

我为BEPC/BES的成功点赞

——纪念BEPC对撞成功30年

李 金

(中国科学院高能物理研究所 100049)

北京正负电子对撞机BEPC及其实验装置北京谱仪BES是我国最大的基础科学实验研究设备之一,1984年开始工程建造,1988年建成并实现正负电子对撞,从1988年实现对撞和1989年投入实验运行到今天已经30年了。在这30年里,BEPCI升级到BEPCII,BESI升级到BES II再到BES III,不间断的实验运行获取了大量的事例样本,取得了一个又一个高能物理界很有影响的物理成果。以北京谱仪BESI的“ τ 轻子质量精确测量”、BES II的“2~5 GeV能区强子反应截面(R 值)测量”和“北京谱仪II实验发现新粒子”…等为代表的物理成果,都是当年国际高能物理界公认的亮点和世界一流的物理成果,都获得了国家自然科学二等奖,也是国内当年十大科技新闻之一。这不仅表明了我国有能力在世界高科技领域“占有一席之地”,而且已经在一些领域占有了一席之地甚至领跑世界。实现了邓小平同志对中国高科技领域“占有一席之地”的希望,也是包括我在内的中科院高能物理所全体人员,特别是工作在BEPC和BES上科学家和工程技术人员共同愿望。

从1992年BESI的“ τ 轻子质量精确测量”到2014年BES III发表最新 τ 轻子质量测量结果,至今仍然是国际上最精确的物理测量。虽然已经是近30年前的实验研究了,还是让我情不自禁地回顾获得这些科学成果的历程,总结占有一席之地的经验和体会,尤其是想为BEPC/BES30年的成功历程点赞。

BESI“ τ 轻子质量精确测量”的实验研究发生在1991年秋至1992年冬。1992年向国内外宣布了实验测量的结果。最初在1992年11月的PRL(*Physics Review Letter*)发表,以后在1996年的PRD(*Physical*

Review D)上发表了最终的物理结果。要知道PRL和PRD都是粒子物理界顶尖的学术刊物。为了让我国的物理成果能在国内更早的时间发表,我特意用中文撰写了“在北京正负电子对撞机(BEPC)上的 τ 质量实验测量”一文,1992年10月刊登在我国的学报“高能物理与核物理”上。这一实验测量不仅将精度提高了近一个量级,更重要的是发现了以前的实验测量有重大偏差,从而在解决粒子物理的重要物理原理——“轻子弱作用的普适性原理”的危机中起到了关键作用,也更促进了 τ 轻子衰变寿命及衰变分支比的进一步研究。这一实验成果震动了国际高能物理界,成为1992年国际高能物理领域最重要的成果之一,其 τ 轻子质量的数据被权威的《粒子数据手册》所采纳,并保持20多年的领先地位,直到2014年BES III发表最新的 τ 轻子质量测量结果。论文被上百次地引用,测量方案也被西欧核子中心(CERN)所采纳,实验得到国际高能物理界的广泛赞誉和高度评价,一举让中国在高能物理实验研究中占有了重要的一席之地。一时间“ τ 轻子质量测量实验”成为“BES实验”的代名词。不少高能物理界的同行是从“ τ 轻子质量测量”知道北京谱仪BES的。特别得到了李政道先生的称赞,李先生称:“这是最近一段时间高能物理领域最重要的实验成果之一”。法国科学院院士M. Davier,国际 τ 物理方面的专家,知道我们的物理结果后非常高兴,特地写信给我,高度评价了我们的实验成果,祝贺我们的成功,这让我感到无比的兴奋,也为我作为BES一员而无比荣幸。在国内,该研究项目获得了1992年中科院自然科学一等奖,1995年国家自然科学二等奖和1993年中国物理学会吴有训物理奖。被评为1992年中国十大

科技新闻之一和十大科技成果之一。

作为BES一员的我,负责并参与了该实验研究的整个过程,至今历历在目,为成功的实验而自豪,更要为BEPC/BES的成功实验点赞。

1. 正确的选题,及时地抓住机遇

BES是一个综合性实验装置,可以进行研究的课题很多,但必须选取意义重大,科学界共同关心并影响广泛而深远的领域或课题。

1991年6月,我到法国Orsay参加由Orsay研究所所长M. Davier组织的“第4届国际重味物理研讨会”,在会上做了关于BEPC/BES的物理研究的报告,题目为“BES results on J/ψ decay into $\gamma K^+ K^-$ 和 $\omega\pi^+\pi^-$ ”。在向国外高能物理界介绍BEPC/BES的同时,我在会上了解到国际高能物理界对精确测量 τ 轻子质量的迫切要求,认识到测量 τ 轻子质量的重要意义,也深深感受到高能物理界对我们BEPC/BES的希望。回国后我就全身心地投入到 τ 轻子质量测量的工作中。在那个时期,国际上对 τ 轻子的寿命和衰变分支比做了大量的实验测量,特别是西欧核子中心(CERN)的几个重要实验组的出色工作,获得了一批有关 τ 轻子寿命和衰变分支比新的结果。然而,依据当时人们认可的 τ 轻子质量测量数据,这三者之间的关系有很大的矛盾。如果不是 τ 轻子的质量不对,就一定是“ τ 轻子弱作用普适性原理”有问题,一时间粒子物理标准模型理论的“普适性原理”出现严重危机!为应对这一重大原理的危机,人们对以前的 τ 轻子质量的测量提出质疑。当时,正在运行的BEPC和BES是唯一有可能对 τ 轻子质量进行绝对测量的装置。国际高能物理界自然都把目光投向了我们。M. Davier教授就是其中的一位,当正在高能所访问的M. Davier知道我们计划并准备进行 τ 轻子质量的测量时,在负责BEPC运行的负责人于鸿璇陪同下特地找到我,一方面表达了他对 τ 轻子质量测量的关心,另一方面,仔细地向我了解测量方案和可能达到的测量精度,并十分满意我们的准备工作。当然也提出了他对实验的一些考虑并预祝我们实验能取得成功。

经BES合作组内及高能所内各种类型研讨会的深入讨论,深刻分析了测量的困难,解决的方案,特别是提高测量精度的可能性和可行性等。果断决定暂时中断部分原计划的课题研究,从1991年下半年开始,将BEPC转向 τ 轻子质量能区,将BES力量集中到 τ 轻子质量的测量上。历史证明,当时的决定非常正确,非常及时。抓住了历史的机遇,抓住了BES在高能物理领域可能占有一席之地的机遇。

2. 充满信心与决心,敢于迎接挑战

τ 轻子是一种寿命极短的粒子,必须人为地在正负电子对撞中产生,同时又要通过探测它的衰变产物来“抓住”它,最后还要设法精确地测量它的质量,显然不是一件容易的事。从几个方面可以看到其困难程度:

(1) τ 轻子的寿命极短(10^{-13} 秒)不可能在自然界获得,但可以在正负电子对撞机上产生。BEPC的能量正好可以产生 τ 轻子。但产生后又立即衰变,是“稍纵即逝”的粒子。另外,测量需要在刚刚能够产生正反 τ 轻子对的对撞能量下进行,也就是专业上的“阈”附近。然而这是产生 τ 轻子几率最少的地方,在几个月的时间里,尽管BEPC昼夜不停运行,即让正负电子不停地对撞,也只可能有几个 τ 轻子能够产生并探测到它。仅有几个 τ 轻子粒子就能准确测量其质量吗?

(2) τ 轻子的质量最终是由BEPC束流的能量来决定的。可是BEPC束流能量本身的弥散(也就是专业上称的束流“能散”)就有3到4 MeV,然而质量测量的精度和不确定度至少要小于0.5 MeV,仅为束流“能散”的十分之一。我们的BEPC对撞机能满足实验的要求吗?采取哪些手段或措施才能减少束流“能散”带来的测量误差?

(3) 虽然实验要在产生正反 τ 轻子对“阈”的能量下进行,但我们并不知道这个“阈”在哪里。如何在有限的实验运行期间能尽快地找到这个“阈”,并在这一能量下高效地探测到 τ 轻子是这一课题的关键。我们能做的吗?要知道,太长的实验运行也会因为BEPC或BES的稳定性而带来额外的测量误差。

(4) 获得 τ 轻子质量,必须要知道对 τ 轻子的探测效率,当然,BES探测 τ 轻子衰变粒子的效率不可能是100%,而要想知道探测效率也不是一件很容易的事情。特别是在阈值附近,不可能利用探测到的几个事例获得精确的效率。如何精确地知道 τ 轻子的探测效率?也是很大的挑战。

由于以上的困难,一些人对做这样的实验测量提出疑问是很自然的。为此,高能所还专门组织了好几次论证会。还有一些人担心,如果测量精度达不到十年前的实验结果,如何面对国家,如何面对国际?劝我们不要冒这个风险。更有甚者,在实验测量开始的那天早上,我在BES值班室还接到规劝我的电话。希望不要冒这个险,继续将BEPC运行在 J/ψ 稳稳当当做没有风险的 J/ψ 物理分析等。实际上,我们已经分析了所有这些问题和困难,并仔细地做了模拟计算。我指导的学生李玉山做了详尽的实验方案论证,考虑到几乎所有的可能,预先给出不同积分亮度下、不同方案下可获得的质量精度,并发表了研究论文。我们的创新性实验方案,不仅是成功地进行实验的基础,也增强了我们的必胜信心。

应该指出,尽管做了大量的分析研究,提出了各种解决方案,但科学实验仍然有失败的可能,有达不到的预期结果的风险。这时需要的就是决心了,有敢于负责,敢于承担风险,才能最后有勇气迎接挑战。

3. 只有创新性的实验和成果才能走向世界

在 τ 轻子质量测量中,我们深深地体会到,有了抓住机遇的决心和敢于迎接挑战的信心还不够,必须有一系列的创新方案和措施才能发现原来实验的偏差,才能将精度大幅度提高,才能获得世界一流的成果。

我们将数据分析中的最大似然法应用到实验中,物理专业中称之为“数据驱动”(Data Driven)。这一方法的应用确保了我们沿正确的方向去寻找产生 τ 轻子的“阈”,而且加快了逼近这个“阈”的速度。

当然,好的实验方案,如果不结合具体情况,不考虑对撞机和探测器的实际,也不可能达到预期结果。我们做了大量模拟研究,将BEPC和BES的各种参数

与创新的方案相结合,最后得到正确的实验方案。

虽然将数据分析中常用的“最大似然法”应用到实验运行方案中,但也不完全依赖它。在实验中仍然充分发挥人的聪明才智,积极地对实验进行及时指导或者“干预”,从而大大减少了测量的统计误差,克服了“数据驱动”的不足。

在创新的方案之外,物理和数据分析中还采用了许多过去实验所没有考虑的措施。例如,在理论计算中考虑到“阈”附近正负 τ 轻子对之间的库仑效应;在实验中不仅注意到束流能量的弥散,而且考虑该弥散与束流强度,束流能量的关系;在数据处理中采用特殊的数据处理流程以保证“Data Driven”方案能顺利地实施;为了克服BES探测器在实验测量中的不足,不能有效精确地测定积分亮度和探测效率,又采用了双参数的拟合方法,取得了非常好的效果等等。图1中李政道先生拿 τ 轻子质量的图就是为避免在效率和亮度测量不足而采用二维拟合曲线的立体图。

30多年过去了,现在回想起来好像实验就发生在昨天。在这创新的新时代,基础大科学的研究中更要有新的担当,新的作为,敢于承担,勇于创新,创新是科学研究的基础,只有创新性的实验研究才能获得一流的科学成果。



图1 李政道先生手中拿的“ τ 轻子质量测量”的两维拟合图