

# 最终速度与加速电压有关吗

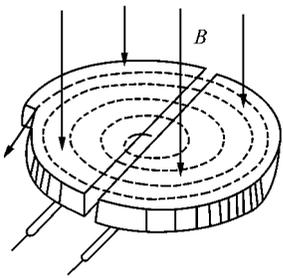
金 逊

回旋加速器是现代物理实验室重要的实验设备之一,各种版本高中物理教材的磁场部分通常把回旋加速器单列一节。不少人在进行这一节教学后认为:由于洛伦兹力对带电粒子不做功,只有电场力做功;所以加速效果取决于D型盒之间的电压和加速次数,而与磁场的磁感应强度及D型盒半径大小无关。但是,这个结论是不正确的,具体分析如下。

设粒子带电量为 $q$ 、质量为 $m$ 、最终离开D型盒的速度为 $v_m$ ,D型盒之间的电压为 $U$ ,加速次数为 $n$ ,由动能定理得 $nqU = (1/2)mv_m^2$ ,即

$$v_m = \sqrt{2nqU/m}。 \quad (1)$$

由上式可得下述结论:(1)为了使带电粒子最终射出速度 $v_m$ 增大,可以采取增大加速电压 $U$ 的方法;与磁场的磁感应强度及D型盒半径大小无关。



如果我们换个角度思考这个问题,就会得出一个相反的结论。由于带电粒子从D型盒中心开始做圆周运动,沿螺旋轨道逐渐趋近于盒的边缘;因此粒子最终要离开D型盒,轨道半径

等于D型盒的半径,如图所示。设D型盒半径为 $R$ ,盒内磁场的磁感应强度为 $B$ 。其在D型盒内最后一次圆周运动应满足, $qv_mB = mv_m^2/R$ ,即

$$v_m = qBR/m。 \quad (2)$$

由上式可得下述结论:(2)为了使带电粒子最终射出速度 $v_m$ 增大,可采取增大磁场的磁感应强度 $B$ 及选择具有较大半径 $R$ 的加速器;与加速电压 $U$ 无关。

(1)、(2)两个关系式及其推导过程都是久经考验的,却得到了截然不同甚至是矛盾的结论(1)和结论(2)。这是为什么?不少人根据电场力做功、洛伦兹力不做功的原理及个人解题的经验和直觉,很容易得出“结论(1)正确”的观点。事实上,结论(1)是不合理的。

结论(1)中的加速电压 $U$ 和加速次数 $n$ 不是两个独立变量, $n$ 是关于 $U$ 的函数。加速电压越大,每次加速后增加的动能越多、速度变化也越大。由(2)知半径的增加量也必然较大,所以加速次数一定

会变小(至于两者乘积如何变化?下面我们还会进一步讨论)。在加速电压 $U$ 变大、加速次数 $n$ 变小的情况下,我们仅从(1)式不能得出最终速度如何变化的结论。

结论(2)中的磁感应强度 $B$ 、D型盒半径 $R$ 是两个独立变量。对于一个确定的(已建好的)回旋加速器,其D型盒半径 $R$ 是一个确定的常量,可以通过选择回旋加速器来改变 $R$ 。磁场是电磁铁产生的,可以通过改变电磁铁的电流来改变磁感应强度 $B$ 。也就是说,磁感应强度 $B$ 、D型盒半径 $R$ 之间的大小变化没有必然联系,我们可以仅增大其中的一个或同时增大两者。所以结论(2)是正确的。

尽管带电粒子最终射出的速度 $v_m$ 与加速电压 $U$ 的具体关系尚不明朗,但粒子每次加速过程,电场力做的功依然可以表示为 $qU$ 。设每次加速,动能的增加量为 $\Delta E_k$ ,由动能定理得

$$qU = \Delta E_k。 \quad (3)$$

设加速次数为 $n$ ,由于最终动能为 $(1/2)mv_m^2$ ,所以

$$n = (1/2)mv_m^2 / \Delta E_k。 \quad (4)$$

由(2)、(3)、(4)可解得

$$n = qB^2R^2 / 2mU。 \quad (5)$$

可见,加速次数和加速电压的乘积 $nU = qB^2R^2 / 2m$ 。因此,当一个确定的粒子( $q$ 、 $m$ 一定),进入一个确定的回旋加速器( $R$ 一定),在磁场一定的情况下, $nU$ 是个常数。结合(1)式可以看出,最终速度是确定的,与加速电压无关。这跟结论(2)是一致的,如果我们进一步把(5)式代入(1)式,结果完全等同于(2)式。也就是说,(1)、(2)两式具有异曲同工之妙。欲使带电粒子最终射出的速度增大,可以采取增大磁场的磁感应强度及选择大半径加速器的方法,与加速电压无关。

尽管(1)式是正确的,但不少人却得出错误的结论(1);主要原因是缺乏对各变量变化情况,以及变量之间关系、相互制约情况进行深入分析。这就启示我们:根据有关科学规律进行理论探究、寻求某个物理量的变化规律时,要首先分析其余各个变量是否为独立变量;如果不是,需要进一步寻找他们之间存在的关系,不能仅凭表象和直觉轻易做出结论。

(安徽省临泉一中 236400)