

## 第三次PIXE国际会议总结

Sven A. E. Johansson\*

对这次会议给出一个很完整的总结显然是办不到的。涉及许多不同领域内应用的文章业已发表。但是讨论一下总的发展趋势试图回答这样的问题也许是重要的：当前PIXE的情形怎么样？它又将会如何发展？

一个重要的资料表明，几次PIXE会议的性质已发生变化。1976和1980年的两次会议是以技术报告为主。提出了辐照靶室和计算机程序并描述了各种可行性实验。与此相反，这次会议是以实验结果为主。这表明，PIXE目前已离开发展阶段而成为一种公认的分析工具。但是它的应用范围有多广与其它方法如何相竞争呢？在1980年第二次会议上我曾对七十年代的文献提出过一个报告。文章的数量对时间作图可得出一条指数发展曲线，在一年半的短时间内文章数翻一番。显然，这种在一个领域迅速发展所特有的速度是不能持续很久的。现在PIXE的文章是如此之多并分散在甚多的杂志当中，以致令人难以读得过来，而人们得到的印象却是原来的发展速度变慢了。这是PIXE正在接近成熟阶段的又一标志，在这个阶段中，PIXE找到了与其它方法相竞争的场所。当然对我们大家来说重要的问题是将来会发生些什么。发展一种新的方法是件好事，这样做尽管很有趣但也并不太满意。我们自然希望PIXE将发展成为一种有用的分析手段并作为一种标准技术而确立起来。但是这种竞争很难，因为一些新的方法在不断的发展，老的方法也在改善着。只有当PIXE被证明有某些独特的优点时它才得以幸存。因此，为

了适应这种竞争，讨论一下如何应用PIXE是很重要的。

已有大量的传统方法，比如X射线荧光分析，活化分析以及仪器中子活化分析。作为分析目的，人们正在应用其它物理过程来发展一些新的方法。本次会议所讨论过的一个例子是同步辐射光所引起的X射线发射。它似乎很有希望，但对其使用作任何预言还为时过早。所用的另一种方法是激光激发。用这两种光来激发可以实现探测极限甚低的很特定的分析。进一步的例子是质谱测定法，有时与激光激发相结合。因为这两种新的方法有特别高的灵敏度，因而给人产生这样一种印象：高的灵敏度是分析方法的主要要求。但是，指出这样一点是很重要的，使用一种比分析的要求还要高的灵敏度是没有意义的。比如，在分析生物组织的微量元素当中经常遇到的浓度在0.1~1ppm的范围。用这样量级的灵敏度就能够研究所有的主要元素和大部分有毒元素。过高的灵敏度并不意味着有任何优点。相反还会产生一些问题，比如干扰，从而可能使高灵敏度不能得到充分的利用。此外还应指出，在样品的制备中所用的材料比如样品的衬底和化学药品不可避免地会含有某些杂质，它们会限制可能达到的灵敏度。我想指出一点就是对每种分析问题存在着一个最佳的灵敏度。PIXE具有一个很大的优点就是对许多重要的应用有大致相同的灵敏度。

除灵敏度是个重要的因素外，强调一下其它几个特征也是必要的。其一即多元素分

\*瑞典隆德工学院核物理系

析能力。这里应指出, PIXE的灵敏度对大多数感兴趣元素而言具有相同的数量级。原则上讲具有多元素能力的某些其它方法呈现出一种强烈变化的灵敏度, 这当然是一大缺点。此外还应考虑分析速度。从本质上讲PIXE是一种快速分析方法, 其多元素分析能力进一步突出了这一优点。

显然, 为了实现PIXE的全利用, 应将注意力集中到这样的应用上去, 即PIXE的优点很突出又没有别的取代方法。考察一下本次会议的投稿和其它一些PIXE文章, 可以看出这种发展确实正在发生。下面提出几个方面的应用也许是有意义的。

想使PIXE分析能力得到全利用的情形是以低的浓度(ppm)来测量15—20种元素, 每一样品的重量低到 $1\mu\text{g}$ , 样品数量又很大。一个典型的实例是空气污染的分析工作, 取样由级联捕集器进行, 加长收集时间得到多种样品。这样的测量程序有可能获得好几万个样品浓度值。一种类似的情况是研究医学科学方面的微量元素。这方面, 样品的数量也可能是很大的, 因为必须来研究许多的病人, 以求得到有统计意义的结果, 同时这样的样品还必须在几种器官内取得。此外, 许多元素在医学上是感兴趣的, 其浓度低而重量小, 活检的情况尤其如此。类似这种情况, 若干适合的分析方法却受到某些限制。某些常用的方法鉴于技术上的原因(样品的重量小而浓度低)而被排除。另外一些方法诸如炉原子吸收, 中子活化或某些电化学分析方法可以采用, 但它们只对灵敏度足够高的某些元素才为适合。为了复盖所有感兴趣的元素也许不得不联合几种方法, 但这会导致复杂的样品制备, 同时这种方案的价格可能相当高。因此, 对于这类研究似乎并不存在现实的PIXE替换物。由于这样的研究异常重要, 仅这类工作就可能使许多PIXE实验室繁忙多年。

有时, PIXE的某一特性有决定意义。尤其重要的一个特点是纯术语中的探测下

限。使用薄的样品衬底和直径1mm的束流能够探测到 $10^{-13}$ — $10^{-14}$ 克的重量。一个典型而重要的应用是研究微量元素是如何束缚到各种蛋白质内去的, 比如酶当中的金属。因为蛋白质必须进行分离和纯化, 样品的重量可能很小, 而传统的分析方法往往不能胜任。

在本文中值得指出的一点是, 高的绝对灵敏度不仅对微量元素是重要的, 对较丰的元素有时也是重要的。这一点对 $Z = 15 - 20$ 范围的诸元素尤其是正确的, 这些元素在生物和医学方面非常重要。磷和硫是构成许多蛋白质的成分, 而氯、钾和钙在体液的电解反应中起着主要的作用。这往往希望能以很小的样品, 有时仅有少量细胞进行分析。而传统的方法不可能探测到如此少量的这些元素, 在这方面, PIXE看来是唯一的抉择。

微米束技术是使PIXE诸优点得以很好开发的一种应用。正如本会议许多出色的投稿所证实的一样, PIXE微米束能从 $1\mu\text{m}$ 的空间分辨来测量微量元素的浓度。电子微探针原则上有很好的分辨, 但是电子的散射可能造成束流的展宽, 当样品不是很薄时尤其如此。因此, 就空间分辨而论, 这两种技术或多或少是相当的, 但是电子微探针的灵敏度低, 只能测到主要元素。因此, 对于微量元素的分析似乎不存在PIXE微束的替换物。将来, 可能有来自同步辐射光方法的竞争, 但进行比较还为时过早。问题是同步辐射光是否可以聚焦得很好, 以便给出所需的分辨。无论如何在这方面有如此大量工作要做, 使得对整个PIXE微束将会有许多令人鼓舞的研究课题。

PIXE分析的质量是一个值得考虑的重要问题。本次会议多少有些讨论, 但还不够具体。在分析化学中, 习惯上要很清楚地告诉所用方法的精确度和精密度。因为PIXE不得不与其它分析方法相竞争, 因此我们有必要注意这些问题。已有好几个PIXE小组参加了对精确度、精密度、线性以及相互比较

的研究。尽管他们的结果稍许有些变化,看来,只要小心从事可以得到2—3%的精确度。精确度与如何进行测量有关。如果采用绝对测量法,那么精确度似乎在5—10%。但是采用有相同成分的标准作为样品或者采用内标法,即可得到较好的结果,原则上应像精密密度一样有相同的数量级或者百分之几。因为有几种其它的分析方法声称有比百分之一还要小的精确度,似乎会产生这样一种印象:PIXE并不那么适合于作精确的分析工作。但在做这样的比较时,我们必须考虑到样品的性质,被测元素的数量及其浓度。比如原子吸收技术声称精确度为千分之几时,它是适于样品有适合的成分和浓度并扩展使用刻度标准的理想条件。在大多数感兴趣的情况下,实际的样品更复杂,更难分析,比如小的气溶胶沉积物或医学活检样品。在此情况下,按最常用方法所需的样品制备可能引入很大的误差。此外,许多其它方法只能以所要求的灵敏度处理有限的若干元素。那么为了得到一个好的全灵敏度,必须把几种方法

结合起来,当然,这会产生系统误差。实际上,几种常用方法之间的相互比较呈现出相当大的偏差。PIXE的优点是以样品制备的最小量,一次简单的实验同时确定大多数感兴趣的元素,而且具有很高很一致的灵敏度。根据这些事实,这样的精确度和精密密度是足够了。一个较好的性能在这方面可能是好的,但并不一定如此,因为在PIXE作为主要应用的低浓度下,由污染和材料的损失而引起的不可靠程度大到使测量误差往往可以忽略。

一个很重要而在本次会议上讨论过的技术是PIXE与入射粒子背散射的结合。这种装置有可能测量基体内的轻的元素。使用向前散射甚而可确定氢。因此使用在靶室内加上粒子探测器所扩展了的PIXE装置就能复盖从氢到铀的整个周期系。这种完整的分析是不可能由任何其它方法来提供的。

(尹仲礼节译自 NIM Vol. 231 (B<sub>3</sub>)  
№1—3, 1984, p1—3)

(上接40页)

简单通用的计算方法,借助所给的图表中的参数,可以容易地计算出不同情况下的 $\gamma$ 天空反照剂量。

天空反照的工程防护是比较简单的,只要把加速器或放射源置于地下,或者在顶部加以足够的屏蔽就可以解决。但是对于所有强的中子源和 $\gamma$ 源都不能忽视这个问题。当中子源强大于 $10^9$ 中子/秒就需要适当的顶部屏蔽了。

### 参 考 文 献

[1] A. Rindi and R. H. Thomas, Par-

ticle Accelerators, 7, 23 (1975).

[2] R. H. Thomas, The Radiological Impact of High-Energy Accelerators on the Environment, Lecture given at Kō Enerugi-Ken, Oho-Machi, Japan (1979).

[3] R. G. Alsmiller et al., Particle Accelerators, 11, 131 (1981).

[4] H. W. Patterson and R. H. Thomas, Accelerator Health Physics, p 437 Academic Press New York and London (1973).

[5] 华旦,核科学与工程,第3卷第4期第366页(1983).