

应用于生物科学研究的一门新技术

——中子散射分析技术

罗 见 龙

(科学出版社第二编辑室)

近十年来,中子散射分析技术已经发展成为研究物质结构的重要方法,最近又把这个方法应用到生物科学研究中去。研究生物的细微结构,一般采用电子显微镜和X射线衍射技术。应用电子显微镜,来检查细胞、细胞的组成部分。用X射线衍射技术来研究蛋白质等生物大分子内的原子空间排列。可是在这两个范畴之间,尚有一个空隙:细胞的某些部分,用电子显微镜检测嫌小,用X射线衍射研究原子细节嫌大。而这个中间水平的结构资料,却又往往非常重要。象核糖体就是一个例子。核糖体是一切细胞里都有的、非常重要的细胞器,它由55个蛋白质分子和三个RNA¹⁾分子所组成。如果不首先了解这些蛋白质、RNA分子是如何进行装配的,我们几乎无法了解核糖体在蛋白质合成中如何执行其任务。可是核糖体在电子显微镜图象中,只能是一个轮廓,从这些图象中获取的结构资料是很有限的。另一方面,核糖体比起至今为止适于用X射线分析的结构来,又大了一些。而用中子束照射核糖体来检测蛋白质分子在核糖体上的空间排列,却正合适。所以中子散射分析技术对研究生物体系中象核糖体这样大小的对象,就成为极其重要的方法了。

所有生物结构研究方法,几乎都是采用可见光、电子或X射线。对于光、电子束,可以设置透镜,因而形

成象,可以观察。另一方面,X射线不能聚焦,不能制造X射线显微镜。X射线不产生象,只产生衍射图形:波与样品相互作用偏转后的方向与强度的记录。如同X射线一样,中子束不能聚焦,只能记录它们的散射角度与强度。

中子与生物学研究中使用的所有其它射线,有一个重要的不同。光、电子和X射线几乎只与分子中的电子相互作用。中子则不受电子的影响,而与原子核相互作用。因而中子经过同一元素的不同同位素的原子,会有不同的散射。这些原子有相同数目的电子,因而对于电子束或电磁辐射来说是无法分辨的。一个元素的不同同位素,在化学性质上的差异是可以忽略的(因此一般的说法是同位素的化学性质相同),但是它们的原子核与含有适当能量的中子相互作用,能有很大差异。不同的同位素有不同中子散射长。

氢与氘是同位素,它们的中子散射长的差异就较大。氢含有一个质子,氘含有一个质子和一个中子。因为生物分子含有大量的氢原子,如果一种蛋白质只含有氢,另一种蛋白质中大部分氢原子用氘取代,则两者中子散射行为有很大差异。另一方面,在化学性质

1) 核糖核酸。

上,两个这样的分子差异很小。因此,氘为生物学中子散射实验提供了一种方便的染色剂。通过用氘原子代替一种蛋白质上所有的氢原子,虽然它的生物化学性质很少改变,但这种蛋白质在中子束中就可分辨。

又以核糖体为例,核糖体由大小不同的两个亚基所组成,小亚基有 21 个蛋白质,将其中的两个进行重的氘化。再把置于溶液中的亚基放在中子束中照射,计算成各种角度偏转的中子的数量,便可得出两个氘化了的蛋白质之间的距离。

当可见光的光波从一个光源射出,经过遮光屏上的一对平行的窄缝,波会产生干涉图形,出现几条条纹。在中子散射实验中,也会观察到类似的效果。两个氘化了的蛋白质相当于两条窄缝。产生的图形包括一些同心环,中子的通量交替地多于和低于基本水平。在光学实验中,两条条纹之间的距离,取决于窄缝之间的距离。同样在中子散射实验中,环间的距离取决于氘化了的蛋白质间的距离。

测量若干对蛋白质间的距离,便可以确定这些蛋白质所组成的功能单位的空间结构。例如确定了 74 对蛋白质的距离,便可以把核糖体小亚基的结构搞清楚。

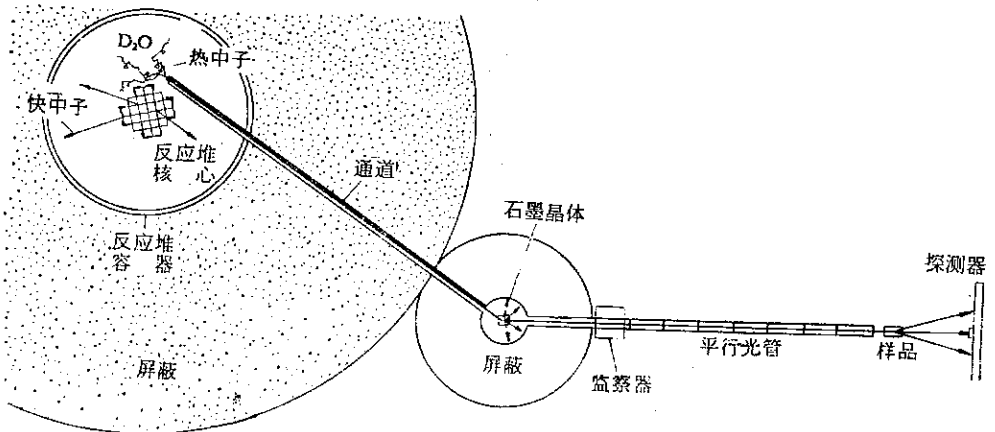
中子散射分析的设备可示意如附图。反应堆核心的铀核裂变释放出中子,中子在核心周围重水减速层中与氘核多次碰撞而减慢。一般中子减至热速度,即减至中子能的分布与气体在热平衡时粒子能的分布一样。这种能量是相当低的中子,在分辨原子的研究中是很有用的。

热中子通过反应堆容器中的通道,离开反应堆,通过设置在放射屏蔽中的长管导入实验区。在中子离开反应堆时,它们的能或波长谱是宽的,但在实验中需要

一束波长相同的中子。这样的中子是通过布喇格反射效应选择出来的。将中子导入一块石墨晶体。在这里中子被很多的原子内平面所反射。反射角取决于中子的波长,因此中子束扩展成一个波谱,从中可以选出单色束,它由具有特定波长的中子所组成。一般可将石墨晶体的方向调到所选中子的波长为 2.37 埃。选出的中子束导向一根两米长的管子,顺着管子有几个窄孔,从而使中子束平行,并进入一盛有样品的石英室。

接下去就是一个特殊的探测器,把散射的结果探测出来。探测器可以是一个充满氦 3 的扁室。氦 3 是氦的同位素,有两个质子和一个中子。当氦 3 的核被中子冲击时,碰撞的产物是氦核(氦是氦的同位素,有一个质子和两个中子)和一个质子,氦 3 的核吸收了一个中子,放出一个质子。质子带有电荷,它能使附近某些氦原子暂时离子化。探测器的扁室内布满电极,使气体任何一个小区发生的离子化都能探测出来,作为电流的脉冲被探测出来。从产生出信号的部位,可以测出离子化发生的位置,对脉冲可以进行计数。这些数据再利用电子计算机加以处理。最后我们可以将生物大分子在功能单位上的空间排列,构成图形。

目前,中子散射分析技术在生物学研究中的应用,还是处在极早期阶段。但是这一技术的本身,正在飞速的改进与发展;它所研究的对象,除核糖体、RNA 聚合酶等外,正扩展到真核生物的染色质、各种生物膜等各个方面去。显微镜的出现,使细胞的发现成为十九世纪自然科学三大发现之一;X 射线衍射技术,揭露了几十种蛋白质内原子的空间排列,使生物科学出现新的面貌。可以预料,中子散射技术作为新的一级分析手段的应用,必将给生物科学增添又一批令人鼓舞的成果。



中子散射装置示意图

在反应堆核心,铀 235 的核裂变,射出中子。这些中子在核心周围的重水减速层,与氘核多次碰撞而减慢,并通过一个通道从反应堆容器出来。这些减慢了的中子,它们能的分布与气体热平衡时粒子能的分布一样,故也称作热中子。热中子束按照它们从石墨晶体原子平面所反射的能量而扩展。所有中子含有同样能量的中子束为平行光管所选择。最后,平行的中子束打到标本上,中子打到探测器上。

参 考 文 献

- [1] Bacon G. E. 1975 Neutron Diffraction. Clarendon Press.
- [2] Schmatz W., T. Springer, J. Schelten and K. Ibel 1974 Neutron Small-Angle Scattering:

Experimental Techniques and Applications. *Journal of Applied Crystallography*, 7(2).

- [3] Engelman D. M. and P. B. Moore 1976 Neutron-scattering Studies of the Ribosome. *Scientific American*, 235(4): 44—54.
- [4] Nomura M., A. Tissieres, P. Lengyel 1974 Ribosomes. Cold Spring Harbor.