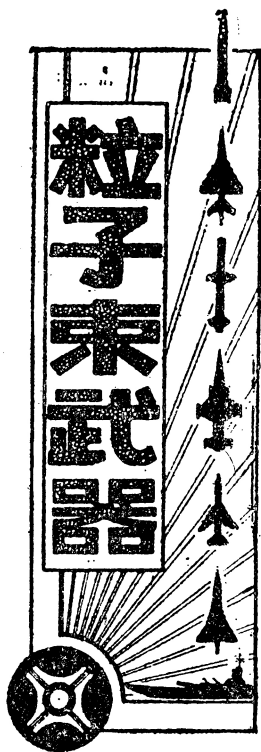


实现粒子束武器 的关键—— 研制中能强流 加速器

需要什么样的加速器？

- 张：老李！您好。今天我们该讨论粒子束武器需要的加速器了吧？我想问问您，究竟多高能量的加速器做粒子束武器最合适？
- 李：根据我们前几次的讨论和国外一些粒子束武器专家们的估计，加速器的能量在 500 兆到 1500 兆电子伏之间都可以，大约 1000 兆电子伏最合适。
- 张：为什么 1000 兆电子伏最合适？
- 李：因为根据一般核导弹外壳的厚度和要害部位的深度来计算，当粒子束的能量为 1000 兆电子伏左右时既能达到摧毁目标的目的，又不浪费能量。要是粒子束的能量过低穿透深度不够，就不能有效地摧毁目标；相反，要是粒子束的能量过高，就会完全穿过目标而浪费一部分能量。
- 张：您说的是在外层空间作战的情况吧？要是在大气层中作战，加速器的能量是不是应当高一点呢？
- 李：是的，高一点对开辟大气通道有好处。
- 张：那么，在外层空间作战，加速器束流强度需多强呢？
- 李：这个问题专家们的说法很不一致，主要是因为粒子束的传输和破坏机理还没有研究清楚，所以各人有各人的看法。我们在前两次讨论中也做了一个最起码的估计，你还记得吗？
- 张：记得！要是不追求烧毁核弹头的外壳，只是微观穿透进去点燃引爆炸药，那只要在每平方厘米上射入二百万亿 (2×10^{14}) 个质子炮弹，就可以把核弹头摧毁。
- 李：对！你的记忆力真好！我们再假定作战距离是 100 公里，粒子束的发散角是 1 微弧度 (10^{-6} 弧度)，那么，摧毁一枚核弹头所需要的粒子总数便是 1.5 亿亿 (1.5×10^{16}) 个。另一方面，为了使引爆炸药的温度急剧上升而达到着火点，粒子束的脉冲长度大约不得超过 100 微秒 (10^{-4} 秒)。在这种情况下就可以算出加速器的最低脉冲束流强度不能小于 25 安培。



(五)

魏开煜

- 张：要是烧穿弹壳，达到热爆炸呢？
- 李：那就至少需要 250 安培。
- 张：粒子束发散角不超过 1 微弧度这个要求恐怕太高了，要是达不到怎么办呢？
- 李：要是达不到这么小的发散角，可用增加粒子流强度来弥补。
- 张：噢！我明白了，这些指标都是活的。唉，老李！要是考虑到一次没有打中，再打第二次，第三次……，或者用来拦截多弹头分导核导弹，那么，加速器的工作重复频率需要多高呢？
- 李：至少需要每秒钟能发射 10 次。
- 张：这下我可弄清楚了，原来，粒子束武器所需要的是中能强流加速器。
- 李：对！不过，你要记住：它的能量是 1000 兆电子伏左右，束流强度 25 安培，相应的脉冲长度 100 微秒，发散角 1 微弧度，工作重复频率每秒钟 10 次。这

只是最低要求。

- 张：那么，世界上现有的加速器离这个最低要求还差多远呢？

现实和要求的差距

- 李：世界上现有的加速器，都不合这个要求。有的是能量很高，束流强度很低，有的是束流强度很高，但能量又太低……
- 张：哪种加速器能量很高，束流强度很低呢？
- 李：目前所有的高能加速器，能量都超过了 1000 兆电子伏。例如，美国费米实验室的质子同步加速器，能量是 500 千兆电子伏，比粒子束武器要求的能量高 500 倍。可惜它的束流强度却非常低。10 秒钟才产生 1 个脉冲，每个脉冲的质子数只有 30 万亿 (3×10^{13}) 个，即使这些质子能够在 100 微秒全部发射出去，脉冲束流强度也不过 50 毫安，这同粒子束武器的最低要求还差 500 倍！
- 张：看来，目前的高能加速器不行。哎，老李！不是有一种用来模拟核爆炸的加速器，它的束流很强吗？
- 李：是的，这就是我刚才说的另一类加速器，它的束流强度可达到 10 万安培，但是目前这种加速器的能量多数只有几兆电子伏，个别的达到了十几兆电子伏。另外，还有一个问题，就是它的脉冲长度太短，只有毫微秒量级，它的重复率又太低，每天只能工作几次。

张：看来，这种加速器也不行。那么，目前有没有差距小一点的中能加速器呢？

李：差距稍微小一点的要算质子直线加速器了。例如布鲁克海文实验室和费米实验室能量为 200 兆电子伏的质子直线加速器，还有洛斯阿拉莫斯作为介子工厂的 800 兆电子伏质子直线加速器，……。其中束流最强的是费米实验室的质子直线加速器，这台加速器的脉冲长度是 90 微秒，每秒钟工作 15 次，据说它的脉冲束流强度曾经在短时间内冲到过 0.3 安培的最高纪录，但是由于高频功率不够，不能长时间运行在这么强的束流。

张：嗯，这要算是一台差距最小的加速器了。它的脉冲长度和重复频率都算达到了粒子束武器的最低要求，但是它的能量还差 5 倍，束流强度还差将近 100 倍。

李：不过，要想把这种加速器的束流强度再提高 100 倍，可不是一件容易的事情啊！

张：那么，还有没有别的出路呢？

李：有，那就是研制新型中能强流加速器。

张：请您说说看，苏联和美国正在研制什么样的新型中能强流加速器？

李：知道的有两种：一种是直线感应加速器；另一种叫“自共振加速器”。

张：那就请您讲讲“自共振加速器”好不好？譬如说，它和世界上现有的加速器有什么根本不同？

让一百个电子帮助一个质子

李：好！根本的不同就是世界上现有的加速器都是所谓“单粒子加速”，而自共振加速器则是“集团加速”。

张：什么是“单粒子加速”？

李：“单粒子加速”就是在加速过程中粒子之间彼此无关，各人只靠自己带的那份电荷从加速电场中为自己取得能量。

张：噢！都搞单干？！

李：是的。所以加速能力很弱。例如，一个电子和一个质子都只带一个电荷，在通过一伏特的电位差时，它们都只能得到 1 电子伏的能量。

张：那“集团加速”呢？

李：“集团加速”就是使许多电子和一个质子抱成团一起加速，让这些许多电子都帮助一个质子获得能量。这样，就可以使这个质子很快地得到很高的能量。

张：有意思！请您说说看怎么个帮助法？

李：例如，要是能使 100 个电子同 1 个质子结合成一个粒子集团。那么，因为质子的质量比电子重一千八百倍，在这个集团中，质子的质量差不多要占二十分之十九，而 100 个电子才占二十分之一，另一方面，这个集团带有 100 个负电荷和 1 个正电

荷，正负相消的结果还有 99 个负电荷。当它通过 1 伏特的电位差时，可以得到 99 电子伏的能量。由于粒子团是一个整体，所得到的能量是按质量平均分配的。这样一来，集团中的这个质子就可以分到所得能量的二十分之十九，那就是 94 电子伏；而 100 个电子一共才分到 5 电子伏，这就是说，每个电子都把自己所得能量的百分之九十五交给了质子。

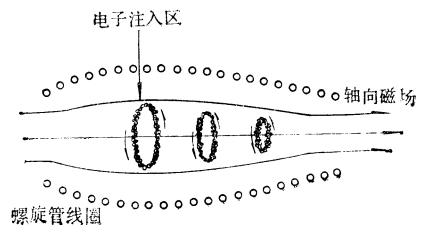
张：啊！这些电子的风格真高！可是，用什么办法能使电子和质子结合成粒子集团呢？

“吹 烟 圈”

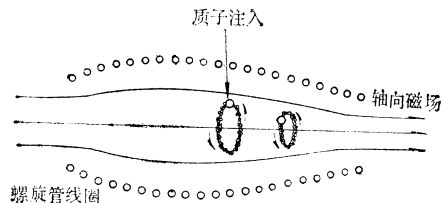
李：在六十年代，苏联科学家提出了一种办法。人们给这种办法送了一个外号，叫“吹烟圈”。

张：怎么个“吹”法？

李：就是用一低能强流加速器把电子束加速到几兆电子伏，并且把它们注入到一个由螺旋管线圈产生的轴向磁场中去。这些电子束就在磁场的作用下转圈，形成一个个电子环（图 1(a)），再使磁场



(a)



(b)

图 1 (a)、(b)

缓慢地上升，把电子环压小压细。因为又小又细的电子环上电荷密度很大，于是就在环附近产生了很强的负电场。例如，当环上的电子数目是 10 万亿 (10^{13}) 个的时候，要是能把电子环的直径压缩到 6 厘米，环的粗细压缩到 2 毫米，那么，环附近的电场强度就可以达到每米 150 兆伏。

张：啊！这么强的电场？！

李：是啊！要是把能量很低，几乎接近静止的质子注入到电子环的附近，这些质子就会被这无形的大手牢牢地抓住。电子环捕获质子以后就形成了一个电子-质子集团（图 1(b)）。注入质子的比例是可以控制的。譬如说：假如环中的电子数是

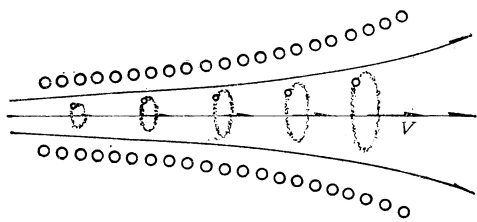


图 2

10 万亿(10^{13})个,欲使 100 个电子帮助 1 个质子,只要注入 1 千亿(10^{11})个质子就行了。

张:原来是搞大集体而不是搞小集团呀!

李:对!我在前面说的 100 个电子和 1 个质子抱成团,只是为了解释能量按质量分配的道理。

“放圈”和“自共振”加速

张:那么,电子-质子集团形成以后怎样进行加速呢?

李:首先是“放圈”加速。

张:何为“放圈”加速?

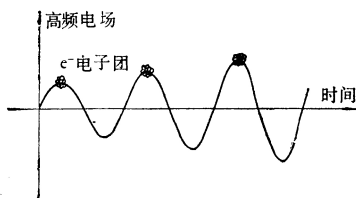
李:就是把电子环推入一个磁场沿螺旋管轴逐渐下降的区域(图 2)。这时,电子环就会在磁场梯度的作用下沿轴向(磁场下降方向)越跑越快;同时,电子在环内的转圈速度将越来越慢。这个过程,是将电子环贮藏的转圈能量转变成沿轴向的运动能量。在这个转换过程中,质子就可得到大量的能量。例如,当电子环沿轴向的速度达到每秒钟 26 万公里时,每个电子的轴向能量只有 0.5 兆电子伏,而每个质子却可得到 938 兆电子伏的动能。

张:啊,这相当于每个电子要拿出 9.38 兆电子伏的能量给质子。唉,老李!这好像不大对头,您刚才说过,每个电子只有几兆电子伏的转圈能量。在“放圈”过程中,它们得留一部分维持转圈,也要留一部分供自己沿轴向运动。那怎么能拿出这么多的能量给质子呢?

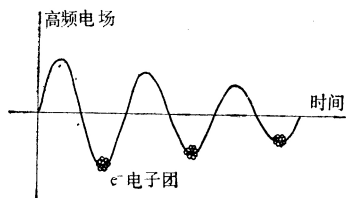
李:是的。你这个问题提得很对!为了解决能量的来源问题,人们就想出了一个自共振加速的办法。

张:什么叫自共振?

李:当一个电



(a)



(b)

图 3

子团通过加有高频电场的共振腔时,要是这个电子团老是处在减速相位。它就会把动能交给高频电场,使电场越来越强,这就叫共振激励(图 3(a));相反的是,如果电子团老是处在加速相位,就会从电场中取得能量,要是没有能源补充,电场就会越来越弱(图 3(b)),这叫共振吸收。自共振加速器的基本思想就是把这种共振激励和共振吸收结合起来。

张:噢!我明白了。在“放圈”区域中再放上高频加速腔。让带有质子的电子环和不带质子的空电子环交替进入共振腔(图 4)。并且,正好使空电子

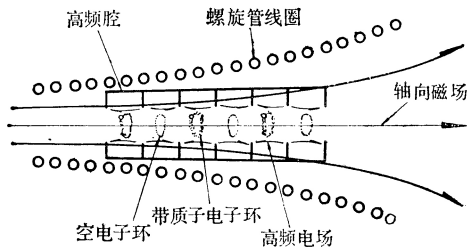


图 4

环处在高频电场的减速相位,而带质子的电子环处在加速相位。这样,空电子环就可以通过共振激励把能量交给电场,而电场又把这些能量转交给带质子的电子环。这样就解决了能量的来源。

李:对,对!你真是聪明的小伙子。

路是人走出来的

张:哎,老李!这自共振加速要使质子达到 1000 兆电子伏的能量,加速器有多长?

李:比一般加速器短得多。因为它的加速梯度很高。估计每米可达到 100 兆电子伏左右。因此,加速器只有十几米长。

张:不错,这种加速器能满足小型化要求。那么,它的束流强度呢?

李:要是每个电子环能达到 100 万亿(10^{14})个电子,它就可以携带 1 万亿(10^{12})个质子。假如用 3000 兆周的行波加速,每个周期充一个空环和一个实环,那么,在 100 微秒长的脉冲里就可以产生 30 亿亿(3×10^{17})个质子炮弹。这相当于脉冲束流强度为 500 安培。

张:那电子呢?

李:因电子能量很低,可用一个过滤器把它们滤掉。

张:自共振加速器的想法倒是很妙,可就是不知道能不能实行!

李:美国奥斯汀联合研究有限公司正在做一个试验性自共振加速器来验证原理。不过,即使这条路走不通,也还有别的路可走。“路”是人走出来的。通向中能强流加速器之路终将被勇于探索和认真实践的人们所走通。

(续完)