



研究原子能的工具

吳仲璣 著 陸 鍾 譯
增補本 重版序

科學普及出版社



研究原子能的工具

谢家荣

萧健

金建中

叶铭汉

李德平

李整武

科学普及出版社

0430

本書提要

原子能的發現和应用，在科学史上写下了光輝的一頁，这只是新紀元的开端。在原子的領域里，还有許多深奥莫测的現象等待着人們繼續去鑽研。

中华全国科学技术普及协会所編的光明日报科学專刊曾經發表过关于研究原子能的工具的一系列文章：加速器是怎样工作的、要高能加速粒子干什么、云霧室和气泡室、閃爍器和發光室、計数管、契連科夫輻射和契連科夫計数器。为了便利讀者參閱起見，所以把这六篇文章彙編成小冊子。

总号：588

研究原子能的工具

著者：謝家榮 蕭健 金建中
叶銘汉 李德平 李整武

責任編輯：黃友荃

出版者：科学普及出版社

(北京市西直門外柳條溝)

北京市書刊出版營業證許可証出字第091号

發行者：新华書店

印刷者：北京市印刷一厂

(北京市西便門大街乙1号)

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$

印張：1

1957年1月第1版

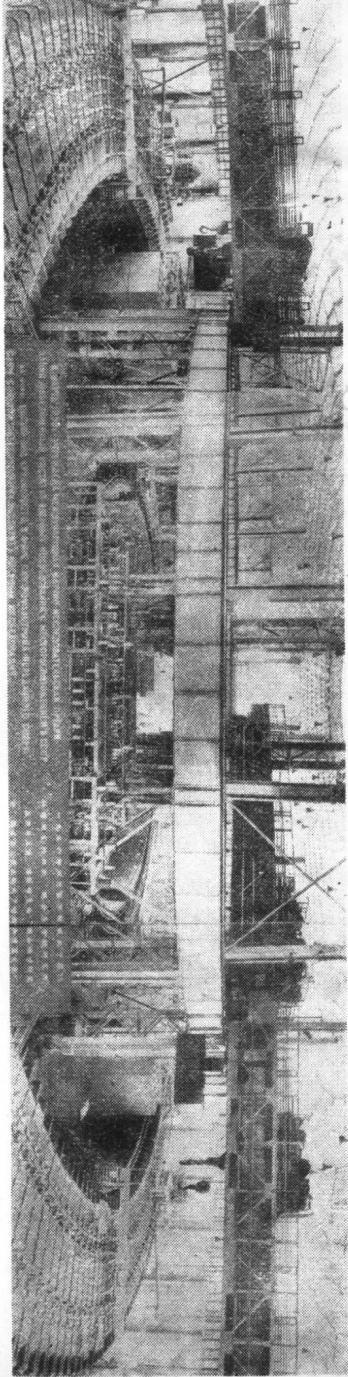
字数：19,000

1957年1月第1次印刷

印数：12,570

統一書号：15051·23

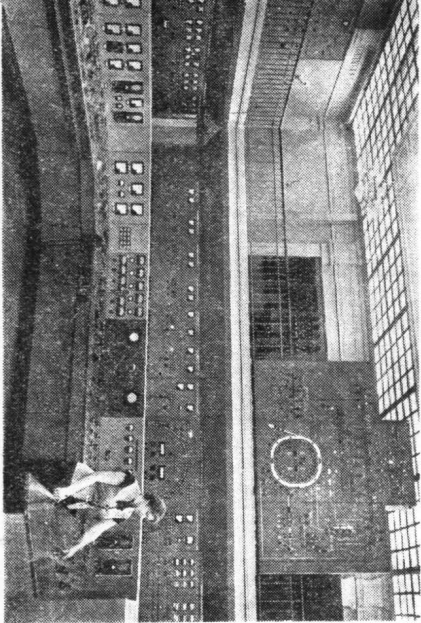
定价：(9) 1角3分



↑

这是在莫斯科的联合核子研究所最近安装完畢的同步稳相加速器的全貌。它安装在封面的圆形建筑物里面。这种加速器是用36,000吨磁鉄組成的一座环形真空室，它的直径是56公尺。

← 同步稳相加速器操縱室的中央操縱台。正在工作的是值班工程师切尔卡索娃。



加速器是怎样工作的

謝家榮

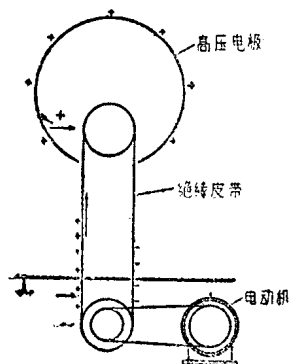
原子核物理和原子能和平利用所以有今天的偉大成就，帶電粒子加速器可以說是起着主要的作用。虽然宇宙射綫和放射性元素射出的 α 粒子、 β 粒子、 γ 射綫，都能用来研究原子核，而加速器却是實驗室中唯一可以随意控制的各种大量高能粒子和射綫的来源。因此，加速器便成为研究核子物理的不可缺少的工具。

此外，加速器也可用来發現新的同位素和元素，或者产生各种同位素。在医学上，可以用加速器所产生的能量为几千万电子伏特的电子，或几亿电子伏特的質子，治疗深藏人体内部的瘤瘡，因为控制这些粒子的能量，可以把引起的电离作用集中在瘤瘡部位，治疗效果就比其它的輻射方法好得多。加速器产生的高能电子，还可以用来延迟农作物的發芽、防止食品的腐爛和消毒、控制高分子化合物的形成等等。同时，高能电子打在靶上便产生 γ 射綫或中子，因此电子加速器又可以用在巨型鑄件的探伤或石油的勘測上。

加速器产生的粒子能量愈大，用它們来轟击原子核时愈能反映出核子微觀世界本質的特性。粒子数目愈多，愈容易觀測到几率較小的反应。所以高能和强流，就形成目前加速器發展的兩個主要方向。苏联在这兩方面的成就都已經达到世界最先进的水平。苏联即将完成的100亿电子伏特同步稳相加速器，

是世界上能量最大的質子加速器；在設計階段的 500 億電子伏特的強聚焦加速器，更超過美國製造中的同式加速器的能量的一倍；在現在正運轉的 6 億 8 千萬電子伏特同步迴旋加速器引出粒子流的工作方面，蘇聯採用卓越的方法而獲得較強的粒子流。

根據工作原理的不同，加速器分為三類。第一類是利用靜電場來加速帶電粒子的，叫做靜電加速器，由於高壓絕緣的困難，加在靜電場兩端的電壓不能太高，所以大都只能加速粒子到一千萬電子伏特以下的能量。第二類是利用由變動磁場所感應出來的電場來加速電子的，叫做感應加速器，由於電子在圓形軌道運動時有輻射耗損，所以一般只能達到一億電子伏特的能量。上面兩類加速器都只能產生能量較低的加速粒子。第三類是利用諧振的關係把同一粒子重複地加速而獲得極高的能量，叫做諧振加速器。根據粒子運動軌道的不同，其中又分為圓形軌道和直綫軌道兩種：前者包括迴旋加速器、同步迴旋加速器、同步穩相加速器和強聚焦同步加速器；後者包括直綫質子加速器和直綫電子加速器。現在分別簡單介紹于下。



靜電加速器

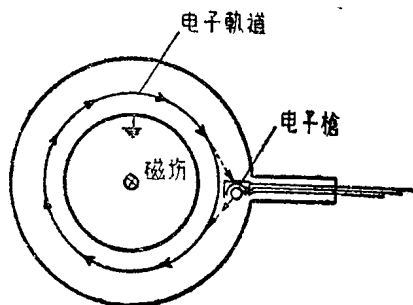
靜電加速器如圖所示，高壓電極是一個用絕緣體支持的金屬殼，由電動機帶動的皮帶在它的開口處運轉。皮帶下部由一個直流電源的電量放電，把正電荷或負電

荷噴到皮帶表面上，然後由皮帶把電荷不斷地移到金屬殼上，於是它的電壓由於電荷的累積而升高，直到皮帶運送電荷的速率和用電、漏電的速率相等為止，這時金屬殼上的穩定電壓就可用來加速帶電粒子。這種加速器是在 1931 年發明的，可說是最老的一種加速器。

感應加速器

感應加速器通常只能用來加速電子，它的構造如下圖所示。在和圖中平面垂直的方向上，有交變磁場存在，電子從電子槍射出後，受到交變磁場所感應的電壓的作用，

而在圓形軌道上加速，每轉一周就獲得一定的能量，最後，由一個外加的脈衝磁場使已被加速的電子折出原來軌道，打在電子槍的後壁或另外的靶

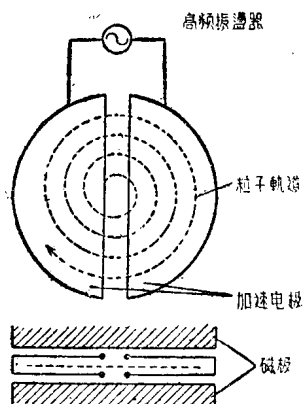


上，產生高能的 γ 射綫。假若加上特殊裝置，也可以把電子束直接引到加速器外面使用。為了避免電子和空氣分子碰撞而散射，以上的過程當然是在真空室中進行的。

迴旋加速器

在真空室內的兩個扁平中空的一半圓柱形電極上，接著高頻電源，使電極中間的狹縫中存在着交變電場。和電極平面垂直的方向上，有從電磁鐵產生的均勻穩定的磁場。電極系統的中

心，有一离子源，可以产生正离子。这些离子产生后，受到間隙中存在的电場的加速作用，便向某一个电極內运动，同时又



受磁場的作用而走半圓形的軌道，重新回到間隙。这时，电場的方向恰好变得和先前的方向相反，于是正离子又被电場加速而向另一个电極內运动。不过此时它們已經被加速兩次而具有較高的速度，所以这次走的半圓形軌道的半徑比以前大些。这样的过程重复进行，粒子的速度和能量愈来愈大，軌道的半徑也愈来愈大，直到最后它們走到电

極的边緣，那里有一个偏折电極把它們引出器外。

同步迴旋加速器

从迴旋加速器所获得的加速粒子的最高能量有一定的限度，这是由于当粒子能量增大时，粒子的質量也随着增加。在上述迴旋加速器中，当粒子的質量随着速度而增大时，它們走一个半圓軌道所需要的时间也愈来愈長，所以就渐渐落后于間隙电場的变化，最后当它們到达間隙时，遇到的可能不是正向加速的电場而是反向减速的电場，这时就达到迴旋加速器工作的極限。

这个困难，首先由苏联物理学家維克斯勒指出，可用調頻的电源来解决。假如我們把交变电場的周期和粒子在半圓形軌道运轉所需的时间，作同步的增長，那么就可以保証粒子每次

經過間隙時都遇到正向的電場而得到不斷的加速。蘇聯在1949年，就按照這個原理制成了世界上最大的同步迴旋加速器，它的長寬各約50米，電磁鐵和線圈重約8,000噸，可以產生6億8千萬電子伏特的質子。

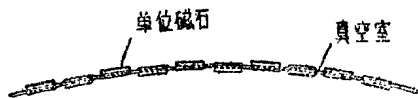
同步穩相加速器

同步迴旋加速器雖然沒有迴旋加速器的能量限制，但是從上面例子可以看出，如果要向更高的能量發展，那麼加速器中使用的電磁鐵就更大更重，它的製造費用將受到經濟上的限制。同步穩相加速器就是利用蘇聯物理學家維克斯勒所提出的同步穩相原理。帶電粒子在真空室中由加速電極的高頻電場得到加速，磁場則使它們沿圓形軌道轉動。如果加速電場的頻率和磁場的強度，都隨着粒子能量的增加而變化，就可使粒子在差不多不變的圓形軌道上重復地加速，這樣就可以使用環形磁鐵，由於取消了磁鐵的中心部分，也就減低了製造費用。同步穩相加速器可以用來加速電子或質子，由於加速粒子的不同，它們的構造也有相當的區別。以上所述是質子同步穩相加速器的工作原理，在使用時，質子的來源是由另外一種直綫質子加速器供給的。蘇聯即將完成的100億電子伏特同步穩相加速器，就是用來加速質子的，它的磁鐵直徑幾乎有60米，重約36,000噸，規模之大可想而知。

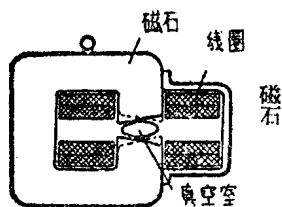
強聚焦同步加速器

如果用同步穩相加速器，來產生100億電子伏特以上的能量，也極不經濟。可是近幾年來，加速器工作者又發現了強聚

焦原理，这样才解决了超高能量加速器的成本问题。根据强聚焦原理，可以制造多节磁铁的同步加速器（如图）。各节磁铁具有楔形磁极间隙，而相邻的磁铁，楔形张角的方向相反，如下图的



实线和虚线所示。当加速粒子沿环形轨道，在真空室内通过这



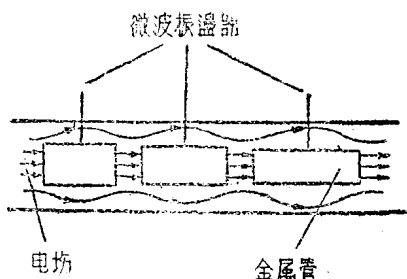
样一系列的楔形间隙时，它们沿垂直于平衡轨道方向振动的振幅很小，因此真空室的截面，可以比同样能量的同步稳相加速器的真空室截面小很多，于是所需磁铁的尺寸也大为减小，这就使得制造超高能

量加速器，在成本上与电力消耗上，成为可能。目前苏联设计中的 500 亿电子伏特强聚焦加速器的多节磁铁共重 22,000 吨，远少于 100 亿电子伏特的质子同步稳相加速器的磁铁重量，这说明了强聚焦加速器的优越性。

直线质子加速器

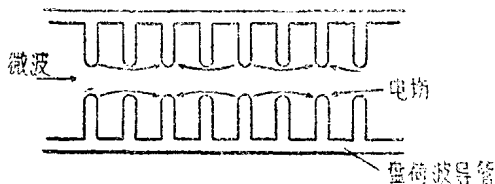
直线质子加速器是由一个悬有许多金属管的金属圆筒构成的。另外有微波电源在筒内激发一定的电磁场，其中电场部分产生加速粒子的作用。一般是先用静电加速器把质子加速到几百万电子伏特后再注入器内。当质子经过金属管的间隙时，如果电场的方向恰好向前，质子就可得到加速。它们在金属管中运动所需的时间，又恰好等于微波振荡的周期，所以再经过另一间隙时，又同样地赶上向前的电场，如此便可重复地得到加

速，因此粒子的速度愈來愈大。但微波的周期是一定的，所以金屬管的長度必須逐漸增長，才能保證時間的同步。這種加速器的特征是，能產生強大的外界粒子流。



直綫电子加速器

和直綫質子加速器相似，直綫电子加速器也需要微波做電源，所以它們同是最近几年在微波电子学發達以后的产物。它的工作原理是，在一个盤荷波导管中；由微波电源来激發一个相速等于光速的行波（如圖）。电子从一端由电子槍注入后，



遇到推它向前的电波的軸向電場，就很快地被加速到接近光速，此后电子和电波并排前进，所以电子受到等于一个靜止不动的电場的作用。它們和电波同行的路徑愈長，能量的增長就愈大，換句話說，加速管愈長，最后的能量也愈大。

直綫質子及电子加速器都有些共同的特征。首先是粒子的軌道是直綫的，所以当它們加速到超高能量时，沒有圓形軌道所不能避免的輻射損失，因此可以說沒有实际的能量限制。另

外，强大的粒子流走到加速器的末端就自动射出器外，沒有圓形加速器引出粒子流的問題。還有，直綫加速器的能量是隨長度而增加的，這就可以隨意增長加速管長度來提高能量，不像圓形加速器在設計時就得把最後能量固定。

目前，我國正在向科學大進軍，加速器工作在我國的燦爛發展，也是完全可以預期的！

要高能粒子加速器干什么

蕭 健

当我们看到一幅高能粒子加速器的照片，也许要问，花那么多的人力和财力来建造高能粒子加速器，究竟有什么用呢？

要回答这类问题很不容易。过去就有人把某些科学家的研究活动，描写成为在实验室里作些很神秘或莫名其妙的事情，好像这些科学家都是一些怪人。

但是科学发展的历史告诉我们的却不是如此。

当电子最初被发现的时候，只不过是某些科学家，在一根玻璃管中适当地安上几个电极，把玻璃管内的空气抽出去，同时在电极上加上适当的电压，这样，就在玻璃管一端的面上看到一个绿色的小荧光点。如果在这玻璃管外加一块磁铁，就可以看到这小荧光点的位置移动了。不了解的人，还以为是在黑夜里玩萤火虫。然而科学家就正是通过这些和类似的活动，熟悉了电子的性质，掌握了电子的运动规律。到六十年后的今天，电子的作用已深入到很多重要的方面，例如无线电、电子计算机、半导体和自动控制等，就是当时发现电子的汤姆生，恐怕也没有料到他所观察的那个小荧光点对今天的人类生活会有这样大的影响。

再例如，我们看到了原子能的广泛应用并深信它有更光辉的未来。但是要知道，今天的这些成就，是建立在人类对原子核的性质上的认识上的，也许可以说是从放射性的发现开始的。

从这两个例子，也許讀者会体会到，当人类对物質世界的規律了解得愈深刻，就可以更好地使自然为人类服务。体会了这一点，也許就不难回答前面所提出的問題了，因为高能粒子加速器正是揭露物質深处規律的强有力的利器。

只有通过变化的、动的过程，才能达到認識事物的目的。例如我們要了解氫的性質，如果把它裝在瓶子里，那一輩子我們对氫的性質也不会了解。如果我們將它灌到气球里，就会發現气球上升；如果在盛有氫的試管点火，会發現氫可以燃燒（不可随意試驗，可能發生爆炸危險！）。总的來說，要認識事物，就要使事物变化，然后根据事物的各种变化，把它的运动規律总结出来。高能粒子加速器的主要用途，在于把它所产生出来的高能粒子打击到原子核上时，能产生各种变化，因而我們就有可能根据这些变化来摸索物質深处的运动規律。

大家都知道，原子核是由質子和中子組成的，質子帶正电，中子不帶电，原子核是非常小的。那么为什么帶正电的質子挤在一起不会因电力的相互排斥作用而散开，反而紧紧地結合在一起呢？这說明質子和質子之間有一种吸力，而且这种吸力比它們之間的电排斥力还要大。又由于当質子間的距离較大时，它們之間仍是互相排斥，所以这种吸力只有当它們之間距离很小时才起作用。同时，中子和質子的性質很相近，而且中子也同样能紧紧地結合在原子核內，所以中子和中子之間以及中子和質子之間也同样地有这种吸力作用。我們把这种“新”的吸力叫做核子力。由于中子和質子是同一类型的粒子，就統統把它們叫做核子。

物理学家素来对“力”很感兴趣。电学就是从研究猫皮摩擦

琥珀产生的可以吸引輕微物体的力开始的。研究行星繞太陽的运动，使牛頓發現了万有引力。現在人类又發現了核子力，毫無疑問，物理学家是非常重視它的。

上面說过，核子力作用的距离很小，但在这距离范围以內它的作用又特別强。怎样能說明这些特点呢？

早在 1935 年，日本理論物理学家湯川秀樹就意識到，如果假設有一种帶电（可以帶正电，也可以帶負电）的、質量比电子約大 200 倍的粒子存在，就可以解釋上述的核子力的特点；如果把能量足够高的核子打击到另一核子上时，應該可以产生这样的粒子。可是那时物理学家还不知道有比电子約重 200 倍的粒子，而那時的粒子加速器又不能發生出能量很高的核子来檢驗是否可以产生这样的粒子。

后来在研究宇宙綫时發現了这种粒子，它的質量比电子大 273 倍，因为它的質量“介”乎質子和电子的質量之間，所以叫做介子，物理学家更正稱地把它叫做 π 介子。 π 介子还有一个特点，它是不穩定的，它的寿命只有五千万分之一秒。

在 π 介子被發現的前一、兩年，苏联物理学家維克斯勒研究出了一个新的原理，根据这原理可以制造能量比以前高得多的高能粒子加速器。当这种加速器建成以后，果然像湯川秀樹所預料的那樣，把从这种高能粒子加速器發生出来的核子打击到原子核上时，也就是說打击到核子上时，果然产生了 π 介子。

介子虽然被發現了，而且可以用人工的方法产生出来，但是問題並沒有結束，还應該弄清楚介子的性質和产生介子的規律。既然人工可以产生 π 介子，我們就要把产生出来的 π 介子

打到核子上去，看發生什麼現象。雖然有些研究工作可以利用宇宙綫來作，但是宇宙綫的強度太弱而且又無法控制，不能像利用高能加速器那樣随心所欲。

人們也一定還會問，假若再提高粒子的能量，除了產生 π 介子以外，會不會還能產生別的、以前還不知道的“怪”粒子呢？事實證明，這種想法是正確的。從研究宇宙綫和利用高能粒子加速器，已經發現了好幾種質量比電子的質量大966倍的重介子，以及比質子還重的幾種超子。這些新發現的粒子也和 π 介子一樣地不穩定，有些粒子的壽命只有千億分之幾秒。利用高能粒子加速器，還發現了帶負電的質子，那就是負質子。

現在，展現在我們面前的是一幅錯綜複雜的圖畫，有許多新粒子和新現象，但是物質深處的規律就正狡猾地躲藏在它們裡面。六十年前孩子玩螢火蟲的場面，現在變成了一大群孩子作迷藏，但是他們的眼睛是雪亮的，而且還擁有一盞光亮的強有力的照明燈——高能粒子加速器。

云雾室和气泡室

金 建 中

观察原子核的变化是非常困难的。因为原子核太小，它的直径约为二十万亿分之一厘米，它变化后的产物也太小，不但人眼无法直接看到它们，就是用现代电子显微镜也不能看到。因此物理学家们又创造了许多种“探测器”，来探测这些微观世界的变化。

原子核变化时放出一些高速带电粒子，这些带电粒子在物质中飞过就使得物质的原子电离或者激发^{*}，因而留下了许多离子化或激发的原子。我们只要设法把这些离子和激发的原子对外的作用加以强有力的放大（例如一百万倍以上），那么我们就可能间接地观察到这些带电粒子，从而认识原子核的变化。这些强有力的放大器，叫做“探测器”。

目前已有的探测器名目繁多，分为二类。（一）可以直接看见带电粒子运动径迹的探测器（即径迹室），共有四种：云雾室、原子核乳胶、气泡室、发光室。（二）不能看见粒子径迹，但是能够数出到达探测器的带电粒子数目的计数器，共有六种：盖革—缪勒计数器和正比计数器、小电离室、火花计数器、闪烁计数器、晶体计数器、契连科夫计数器。

^{*} 高速粒子将物质中的原子的电子击走，变成一个电子和一个带正电的离子这就叫原子电离，如果电子没有击走，只是运动轨道改变了一下，叫做激发，当被激发的原子复原时，就放出荧光。