

粒子加速器

目的

1. 探索物质更微观世界
2. 创造粒子
3. 时光“倒流”，提升粒子能量，探索更早的宇宙演化过程
4. 科学创新平台

电气工程

电气工程学生优势：电磁理论与技术知识扎实，数理基础好，工程概念清晰

参数：电子伏特（能量单位）

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} J \quad (1)$$

电子伏特：1个电子所带的电荷（单位电荷）提升1V电势所需能量

原理之加速

提升粒子速度，需要高能量，需要高电势 $E = q\Delta V$

或者粒子反复多次加速，降低电压要求 $E = nq\Delta V$

分类

谐振电磁场加速器

电磁感应加速器

直线加速器

直线加速器属于谐振电磁波加速器，通常是指利用高频电磁场进行加速，同时被加速粒子的运动轨迹为直线的加速器。高频直线加速器（high-frequency linear accelerator）简称直线加速器，是指用沿直线轨道分布的[高频](#)电场加速[带电粒子](#)的[装置](#)。

加速器是由三根用绝缘材料制成的高柱和在它们中间的加速器管组成。加速器靠真空泵保持真空。外表流线型，不仅为了美观，而且为了防止从任何棱角或突出部分形成意外的放电。

在加速器管中有金属圈，它们同高压发生器相连的方式能使一系列金属圈的负压由底部向顶端逐渐升高。生产质子的离子源安装在加速器管的上端。带正电的质子由于受到带负电的金属圈的吸引而顺管射下——由于下面金属圈的负电压不断增大，质子的速度也不断增加。在加速器管的地端的地板下面，有一间装有接收器的小室，质子能够在这里同物质碰撞，在此过程中，轰击能够引起原子核的蜕变。

行波与驻波：荷电粒子在高频直线加速器中是用高频（或微波）电场的轴向分量进行加速。按采用的加速波分类，有行波与驻波两类。前者用圆柱波导作为加速结构，在其内[沿轴周期性地设置圆盘负载](#)，使波导中传播的相速小于或等于光速，以利同步地加速粒子，其加速场的模式为类 - TM01，它在近轴区提供最大的轴向电场分量。后者采用圆柱形谐振腔，也沿轴周期性地设置电极（或称漂移管）负载，以提高有效加速电场强度，其加速场的模式为类 - TM010，同样在近轴区提供最大的轴向电场分量。衡量加速结构性能的主要参数有两类：一是与加速效率有关的参量，特别是有效分路阻抗。它表示给定高频功率损耗，结构能建立多高的加速电场。分路阻抗的高低决定于选用的频率、结构的几何尺寸与形状及相邻加速单元间高频相位的变化量（工作模式）。通常频率越高，结构尺寸越小，分路阻抗和

加速效率越高。二是加速结构的稳定性，它表征由于结构的误差和邻近非加速模式对束流的影响。对驻波加速结构，实现稳定性的主要途径是采用所谓的双周期结构，即除了由负载形成的周期性加速单元外，还引进周期性的耦合单元，调节耦合单元的位置和尺寸，便可提高结构的抗干扰性。

回旋加速器

回旋加速器 英文：Cyclotron 它是利用磁场和电场共同使带电粒子作回旋运动，在运动中经高频电场反复加速的装置。是高能物理中的重要仪器。

1930年欧内斯特·劳伦斯提出回旋加速器 [1] 的理论，1932年首次研制成功。它的主要结构是在磁极间的真空室内有两个半圆形的金属扁盒（**D形盒**）隔开相对放置，D形盒上加交变电压，其间隙处产生交变电场。置于中心的粒子源产生带电粒子射出来，受到电场加速，在D形盒内不受电场力，仅受磁极间磁场的洛伦兹力，在垂直磁场平面内作圆周运动。绕行半圈的时间为 $\pi m/qB$ ，其中 q 是粒子电荷， m 是粒子的质量， B 是磁场的磁感应强度。如果D形盒上所加的交变电压的频率恰好等于粒子在磁场中作圆周运动的频率，则粒子绕行半圈后正赶上D形盒上电压方向转变，粒子仍处于加速状态。由于上述粒子绕行半圈的时间与粒子的速度无关，因此**粒子每绕行半圈受到一次加速，绕行半径增大**。经过很多次加速，粒子沿螺旋形轨道从D形盒边缘引出，能量可达几十兆电子伏特（MeV）。回旋加速器的能量受制于随粒子速度增大的**相对论效应**，粒子的质量增大，粒子绕行周期变长，从而逐渐偏离了交变电场的加速状态。进一步的改进有同步回旋加速器。

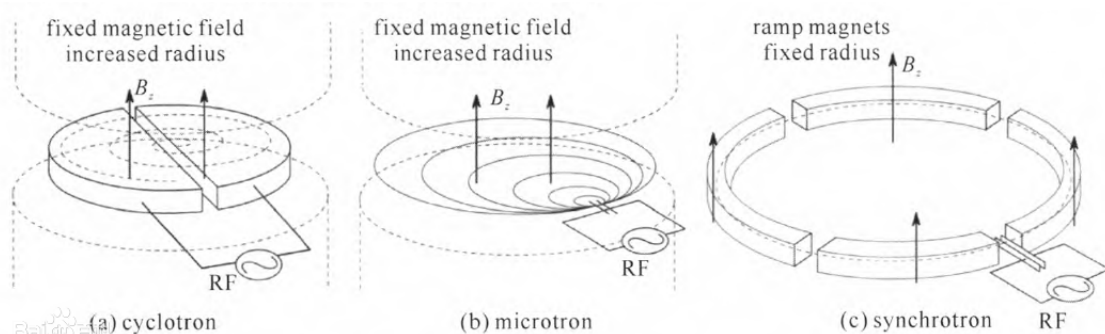
原则上可加速离子达到任意高的能量（实际上由于受到狭义相对论影响，实际只能加速到25-30MeV）。但由于受到高频技术的限制，这样的装置太大，也太昂贵，也不适用于加速轻离子如质子、氘核等进行原子核研究，结果未能得到发展应用。

同步回旋加速器（synchrocyclotron）是为克服经典回旋加速器的极限能量的限制而发展起来的回旋式加速器。又称稳相加速器或调频回旋加速器。它与经典回旋加速器的主要区别在于**采用了调频技术，使粒子被加速过程中，加速电场的频率随粒子的回旋频率同步下降，以保持谐振加速条件，从而突破了经典回旋加速器中相对论性质量增加对提高能量的限制**（见回旋加速器）。

环形加速器

加速器（accelerator）是用人工方法把带电粒子加速到较高能量的装置。利用这种装置可以产生各种能量的电子、质子、氘核、 α 粒子以及其它一些重离子。利用这些直接被加速的带电粒子与物质相互作用，还可以产生多种带电的和不带电的次级粒子，像 γ 粒子、中子及多种介子、超子、反粒子等。

环形加速器的环形运行轨道可以让带电粒子反复通过同一加速间隙，当在间隙上加载与粒子回旋周期同步的射频电场时，粒子能量将能够得到多次增长。



在环形加速器中粒子沿圆形轨迹运动，直到达到高能引出加速器。环形加速器的优势在于环的结构允许对带电粒子的持续加速。另一个优势在于环形加速器一般尺寸较小。环形加速器的缺点在于电子在环形运动过程中会产生同步辐射从而损失能量。带电粒子的环形运动过程中具有向心加速度，因而产生沿轨道切线方向上的辐射。为避免因辐射损失能量，很多高能电子加速器为直线加速器。但是，也有一些装置故意设计成环形以产生同步辐射X射线。

同步加速器：同步加速器能够实现进一步增加粒子的相对论能量。这种加速器中，粒子运行在固定半径的环中。跟同步回旋加速器相比，同步加速器可以磁场区域限制在粒子的实际轨道附近。因而可以使用很窄的环以降低造价。由于固定了电子的轨道半径，其能量提升导致的质量增加要求磁场的强度也想要的增加。因此，同步加速器不能无限制的加速粒子。

设备易于标准化制造：

1. 磁铁等装置从大整块变成可拼接的重复小块，易于批量生产
2. 粒子轨道成线，易于控制，需加速器级联