

# 高能核碰撞与丰中子同位素

白希祥

在 高能重离子碰撞中，炮弹和靶核相互瞄准的反应区以外的部分是不参与激烈反应的所谓旁观体。碰撞参数是随机分布的，它愈大则旁观体愈大。这些旁观体在相对轻微的扰动作用之下分裂为末态的各种核碎块。来自炮弹旁观体的碎块称为类弹碎块。在边缘碰撞中，原则上讲，炮弹内质子和中子的任何可能的组合都将以某种概率在末态出现，因而类弹碎块包含范围很广的多种多样的核素。

虽然从研究碰撞机制和产生高温致密的核物质的观点来看旁观体部分远不像反应区那样引人注目，但它打开了另一个很有意义的研究领域——远离  $\beta$  稳定线的丰中子同位素的产生和应用的大门。

这里讨论类弹碎块被用来开拓核物理研究领域的基本特性。首先，它们大多是丰中子同位素。我们知道， $\beta$  稳定线上较重核素的中子数与质子数之比值高于轻核的该比值。以  $^{40}\text{Ar}$ 、 $^{48}\text{Ca}$  和  $^{238}\text{U}$  为例，这一比值分别为  $\sim 1.2$ 、 $\sim 1.4$  和  $\sim 1.6$ ，而  $\beta$  稳定线上轻核的该比值是  $\sim 1.0$ 。因为类弹碎块是从炮弹上擦切下来的一部分，其中子数与质子数之比同炮弹的非常接近，自然落入  $\beta$  不稳定的丰中子区域。由于这一点，高能重离子碰撞成了产生远离  $\beta$  稳定线的丰中子同位素的强有力的手段之一。

其次是它们基本上保持着原来束流的速度和方向。由于在碰撞过程中旁观体只受到轻微的扰动，其碎块的速度分散只占炮弹速度的约百分之几，而出射方向集中在原束流方向一个约几度的窄锥内。这一特性使之可作为包含多种丰中子核素的高质量的次级束加以利用，为研究不稳定核素引起的核反应创造了条件。

在相对论性能区内，类弹碎块的

同位素产生截面几乎不随炮弹能量的改变而变化。对某个确定的碎块电荷  $Z$ ，碎块的同位素分布近似地是高斯型。分布的典型宽度为 2 个原子质量单位左右。愈远离  $\beta$  稳定线，核素的产额愈低，粗略地说，产生截面的量级在几十毫巴到百分之几微巴之间。

理论上预言，自然界大约存在 7000 多种核素。已发现的稳定核素大约有 300 种，不稳定的约 2000 种，大部分尚有待发现。近若干年来，在伯克莱的高能重离子加速器 Bevalac 上，通过重离子碰撞找到了 19 种远离  $\beta$  稳定线的丰中子新核素，如表 1 所列。

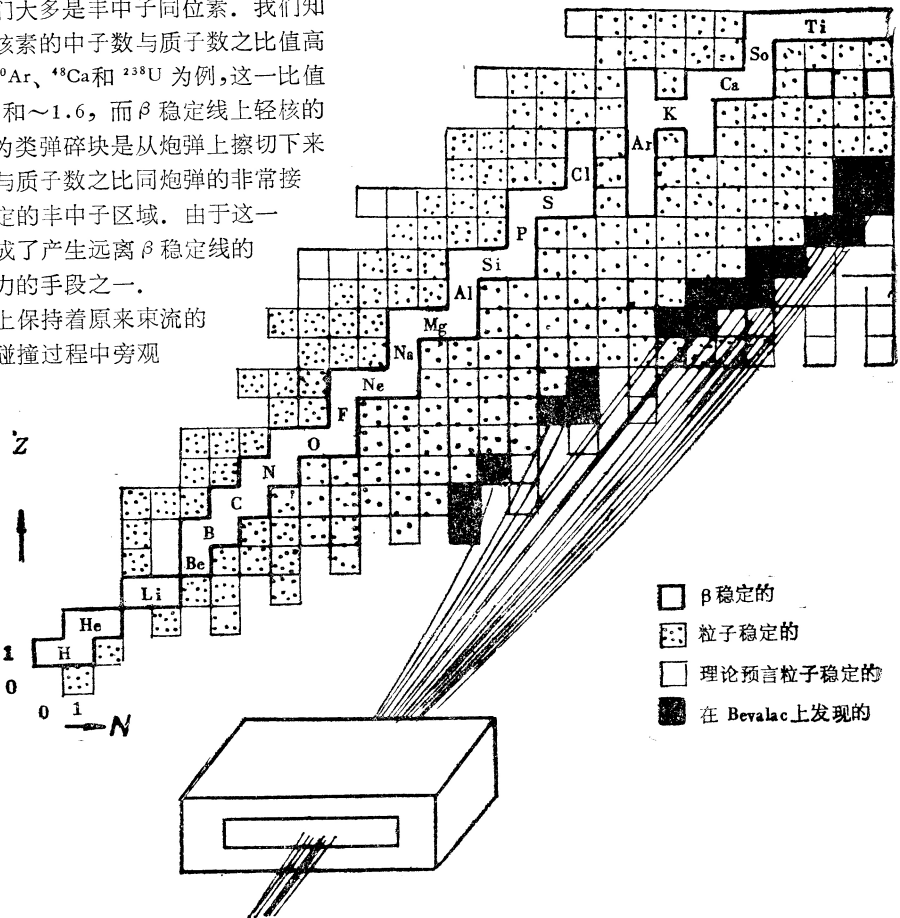


图 1 在 Bevalac 上发现的丰中子新核素

为醒目起见,将这些新核素画到核素图的相应位置上,如图 1 的黑色方块所示. 显而易见,它们都处于已发现的丰中子核素区最远离  $\beta$  稳定线的边缘.

表 I 在 Bevalac 上发现的丰中子新核素

炮弹	炮弹能量 MeV/ 核子	靶核	靶厚 mg-cm <sup>-2</sup>	发现的新核素
<sup>40</sup> Ar	205	C	860	<sup>28</sup> Ne, <sup>35</sup> Al
<sup>48</sup> Ca	212	Be	890	<sup>22</sup> N, <sup>27</sup> F, <sup>34,34</sup> Mg, <sup>36,37</sup> Al, <sup>38,39</sup> Si, <sup>41,42</sup> P, <sup>43,44</sup> S, <sup>44,45</sup> Cl
<sup>48</sup> Ca	213	Be		<sup>20</sup> C, <sup>27</sup> F
<sup>56</sup> Fe	670	Be	7900	<sup>19</sup> B

随着更重的相对论性重离子束如 <sup>139</sup>La 和 <sup>238</sup>U 的获得,可以肯定,将会有更多的远离  $\beta$  稳定线的丰中子新核素被发现,为填补核素图的空白,进行新核素性质的研究打开新局面.

确立核的粒子稳定性的极限是多年来的一项研究目标. 随着核素向远离  $\beta$  稳定线的丰中子方向偏离,核的单粒子结合能愈来愈小,达到单粒子结合能为 0 的位置,中子将开始滴落下来. 核素图上单粒子结合能为 0 的位置构成中子滴落线. 在滴落线内侧,核素的基态具有中子稳定性. 相对论性核碰撞提供了找到中子滴落线的新核素的实际可能性. 据理论估计 <sup>19</sup>B 是滴落线以内 B 的最后一个同位素.

历史上最早发现的天然放射性原子核一般说来都处于邻近  $\beta$  稳定线的范围,寿命都比较长. 人们对天然放射性的研究揭开了核科学的序幕,获得了关于  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  衰变以及原子核内部的结构和粒子运动的丰富知识. 当把研究范围扩展到人工产生的接近中子滴落线的前沿领域时,一方面可获得大量丰中子核素的质量、寿命、磁矩和结合能等静态特性的知识,另一方面还可探讨核衰变的一系列新现象,如中子发射、高能  $\beta$  衰变等以及核的形变、核内粒子的分布和运动规律的新特点. 这将进一步大大丰富核衰变和核结构的知识,检验现有的核理论并推动其发展.

在传统的核反应研究中,用作炮弹的只限于稳定核素. 类弹碎块可作为高质量的次级束用于研究各种不稳定的丰中子核素引起的核反应. 最近日本的一个小组在 Bevalac 上利用 800MeV/核子的 <sup>11</sup>B 束打到厚铍靶上产生的次级束测量了 <sup>6</sup>He, <sup>8</sup>He 与 Be, C, Al 几种次级靶的核素相互作用的总截面. 这个研究方向的前景是十分广阔和令人神往的.