

近代物理讲座

第六讲 加速器(I)

张英侠

(北京大学技术物理系)

一、序 言

在近代物理学的发展过程中，加速器起了很重要的作用。随着加速器中粒子能量从 10^3eV 增加到 10^{14}eV ，利用它进行研究的领域从核反应扩展到基本粒子反应。至今已发现的各种基本粒子有 300 多种，其中大部分是靠加速器发现的。图 1 表示基本粒子被发现的历史

和加速器建成的年代对照。图中方框中是粒子名称，上方的英文字母是各个加速器的简称。

加速器在工农业生产、医疗卫生及国防等各方面的应用也越来越广泛。此外，联系着带电粒子的加速问题而发展起来的新思想和新技术，对于其他领域也有很大影响。目前，广泛应用的加速器约有二十来种。下面介绍主要类型加速器的基本工作原理。

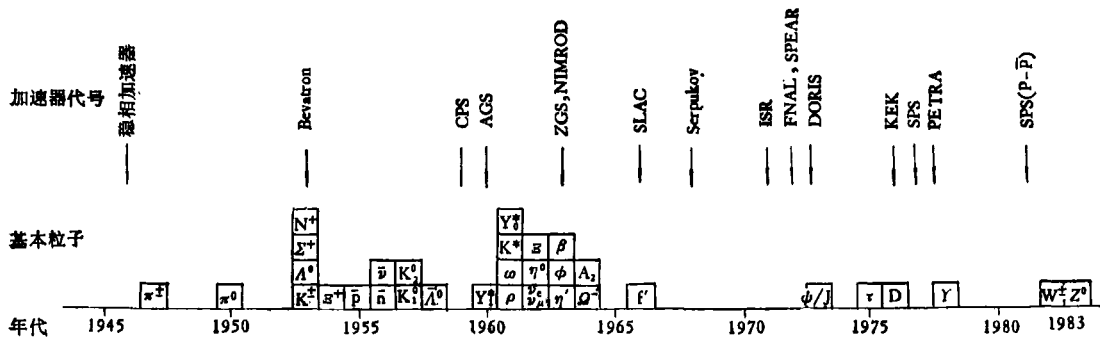


图 1 发现基本粒子的历史和加速器建成的年代

二、加速器的基本工作原理

不同的加速器虽然各有不同的特点，但大体上都由带电粒子源、加速系统、传输系统、真空系统、电源系统和控制系统等几个部分组成。

大家知道，带电粒子在电磁场中的运动方程为

$$-\frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) = Ze\mathbf{E} + ze\mathbf{v} \times \mathbf{B}, \quad (1)$$

式中 m 是粒子的质量； \mathbf{v} 是粒子的速度； Ze 是粒子的电荷，其中 Z 是电荷数， e 是电子电荷的绝对值； \mathbf{E} 和 \mathbf{B} 分别为电场强度和磁感应强度。很明显，电场的作用力方向与粒子运动的方向一致，故能加速带电粒子；而磁场的作用力（洛伦兹力）方向则与粒子运动的方向垂直，所

以只能改变粒子运动的方向,不能增加粒子的能量。由此可见,在加速系统里电场是不可缺少的,而磁场在要求改变轨道方向的圆形加速器里是需要的,在直线式加速器里并不需要。

1. 直流高压型加速器

直流高压型加速器是在加速器历史上最早(三十年代初)开始发展的一种类型。它是使带电粒子一次通过高压电场来获得较高能量的装置。

我们知道,假使在理想的真空中建立一电场,并将带 Ze 电荷的粒子从电位 V_1 处移动到电位 V_2 处,那么粒子在电场作用下所获得的能量 W 为

$$W = Ze(V_2 - V_1) = Ze\Delta V, \quad (2)$$

如果用 eV 作能量单位,用 V 作电位差单位,则(2)式可写成

$$W = Z\Delta V. \quad (3)$$

高压型加速器一般都由高压发生器、高压加速管、带电粒子源以及其他附属设备所组成。高压发生器有倍压整流电路、静电起电机、绝缘芯变压器和高频高压发生器等好几种,本节着重介绍利用前两种高压发生器的加速器。

(1) 倍压加速器

倍压加速器是用倍压整流电路作高压发生器的一种加速器。图 2 是 n 级倍压加速器的工作原理图,它由主电容器 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ 和辅助电容器 $C'_1, C'_2, C'_3, \dots, C'_n$ 以及 $2n$ 个整流

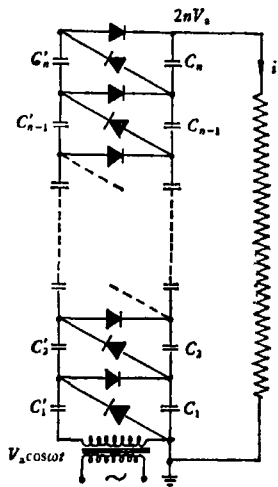


图 2 倍压加速器电路

器和高压变压器所组成。高压变压器靠整流器和辅助电容器的帮助,使每一个主电容器不断地被充电。如果没有漏电,那么在主电容器柱上能获得 $2nV_a$ 的直流高压。

很明显,级数 n 值越大,所能得到的直流高压就越高。但是,有负载电流(被加速粒子束流) i 时,由于每一个电容器上都有电压降,而且在每一个周期中都会出现充、放电过程,所以在输出端上必然出现电压降和电压纹波。电压降 ΔV (当 $C_1 = C'_1 = C_2 = C'_2 = \dots = C_n = C'_n = C$ 时)为

$$\Delta V = \frac{i}{yC} \left(\frac{2}{3} n^3 + \frac{1}{2} n^2 - \frac{1}{6} n \right), \quad (4)$$

而电压纹波幅度 δV 为

$$\delta V = \frac{1}{fC} \left(\frac{1}{2} n^2 + \frac{1}{2} n \right), \quad (5)$$

式中 f 为交流电压的频率。由此可见, n 值越大,电压降 ΔV 和纹波幅度 δV 值也越大,所以 n 值不宜过大,目前一般采用二级至六级。

1932 年考克饶夫和瓦耳顿利用倍压整流电路作高压发生器,建成了一台倍压加速器,用来加速质子,获得了能量为 700keV 的质子流,并实现了第一个利用人工加速的粒子进行的核反应。

这种高压发生器,如果采用适当措施,可以产生几个 MV 的高压。但是目前倍压加速器的电压一般都低于 1MV。倍压加速器的特点是输出功率较大,所以普遍地被用作中子发生器、离子注入机和其他一些高能加速器的第一级注入器。

(2) 静电加速器和串列加速器

由静电学可知,一个金属球所带的电荷都分布在外表面上,若另一带电体在金属球内侧与其接触,则这个带电体上的电荷将全部流至金属球的外表面。如果带电体从电源获取电荷,再次在内侧和金属球接触,那么其电荷又将全部流至金属球的外表面。于是,如果重复这一过程,从原则上讲金属球可以带上无穷多的电荷。设金属球的电容为 C ,所带的电荷为 Q ,则其电位是

$$V = Q/C, \quad (6)$$

因此从原则上讲, 可以将金属球的电位提至无限高。

基于这一原理, 1931年范德格喇夫建造了静电起电机, 获得 1.5MV 的电压。后来, 利用静电电机建成静电加速器。

要想获得很高的工作电压, 必须增加输送上去的电荷。但是实际上输送电荷过多时, 高压电极会向周围空间发生击穿放电。我们知道, 金属球表面的电场强度为

$$E_0 = V/r_0, \quad (7)$$

(其中 V 为金属球对地的电压, r_0 为金属球外半径), 而大气中击穿电场强度为

$$E_{\text{击穿}} \approx 3 \times 10^4 \text{V/cm},$$

因此要想在大气压下获得很高的电压, 高压电极的半径必须很大, 这就使得整个装置要做得很庞大。

提高工作电压的途径, 就是要改善整个装置的耐压性能。为此, 近代静电加速器都安放在钢筒里(图 3), 并在钢筒内充以绝缘性能良好的气体介质(例如氮气、氟里昂或六氟化硫等气体), 气压为 10—20 atm。另外, 为了防止轴向放电(例如沿着绝缘支柱、输电带或加速管放电), 把绝缘支柱分成一节一节的, 中间设置分

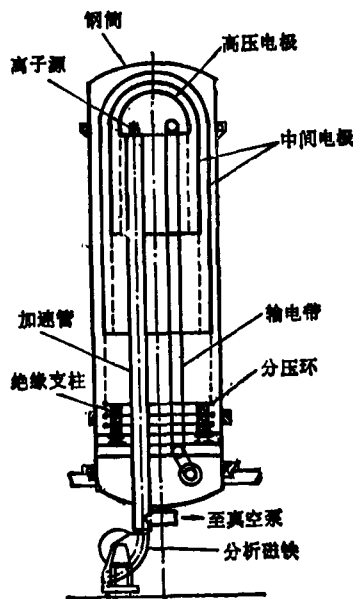


图 3 静电加速器结构简图

压环, 并利用电阻或电晕放电间隙做分压器, 使轴向电场分布均匀。同样, 为了使沿径向方向的电场分布也均匀, 在有些较大的静电加速器中, 在高压电极外侧的适当位置上, 再放一个或两个中间电极。

目前普通静电加速器(或叫单级静电加速器)的最高电压一般为 5—6MV。五十年代以来, 研制出了串列加速器, 工作电压可达 10MV 以上。图 4 是串列加速器的工作原理图。高压电极是正电位, 它的两边各联有一根加速管。离子源安放在钢筒外面。从离子源出来的正离子通过附加电子的孔道以后变成负离子(负离子源)。负离子在加速电场作用下向高压电极被加速。这些负离子在高压电极里面通过电荷转换器(又叫做剥离器, 是一段低气压气体或固体薄膜), 被剥掉外层电子而变成正离子, 在电场作用下向地端又被加速一次。于是, 带电粒子在串列加速器中得到二次加速, 因此可以获得加倍的能量。

目前, 10—20MV 串列加速器在美国已开始运行。30MV 串列加速器在英国正在建造中。

在低能加速器中, 静电加速器占有重要的地位, 因为它加速出来的粒子的能量单色性好,

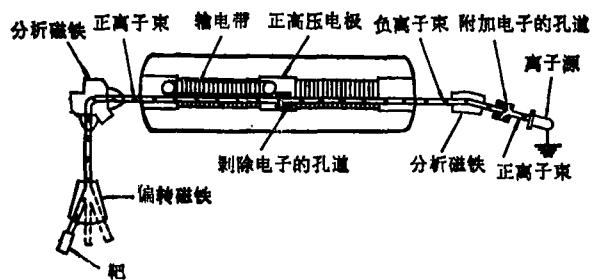


图 4 串列加速器工作原理图

并且粒子能量在较大范围内连续可调。

2. 回旋式离子加速器

因为直流高压型加速器受高压击穿的限制, 被加速粒子的能量不可能很高, 只能用来进行有限的核物理研究。为了更加深入广泛地研究原子核内部结构及其运动规律, 需要更高能量的粒子束。

只要我们能找到一种实际可行的方法,使粒子多次通过加速电场,那么用高压电场不易把粒子加速到很高能量的这一问题就能得到解决。实际上,这种方法早在三十年代初期已被人们提出来了。有人先提出了直线谐振加速器的原理(见直线加速器部分),但由于受到当时高频技术条件的限制,未能得到很大的发展,而被后来提出的回旋加速器原理所取代。在这基础上,陆续研制出了能量更高的同步回旋加速器和质子同步加速器等各种加速器。

(1) 回旋加速器

第一个回旋加速器是1931年 E. O. Lawrence 在美国伯克利实验室建成。

回旋加速器的工作原理是基于著名的拉莫尔定律。这一定律告诉我们:带电粒子在恒定均匀的磁场中作圆周运动时,其角速度与粒子的速度无关。实际上,带电粒子在垂直于恒定均匀磁场的平面上作圆周运动的角速度为

$$\omega_0 = ZeB/m, \quad (8)$$

由此可见,如果粒子的质量不变化(相对论效应可以忽略时),那么粒子的回转角速度是常数。

Lawrence 利用这一重要现象,制造了回旋加速器。图5是回旋加速器的工作原理图。在图中 D_1 和 D_2 是加速电极(其结构就象把一个空心金属扁圆盒子沿直径切成两半),外形很象D字,故又叫做D形电极。把这两个电极放入垂直于恒定均匀磁场的平面上,那么粒子在这一电极内作圆周运动(图中虚线表示粒子运动轨迹)。如果把两个电极接到电源上,那么在电极间隙产生一电场,带电粒子经过这一电场即可得到加速。但是,如果所加的电场是静电场,

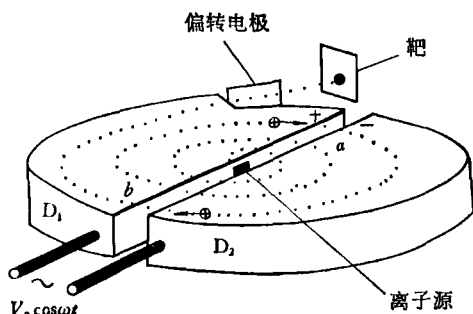


图5 回旋加速器工作原理图

那么粒子在 a 处被加速,而在 b 处被减速,于是粒子回转一圈后并没有增加能量。所以,必须加交变电场,粒子在 a 处被加速后,通过 b 处之前一定要改变电极的电压极性,这样才能在 b 处再一次被加速。很明显,电极的电压极性的转换必须与粒子的运动同步,这样才能使粒子在回旋运动的过程中多次被加速,获得较高的能量。在加速器理论中,这种同步地加速过程,叫做谐振加速或共振加速。

在回旋加速器中,粒子谐振加速的条件很容易选定。因为带电粒子回旋的角频率是常数,所以只要选定高频电压发生器的角频率 ω_f 等于粒子的回转角频率 ω_0 即可。也就是说,回旋加速器的谐振条件为

$$\omega_f = \omega_0. \quad (9)$$

在回旋加速器中,离子的运动轨道半径 r 为

$$r = mv/ZcB, \quad (10)$$

可见,轨道半径与离子的速度 v 成正比,所以在回旋加速器中,离子的运动轨道呈螺旋形。当离子到达D形电极边缘时,能量达到最大值,这时通过偏转电极将离子引出来用于实验。

被加速离子的动能 W 由下式决定:

$$W = (ZcBr)^2/2m. \quad (11)$$

由此可见,只要知道离子最大轨道半径处的磁刚度 $B \cdot r$ 值,就能算得离子的最高能量。

上面所讲到的回旋加速器的工作原理是理想化的。实际上,根据相对论规律

$$m = m_0 / \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}, \quad (12)$$

随着离子速度的增大,离子的质量也增加。所以从式(8)可以看出,离子在磁场中回转的角频率在加速过程中逐渐减小。此外还考虑到,为了聚焦离子束,磁场分布必须随半径的增加而衰减^[1-4],从而进一步加快离子回转角频率减小的速率。既然 $\omega_0 \neq$ 常数,回旋加速器的谐振条件式(9)就不能满足,所以只有在某一点上才严格满足谐振条件(见图6)。不难看出,当加速器失谐时,离子的加速相位(离子经过加速间隙中央时的加速电压相位)就移动,即出现相

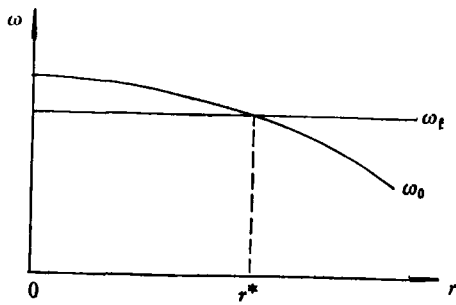


图 6

ω_0 为常数时,回旋加速器谐振条件只有在某一点上才能满足移现象。

由于相移现象的存在,离子不可能随意无限制地被加速。当加速相位移动超过 $\pi/2$ 时离子就被减速,能量不能再增加。因此,为了在相移到减速区之前获得尽可能高的能量,一般 ω_f 值选定为 $(1/2)R$ (R 为 D 形电极的半径)处的 ω_0 值。

简单的计算结果表明,在回旋加速器中离子所能够获得的极限能量为

$$W_{\max} \simeq 4 \sqrt{\frac{Z V_a \epsilon_0}{\pi}}, \quad (13)$$

式中 V_a 是加速电压的振幅, ϵ_0 是离子的静止能量。利用回旋加速器可以把质子加速到约 20MeV, 或把 α 粒子加速到 40MeV 左右。

回旋加速器在原子核实验方面起过重要的作用,但它的能量远不能满足中、高能物理研究的要求。在上面的讨论中看到,回旋加速器能量不能很高的主要原因是存在由于相对论效应引起的相移现象。因此,若想提高加速器的能量,必须解决相移问题,并保持谐振加速才行。解决方法乍一看来很简单,只要满足 $B(r)/m = \text{常数}$ 即可。也就是说,随着离子轨道半径的增加(能量增加),磁感应强度也增加,就能满足谐振条件。但是,实际上这样的磁场分布是不允许的,因为它破坏对离子束的聚焦作用。

五十年代以来发展起来的等时性回旋加速器很巧妙地解决了这一问题。在等时性回旋加速器中,磁场分布并不是轴对称,而是沿方位角变化,其平均磁感应强度沿半径逐渐增加。这样,既满足了谐振加速条件,又保证了聚焦作

用。解决相移问题的另外一些方法,就是后面要介绍的同步回旋加速器和同步加速器等原理。

(2) 同步回旋加速器

同步回旋加速器是回旋加速器的改进型。这种加速器能把质子加速到几百兆电子伏特。

离子在恒定磁场中回转的周期可以写成

$$T = \frac{2\pi(W + \epsilon_0)}{Z e c B} = T(t), \quad (14)$$

式中 W 是离子的动能, ϵ_0 是离子的静止能量。由此可见,离子回转的周期是时间的增函数。因此,只要加速电压高频发生器的周期 T_f 按式(14)的规律同步地调变,就能满足谐振加速条件:

$$T_f = T.$$

这样,离子的回旋运动一直和加速电压保持同步,离子的加速相位就能够保持为一个常数,离子也就能一直被加速而获得很高的能量。这就是同步回旋加速器的工作原理。

同步回旋加速器的构造和普通回旋加速器很相似,主要区别在于同步回旋加速器的加速电压频率是调变的,所以又被称作调步回旋加速器,有些书上还叫做稳相加速器。同步回旋加速器的 D 形电极比回旋加速器的 D 形电极大得多,有的达 6—7m 以上,因此在同步回旋加速器中一般只设一个 D 形电极,另一电极是接地的。在 D 形电极回路里接入可变电容或电感,调节电容或电感就可以改变加速系统的谐振频率。

因为同步回旋加速器的加速电压频率是周而复始地调变着,所以输出离子束是脉冲式的,大约每秒 50—500 次脉冲。

1948 年利用同步回旋加速器在实验室里人工产生 π 介子。这种加速器在中能物理研究方面起了重要的作用。至今能量最高的是美国伯克利实验室建造的直径为 4.8m 能量为 720MeV 的同步回旋加速器。从原理上讲,同步回旋加速器可以把离子加速到任意高的能量。不过,实际能量极限还未必能够超过 1GeV。这是由于要提高同步回旋加速器的能

量,就必须把电磁铁的磁极面做得很大,而这种加速器电磁铁的重量差不多与被加速离子最高能量的三次方成正比,所以象 720MeV 加速器的磁铁重量已达 4300t. 如果想把能量再提高到 1.5GeV,就需要大于 3×10^4 t 磁铁,要建造这么大的加速器显然是很不经济的. 因此,要建造大于 1GeV 的高能加速器,必须采用新的加速方法,这就是现在一般高能加速器所采用的同步加速器原理.

目前,同步回旋加速器已很少再有建造. 新建的能量从数十到数百 MeV 的质子、氘核及其他重离子的回旋式加速器,大多数是等时性回旋加速器,因为在等时性回旋加速器里,加速电压频率无需调变,输出是连续的,平均粒子流强度比同步回旋加速器高得多. 有些已经建成的同步回旋加速器也陆续改建成了等时性回旋加速器.

(3) 质子同步加速器

在同步回旋加速器中,离子的轨道是一个从中心逐渐扩展到边缘的平面螺旋线,因此磁极必须是圆柱形. 假如能够做到离子的轨道不是充满在整个圆平面上,而是一个圆环内,那么可以用一个半径很大的狭窄的环形磁铁来代替圆柱形磁极,于是可以把离子加速到很高的能量,而磁铁重量却比同步回旋加速器相对轻得多(对于同样能量而言). 质子同步加速器就是这种加速器.

图 7 是质子同步加速器的示意图. 一般质子同步加速器都做成跑道式结构,即由几个圆弧形磁铁段和几个直线段组成. 注入、引出和加速系统就安放在直线段上.

我们知道,离子在磁场中回转运动时,其曲率半径为

$$r = \frac{\sqrt{W^2 + 2W\epsilon_0}}{ZeB}, \quad (15)$$

因此为了使轨道半径保持不变,即 $r = r_0$, 磁感应强度必须满足

$$B(t) = \frac{\sqrt{W^2 + 2W\epsilon_0}}{Zer_0}. \quad (16)$$

由此可见,当离子能量随时间增加时,轨道磁感

物理

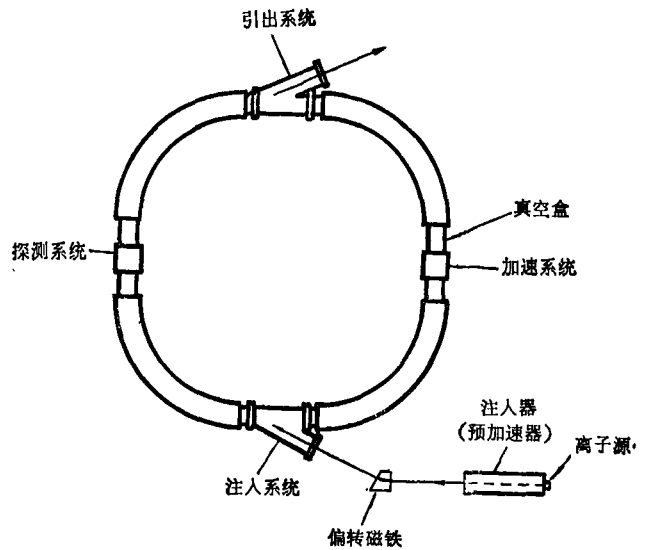


图 7 质子同步加速器示意图

应强度必须随时间增加.

另外,当离子沿着恒定轨道运动时,回转周期为

$$T = L/v, \quad (17)$$

式中 L 为轨道长度. 当离子速度 v 增加时,其回转周期 T 将变小. 因此,为了满足谐振加速条件,加速电压的周期 T_i 必须是随时间的减函数,满足

$$T_i(t) = L/v(t). \quad (18)$$

由此可见,在质子同步加速器中,轨道磁感应强度是随时间的增函数,而加速电压的周期是随时间的减函数. 当然,这两者并不是独立的变量,而需严格满足如下关系式:

$$T = \frac{L}{c} \sqrt{1 + \left[\frac{\epsilon_0}{Zer_0 B(t)} \right]^2}. \quad (19)$$

在质子同步加速器中,加速电场的周期值和磁感应强度值之间的关系要保持到 0.1% 以上的精确度.

质子同步加速器也和同步回旋加速器一样,输出离子束是脉冲式的,其脉冲间隙大致为一、两秒钟.

根据磁场聚焦力的大小,质子同步加速器又可分为弱聚焦型和强聚焦型两种. 初期建造的是弱聚焦型,1952 年以后强聚焦原理受到重视,并用于同步加速器的磁铁系统. 因为强聚

焦型能使真空盒尺寸大大减小(达到弱聚焦型的十分之一甚至二十分之一),并减轻磁铁重量,离子束强度也大,具有很多优点。因此,近二十多年来各国所建造的质子同步加速器,无例外地采用了强聚焦型结构。

当前世界上最大的质子同步加速器是装在美国费米国家实验室(FNAL)的500GeV强聚焦质子同步加速器。它用了上千块磁铁,分布在直径为2km的圆周上,磁铁重量为 9×10^4 。

质子同步加速器在高能物理中起了重大作用。利用质子同步加速器,在1953年首次发现奇异粒子,1955年发现了反质子 \bar{p} ,次年又发现了反中子 \bar{n} 。从五十年代以来,新粒子的发现及研究基本上都是利用这些高能加速器进行的。

3. 回旋式电子加速器

因为电子的质量比质子轻1800倍,所以电子能量不很高时,速度就已接近光速。这个特点使电子加速器在原理与结构上不同于离子加速器。回旋式电子加速器有电子回旋加速器、电子感应加速器和电子同步加速器等。

(1) 电子回旋加速器(微波加速器)

由于电子在能量不很高时,相对论效应已很显著,所以实际上离子回旋加速器不能用来加速电子。但是如果适当选择加速器的参数,满足如下条件:

$$\Delta T = kT_f \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (20)$$

即电子每加速一次后回转周期的增加量恰好等于加速电压周期的整数倍,那么从谐振加速的观点来看,相当于电子没有发生相移,可以在固定的相位上不断被加速。这就是电子回旋加速器的工作原理。近代微波技术的迅速发展,促进了电子回旋加速器的发展。因为加速电压的频率要求很高(波长在10cm以下),所以这种加速器又叫做微波加速器。

图8是电子回旋加速器的原理图。真空盒安放在均匀的恒定磁场里。加速电极设置在真空盒的边缘处。电子回旋加速器的加速电极是谐振腔结构。电子从装在谐振腔里面的阴极发射出来,或利用附加设备入射到谐振腔里。随

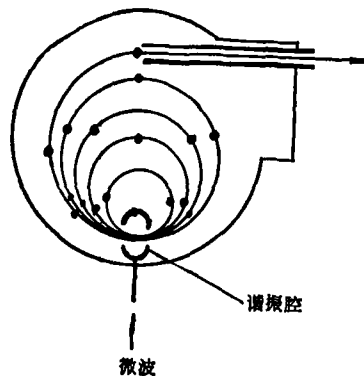


图8 电子回旋加速器原理图

着电子能量的增加,轨道半径逐渐增大,回转周期也逐渐增加。谐振腔的加速间隙是每圈电子轨道的公切点。如果加速器参数选择得合适,那么可以满足谐振条件式(20)。

目前,已建成的电子回旋加速器的能量都不很高,只有几个MeV到几十MeV。这种加速器的能量上限一般认为是50MeV左右。由于电子回旋加速器的电子束流较强,所以越来越受到重视。

(2) 电子感应加速器

电子感应加速器的加速原理比较特殊,它不是根据谐振加速原理,而是利用交变磁场感生的涡旋电场(又叫感应电场)来连续加速电子的。

早在1932年J. Slepian就提出利用感应电场加速电子的想法。接着又有不少人进行了这方面的研究,但他们都没有成功。直到1940年D. W. Kerst解决电子轨道的稳定问题以后,才制成第一台电子感应加速器,把电子加速到2.3MeV。以后这种加速器发展得很快,1942年建成了20MeV的电子感应加速器,1945年建成100MeV的电子感应加速器。

电子感应加速器射线输出是脉冲式的,每秒钟脉冲数目等于交变磁场的频率。

电子感应加速器具有结构简单、容易制造、调整使用方便、价格比较便宜等优点。所以早期发展较快,在加速器发展历史上起了重要作用。它不仅用于核物理方面的光核反应实验工作以及活化分析,而且广泛应用于工业无损

探伤和医学射线治疗等方面。我国已能生产 25MeV 医用和工业探伤用电子感应加速器。

电子感应加速器的能量上限取决于电子沿圆形轨道运动时所产生的能量辐射损失：

$$\Delta W \simeq 8.85 \times 10^{-8} \frac{\epsilon^4}{r_0}, \quad (21)$$

式中 ϵ 是电子的能量， r_0 是平衡轨道半径。从上式可以看出，辐射损失随电子能量的四次方迅速增长。只有采取特殊措施来补偿这一能量损失，才能维持电子平衡轨道半径不变，使电子能量进一步提高。不过，要实现这一点比较困难，所以很难把电子加速到很高能量。目前为止，已建成的电子感应加速器最高能量为 315MeV。

感应加速方法不仅能用在回旋式加速器——电子感应加速器上，也可以用在直线式加速器上，这种加速器叫做电子直线感应加速器。目前，直线感应加速器主要用作研究可控热核反应装置或近年间研制中的电子圈加速器的人射器。

(3) 电子同步加速器

电子同步加速器是在一定的环形轨道上用固定频率的高频电场来加速电子的装置。图 9 是电子同步加速器的示意图。整个磁铁系统是环形结构，由许多块 C 形磁铁节组成，用以产生轨道磁场。在磁极间隙中放置真空室。在真空室内装有谐振腔式加速电极，由高频发生器激励产生固定频率的高频电场，用来加速电子。

由于电子同步加速器的电磁铁是环状的，环的宽度比它的半径小很多。这样的结构可以大大减轻磁铁的重量，同时也减小电磁铁的供电功率，因此具有经济上的优越性。又由于电子同步加速器中采用高频电场来加速电子，所以高能电子在磁场中作圆周运动时所产生的电磁辐射(能量损失)比较容易得到补偿。这样，建造回旋式高能电子加速器就有了可能性。

在电子同步加速器中电子轨道的曲率半径为

$$r_0 = \epsilon(t) / eB(t). \quad (22)$$

可见，在电子能量 $\epsilon(t)$ 随时间增加时，要使电

物理

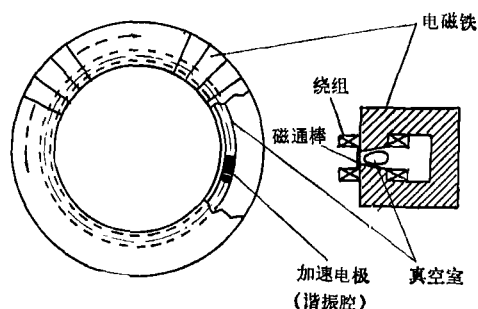


图 9 电子同步加速器示意图

子轨道半径 r_0 保持恒定，轨道磁感应强度 $B_0(t)$ 必须同步地增长。

由于电子的静止质量很轻，在能量不很高(约 2MeV)时，它的速度就已接近光速；当能量再提高(质量增加)时，其速度变化很小。因此这些电子在恒定轨道上回转的周期基本上不变，即

$$T_0 = \frac{2\pi r_0}{v} \simeq \frac{2\pi r_0}{c} = \text{常数}. \quad (23)$$

所以，在电子同步加速器中，加速电场的频率不必调变，是恒定值，只要它和电子在平衡轨道上的回转频率相同或成整数倍关系，就能保证谐振加速。

为了使电子进入同步加速的初速度接近于光速，一般采用感应加速器启动方式或注入器启动方式。前者是在轨道内侧磁轭上设置特殊的磁通棒(见图 9)。启动时，先按电子感应加速器原理工作，以后当电子速度接近光速时，改变加速方法，开始加上高频加速电压，使其过渡到同步加速状态。后者是利用高压型电子加速器或低能电子直线加速器，把电子预加速到一定能量后再注入到同步加速器里。这种方法一般在高能电子同步加速器上采用。

电子同步加速器的射线输出是脉冲式的，其脉冲数决定于磁场变化的频率，一般每秒 10—60 次脉冲。迄今最高能量的电子同步加速器是美国建造的 12GeV 强聚焦电子同步加速器。电子同步加速器在光核反应、介子物理和粒子物理方面的研究中起了重要作用。

我们知道，当高能电子作圆周运动时，由于受到向心加速作用会产生电磁辐射，这种电磁

辐射对高能电子同步加速器来说,是进一步提高能量的主要障碍之一。但是,当电子速度接近光速时,由于相对论效应,其辐射的角分布集中于电子轨道的切线方向,而且具有极其优越的光源特性。这种现象是在四十年代在电子同步加速器上发现的,通常称为同步加速器辐射,简称同步辐射。由于同步辐射具有从红外线到

硬X射线很宽的平滑连续谱、辐射强度高、天然准直性好和天然偏振性等许多优点,在近代科学中得到越来越广泛的应用。所以,目前几乎所有已建成的高能电子同步加速器都兼起同步辐射源的作用;有的并已改成产生同步辐射的专门装置,这种装置常称为光子工厂。

第二届全国激光新晶体材料学术会议简讯

由中国光学学会和中国硅酸盐学会共同组织的第二届全国激光新晶体材料学术会议于1983年11月25—29日在泉州市华侨大学陈嘉庚纪念馆举行。通过46篇学术论文的交流和讨论,反映出我国近三年来激光与非线性光学新晶体研究工作的蓬勃发展。

激光晶体的研究重点是:1.终端声子跃迁的可调谐激光晶体,主要有 $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ 和 $\text{Ni}^{2+}:\text{MgF}_2$ 。通过晶格动力学与晶格场理论相结合的分析探索新的基质晶体;2.稀土自激活小型激光晶体。积极研制跃迁通道丰富的 HO^{3+} , Er^{3+} 激活晶体。对 $\text{TbxDy}_{1-x}\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Er}_x(\text{Gd},\text{Y})_{1-x}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$, LiNdO_3 , $\text{La}_{0.4}\text{P}_4\text{O}_{12}$ 以及同成分熔化的 $\text{K}_2\text{Bi}_{0.5}\text{Er}_{0.1}(\text{MoO}_4)_4$ 等进行生长和性能研究。3.利用较成熟的基质晶体开拓新的功能效应和新波长。在YAG晶体中多掺杂,实现了自调Q和锁模激光输出。生长出 $\text{Er}:\text{YAP}$, $\text{Tb}:\text{GGG}$, $\text{Eu}:\text{GGG}$, $\text{Er}:\text{YLF}$, $\text{HO}:\text{YLF}$ 以及 $\text{HO}:\text{Er}:\text{Tm}:\text{YLF}$ 晶体并进行了性能测试。4.色心激光晶体研究。 LiF 和掺质 LiF 晶体已获得室温脉冲可调谐激光输出。对KCl色心晶体的生长、掺质、光谱、赋色、转型等物理化学过程作了大量研究。还研制出 $\text{NaF}:\text{Mg}^{2+}$ 色心晶体。

在非线性光学晶体方面,我国晶体化学工作者通过化学键参数与晶体化学相结合的方法,对钙钛矿型化合物进行了统计分析,以寻找键参数的空间分布规

律,从而提高了探索新晶体的“定向设计”能力。我国独立研制出几种新的倍频晶体:碱基水杨酸钠、精氨酸和偏硼酸钡等。用水热法和熔盐法生长出 KTiOPO_4 单晶。用提拉法生长出非化学配比 $\text{Li}_{1-x}\text{Ta}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ 铁电晶体。探讨了矩形脉冲电流对 LiNbO_3 晶体中铁电畴组态的影响。对高聚合物晶体也引起了重视。

会议认为,我国激光与非线性光学新晶体研究显示了如下一些特点:认识到开发新晶体是适应“四化”建设和科技发展的需要,若干重点科研单位组织起新材料研究队伍,筹建起研究实验条件,引进一批现代化分析测试仪器;基础研究和理论工作有所开展;新材料课题选择比较慎重,注意结合我国的特点和近期的需要;重复性工作逐步减少,协作交流气氛渐趋融洽。

当前新材料研究的问题是晶体生长与分析测试和器件应用之间的衔接和有机结合较差,新材料长期不能发挥实际作用。

会议认为,应该努力把近期发展的一批性能优良的新晶体早日投入实际应用;发扬高尚的学术道德;提倡科研工作中的合理分工与协作配合;提高新材料科研工作者的科技素质;加强国内外学术交流。

会议建议第三届全国激光新晶体材料会议于1986年在安徽省举行。

(张英)

用汽相法获得难以制备的金属玻璃

铁和银犹如油和水,是无法混合的。这就给想得到铁银合金的冶金学家带来了困难。最近,美国和日本的科学家各自独立地进行着同样的研究,以获得一种新技术,去制备那些过去不可能得到的像铁银那样的合金。

历来冶金学家们总是在液态下使合金混合均匀,因而对那些在熔态下并不互溶的元素(譬如铁和银),就必须想一种新方法形成其均匀的混合物。美国霍普金斯大学的物理学家钱嘉陵(C. L. Chien)和Karl.

M. Unrub报告了一种“气相淬火”技术就解决了这个冶金学难题。他们在1983年8月的“物理评论”中报道说,他们可通过高速溅射来汽化由铁银粉末压结的饼中的各类原子,获得50:50的铁银汽相混合物,然后再将其沉积到过冷的金属或聚合物板上而得到这种混合物的合金薄膜。

内布拉斯加大学物理系主任D. J. Sellmyer指出,这种技术的成功将促使其他科研人员去制备另一些人造合金。他说:“在制备这些新合金的过程中,常

(下转第286页)