



小玲

和

老吕的对话

①

——从宇宙之大说到“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”

柯 之

宇宙是无穷无尽、 无始无终的

玲：叔叔，我们学校昨天组织去天文馆参观，对我启发很大，原来宇宙有这么大啊！

吕：看你这高兴劲儿，天文馆的叔叔阿姨都给你们讲什么啦？

玲：给我们讲了太阳系，说太阳也是一颗恒星，是离我们最近的恒星，它的周围有行星、卫星、彗星绕着它转。还说光一秒钟走三十万公里，可以绕地球赤道七圈半，太阳光射到地球要八分多钟，射到海王

星要四个多小时，你看，太阳系多大！

吕：可是太阳系在银河系里却小得很哪！

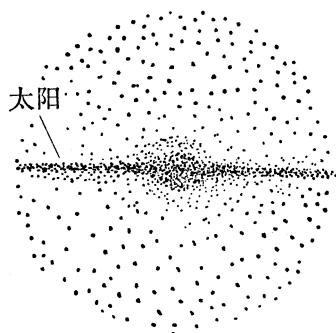


图2 银河系。银河系直径十万光年，太阳系在离银河系中心三万光年处。

玲：可不是吗！天文馆的阿姨说，银河系包含一千亿颗以上的恒星，太阳只是其中的一颗恒星。银河系的直径大约十万光年（光一年走的距离叫做一个光年，一光年大致是十万万万公里），它有一个涡旋形状的结构。和太阳系相比，银河系更是大！

吕：可是，人类对宇宙的认识远远超出了银河系。

玲：就是。天文馆的阿姨还告诉我们：现在最大的光学望远镜，可以观测到几十亿光年远的银河外的星系；射电望远镜探测的范围还要远，可达到一百亿光年。在这个范围里估计有千亿个以上的银河外

的星系。她说，宇宙的这一部分叫总星系，但总星系不等于整个宇宙，总星系外还有别的总星系，整个宇

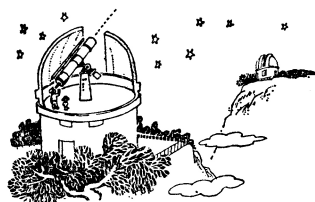
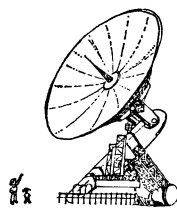


图3 装大型光学望远镜的天文台园顶室。

图4 射电望远镜的外貌。



宙是无穷无尽、无始无终的。

吕：小玲，你说的很对。天文学的发展将要不断地证实宇宙是不可穷尽的。而且，宇宙的不可穷尽性决不只是简单地表现为扩展到无限远，而是表现为在结构上有无穷个不同的层次。例如：恒星（太阳是恒星的一个代表）是一个层次；星系（银河系是星系的一个代表）是比恒星高的一个层次；总星系又是更高一个层次，它由成百上千亿个星系（也包括银河系在内）所组成；等等。恩格斯曾经把物质结构的各个层次

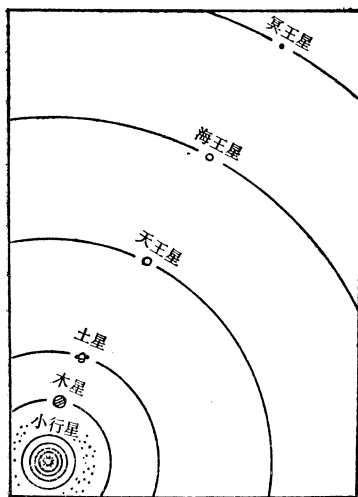


图1 太阳系。图中心是太阳，外面依次是水星、金星、地球、火星的轨道。

叫做物质的各种不同质的存在形式的关节点,在每个关节点都出现量变引起的质变,都出现新的矛盾,新的规律性。小玲,你知道吧:

宇宙在大的方面是无限的, 在小的方面也是无限的

玲:是吗,小怎么也能无限呢?

吕:中国古时候有一句话“一尺之棰,日取其半,万世不竭”。

玲:“棰”是什么意思,这句话怎么解释?

吕:“棰”就是短木棍。这句话的意思是说:有一根一尺长的小木棍,今天把它截去一半,明天把余下部分再截去一半,每天照这样截下去,一万代以后也截不完。

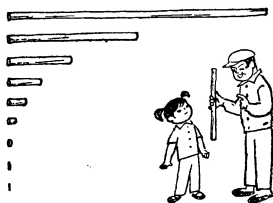


图5 一尺之棰,日取其半,万世不竭。

玲:慢点,让我想想。今天截去一半,就剩下二分之一尺,明天再截去一半,剩下四分之一尺,后天就剩下八分之一尺,到第十天就已经只剩下一千零二十四分之一了,咳呀,已经是很薄的木片了,还能这样无限地分下去吗?

吕:为什么不能呢?虽然越来越小,可是它不等于零,还可以再分。

玲:那还能说剩下来的东西是木头吗?

吕:这个问题问得很好。宇宙结构,在大的方面量变要引起质变;在小的方面,量变也同样要引起质变。在小的方面的不可穷尽性,也

决不只是表现在可以简单地无穷地分下去,而同样是表现在结构上呈现出无穷多个性质上不同的越来越小的层次。

玲:那么都有哪些层次呢?

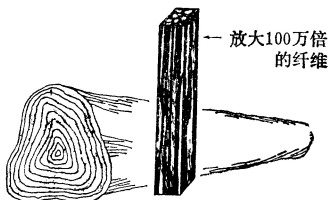


图6 纤维素。

吕:好,我们来看一看,第十天分到千分之一尺,已经是薄木片了,但还不能算质变。到第三十天,剩下十亿分之一尺,就不再是木头了,因为木头主要是由纤维素构成的,纤维素的最小单位是纤维素分子。纤维素分子是非常长的链,它的每一个环节的大小大致是十亿分之二尺。三十天分到十亿分之一尺,剩下的已经小于纤维素分子长链的单个环节,当然就不再是纤维素分子,也不再是木头了。小玲,你知道什么是分子吗?

玲:我们学化学时学过,分子是保持物质化学性质的基本单位。例如纯水是由水分子组成的,水分子仍保持水的化学性质。水分子再分,就分成两个氢原子和一个氧原子,不再具有水的性质。

吕:不错,一般说来,分子是由原子组成的,所以原子比分子更基本。但有的分子本身就是原子,例如,铁分子就只是一个铁原子。

玲:原子有多大呢?

吕:原子的直径是一亿分之一厘米,或三十亿分之一尺。分到第三十二天,剩下的就大致是原子的

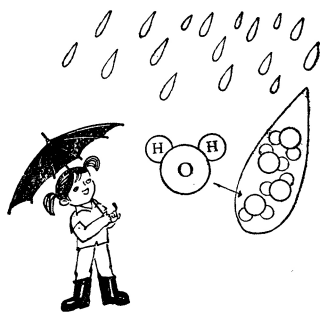


图8 水的分子。

大小了。

玲:原子真小啊?到了原子这个层次,还能继续分吧?

吕:能啊!恩格斯早就指出:“原子决不能被看作简单的东西或已知的最小的实物粒子。”

分割原子的方式和 工具要改变

玲:分割一尺长的木棍可以用锯子,分割薄木片可以用刀片,分割纤维素分子可以用化学药剂,分割原子用什么办法呢?

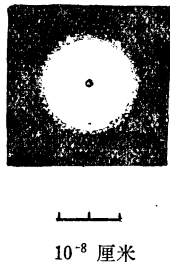


图9 氢原子。
中间的小点代表原子核,周围亮区表示电子是以波的形式在原子中运转。

吕:在回答这个问题之前,让我先问你一个问题,原子是什么做成的?

玲:老师说过,原子中心有一个原子核,周围围绕着电子。

吕:不错。最轻的原子是氢原子,周围只有一个电子;最重的原子周围可以有一百多个电子。整个原

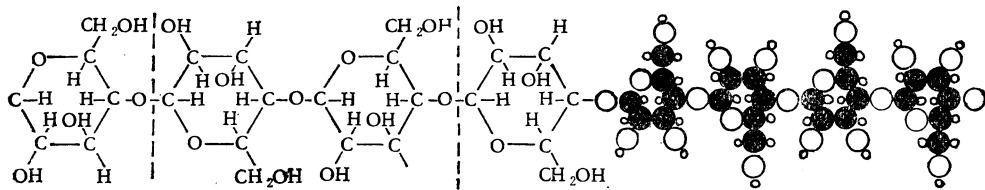


图7 纤维素分子长链。(O代表氧原子,H代表氢原子,C代表碳原子。)

子的物质分布很不均匀,原子的百分之九十九以上的质量都集中在原子核,周围的电子是很轻的。就拿氢原子来说吧,它的原子核就比电子重一千八百多倍。

玲:那原子核有多小呀?

吕:原子的半径大致是原子核半径的五、六千倍到三、四万倍,平均在一万倍上下。如果把原子半径放大到一公尺,原子核的半径大致只是一根细头发的宽度。

玲:真有意思。天文馆一位阿姨说,太阳的半径将近七十万公里,地球和太阳相距一亿五千万公里,是太阳半径的大约二百倍。海王星、冥王星离太阳比地球离太阳远三十

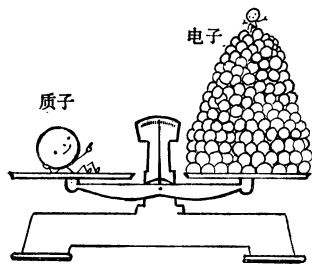
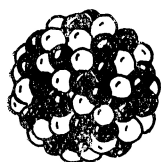


图10 氢原子核比电子重一千八百三十多倍。

到四十倍。如果把海王星、冥王星当做太阳系的边缘,那么太阳系的半径就是太阳半径的将近一万倍,叔叔,你说原子多么像是一个小太阳系啊!



0 5 10 10^{-13}

图11 原子核有大有小,最大的和最小的半径差六倍多。(黑的代表质子,白的代表中子)

吕:把原子比做太阳系,把原子核比做太阳,周围环绕的电子比做行星,确是很像。但是也就是这些地方像,其余就不一样了。例如,太阳和行星都不带电,原子核和电子都带电;太阳系是靠万有引力,原子是靠正负电之间的吸引力。又例如,行星有大有小,而电子都是一样的。

太阳系中行星的运动规律和原子系中电子的运动规律也很不一样。

玲:这说明物质的不同层次可能有相像的方面,同时也有很不相同的方面,对吗?

吕:对的。我们还是来说怎样分原子吧!如果有一把想像的刀,可以把原子核切成两半,把电子也分成两群,那么我们就发现这一刀的结果是把一个原子分成了两个原子。两个原子的重量加在一起,非常接近原来原子的重量,但是它们的直径却都和原来的原子的直径差不多,甚至还大一些。

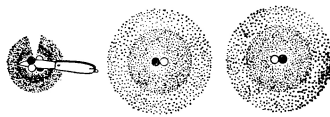


图12 把一个氢原子切成两个重氢原子。

玲:这不是越分越大了吗?

吕:这说明到了原子这个层次,对半分的方式并不能进入更深的层次。要想进入更深的层次,就必须把原子拆散,把电子和原子核分开!只有用这种方式来分,才能达到更小的空间。

玲:那么,我又要回到刚才的问题,用什么办法呢?

吕:不论用什么办法,总的来说就是要给电子提供能量。事实上把原子外层的电子拉走是比较容易的,例如划一根火柴,火柴头上的许多原子就会失去一个外层电子。但是要把原子内层的电子拉走就困难些了。因为需要能量较高。当然办法还是有的:一种办法是利用有较高速度的电子(例如阴极射线)去轰击原子,把电子打走;另一种办

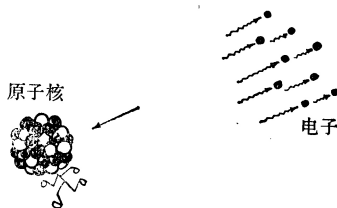


图13 把电子和原子核分开,就可以深入一个层次。

法是用短波的光来照射原子,也可以把电子打走。当然还可以有其他的办法。

玲:用短波的光把原子核的电子打走,这倒有意思。用多么短的短波呢?

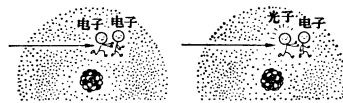


图14 可以用电子或光子把原子核里的电子打走。

吕:在回答这个问题之前,我想先讲一下比原子大得多的东西,譬如说,先讲一下火箭、人造卫星。小玲,你知不知道:

三个“宇宙速度” 还有动能

玲:我听说过“三个宇宙速度”:为了克服地球的引力,人造卫星必须得到每秒七点九公里或稍大一点的速度,才能维持环绕地球运转,这就叫第一“宇宙速度”。有了这个速度,人造卫星就不会掉下来,但它仍受地球引力的束缚。如果要脱离地球引力的束缚,成为围绕太阳的人造行星,就必须有每秒十一二公里或稍大一点的速度,这叫第二“宇宙速度”。如果进一步要摆脱太阳引力的束缚,到其他恒星世界去,就必须有每秒十六点七公里以上的速度,这叫第三“宇宙速度”。

吕:可是枪弹和炮弹的速度最多也就是每秒一公里。所以人造卫星、人造行星必须靠火箭来发射才行。火箭装有很多燃料,燃料在燃

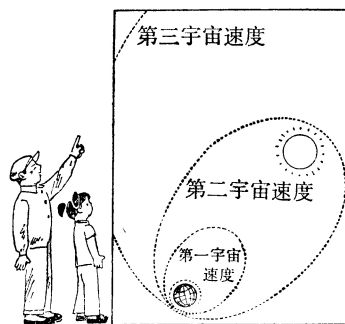


图15 三个宇宙速度

烧过程中不断放出大量的能量，产生很大的推力，就使人造卫星获得很高的速度，得到很大的动能。恩格斯在《自然辩证法》中曾特别提到动能 $mv^2/2$ 可以用来代表“活力”，动能是能量的一种形式。譬如， m 克的一个物体，它有每秒 v 厘米的速度，它的动能就是 $mv^2/2$ 尔格。

玲：我明白啦！有了动能就是有了“活力”，有了“活力”就可以克服地球的引力，是不是？那么，一个电子需要多少动能，才能克服原子核的引力呢？

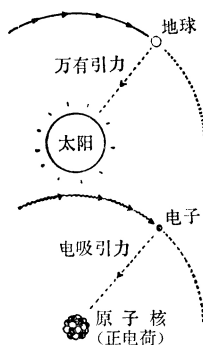


图 16 两种不同的吸引力

吕：这有各种不同的情况。电子带一个单位的负电，原子核带正电，吸引力的大小，首先看原子核带多少正电。例如，氢是第一号元素，它的原子核只带一个单位的正电；碳是六号元素，它的原子核带六个单位正电；铀是九十二号元素，它的原子核带九十二个单位正电。第几号元素就是说原子核带几个单位正电荷。

玲：带正电越多的原子核对电子的吸引力也越大吧？

吕：是的。但还有别的因素，例如，在有些运转状态中电子离原子核远，吸力就小；有些运转状态中，电子离原子核近，吸力就大。还有电子绕原子核转，本身已经有一定的动能。这些都是起作用的因素。所以要把电子和原子核分开，所需的能量并不是只有一个数值，不同的原子，不同的电子运转状态，所需能量是不同的。大致说来，一个电子摆脱原子核吸引力所需能量在千分之几尔格到千万分之几尔

格。最多的和最少的差一万倍左右。

玲：这比人造卫星、人造行星需要的能量小得多了。刚才我算了一下，按你说的公式，人造行星离开地球引力范围，一克重的物质需要六千三百亿尔格的能量。

吕：不能这样比。因为，假定人造卫星的成份主要是铝、钛之类的金属，那么一克物质就有大约一、二百万亿个原子。六千三百亿尔格分配给一、二百万亿个原子，每个原子分得的能量大致是千分之三尔格至千分之六尔格，而且是分给整个原子的，这样，百分之九十九点九以上的能量都成了原子核的动能，电子得到的动能连百分之零点一都没有。所以电子离开原子核引力范围需要的能量，比发射人造行星时每个电子平均获得的动能要大上千倍！

用光子作为子弹和运动的量子化

玲：叔叔，你现在可以讲一讲用多么短的短波的光来照射原子，可以把电子打走了吧？

吕：小玲，你能说一说什么是光吗？

玲：太阳光、月光、星光、灯光不都是光吗？

吕：你说的都是眼睛看得见的光，它们的波长在 $0.4—0.8$ 微米之间（一微米是百万分之一米）。另外还有眼睛看不见的光：波长比 0.4 微米更短的光叫紫外光；波长为 0.4

微米的万分之几或更短些的叫 X 光；波长比 X 光短的叫 γ 射线。

玲：照透视时不是可以在萤光屏上看见 X 光吗？

吕：那是萤光屏受 X 光照射后发出来的可见光，不是 X 光本身。还有波长比 0.8 微米更长的光叫红外光，也是看不见的，但它照在身上可以发热。波长再长就是无线电技术上的微波、超短波、短波、中波以及长波。

玲：光既然是一种波动，它怎么能把电子打走呢？

吕：光具有波动性，但它同时也是一种物质，也是可分的。光的最小单位就是光子。一个光子的能

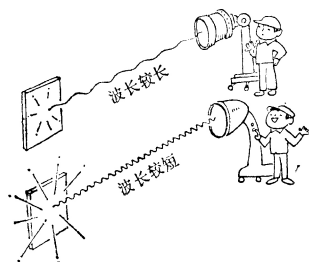


图 18 波长越短，光子能量越大。

量和它的波长成反比，波长越短，能量就越大。把氢原子的电子打掉，需要比千分之二尔格的能量稍多一点，与此能量相当的光子波长大致为 0.09 微米，或 900 埃（埃是万分之一微米）。要把铀原子的最里层的电子打出来，需要光子的波长大致是 0.1 埃或更短。

玲：要把原子分开原来这么复杂！

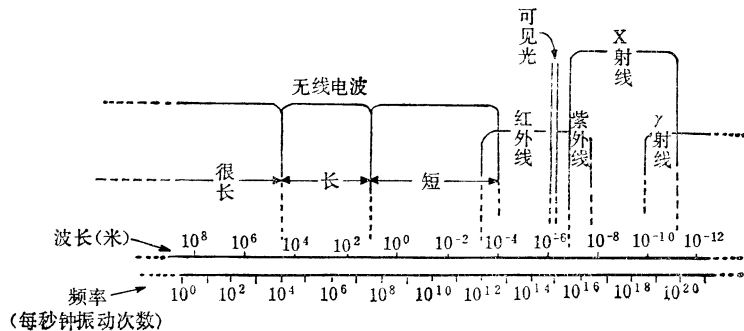


图 17 各种波长的光（电磁波）

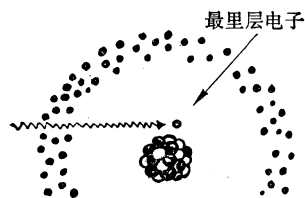


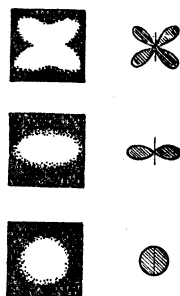
图 19 打掉铀原子最里层的电子，需要很短波长的光子。

吕：小玲，你注意了没有，分割到了分子、原子的层次，就已经到了微观世界。微观世界最突出的一个特点就是出现一些最小单位，也就是出现量子化。例如，光量子化了，它是由一个一个的光子组成的，光子是光的最小单位；电荷量子化了，每个原子核的电荷都恰恰是整数个单位，决不会多一些或少一些。运动也有了量子化。

玲：怎么叫运动也有了量子化呢？

吕：在太阳系，人造卫星和人造行星的轨道参数，可以根据需要，人为地使它们连续地改变。但是到了原子系，情况就不一样了。在原子内部，每一个电子都是在一个确定的状态中环绕原子核运转，不能连续地改变它的运转状态；电子只能从一种运转状态跃到另一种状态，或被赶走，没有中间的可能性。

图 20 电子以波的形式在原子中运转的各种状态(三个例子)。电子可以从一种状态跃到另一种状态，但是不能连续地改变运动状态。



妨碍它可以分成氢和氧原子；又例如，氢原子虽然是氢元素的最小单位，但并不妨碍它可以分成电子和原子核。所以说，“量子化”无非是恩格斯所说的关节点的某一种表现，并不是可分的极限。

下一层次是原子核

玲：叔叔，在原子中，原子核和电子那个是主要的呢？

吕：原子的性质首先是由原子核决定的。不同的元素，原子核也不同。原子核里有多少个单位的正电荷，就决定了原子核里有多少个电子，从而也决定了原子的化学性质。

玲：这样看来，电子都一样，原子核却并不都一样。每一种元素都各有一种原子核，92 种元素就有 92 种原子核了，是吗？

吕：还要作些补充。第一，现在知道的元素已经不是 92 种，而是 106 种，今后还可能发现其他种元素。第二，同一种元素的原子核，带正电的数目一样，从而原子的化学性质一样，但是重量可能不一样。例如氢原子核就有三种：一种是普通的氢原子核；一种是重氢，又名氘（音刀），它的重量大致是普通氢原子核的两倍；还有一种叫超重氢，又名氚（音川），它的重量大致是普通氢原子核的三倍。氘和氚又都称为氢的同位素。

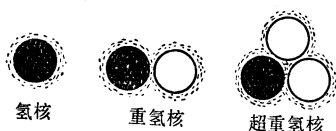


图 21 氢的三种同位素（白圈代表中子，黑的代表质子）

玲：常听说“同位素”，原来是这么个意思。那末，各种元素都有同位素吗？

吕：都有。有不少元素甚至有二十多种同位素，氦有三十种同位素。大多数同位素都能够衰变，经过衰变就变成别的元素的原子核。

玲：把同位素都计算在内，已知的原子核有多少种呢？

吕：大约一千几百种。

玲：这么多原子核，它们带的正电荷又都是氢原子核电荷的整倍数，那末是不是可能所有的原子核都是由某种更基本的只带一个正电荷的东西构成的呢？

吕：对呀！你已经把原子核可分的概念提出来了。刚才所说的某种更基本的只带一个正电荷的东西就是质子。质子比电子要重一千八百多倍，它就是普通氢原子的原子核。

玲：原子核里光有质子吗？

吕：不，由于质子之间的作用力和质子系统的运动规律的特点，光有质子是不能够聚到一起去的。

玲：那原子核里还有什么呢？

吕：还有中子。中子的重量比质子略大一点点，但是它不带电。对于同一种元素，不同的同位素的原子核中，质子个数是相同的，中子个数不相同。例如，就氢元素来说吧，普通氢原子核、重氢核和超重氢核都只有一个质子，但重氢核比普通氢原子核多一个中子，超重氢核多两个中子。又如：铀是九十二号元素，铀 235、铀 238 这两种同位素的原子核都是有九十二个质子，但铀 235 有 $235 - 92 = 143$ 个中子，铀 238 有 $238 - 92 = 146$ 个中子。

分割原子核需要克服“强作用力”

玲：中子在原子核里起什么作用呢？

吕：中子起的一个重要作用就是帮忙把质子拉住，形成带若干个单位正电荷的原子核。

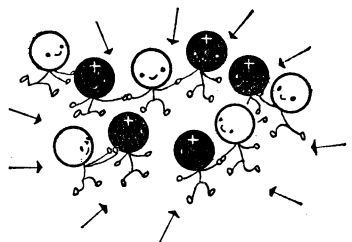


图 22 有了中子就可以通过强作用力把质子拉到一起。

玲：不是说中子不带电吗？它怎么能拉住质子呢？

吕：中子拉住质子不是靠正负电的吸引力，而是靠另外一种力。这种力比电的吸引力强得多，所以叫“强作用力”。但是它的作用范围特别小，只限于在中子(质子)的邻近。具体说来，它只在十万亿分之一厘米的范围内起作用。

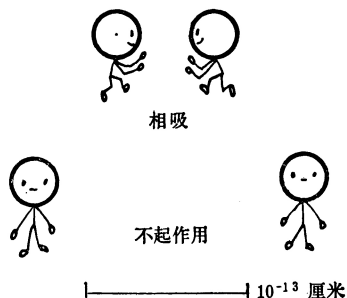


图 23 强作用力只在小于 10^{-13} 厘米的距离内起作用，大于 10^{-13} 厘米就基本上不起作用。

玲：有意思。原子的直径是一亿分之一厘米，那么，强作用力能够起作用的有效距离只有原子直径的十万分之一呢！

吕：可是原子核的直径是很小的，中子、质子都挤在一起，每个中子(或质子)和紧邻的中子(或质子)的平均距离都大致是十万亿分之一厘米，所以，强作用力在原子核里正好可以大显身手。

玲：既然原子核是由强作用力把中子、质子紧聚在一起而形成的，用什么办法可以把它们分开呢？

原子核要用加速器来分割 加速器又揭开一个新层次

吕：要从原子核打走一个质子或中子，需要几百万电子伏的能量(1电子伏 = 1.6×10^{-12} 尔格，1百万电子伏 = 1.6×10^{-6} 尔格，即百万分之1.6尔格)，比打走一个原子的外层电子所需要能量多几十万倍，用X光也不行了，最有效的常用的工具就是加速器。加速器是通过电磁力的作用，使带电粒子加速。如果将质子加速到几十个兆电子伏，

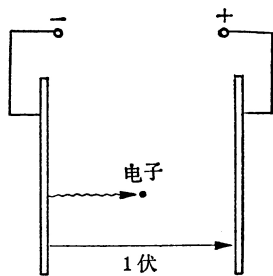


图 24 两个金属板之间有一个伏特的电位差，电子从负极板走到正极板，可获得一个电子伏的能量。

用它来打原子核，就可以把其中的一个质子或一个中子打出来。

玲：把原子核分开了，是不是又进入一个新的层次呢？

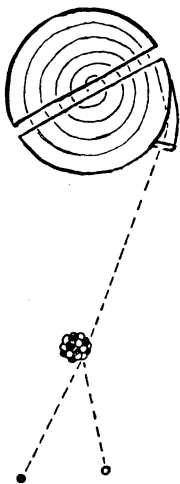


图 25 回旋加速器示意图。可把质子能量加速到几十兆电子伏。

吕：把原子核分开了，这在科学实验的基础上证明了原子核是可分的，是由质子和中子组成的。由于所有的原子都是由质子、中子、电子组成，所以人们又把质子、中子、电子叫做“基本”粒子。这是一个比原子核更深入的层次，就称它为“基本”粒子层次吧。

玲：原子有一百多种，“基本”粒子只有三种吗？

吕：加速器能量逐步提高以后，“基本”粒子这个层次竟出现了不少前所未知的新的粒子！当能量提高到几百兆电子伏后，出现了一种新的粒子，它们的质量是电子的二百七十多倍，介于电子和中子、质

子之间，因此定名为 π 介子。质子加速能量提高到几千兆电子伏以后，又出现质量为电子九百多倍的 κ 介子。与 κ 介子相伴出现的还有质量超过中子、质子的 Δ 粒子、 Σ 粒子、 Ξ 粒子等等，统称为超子。

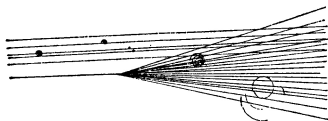


图 26 高能质子打氢靶，出现很多 π 介子。

玲：这么多粒子，它们原来都是在原子核中的吗？

吕：不，它们都是在用高能量的质子轰击原子核中的质子和中子，相互发生激烈碰撞的一瞬间产生的。其实，这些粒子在宇宙线中都曾经发现过，但是在用加速器打出来之后，它们的性质才得到系统的研究。

玲：现在已经证实的“基本”粒子到底有多少种呢？

吕：总共有二百多种，其中最重的粒子的质量是质子质量的四点七倍。

玲：有这么多吗？难道说这二百多种粒子都是基本的吗？

吕：是啊，这又是一个重要的问题。加速器揭开了“基本”粒子这个层次，但“基本”粒子决不是最后的层次，“基本”粒子也是可分的。我们都学习过毛主席的光辉著作《矛盾论》。矛盾是普遍存在的，事物都是一分为二的。“基本”粒子内部也必定存在着矛盾。有矛盾就有对立面，就必定是可分的，而且分了以后必定还会出现新的矛盾，所以物质是无限可分的。列宁说过：“电子也是不可穷尽的。”

玲：就是呀！应该说“基本”粒子不基本才对。

吕：我们今天来不及详细讨论“基本”粒子了，以后再谈吧。“基本”粒子如何再分的问题，是当前研究物质结构的一个最前沿的问题。这门科学又名高能物理学，因为在“基本”粒子的科学实验中，粒子都

需要有很高的能量，否则就不能达到变革“基本”粒子和研究“基本”粒子内部矛盾和规律性的目标。

玲：哦，原来高能物理学就是研究“基本”粒子的学科，这个研究：

有什么意义？

吕：要说意义，我看可以分三个方面来说：首先，科学实验是三项伟大革命运动之一。“基本”粒子、天体演化以及生命起源，都是一些带根本性的科学课题。唯物论和唯心论，辩证法和形而上学，曾经在这些领域里进行过、而且至今还在进行着激烈的搏斗。近代物理学的发展，曾使得一些唯心论的吹鼓手们兴高采烈，大事宣扬物质消灭了，列宁在《唯物主义和经验批判主义》一书中给了他们以迎头痛击。最近几十年，“基本”粒子不可再分的形而上学和唯心论的臆测，更是被当作“科学”的论点在资产阶级书刊中广为流传。走向没落的资产阶级正在

力图为自己的唯心论和形而上学的哲学体系制造一些所谓的“科学”论据。我们无产阶级要对资产阶级实行全面专政，就必须在这些根本性的科学课题上占领前沿阵地，宣传、捍卫马列主义和毛泽东思想。第二个方面，这些带根本性的科学课题，在基础科学研究中都是能够带头开拓新的科学领域的。例如生物学方面出现过进化论，天文学方面出现过太阳中心说、星云说，物质结构方面出现过原子理论，等等。这些基础学科的研究，包括高能物理在内，今后还要继续向纵深发展，还会继续在整个科学的发展中起开拓新领域的作用。

玲：“基本”粒子的研究对生产有什么意义呢？

吕：这是我想说的第三个方面。研究高能物理所发展的很多技术，例如大功率高频技术、高真空、计算机数据分析、跟踪扫描和计算机控制、低温超导技术，等等。都是

在生产上很有用的，都可以直接为生产服务。另外，微观世界的每一个层次的基本规律的认识，都促进新工业部门的产生。分子的化合和分解的规律的认识同现代化学工业；电子、原子的规律的认识同现代电子工业；原子核的规律的认识同原子能工业的产生，都是密切相关的。高能物理的发展也会逐步促进一些新型工业的产生。不太遥远的将来，会有 π 介子工厂、 γ 光子工厂，等等。这些工厂可以为工业生产和各方面的技术工作服务，也能起技术革新作用。 π 介子工厂还可以用来治癌。

玲：今天谈的时间很长了，明天早上还要上学呢。叔叔，我下次再来找你谈好吗？

吕：好，欢迎你来。

玲：谢谢你，再见！

吕：再见！

刊头设计
插图：尉迟横