



王 连 璧

一九八八年十月,我国的重水反应堆冷中子源建成并投入使用。这使我国重水反应堆外围的实验设施进一步完善,为冷中子研究和应用提供了一定的条件。

冷中子是个什么样的中子?冷中子源是个什么样的装置?这里向大家做一个简单介绍。

(一) 中子与冷中子

中子是英国科学家查德威克于1932年发现的,是原子核的组成粒子之一。研究测量得到:中子所带的电荷不大于 $1.6021892 \times 10^{-19}$ 库仑,可以认为是不带电的中性粒子;中子的静止质量为 1.674954×10^{-27} 千克;中子的磁矩为负 $9.6651855 \times 10^{-27}$ 焦耳·特斯拉⁻¹;中子能通过 β 衰变转变为质子,自由中子 β 衰变的半衰期约为11.7分钟,放出 β 粒子的最大能量为782千电子伏。

冷中子是动能小于0.005电子伏,即约 8.011×10^{-22} 焦耳(也有人说是0.002电子伏,即约 3.200×10^{-22} 焦耳)的中子。如果利用公式 $E = kT$ (式中 E 为中子动能, T 是绝对温度, $k = 1.380662 \times 10^{-23}$ 焦耳·K⁻¹,即玻耳兹曼常数。)换算成中子温度,则冷中子的温度将不会高于58K,即约在零下215℃以下,比常压下液氮的温度(零下195.80—209.9℃)还要低!被称做冷中子真可谓名副其实。

根据量子力学,中子在适当的实验条件下将呈现波动特性。其波长 λ 与动能 E 的关系为

$$\lambda \cong h / (2ME)^{1/2} \quad (v \ll c)$$

(式中 M 为中子的静止质量, $h = 6.626176 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒,即普朗克常数)。由该公式可以算出冷中子的波长将不短于 4.04×10^{-8} 厘米。

由于中子在晶体中运动时,在晶格上形成相干散射需要满足关系 $n\lambda = 2d \sin \theta$ (式中 λ 为中子波长, d 为晶格间距, θ 为散射角)。所以当中子波长大于 $\lambda_m = 2d_m$ (d_m 为最大的晶格间距)时,相干散射就不可能发生,只能发生由热运动决定的非相干散射。因而总截面值大大下降。冷中子的波长比较长,很可能超过某些单晶或多晶物质的最大晶格间距的二倍,而

不再发生相干散射。某些材料如铁,对冷中子显得特别透明,故利用冷中子照相方法,可以检查大厚度铁样品中的其他材料,或大厚度铁壁容器中其他材料的装填情况。

(二) 冷中子源

冷中子源就是获取并为研究和应用者提供冷中子的装置。

如前面所述,某些单晶或多晶材料对冷中子的散射截面特别小,几乎是透明的。可以利用这类材料如铍、石墨等做成适当厚度的过滤器,用来过滤反应堆所产生的中子,将能量比较高的中子除去,而只剩下冷中子,得到冷中子束。但是,这样得到的冷中子束的强度比较低。原因是:一方面,反应堆所产生的中子中冷中子占的份额很小,就是中子能量比较低的热堆,它的中子中的冷中子也仅占不到2%;另一方面,过滤器对于冷中子仍然存在非相干散射,冷中子通过过滤器时仍然有一部分被散射掉,更进一步减低了冷中子束的强度。

为了提高冷中子源的强度,可以采取如下几项措施:

第一、降低反应堆内中子慢化剂的温度,使反应堆中子的能量减小,从而增加反应堆中子中冷中子所占的份额。但是,这样增加冷中子,是以减少整个核反应堆中的慢中子、热中子等非冷中子为代价的,可能影响反应堆的非冷中子方面的应用。

第二、在反应堆中子引出孔道中加一段低温慢化体,将引出的中子进行进一步慢化,增加其中的冷中子份额。之后,再让其通过适当厚度的过滤器。

第三、应用液氮等冷却过滤器,降低过滤器的温度,减小过滤器对于冷中子的非相干散射,以减少冷中子通过过滤器时的散射损失。

从以上所说可以想象得到,反应堆冷中子源应当包括:反应堆中子引出孔道,放在孔道中的中子慢化剂,冷中子过滤器和冷却装置。当然还包括一系列的附设装置和设备。至于反应堆冷中源的具体安排与形态,就因具体要求和设计而不尽相同了。