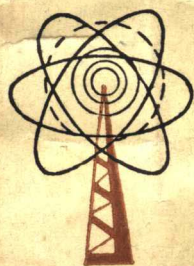


中子

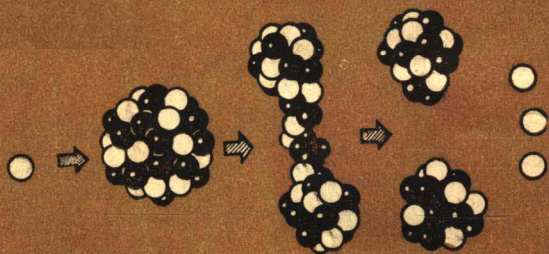
中央人民广播电台科技组

编

科学普及出版社编辑部



科学广播



科学普及出版社

科学广播

中子

科学普及出版社

内 容 提 要

本书根据最新资料，简述了中子的发现，中子在人类探索原子核和太空奥秘的历程中所起的作用，中子的广泛应用及各类中子的获得，是一本学习核子物理学和基本粒子知识的最通俗的入门书。

适合具有初中文化水平的干部、学生、工人阅读。

科 学 广 播

中 子

顾 以 藩 著

责任编辑：陈金凤

封面设计：窦桂芳

*

科学普及出版社（北京白石桥紫竹院公园内）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
怀柔县平义分印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：1 字数：18千字

1982年 9月第1版 1982年 9月第1次印刷

印数：7,700册 定价：0.12元

统一书号：13051·1313 本社书号：0492

目 录

第一讲	物质结构认识过程中的一个重要里程碑.....	1
第二讲	探索原子核奥秘的有力武器.....	6
第三讲	宇宙空间里的中子.....	11
第四讲	中子的广阔应用领域.....	15
第五讲	中子“炮弹”的制造工厂——中子源.....	23

第一讲 物质结构认识过程中 的一个重要里程碑

原子能是大家熟悉的，它是一种很有发展前途的能源。因为它是原子核发生变化时放出来的，所以，更确切点说，应该是原子核能。原子核里蕴藏着巨大的能量，不过，只有在人们发现了中子，解开了原子核组成之谜，掌握了中子这个变革原子核的有力武器以后，原子核里蕴藏的巨大能量才开始被利用。从此，人类的历史进入了原子能时代。这本小册子就是为了帮助广大读者学习和了解有关中子的一些基本知识而编写的。

世界上物质是由什么构成的，这是大家渴望了解的问题，也是一个非常古老的问题。早在二千五百多年以前，希腊哲学家德谟克利特就提出，所有物质都是由不能再分的微小粒子组成的，他把这种微小粒子叫作原子。在希腊语里，原子是不能再分的意思。这是一个很了不起的思想。但是在很长时期里，原子只是一个哲学的概念。一直到十八世纪末，十九世纪初，人们才从实验上证实了它的存在。

那原子是不是不可再分的呢？一八九六年，法国物理学家贝克勒耳发现了铀矿石能够放射出一种人眼睛看不见的射线，这种射线能够透过黑纸，使得包在黑纸里的照相底片感光。放射性射线的发现使得人们想到，原子可能不是一成不变的，这里面隐藏着值得人们注意的秘密。第二年，也就是

一八九七年，英国物理学家J.J.汤姆生在实验室里发现了一种非常轻的带负电的粒子，这就是电子。电子的质量等于氢原子质量的一千八百三十七分之一。

电子的发现，更使人们想到，原子是有结构的。在电子发现以后不过十多年的时间里，物理学家就把原子的结构搞清楚了。在这期间，人们为原子的结构设想过几种模型，经过物理实验的检验，只有卢瑟福提出的原子模型同实验的结果相符。卢瑟福认为：原子的中心有一个带正电荷的原子核，带负电荷的电子绕着这个原子核旋转，就象太阳的周围有行星绕着太阳旋转一样，因此，人们把这个原子模型叫做原子的行星模型。以后，人们通过实验发现，原子核带的正电荷的数目同原子核外面的电子数目是一样的，这样，原子在正常情况下是不带电的，也就是呈现中性状态。通过实验，人们还发现：原子核的直径很小，只有原子直径的万分之一到十万分之一，不过，这么小的原子核却集中了原子质量的百分之九十九点九，这就是说，体积很小的原子核几乎集中了原子的全部质量。

人们这样弄清楚了原子的结构。在弄清楚原子的结构以后，物理学家的眼光就自然而然地集中到原子核上面来了。原子核是不是也有结构的问题，是二十世纪二十年代物理学的一个最重大课题。在解决这个问题过程当中，中子的发现起了关键的作用。

在中子发现之前，物理学家通过实验确定了在原子核里存在着一种叫作质子的粒子。质子带着一个正电荷，它的质量是电子的一千八百三十六倍，实际上，质子就是氢原子的原子核。质子发现以后，人们想到，原子核里是不是只有质子。若是原子核里只有质子，那原子就应该是由电子和质子

组成的。对于氢原子来说，这种看法是对的，可是，对其它原子来说，譬如拿氦原子来说，它有两个电子，按照原子核里只有质子的看法，那氦原子核里就应该有两个质子，这样，氢原子的质量应该是氢原子的两倍，而实际上却差不多是氢原子的四倍，这就出现了矛盾。为了解决这个矛盾，当时有人认为，原子核里也有电子，原子核是由质子和电子这两种粒子组成的，譬如，氦原子核是由两个电子和四个质子组成的，其中的两个质子和两个电子中和，不显电性，这样氦原子核就只带两个正电荷，而氦原子的质量却是氢原子的四倍。这种看法虽然解决了在质量上出现的矛盾，但是这种看法没有实验根据，许多实验都说明原子核里是没有电子的。那原子核里除了有质子以外，还有什么粒子呢？

英国著名核物理学家卢瑟福在一九二〇年提出过一个大胆的设想。他认为在原子核里可能有一种质量大体和质子相等，又不带电荷的粒子。如果在原子核里真存在这种中性的粒子，那就可以完满地解释原子核的结构。整个二十年代里，英国卡文迪许实验室的研究人员在卢瑟福领导下，进行了寻找中性粒子的实验工作，但是一无所获。

正当英国人煞费苦心地思索着寻找中性粒子的新方向的时候，欧洲大陆上的同行，却在不知不觉中向着这个中性粒子靠拢了。一九三〇年，德国物理学家波特和贝克尔，利用一种名字叫钋的天然放射性元素发射的 α 射线，去轰击一系列质量轻的元素。 α 射线是一种带正电的粒子流。在实验中，他们发现 α 射线打到铍元素的原子核以后，会产生出一种穿透能力很强的射线。当时，他们认为这种穿透能力很强的射线是 γ 射线。真正的 γ 射线是一种不带电的，和光的性质相同的射线，这个工作以后被法国物理学家约里奥·居里夫妇注

意到了。他们做了类似的实验，观察到铍产生的那种射线的穿透能力确实是非常强。约里奥·居里夫妇还让这种穿透能力很强的射线通过含有大量氢原子的石蜡，这时候出现了一个奇怪的现象，竟会有速度很大的氢原子核被碰撞出来。约里奥·居里夫妇认为这是 γ 射线象粒子那样地和石蜡里的氢原子核发生碰撞。不过，通过这种碰撞，要撞出速度那么大的质子来， γ 射线的粒子就得有高得出奇的能量，这是很难解释的。

这个消息很快传到了英国的卡文迪许实验室，多年从事寻找中性粒子的英国物理学家查德威克，马上察觉到把这种不寻常的射线鉴别成 γ 射线是有问题的。1932年，查德威克通过细致的实验，证明了这种射线是由质量大体和质子相等的，不带电荷的粒子组成的。这种粒子正是卢瑟福所预言的，并且寻找已久的那个中性粒子。查德威克给它起个名字叫中子。

发现中子的这段历史，曾经引起物理学家不少评议，这的确是一段值得总结的很有教益的故事。科学上的成就常常是许多人创造性劳动积累的结果。发现中子的历史又一次生动地说明了这一点。不过，在有价值的实验资料面前，并不是谁都能敏锐地看出它的意义的。查德威克之所以能够透过现象抓住本质，是因为有卢瑟福的中子假说作为指引。完全可以说，中子的发现是卢瑟福假说的胜利。发现中子的历史还告诉我们：理论思维是科学研究中必不可少的一环，那种把理论研究和实验研究割裂开来，偏废任何一方面的倾向，都是不对的。

发现中子以后，原子核的组成问题也就迎刃而解了。原来，原子核的基本组成单元是中子和质子。中子和质子的性质有很多相似的地方，比如，它们的质量非常近似，中子的质量只比质子大千分之一多一点，它们的主要差别在于质子带正

电荷，而中子是中性的。正因为质子和中子有很多相似的地方，所以人们常把它们统称为核子。在原子核里，质子的数目决定原子核所带的电荷数，而原子核里的中子数目加上质子数目，也就是核子的总数，它决定原子核的质量数。现在已经知道，自然界的元素有一百多种。对于同一种元素的原子核，它含有的质子的数目是相同的，而中子的数目可以不同。人们把由质子数相同，而中子数不同的原子核所构成的元素叫同位素。象氢元素有三种同位素，这就是普通的氢和氘、氚，它们的原子核里都只有一个质子，只是中子数目不一样，氢原子核里没有中子，氘原子核里有一个中子，氚原子核里有两个中子。同一种元素的几种同位素其化学性质基本一样，但是其它方面，特别是核性能方面就大不相同了。例如，氢原子核和氘核是稳定的，而氚核具有放射性。

在人类认识物质微观结构的过程中，中子的发现是一个重要里程碑。中子的发现，使得物质无限可分的思想更加深入人心；中子的发现，把我们带进了原子核世界；中子的发现，打开了原子能时代的大门。

第二讲 探索原子核奥秘 的有力武器

在第一讲里我们谈到，中子的发现是人类认识物质微观结构过程当中的一个重要里程碑，它标志着人的认识深入到了原子核这个层次。在一定意义上说，原子核物理这门学科是从中子的发现开始的。今天我们就来谈谈中子在原子核研究中做出的贡献。

一九三二年，英国物理学家查德威克发现了中子以后，人们立即提出了原子核是由中子和质子构成的模型。由于这种模型能够圆满地解释所有的有关实验事实，很快地便得到了人们的承认。所以，可以说，中子的发现解决了原子核的基本组成问题，是中子对原子核研究做出的第一个贡献。以后，人们又进一步弄清楚了原子核里的质子和中子是紧紧地结合在一起的，它们之间的空隙很小。对于不同的元素，原子核里质子的数目是不相同的，质子的数目等于原子核外面电子的数目，对于同一种元素的原子核，它们的质子数目相同，而中子数目可以不同。人们把由质子数目相同，而中子数目不同的原子核构成的元素叫作同位素。前面讲的氢、氘和氚就是氢元素的三种同位素。同一种元素的几种同位素，化学性质是相同的，可是，在其它方面，特别是核性能方面就大不相同了。比如，氢原子核和氘原子核是稳定的，而氚原子核具有放射性。

中子在原子核研究中作出的第二个重要贡献是，第一次发现了自然界中存在着一种新型的力，叫作核力。在发现中子以前，人们只知道两种类型的力，这就是万有引力和电磁力。发现中子以后，人们提出这样的问题，就是原子核里的中子和质子之间的作用力，也就是核子之间的作用力是属于哪种类型的？大家知道，质子和中子结合成的原子核特别小，直径只有十万亿分之一厘米，而它们结合成的原子核又是那么坚固，要打破都很困难，这说明核子之间有一种很强大的吸引力把质子和中子束缚在原子核里。很显然这种力不是万有引力，也不会是电磁力，而是一种奇特的新力，这种新力只能在核子间极短距离内起作用，且强度很大。由于它是在原子核里出现的，因此把它叫作核力。为了了解核力，物理学家做了大量的实验和理论研究工作，弄清楚了核力的一些性质，比如，它是一种短程力，力的大小与核子带不带电荷没有关系等等，不过，核力的性质远远比原来估计的要复杂得多，最终弄清核力问题，正是原子核物理学家和高能物理学家当前面临的一项重大课题。

中子对于原子核研究作出的第三个贡献是它给物理学家提供了变革原子核的有力武器。

大家可能知道，在原子核物理学中，许多重要的核现象，首先是从中子实验揭示出来的。中子之所以有这种能力，和它是一种中性粒子有关。由于中子不带电，无论是原子核外面电子产生的电场，还是原子核产生的电场，都不会对它产生影响，因此，中子不需要很大的能量就可以靠近原子核，并且同原子核作用，产生原子核反应。在现代实验室里，从能量高到上千亿电子伏特的中子，到低到大约万分之一电子伏特的中子，都可以和原子核发生作用，电子伏特是

原子核物理学常常采用的能量单位，一个电子伏特等于一个电子通过电位差为一伏特的电场所获得的能量。近十年来，一些核物理实验室又把中子能量利用范围低的一头延伸到千万分之一电子伏特。这对于带电粒子来说，是万万不能想象的。

对于各种能量的中子，中子物理工作者给它们起了不同的名称，比如，把能量在十万电子伏特以上的中子叫快中子；把能量在一千电子伏特以下的中子叫做慢中子；还把能量在千分之二十五电子伏特附近的中子叫热中子，这是因为这种能量的中子，在常温下同周围的物质处于热平衡状态，它所对应的温度是摄氏二十一度左右；能量比热中子低的中子叫冷中子；能量低于万分之一电子伏特的中子叫甚冷中子；能量低到千万分之一电子伏特的中子叫超冷中子，这时候所对应的温度接近摄氏零下二百七十三度，实在是名副其实的“超冷”。

不同能量的中子有不同的性质。例如，在高能量范围的中子，能表现出典型的粒子性质，能够和原子核里的单个核子进行碰撞；到了低能范围，中子的粒子性质越来越减弱，而波动的行为越来越突出，它可以象光线那样从高度抛光的镜面反射回来，在通过物体的时候会发生折射，有时候还会产生干涉和衍射现象。对于能量非常小、运动速度还不到每秒钟五米的超冷中子，采用机械的方法就能够改变它的能量；利用重力场可以使它加速或者减速；利用磁场还可以使它发生偏转和聚焦。另外，超冷中子还能够被密封在特制的容器里贮存起来，而其它能量的中子不是具有很强的穿透能力，就是会被物质吸收，要贮存起来是不可能的。

在发现中子以后，人们就利用中子这个变革原子核最有

力的武器来研究原子核，于是，新的核现象一个接一个地被发现，同时，研究中子的性质和中子引起各种核现象规律的中子物理，也就成为原子核物理学的一个新分支。在这一系列发现中，一件具有重大意义的发现是中子引起重原子核的裂变。

所说的核裂变是这样的一种现象，在用慢中子去轰击铀原子核的时候，铀原子核吸收一个中子，分裂成质量相差不多的两个碎片。这个现象是一九三八年在 neutron 实验室里发现的。实际上，早在费米开始第一批中子实验以后不久就已经观察到了，只是当时没有从这方面考虑罢了。在最后鉴定这个现象的过程中，化学家起了关键性的作用，这种新现象有两个重要的特点：一是它能够放出很大的能量，比通常的核反应所产生的能量要大出一百倍以上；二是在铀原子核裂变成两半的时候，同时放出几个中子来，一般是两个到三个。

重核裂变现象的发现，不仅丰富了我们对于原子核现象的知识，同时也揭开了大规模释放和应用原子能的序幕。在这以前，即使是一些非常杰出的原子核物理学家也都一直认为原子能的实际应用不过是纸上谈兵而已。

当裂变现象一发现，物理学家很快就认识到了这个发现的重大意义，并且根据裂变现象所具备的特点，设想了建立原子核链式反应的方案，这就是让铀原子核吸收一个中子产生裂变，释放出很多能量和两个到三个中子，这被释放出来的中子又被别的铀原子核吸收，引起新的裂变，释放能量和中子，这样连续不断地进行下去，中子数目成倍增加，越来越多的铀原子核参加到裂变反应中来，链式反应就能够自动地建立起来，大规模的具有实用价值的能量就不断地释放出来。利用链式裂变反应，人们在1942年12月建成了世界上第

一个原子核反应堆。1945年7月又进行了第一次核爆炸试验。

今天，我们对于原子核的认识已经有了很大进步，但是，有待深入研究的问题还很多，摆在我们面前的仍然是一个很大的必然王国。中子作为探索原子核奥秘的有力武器的，一定还会发挥出更大的作用。

第三讲 宇宙空间里的中子

在第二讲里，我们介绍了中子在原子核研究中发挥的重要作用。在这一讲里，我们把眼光转向浩瀚无垠的太空，看看中子在宇宙尺度的客观世界里所起的作用。

宇宙空间是由哪些元素组成的？各种元素又是怎样形成的？这是天体物理学的一个重要研究方面，也是人们很关心的问题。天文学家很早就通过光谱分析确定太阳和恒星的化学成分，并得出这样的结论，这就是：它们也是由组成地球万物同样的一些化学元素组成的。这是世界物质统一性的有力证据。但是，各种元素究竟是通过怎样的过程形成的呢？要弄清这个离开今天那么遥远的事情是很困难的，而中子物理工作者提供的实验数据，却给了人们关键性的启示。大家知道，中子在同原子核相碰撞的时候，会被原子核吸收，发生原子核反应，这个过程叫中子俘获反应。一种元素的原子核通过中子俘获过程，会形成质量大的元素。而不同元素的原子核，对中子俘获的本领有大有小。在二十世纪四十年代后期，人们对一系列元素的原子核俘获中子的本领进行测量，结果发现：各种元素的原子核俘获中子的本领和太阳系中各种元素的相对丰度有着惊人的关系。元素的相对丰度是指各种元素在自然界里所占的比例。元素的原子核俘获中子的本领和元素的相对丰度之间有一个相反的关系，就是相对丰度大的轻元素俘获中子的本领小；相对丰度小的重元素俘获中子的本领大。这就启发人们提出这样的理论：在元素形

成的过程中，中子俘获反应起着重要的作用；对于质量大于铁的各种元素，主要是铁原子核通过接连的中子俘获过程形成的。根据这个理论，可以从各种元素俘获中子的本领来计算它们可能达到的丰度。经过计算以后，果然发现计算的结果和实际看到的情况是一致的。以后，这个理论又得到天文观测和实验室中子测量数据的进一步支持，使得理论不断地完善。当然，宇宙空间里的元素的形成过程是复杂的，不光是中子参与了这个过程。但是，在比较重的元素的形成过程里，中子俘获反应起着重要作用，看来是没有疑问的。

在星体演化的过程中，中子也扮演了重要的角色。大家知道，六十年代天体物理学有四大发现，其中的一个是脉冲星。现在，普遍地认为脉冲星是一种高速度旋转的中子星。脉冲星的发现，生动地证明中子在星体演化过程中起着重要的作用。

关于中子星可能存在的预言，几乎是紧接着中子的发现而出现的。根据在实验室里得到的中子性能的资料，有人在一九三二年和一九三四年就对中子星做了定性的设想；到了一九三九年，有人进一步做了定量的计算；以后，尽管人们作了很大努力，可是，一直没有找到中子星，这样，人们研究中子星的热情也逐渐冷了下来。

就在中子星快被人们遗忘的时候，一九六八年英国的射电天文工作者却意外地发现了一个新天体。因为它以非常精确的时间间隔发射出强烈的无线电脉冲，所以当时把这个新天体叫作脉冲星。随后，又马上确定这颗脉冲星正是理论上早已预言的中子星。于是中子星的研究又重新形成了热潮。到目前为止，已经发现了将近二百颗中子星。

那么什么是中子星呢？按照天体演化理论，中子星是恒星演化到后期的一种形态。如果说引力收缩阶段是恒星的幼

年期，主序星是恒星的中年期，红巨星是恒星的老年期，那么，对于质量不大于太阳质量一倍半的恒星白矮星是它的临终期。但是，对于质量更大一些的恒星，白矮星还不是最后阶段，它还要进一步演变下去。这时候，由于能量来源枯竭，恒星急剧收缩，内部产生很大的压挤力，把差不多百分之九十的原子外层的电子都“挤进”原子核里。原子核里带正电荷的质子被电子所带的负电荷所中和，转变成中子。由于中子和中子之间在比核子距离还小的距离上有着强大的排斥力，这个排斥力对恒星进一步收缩起了阻止作用，于是就形成了密度非常大的中子星，在中子星里，百分之九十九都是中子，质子只剩下百分之一左右，物质的这种状态不同于气态、液态、固态，也不同于等离子态，物质的这种特殊状态叫作中子态。

中子在宇宙间创造的奇妙的中子星，具有许多奇异、壮观的性质：

首先，中子星是一个超高密度的星体。据估计，中子星的质量最大是太阳质量的一倍半到两倍，可是，它的半径却只有十公里到三十公里，因此平均密度高达每立方厘米几亿吨。如果我们把地球也压缩到这样的密度，那么，地球的直径只有二百多米了。按照这个密度来计算，中子星里的中子总数有十的五十七次方(10^{57})个，这真可以说是一个巨型的原子核了。在地球上的实验室里，物理学家直到现在也没有找到两个以上的中子组成的系统，倒是在天上看到了那么多中子集结在一起的宏伟图景。

快速旋转的中子星和太阳一样，也会向外辐射能量，不过，它辐射的能量非常大，平均是太阳的一百万倍，它一次辐射的能量，就相当于地球在一亿年里的用电量。

中子星表面的温度也相当高，大约是一千万度，中心温