所以没有发现这些效应。后来微波技术发展了起来，研究原子精细结构的方法就越来越精确了。通过这些研究，发现氢原子的激发能级和理论有细微的不符（图 24）；还发现电子这个小磁针的磁性强度也

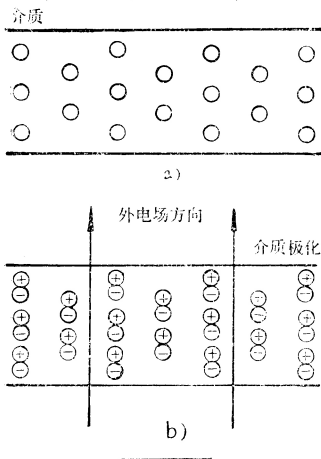


图 22 a、在没有外电场时，有不少种电介质的分子并不表现带电性质。 b、在有外电场时，这种分子中的正负离子沿电场的方向被拉开一个很小距离，这是一种极化现象。

和理论有细微的不符。不符虽然是细微的，但显然不是由于实验不准，因为实验非常精确。所以，问题一定出在理论上。这促使人们去发展了一整套符合狭义相对论要求的计算电磁场的“真空起伏”和电子场的“真空极化”的方法。

玲：计算的结果怎样？

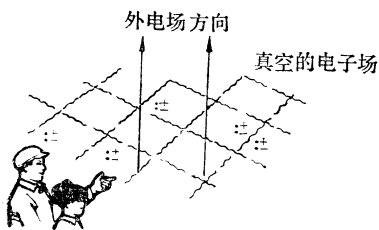


图 23

吕：考虑了这些真空的作用以后，理论计算值就完全和实验一致。

玲：太好了。

吕：这样就充分证实了真空决不是空无所有，应该说真空本身也是物质的，真空不空。这一个重大发现有力地否定了真空中

没有物质、空间可以和物质相脱离的形而上学的论断。又一次光辉地证实了辩证唯物主义的一个重要命题：空间和时间是物质的存在形式，没有脱离物质的空间和时间，也没有脱离空间和时间物质！

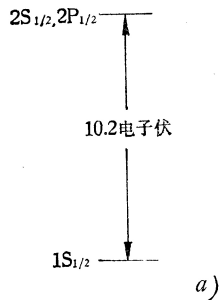
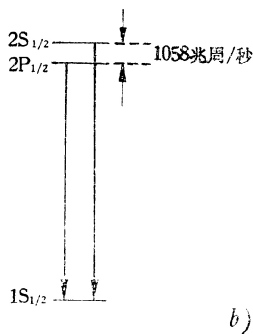


图 24 a、氢原子的  $2S_{1/2}$ 、 $2P_{1/2}$  两个能级，如果没有真空的作用，能量是相同的。



b、真空的作用使  $2S_{1/2}$  能级高于  $2P_{1/2}$  能级，这两个能级之间的能量差所对应的光子的频率为  $\sim 1058$  兆周/秒。理论和实验符合很好。

### 不存在“最”基本的粒子 不存在“最”基本的场

玲：这么看来，量子化的场这个图象还真是有些道理的。不过，叔叔，我又有问题了，是不是质子有质子场，中子有中子场……上百种“基本”粒子就有上百种的场呢？

吕：对于这个问题的回答是“是”，也是“不是”。说“是”，因为从反映粒子性和波动性、粒子和反粒子、产生和消灭这三个对

立的统一来说，可以认为每一种粒子都有一个相应的量子化的场。说“不是”，因为进一步的研究说明“基本”粒子并不基本，质子、中子等等强子都是由层子组成的，上百种的强子的场结果都必须分解为“层子”的场。也就是说，不需要上百种的量子场，只需要层子场（也许还需要胶子场）就行了，层子场的激发态包括了质子、中子等等束缚态（质子、中子等都是三个层子束缚在一起）；或者又可以把质子、中子等上百种粒子的量子场都理解为“层子”场在一定条件下组成的各种复合场。

玲：叔叔，以后“层子”还能再分，“层子”的场是不是又要分解为别的什么场了呢？

吕：你问的很有道理，物质是无限可分的，所以永远也不会有“最”基本的粒子，永远也不会有“最”基本的场。而且量子化的场这个物理图象也只能是相对真理，今后随着科学研究的深入，肯定还会有深入一步的物理图象出现。另一方面，量子化的场也包含着绝对真理，因为它能够正确地反映“基本”粒子世界的一些基本矛盾，还能反映出来“真空”的物质性。当然，认识真理的长河是没有穷尽的，量子化的场这个物理图象只代表我们今天的认识水平，但我们不能也不会停止在这里。

玲：这个意思毛主席在《实践论》里说过。

吕：是的，好，今天就讲到这吧。

玲：叔叔，下次讲什么呢？

吕：今天，只讲了“基本”粒子世界的一部分矛盾，下次继续讲矛盾吧。

玲：那好极了！

(蒋德舜画图)