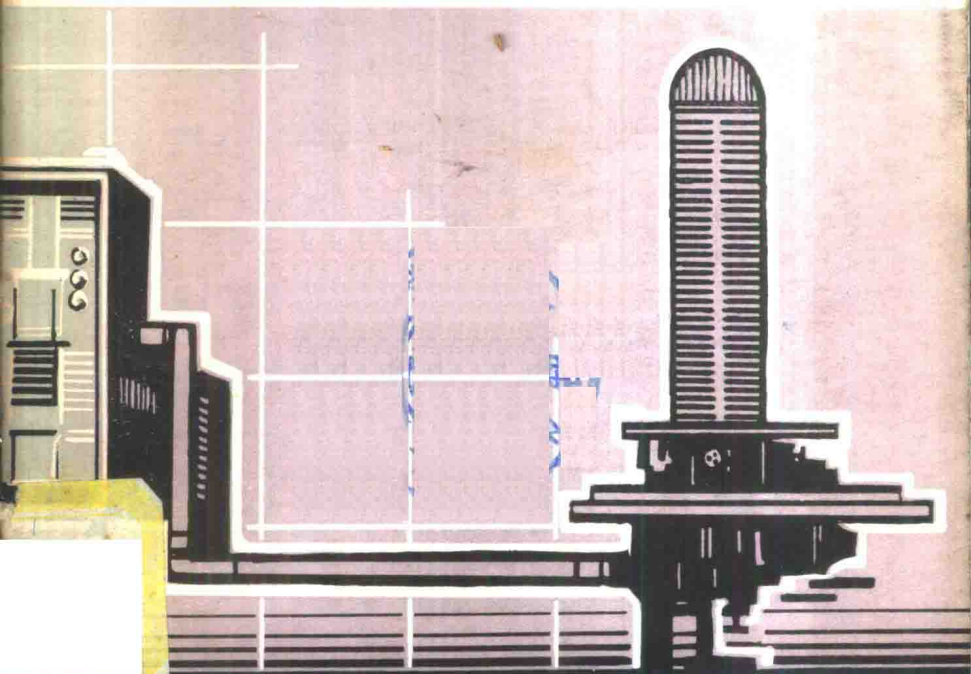




自然科学小丛书

粒子加速器



北京人民出版社

自然科学小丛书

粒子加速器

罗景韶

北京人民出版社

自然科学小丛书

粒 子 加 速 器

罗 景 韶

*

北京人民出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 2.75印张 48,000字

1975年6月第1版 1975年6月第1次印刷

印数 1—100,000

书号: 13071-32 定价: 0.19元

毛主席语录

你要有知识，你就得参加变革现实的实践。你要知道梨子的滋味，你就得变革梨子，亲口吃一吃。你要知道原子的组织同性质，你就得实行物理学和化学的实验，变革原子的情况。

编 辑 说 明

为了帮助广大工农兵和青少年学习自然科学知识，更好地为社会主义革命和社会主义建设服务，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，结合三大革命斗争实践，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，适合广大工农兵和青少年阅读。

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，恳切希望广大读者批评指正。

目 录

- 一 轰击原子核的大炮.....(1)
宇宙和原子 (2) 粒子炮弹 (5) 原子核的变
革 (7) 能量和能量单位 (9)
- 二 粒子炮弹怎样获得能量.....(11)
从电子管谈起 (11) 粒子炮弹的加速 (13) 离
子源 (15) 加速电压和加速器 (20)
- 三 各种粒子加速器.....(21)
高压倍加器 (21) 静电加速器 (28) 直线加速
器 (34) 电子直线加速器 (41) 回旋加速
器 (43) 稳相加速器 (53) 同步稳相加速
器 (56) 电子感应加速器 (60)
- 四 加速器的未来.....(64)
高能、强流和新型 (64) 加速器发展的途径 (66)
- 五 加速器的应用.....(67)
在科学技术方面的应用 (67) 在农业上的应用 (71)
在工业上的应用 (72) 在医学上的应用 (77)

一 轰击原子核的大炮

粒子加速器是加速带电粒子的机器。它不仅是研究原子核复杂结构的重要设备，而且广泛用于工农业生产、国防工业、医疗卫生事业和其他应用科学技术等部门。

为什么把加速器比作轰击原子核的大炮呢？当用炮打坦克的时候，因为从炮口飞出的炮弹，具有很高的速度或足够的动能，可以克服钢板的阻力，穿透坦克的钢甲达到杀伤有生力量、破坏内部结构的作用。物理学工作者研究原子核的结构也是这样，必须设法“敲开”原子核，才能破坏它的内部结构，了解它内部到底有那些东西。但是在实践中，“敲开”原子核并不容易，需要有比炮弹能量还要高得多的带电粒子作为炮弹。粒子加速器，就是发射这种高能带电粒子的装置；用它射出的高能粒子炮弹，可以轰击原子核，帮助我们研究它的内部结构和性质。因此把粒子加速器比作轰击原子核的大炮。

什么是带电粒子炮弹？原子核内到底有哪些东

西？为了说明这些问题，让我们先从与原子构造相似的宇宙谈起。

宇宙和原子

晴朗的夏夜，无边无际的太空和那瞬息万变的满天星星，常常引起一些年轻人的思考和争论。他们能提出许许多多看起来简单、实际上不太容易回答的问题。譬如：天有多大？它有没有边际？天上到底有多少星星？

现在我们就来谈谈这些问题。自古以来，人类对宇宙的认识，存在着两种互相对立的观点：一种是辩证唯物论的；一种是形而上学的。早在很古的时候，一些天文学工作者，就开始了对日、月、星、辰的研究。在两千七百多年前，我国就有了日蚀的记载。东汉时代杰出的科学家张衡，制造了浑天仪和地动仪，观测天象，打击了当时占统治地位儒家的谶纬迷信。南北朝进步的科学家祖冲之，在驳斥儒家的谬论时曾说过：月亮运动有一定的规律，不是什么神仙鬼怪搞的，是可以测量和推算的。以后我国的天文学工作者又创造了各种仪器来观测星星的位置和运动规律。这些科学实践，有力地批判了孔孟之道的“天不变，道亦不变”的反动谬论。

随着科学技术的发展，人们对星星和宇宙的长期观测，获得了丰富的知识。现在不仅能够看到火星两极的白色积雪、金星的蔚蓝色云雾、土星的美丽光环；而且也知道了宇宙间星星是怎样运动的，由什么物质构成、发多高的热，有多亮的光以及它的形状大小如何。大量的观测资料，帮助了人们对宇宙有了进一步的认识。

我们生活在地球上，地球也是一颗星星，它究竟有多大呢？有人曾计算过，地球的半径大约为6400公里，通常认为这是不小的数目字。其实，地球只是环绕恒星太阳旋转的一颗行星，太阳的体积要比地球大130万倍。太阳不过是庞大的银河星系的一颗恒星。银河星系是由1500亿颗恒星组成的星星大集团。这个星星集团的大小再不能用多少公里表示了，需用更大的单位来衡量。在天文学里天体距离是以光的速度（每秒30万公里）行进一年所走的路程为单位来衡量的，这个单位叫做光年。银河系的半径大约有40000多光年。这是一个多么大的数目字呀！然而，这仅仅是宇宙很小的一部分。现代最大的射电天文望远镜已经发现了一亿个以上象银河星系一样巨大的星星集团，把它们叫做河外星系。在宇宙更深的地方还有数不清的河外星系。宇宙确实是无边无际啊！

上面谈的是事物大的方面。事物的另一个方面，也就是小的方面，这又是什么样子呢？

过去，有人认为原子是组成世界物质的最小微粒，不能再分割了。这是阻碍科学向前发展的形而上学观点。恩格斯在《自然辩证法》一书中指出：“**原子决不能被看作简单的东西或已知的最小的实物粒子。**”列宁在《唯物主义和经验批判主义》一书中也指出：“**电子和原子一样，也是不可穷尽的；自然界是无限的，而且它无限地存在着。**”这一科学论断，在宏观上由天文学证实之后，在微观上又被原子核物理学实践所证实。研究原子核的结构、特性和原子核转化的学科，叫做原子核物理学。

原子是非常微小的粒子，不要说肉眼看不见它，就是用现代最大倍数的显微镜也难以看到它。虽然小的没法看到，可不能小瞧它。原来，在原子内部有点象宇宙的银河系一样镶嵌着许许多多的“星星”——基本粒子。基本粒子是比原子更小的微粒。其实，基本粒子也不是最基本的粒子，它们是由更微小的粒子组成的。这些微小的粒子在原子核中以各种方式在不停地运动着，就好象行星和恒星在宇宙间不停地运动一样。下面就进一步谈谈原子核的结构和做为轰击原子核的粒子炮弹。

粒 子 炮 弹

在原子中心有一个带正电的原子核，原子核的外围是一些带负电的电子。这些电子沿着各自的轨道围绕着原子核旋转，就象太阳系的行星沿着一定的轨道围绕太阳旋转一样。

原子的直径大约有一亿分之一厘米；原子核的直径是原子直径的十万分之一。可见，在原子核和围绕它旋转的电子之间有着多么广阔的空间；原子核又是多么微小啊！这个小到难以想象的原子核，却是个结构很复杂的东西。

一九三二年，知道了原子核是由质子和中子构成的。质子是一种带正电的粒子，比电子重 1800 多倍。质子带的正电量跟电子带的负电量大小相等，电性相反。中子是不带电的粒子，中子的质量比质子稍大一些。

平时，原子是不带电的，因为原子核中质子数目跟核外电子数目相同，带的电量正好相等，形成了不带电的原子。不同元素原子的电子数目是不同的，但原子中含有电子的数目一定与原子核中含有的质子数目相同。例如，原子序数为 1 的氢原子，只含一个电子，原子核中也只有一个质子（图 1）。原子序数为

2 的氢原子，含有两个电子，氦原子核（也叫做 α 粒子）中有两个质子和两个中子（图 2）。原子所含的电子数目或质子数目等于它的原子序数。

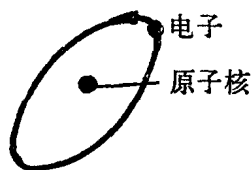


图 1 氢原子

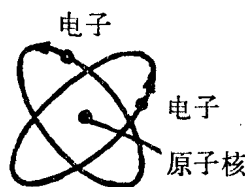


图 2 氦原子

近些年来，人们从原子核中又发现了许许多多的更小微粒，例如各种介子，各种中微子和各种超子等等。这些都叫做“基本粒子”。

原子核物理实验中轰击原子核的粒子炮弹，一般常用的有质子、氘核、氦核和其它一些原子核。有时也用中子和电子作炮弹。

从上述我们可以知道，只要把氢原子核外的一个电子剥掉，得到的氢原子核就是带一个正电荷的质子。

氢原子有个孪生兄弟，叫做重氢，也叫做氘。氘原子核是由一个带正电的质子和一个不带电的中子组成，它比质子重一倍左右。氘原子核外围也只有一个电子，剥掉这个电子就得到氘核，它也是带一个正电荷的粒子。

氦原子有两个核外电子，原子核是由两个带正电的质子和两个不带电的中子组成的，它的质量是质子的四倍左右。剥掉氦原子核外的两个电子就得到氦原子核，也叫做 α 粒子。 α 粒子是带两个正电荷的粒子。

在元素周期表中，原子序数比较高的原子，它们的核外电子比较多，一般只能剥掉其中的一部分电子。人们通常把失去电子或得到电子的原子叫做离子。离子是带电粒子，原子失去外围电子就带正电，叫做正离子；得到电子就带负电，叫做负离子，它们都可以用来做轰击原子核的粒子炮弹。

原子核的变革

毛主席在《实践论》中指出：“你要知道原子的组织同性质，你就得实行物理学和化学的实验，变革原子的情况。”原子核物理学就是遵循这条辩证唯物主义认识论的路线前进的。

早在十九世纪末叶，人们就开始研究原子核了。最初，发现自然界中某些元素的原子核能够天然的蜕变为另外的原子核，例如：铀元素的原子核能放出氦原子核，而变成另一种元素的原子核——即钍原子核；镭原子核放出一个氦原子核后变成氡原子核，这

些现象叫做核衰变。这时，科学工作者对原子核的研究主要集中于自然界存在的天然放射性元素的原子核上。当时，曾有一种错误观点，认为只有天然放射性元素的原子核才能够转变，天然稳定性元素的原子核是不会转变的。实验的结果证明：稳定元素的原子核在特定的外因条件下也是能够转变的。

一九一九年，英国物理学家卢瑟福在他的物理实验室里，用自然界存在的钋²¹⁴原子核天然蜕变时产生的具有很高能量的氦原子核去轰击氮¹⁴的原子核，结果产生了一种新原子核——氧¹⁷。这个实验告诉我们：原子核的转变不仅在自然界的天然放射性元素的原子核中可以发生；对自然界中那些天然稳定性元素，也可以利用天然放射性衰变时产生的高能量原子核当做粒子炮弹去轰击它，实现原子核的转变。这就启发了人们着手寻找能产生高能量粒子炮弹的天然放射性元素。

但是，由于天然放射性元素衰变时产生的原子核的能量较低。用它们当做粒子炮弹去轰击原子核时，只能射入到原子核内一定境界，还不能进入腹地。而且天然放射性衰变时产生的高能量原子核的数目很有限，用为数不多的粒子炮弹去轰击微小的原子核靶子时，命中率是极低的，也就是获得核反应的粒子数目

不多。另外，天然放射性元素衰变时射出的粒子炮弹的能量的数值是确定的，不能按照人们的需要进行调整和控制。因此，这种炮弹虽有一定用处，但远远不能满足原子核物理实验迅速发展的需要。这时人们又去寻找能产生高能量粒子的新方法。

人们在实践中找到了人工产生高能量粒子炮弹的新方法，建造了轰击原子核的重炮。这就是带电粒子加速器。这种设备可以把许多种，甚至元素周期表中全部元素的原子核加速到很高能量，再把它引出来作为轰击其他原子核的粒子炮弹。带电粒子加速器给出的粒子炮弹不仅能量高、数目多，而且能量大小和数目多少是可以根据需要进行调整和控制。加速器的出现，有力地促进了原子核物理学的发展；为实现人工地变革原子核提供了良好的物质条件。

粒子炮弹轰击原子核时，必须有足够的能量才能实现原子核的转变。那么怎样来衡量和计算粒子炮弹的能量呢？

能量和能量单位

我们知道子弹穿透钢板的厚度与弹头质量的大小和速度的高低有关。要想穿透较厚的钢板不仅要提高弹头的质量，而且还要多装填火药，以便增加弹头

的飞行速度。因为动能取决于质量与速度平方的乘积。

带电粒子加速器是利用电场对带电粒子的吸引力或排斥力来加速带电粒子，使它获得较高的能量。物体自高空自由降落时所获得的能量等于它的重量与降落高度的乘积，带电粒子所获得的能量与它相似，等于粒子所带的电荷乘上它走过电场两端点的电位差（以伏为单位）。

因为电子所带电荷是目前无法再分割的最小电量，而其他粒子的电荷又为它的整数倍，所以计算带电粒子的能量，通常是以“电子伏”作单位。（1电子伏是表示带有一个电子电荷的粒子，通过1伏特电位差的电场时所获得的能量。）

如果电场两端的电位差是5伏特，质子从电场一端加速到另一端时得到的能量立刻可以算出是5电子伏。如果是带两个单位电荷的 α 粒子通过时，则为10电子伏。

电子伏是一个很小的能量单位，用起来很不方便，实际上常用：千电子伏 = 1000 电子伏 写作 10^3

电子伏；

兆电子伏 = 1000000 电子伏 写作 10^6

电子伏；

亿电子伏 = 100,000,000 电子伏写作 10^8

电子伏

在原子核物理学中，可粗略地分为低能核物理学和高能核物理学。低能核物理实验中，要求轰击原子核的粒子炮弹能量为几十兆电子伏以下。在高能核物理实验中，要求轰击原子核的粒子炮弹能量为几十兆电子伏到几千亿电子伏或更高的能量。

二 粒子炮弹怎样获得能量

从电子管谈起

电子管中最简单的是真空二极管（图3）。一个真空的玻璃管内有两个电极：一个阳极和一个阴极（灯丝）。

电子管的阳极接到电源的正极，阴极接在电源的负极，这时在电子管的阳极和阴极之间形成了一个电场。从灼热的灯丝（阴极）表面发射出来的电子，受到阳极和阴极之间的电场力作用；阳极吸引它，阴极排斥它。因此，电子在电场力作用下，以越来越快的速度从阴极飞向阳极；到达阳极的时候，它已经从电场中获得很高的能量。例如，阳极有1千伏特的电压，