

* 科学家论坛 *

关于同步辐射应用发展方向的思考

冼鼎昌*

(高能物理研究所 北京 100039)

合肥国家同步辐射加速器、台北新竹同步辐射研究中心和北京正负电子对撞机等三个同步辐射实验室在海峡两岸相继建成,这是中国科技界的一件划时代的大事。建造同步辐射装置只是第一步,最终的目的是应用,此时对装置上的同步辐射应用的发展方向进行探讨是适时的。本文以北京同步辐射(BEPC)装置上的经验为例进行讨论,希望对其他两个实验室有参考价值。

一 作为“大科学”装置的同步辐射实验室的研究发展方向应不断调整

虽然在建造任何一个同步辐射加速器之先,对在该装置上将要进行的实验一般均有规划,并写在可行性报告中。但是所有同步辐射装置都有着两点独特之处,它们使用任何可行性报告都不会是完善的。第一点是同步辐射建造的周期,一般要在五年以上。对于现代科学发展来说,五年是一个很长的期间,特别是对发展迅速的同步辐射应用领域更是如此。在使用一个刚建成的装置来做科学研究工作,回过头来翻阅当年的可行性报告时,心里产生的既欣悦而又不满足的感受,是每个曾经参与从规划到建造的全过程科学家都体验过的。第二点是同步辐射实验室本身,是一个不断完善、改进和发展的整体,无论对光束线、探测器还是探测方法,都是如此。这与通常人们习惯的实验室设备(所谓“小科学”设备)是不同的。在同步辐射应用领域里,设备制作与方法发展(Instrumentation & Methods)有着更大的份量。在这个领域里工作的科学家往往必须花费相当的功夫来制作探测仪器、发展探测的方法,才能达到他的目的。这是在“大科学”设备上工作的特点。

正是由于这两个特点,对每个同步辐射实验室来说,从开始就有着不断调整其研究发展方向的问题。在这里我想举两个与我们实验室有关的例子。第一个例子是和上面提到的第一个特点相联系的。在 80 年代初期,同步辐射在晶体学中的形貌学应用上有很大的发展,形貌学实验站是每个能够提供 X 光波段的同步辐射实验室的必设站,在我们当初的可行性报告中,把它放在优先的位置加以考虑是很自然的。可是到了同步辐射室正式投入运行时,已经是 90 年代了,在形貌相机上的开拓性的工作高潮已经过去,在当前运行着的设备上的研究大多属于常规性的一类。这样,在投入工作伊始,形貌学实验站就面临着考虑今后发展方向的迫切任务。第二个例子是劳埃衍射方法在晶体学研究中的新生。劳埃法是以 X 光研究晶体的最古老的方

* 中国科学院院士。

法,自 1911 年由劳埃提出以来,对 20 世纪物理学的发展起过极为重要的推动作用。但是随着单色 X 光的品质的改善,布喇格方法在细致的、精密的晶体学研究中逐渐占了上风,特别是在早年的同步辐射实验室中。然而,由于近年来在衍射理论分析的进展与新的探测手段——成像板(imaging plate)的发明,结合同步辐射的连续谱的性质,使这个古老的方法重新获得巨大的生命力。不但在生物大分子蛋白晶体的研究中,而且在小分子晶体研究中,都可与通常的布喇格方法相比;更重要的是,它在时间分辨的实验中有着无与伦比的优点。1988 年我们就曾认真考虑将这列为我们今后发展的一个重要的方向,虽然此方法当时尚在发展之中。其后因种种原因,向这个方向的发展未能坚持下去,到如今它在同步辐射应用中的地位已经确立,此方向发展的必要性已是很清楚的了。

二 研究发展方向必须结合本装置的特殊性加以考虑

虽然不断调整和发展自己的研究方向是每一个同步辐射实验室的任务,但是到底应当沿着哪个具体的方向,就必须结合本装置的特殊性来加以考虑。对不同的装置完全可以得出迥然不同的结论,没有一个通用的准则。以下举的是我们实验室的一个例子。

1984 年,当我们修订同步辐射实验室建造可行性报告中的科学技术应用部分时,X 光对物质的作用及作用后的效应都构成规模广大的研究领域这个事实,给予我们很深刻的印象。我们看到,在与 X 光作用后物质发出的热、光电子、荧光、俄歇电子等等,无一不构成一个专门研究的领域,然而在 X 光吸收之后的声现象却未见有研究报导。仔细想想其原因,发现虽然光声现象是一定存在的,但由于 X 光的高穿透性质,使用通常的 X 光光源产生的光声信号太微弱了,难以被探测到,这就是为什么直到那时尚无 X 光光声研究报导的原故。但是,对于同步辐射 X 光光源,探测 X 光的光声信号就不成问题,因为同步辐射是很强的光源。特别是想到同步光频率的连续可调以及物质对光的选择吸收性质,物质在吸收 X 光之后发出的光声信号也应当在吸收边附近出现振荡的现象,即应当存在光声谱的广延精细结构(PAEXAFS)。由于在声学测量中,除振幅之外,还可以测量到声波传播的相滞后,这样就有可能得到比通常 EXAFS 方法更多的信息。EXAFS 方法探测的是平均的效应,而 PAEXAFS 方法则有可能多得到垂直于表面的吸收原了分布的信息。后来我们知道,在国外也有人想到这个方法,而且日本 Masujima 教授领导的研究小组于 1986 年在 KEK 的同步辐射实验室里首次探测到铜箔的 PAEXAFS 谱。我们在 1989 年同步辐射光出光之后便测量了白光 X 光的光声谱,但是通过首批实验的结果就了解到,在 BEPC 的条件下开展 PAEXAFS 谱的研究是不现实的,因为我们的加速器的流强比光子工厂的要小十倍以上,再加上 Wiggler 的周期数的差别,光的通量要小上两个量级。经过这番探索后得到的结论是,在目前的条件下,在 BEPC 上发展 PAEXAFS 的方向是不适宜的。

三 研究发展方向要紧密结合同步辐射的优点,要有科技储备

研究方向的发展要充分发挥同步辐射的优点,这是毋庸置疑的。同步辐射有着许多优点,在某一点上它也许在要研究的领域中不能起作用,但这不等于说它就在此领域中一定没有用处,因为它的其它优点可能在该领域中是大有用武之地的。

还是以 X 光的光声研究为例,我们在上面说过,在 BEPC 上开展 PAEXAFS 方向是不现

实的,但是这绝不意味着在 BEPC 上不能开展光声领域的前沿工作。事实上,光声研究对光源的要求除强度之外还有频率,当前在光声领域中的一个重要发展方向的是皮秒(ps)超声。利用近年来高强度、短脉冲激光技术的新进展与探测方法的新发展,最近已经成功地检测到持续时间为 500—700ps 的短应力脉冲和几十到几百 GHz 的声脉冲、声衰减等。虽然 BEPC 作为 X 光同步光源的强度不足作 PAEXAFS 之用,但是它的短脉冲宽度(200—300ps)显然对发展当前光声的超短脉冲方向极为有用。目前国内用的激光光源的脉冲持续时间为 8—50ns(纳秒),使用同步辐射光源可将激发的声脉冲缩短一个到两个量级,因而超声频谱的上限可以拓宽相应的倍数,这不但对超声学科本身有重大的意义,而且在应用上也有着巨大的前景。单是超短声脉冲和热脉冲的接收技术的解决就必将导致它们在箔、膜、涂层等材料中有广泛的应用前景。在这类工作中不要求光的单色性质,只要求光的时间结构性质。对此,BEPC 同步光源是大有作为的。

另一个例子,就是同步辐射作为高亮度光源的出现,使得在许多学科中对动态过程和微小样品的研究成为可能。对于 BEPC 光源来说,对尺寸为几百微米的样品的测量已经有了可能。那么,这两个方向是否应当是北京同步辐射实验室的发展方向呢?如果应当,该从何入手呢?

应当发展这两个方向,是毫无疑问的,至于从何入手,那就大有讲究了。除了学科本身的价值之外,还要从范围更广、条件更综合的角度上来考虑,特别是科技储备的角度。对于微小样品的测量,我们没有选择最容易、花钱最少的道路,而是选择了超高压物理和微束分析的方向入手。以高压物理为例,我国的超高压研究多年来一直在一些研究所和大学里开展,并达到相当好的水平。物理所在几年前便达到 130GPa(130 万大气压)的水平,在世界上也是数得上的。但是使用常规的 X 光光源,要用三个星期以上的连续曝光才能得到一张照片,这样是无法得到有意义的实验结果的,也就是说国内超高压物理研究上处于停顿的状态。同步辐射光源的出现从根本上改变了这个状况。基于对国际上发展情况、国内的科技储备和 BEPC 光源的综合考虑,我们选择了从超高压物理入手来发展微小样品研究的方向。经过几年的努力,从得到的成果看来,当初的抉择是正确的。

在今后相当长的一段时期内,发展时间分辨的动态实验研究,是全世界各同步辐射实验室的一个重要方向。其实大家早就清楚这个方向,只是卡在探测技术上。成像板的发明和扫描技术的完善,使得情况有很大的改变。还是以晶体学应用为例,同步辐射的连续谱和高亮度的性质,加上成像板的宽广的动力学范围,使得在极短的时间内得到最多的晶体内部的信息成为可能。但是探测器跟不上光源的矛盾并没有得到根本的解决,因为成像板虽好,但毕竟还不是在线(on-line)的探测器,在探测速度上受到很大的限制。在这里回顾一下高能物理发展的历史也许是有益的。

自从 1952 年气泡室发明之后,气泡室探测技术在短短的几年中得到完善,这对 60 年代基本粒子的大发现起了关键性的推动作用,那时几乎所有的新粒子都是在气泡室里发现的。但是气泡室的探测速度不够大,不能满足越来越大的对统计数字的要求。气泡室不是在线的探测手段,不能发挥象计算机等先进技术的作用,到后来它完全被时间分辨本领高的、以在线电子学为基础的探测器所代替。与这段历史相对比,成像板的情况,有相似之处也有不同之处。不同之处是它本身的速度还是很快的,也许有朝一日工程师能够解决在比微秒还短的瞬间内换片的问题,那时它还是有用的;相同之处是它的非在线的性质。在这一点上,最近发展的 X 光 TV

是一个十分值得注意的方向,虽然目前它还存在着动态范围不够宽的缺点,但是一旦这个缺点得到解决,它将具有极大的生命力。

在这里不难看到科技储备对发展一个同步辐射实验室的应用方向的重要性。成像板的发展不过是最近几年里的事,当我第一次看到它的时候,它刚从实验室被送往企业,只不过几年的时间,它已经几乎成为所有 X 光衍射实验室必备的工具了! 对于一个表面实验室,这个问题不存在,方法发展是诸如 VG 或 VSW 等厂家的事情;但是对于一个同步辐射实验室来说,科技储备是它能否处于领先地位的一个关键。

四 每个同步辐射实验室必须有一个小而精的本单位科学家队伍才能得到有效的发展

近年来,自然科学各学科及技术的相互渗透、并由此发展出新的科学技术领域,是一个十分显著、具有普遍意义的现象。超高真空物理的发展开拓了表面科学的广大领域,超短脉冲的强激光给原子分子物理带来强大的活力,计算机技术与 X 光成像术的结合,发展成强烈影响着当代医学的计算机控制断层术(CT),便是其中的一些例子。同步辐射的出现,为物理、化学、生物学、农学、材料科学、冶金、能源、地矿、微电子、化工等广泛学科技术提供一种最先进的应用研究手段,并已经在各学科中取得重要的应用成果。同步辐射中心是一个能够吸引众多学科研究人员进行工作的实验基地,是通过这些人员的合作促进学科渗透,从而发展出新的科技领域的理想场合。当然,这需要一些先决的条件,其中最重要的一条,就是必需有一个小而精的本单位(in-house scientists)科学家队伍,才能有效地实现这个目的。

本来这是办好任何一个开放实验室的经验,对于海峡两岸刚建成的这三个同步辐射实验室就更是如此。本单位科学家除了进行一些我们在上面提到过的与同步辐射装置的“大科学”性质有关的发展工作之外,还能够在促进不同学科相互渗透上起重要的作用。在这里我们以白光劳埃方向重新得到活力为例来作一分析。这时决定于三个因素。第一,同步辐射光源;第二,探测手段的进展;第三,数据分析工作的突破。在这三个关键中,前两个与第三个的一半是由同步辐射实验室的 in house 科学家作出的,由此可见这个队伍的重要性。目前大家翘首以待的 X 光 TV 也是首先由同步辐射实验室的科学家制作的,并且由他们继续发展。

诚然,在同步辐射实验室里工作的人员是高度地流动的,绝大多数是用户科学家。曾经有过一种论点,说是只需有服务的人员,把装置运行好便够了,无需有本单位的科学家队伍。这种观点是错误的,越是流动性大的实验室越是要有这个队伍,否则无法把众多科学的用户的需求变成可执行的现实,更谈不上如何创造一些条件来利用同步辐射开拓新的科技疆域。这状况好比大宾馆的旋转门,要有牢靠的转轴才能转动起来,越是流动的人多,它的运转就越快,转轴就越要坚固,本单位科学家队伍,就是这个转轴。一个同步辐射实验室如果没有一个素质一流、相对稳定的本单位科学家队伍为核心,以实验室为安身立命之所,不但谈不上有所发展,甚至常规的为用户服务的工作也做不好。