

我国基本粒子研究发展中的一个里程碑

——记王淦昌教授发现反西格马负超子 ($\bar{\Sigma}^-$)

丁 大 钊

北京正负电子对撞机于去年十月首次实现对撞,北京谱仪亦已调试完毕并将于近期在对撞点就位,开始积累实验资料。这标志我国的基本粒子实验研究经过三十余年的曲折道路终于迈上了利用我国自行设计、建造的大型设备和仪器进行独立研究的新阶段。

每念及此,总使我回想起在五十年代后期王淦昌教授在联合原子核研究所工作期间发现反西格马负超子 ($\bar{\Sigma}^-$) 的历史。这是我国科学家利用高能加速器进行基本粒子研究所取得的突出成就,是我国基本粒子实验研究中的一个里程碑。她表明我国的科学家是有能力掌握先进的实验设备做出世界水平的成果的!

那时我还是一个刚步入科学研究大门的学生,在王老师的教导下做了一点具体工作,经历了这一重大发现的全过程。我愿在此追忆反西格马负超子 ($\bar{\Sigma}^-$) 的发现过程,作为我对我国科学家即将在北京正负电子对撞机上开始实验研究的良好祝愿:祝愿他们在这台先进的设备上做出优秀成果,取得成就,为基本粒子物理学增加新的知识,使我国的科学成果在国际上取得受人尊敬的地位,为国争光。

联合原子核研究所于 1956 年秋由十二个社会主义国家签约成立。我国是该所科研经费的主要承担国之一。王老师于同年秋到达该所,领导一个由两名苏联籍和两名中国籍(我与王祝翔同志)和一位苏联籍技术员所组成的研究组开始筹划在该所即将建成的 10 GeV 质子同步加速器上开展基本粒子研究。

五十年代正是第一代高能加速器陆续建成投入运行的时期。在这些加速器上,可以由实验者进行设计来优选地研究基本粒子的各种性质,寻找新的基本粒子,其广泛、深入与精确的程度,将使以往利用宇宙射线作为粒子源的研究工作根本改观。美国、苏联以及西欧,不仅在加速器的建造上相互竞争,而且更希望在各自建设的加速器上作出最有贡献的成果。

美国的 6.3GeV 质子同步稳相加速器 (Bevatron) 建成后于 1955 年由张伯伦 (Chamberlain)、塞格雷 (Segre) 等人通过分析初级束打靶产生的带负电粒子的动量及飞行时间,发现了反质子。随后通过反质子与核的电荷交换,发现了反中子。这是 Bevatron 对基

本粒子物理最重要的贡献。联合所的 10GeV 质子同步稳相加速器 (Синхрофазотрон) 计划于 1957 年建成;设在日内瓦的欧洲原子核研究中心的 30GeV 质子同步加速器 (proton synchrotron) 当时正在加紧建设中,计划 60 年代初投入运行。因此 Синхрофазотрон 在能量上仅占几年优势,亟须选择一批有可能突破的研究课题,选择有利的技术路线,争取时间做出符合该加速器能量优势的成果。

五十年代中期,基本粒子研究面临的一些前沿课题有:

寻找新粒子。盖尔曼 (Gell-mann) 引入奇异量子数后建立的基本粒子分类系统很好地包括了已发现的强相互作用基本粒子。在这个分类系中还有 Ξ^0 超子尚未发现。一个自然的问题就是有没有其它不属这个分类系的新粒子?

发现反超子。自从狄拉克 (Dirac) 从相对论性量子力学预言正电子—电子的反粒子的存在,并由安德逊 (Anderson) 于 1932 年发现后,实验工作者一直在寻找各种粒子的反粒子,以确证电荷对称性的普适性。自从反质子与反中子发现以后,发现反超子就成为基本粒子实验学家面前的一个挑战性课题。

对称性研究。弱作用中宇称不守恒原理已在核衰变、 $\pi-\mu-e$ 衰变链中得到了确证, $\Delta^0 \rightarrow p + \pi^-$ 衰变也认定了宇称不守恒原理的普适性。当时提出可能 PC, T 分别守恒。对称性的研究将是一个很广泛与很困难的研究课题。

基本粒子与核相互作用规律的系统研究。奇异粒子的协同产生已经确证,那末在更高能量下产生各种次级粒子(包括奇异粒子)有什么新规律,是个有待系统研究的问题。

王老师在分析当时面临的各类前沿课题后提出应重点研究:

寻找新粒子和发现反超子以及系统研究高能核作用下各种基本粒子(奇异粒子和 π 介子)产生的规律

在联合所加紧进行 Синхрофазотрон 建设的时候,各种探测器的建设没有及时跟上。到 1956 年秋李时只具备一套确定带电粒子飞行方向用的闪烁望远镜系

统，一台大型扩散云雾室和一台膨胀式云雾室。这些探测器不能充分利用高能加速器的优势来进行前沿课题的研究。即不利于选择有利的反应系统，全面地观察所要研究的粒子的产生、飞行、相互作用(或衰变)的全过程。根据这一要求，选择放在磁场内的大型气泡室作为探测器是很合适的。气泡室的工作介质既能作为核作用的靶物质，又是基本粒子的探测器。

气泡室是1953年由格雷塞(Glaser)发明的一种新型高密度粒子探测器。1956年联合所已积累了制造小型丙烷(C₃H₈)气泡室的经验。王老师提出抓紧研制一台长度为55厘米、容积为24升的丙烷气泡室。它富集氢原子核的技术比简，有可能在短期内建成，又可放入现成的磁铁内。这样可以争取时间，基本上与Синхрофазотрон的调试过程同步，争取时间及早进入研究课题。

从发现反超子的角度讲，选择 $\bar{p} + p \rightarrow \bar{\Sigma} + \gamma$ 反应是最有利的了。但这必须具备“纯净”的反质子束，这就需用很复杂的电磁分离系统把比反质子多几千万倍的 π^- 介子、多几千倍的 K^- 介子从同样动量的次级负粒子束中剔除掉，这种系统不是短时间内能建成的。因此王老师于1957年夏天决定利用高能 π^- 介子

引起核反应来进行研究。这一技术路线从寻找反超子的要求讲有其不利的方面——本底大，但有其确切意义的方面，即在原始反应系统中没有反重子，如果发现反超子，那末这一反粒子是“真正”被产生出来的！

实验工作于1958年秋开始。到1959年夏，一共积累了十一万张气泡室照片，记录了几十万个 π^- 介子与核作用事例。

王老师亲自负责新粒子寻找的课题，把握着研究过程的每一个环节。在大批实验资料积累之初，他根据各种超子的特性提出了在扫描气泡室照片时选择“有意义”事例(即可能的反超子候补事例)的“标准”：

*)要在气泡室的照明区内看到该粒子的产生与衰变；

*)衰变产物与该粒子应是“同平面”的，且衰变产物应有足够长度可进行动量分析；

*)要观察到衰变重产物的湮没量，这将是存在反粒子的确切无疑的标准。

下图是我们组在1959年秋后发现，并于1960年春发表的第一个反西格马负超子($\bar{\Sigma}^-$)事件。其全部图象与预期的完全一致，是一个十分完整的一个反超子的“全部”生命史。

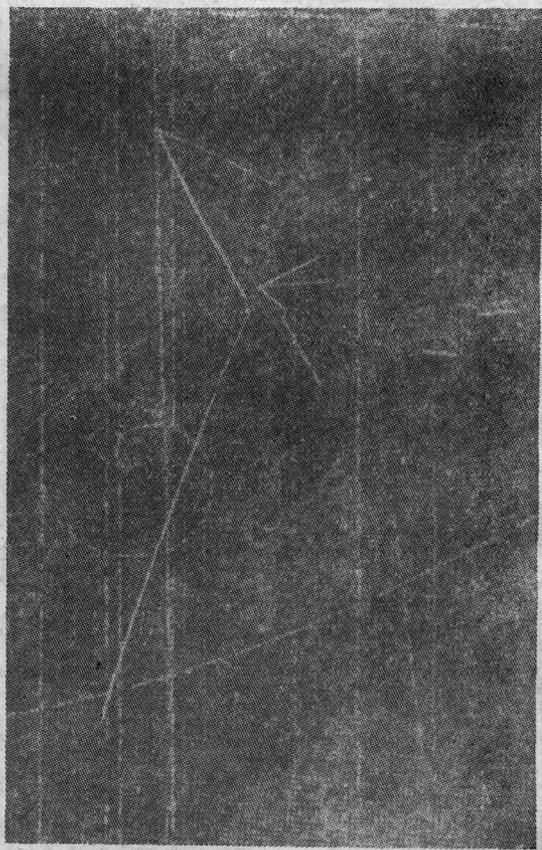
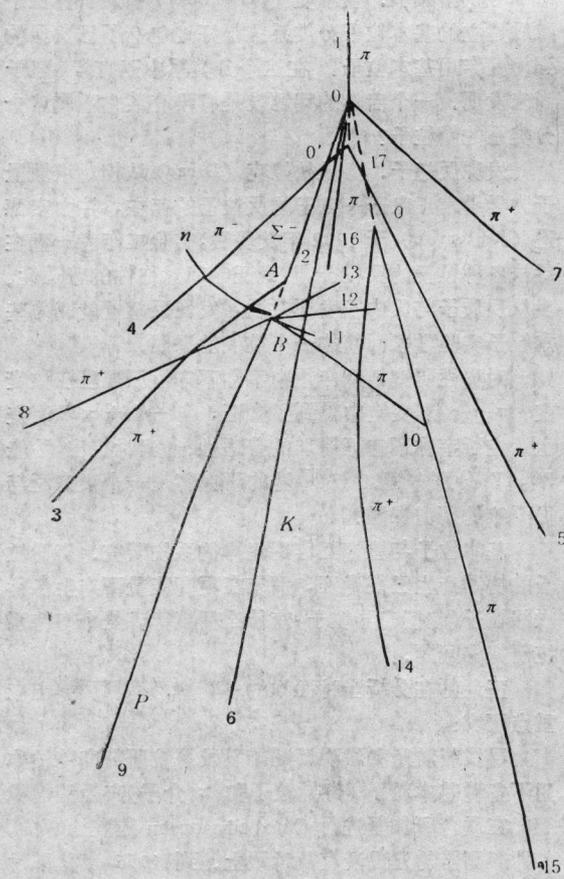
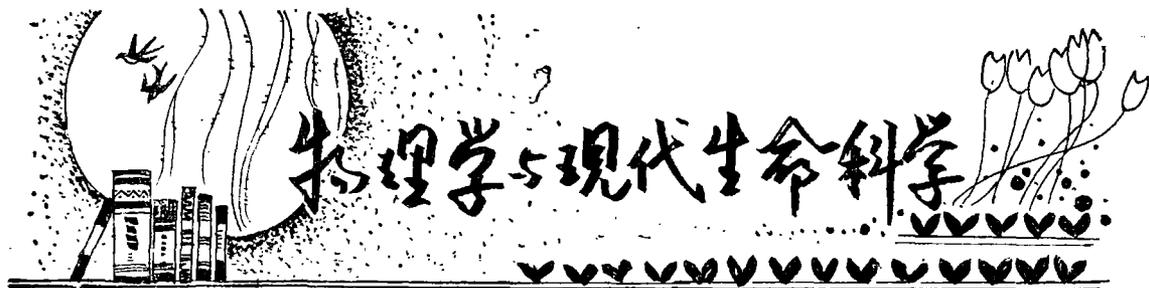


图 1



杨文修

二十世纪五十年代以来,随着物理学理论、技术的发展和取得的辉煌成就,特别是生物学研究从现象的描述进入了现代生命科学新阶段,物理学参与和渗入生命科学的研究已成大势所趋,一门新兴的边缘学科——生物物理学也应运而生,并得到了迅速成长和发展。生命科学研究为什么受到人类的普遍重视?物理学对生命科学研究能发挥哪些作用?生物物理学研究些什么问题?这些都是物理学者感兴趣的问题。

生命科学对人类科技、经济和社会发展的作用

本世纪五十年代,对遗传物质 DNA 双螺旋结构的阐明,开创了分子生物学,被认为是二十世纪自然科学的重大突破之一。三十年来,分子生物学取得许多重大进展,如已阐明了许多蛋白质和核酸的一级和立体结构,揭示了生物的遗传、生长、分化、神经传导、肌肉收缩、免疫功能等生命现象的奥秘,使人们对生命本质的认识跃进到一个崭新阶段。近年来,物理学、数学、化学、工程技术等学科的新概念、新方法、新技术日益广泛应用于生物学,促进了生命科学向着深入和扩展、微观和宏观、最基本的和最复杂的两极研究发展。例如,一方面,从分子、原子和电子水平揭示各种生命物质(如 DNA、各种酶和蛋白质、生物膜等)的结构与功能关系,认识生命活动(如物质运输、能量转换和信

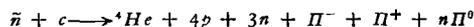
息传递等)的规律和机制;另一方面,人们日益重视系统和生态问题的研究。科学家认为:脑和发育问题的研究是分子生物学面临的两大前沿课题;同时,研究各种生物群体之间、人和自然界之间相互作用的关系成为日益迫切的重大问题。之所以如此,是因为当今人类面临着许多严重的问题需要解决,例如,人口膨胀、食物短缺、资源浪费和耗竭、环境严重污染、生态条件破坏、肿瘤及艾滋病等已经对人类造成严重威胁,同时,工业技术的进一步发展也需要开辟新途径。解决问题的出路在哪里?许多有远见卓识的科学家和政府领导已认识到,在关系人类未来的科技革命中,生命科学,特别是分子生物学和神经生物学及相关的技术,将起先锋作用。一些有远见的科学家预言,二十一世纪将是生命科学的世纪。

生命科学对解决上述问题能起什么作用呢?我们已大体知道,生物体特别是人具有许多奇妙的结构与功能。例如,视觉细胞的光感受灵敏度可达到一个光子,一些生物的运动、识别、通讯、对周围环境的感知能力远非现有的仪器可比拟。生物体内的能量转换、新陈代谢在酶的专一性催化作用下,能在常温常压条件高效率实现。人的大脑所具有的记忆、思维、学习等高级智能,更是计算机和机器人的设计者们探索的目标!近年来在分子生物学基础上正在发展的生物技术可以

在分析工作中首先分析了 A 点的运动学。粒子 2 及粒子 3 与沿 AB 方向飞行的中性粒子同平面,正好符合 Σ 粒子衰变运动学。粒子 3 被确认为 π^+ 介子,根据粒子 2、3 的动量可以算出 AB 粒子的动量为 $1628 \pm 100 \text{ MeV}/c$,如果 AB 为中子(或反中子),其相应的动能为 $940 \pm 100 \text{ MeV}$,由此推算得粒子 2 的质量 $M_2 = 1182 \pm 14 \text{ MeV}$ 。因此粒子 2 为 Σ^+ (或 Σ^-) 粒子。

B 点有一个很“大”的核作用量。如果它的总能量大于 AB 中性粒子的动能,则它就可能是反中子的湮没量,这样粒子 2 就一定是一 Σ^- 超子。因此 B 点量的能量值的分析是关键。对 B 量中各径迹的分析计算得到 B 量总能量为 2336 MeV ,它比 AB 粒子的动能 $940 \pm 100 \text{ MeV}$ 要大很多。如果假定 AB 为反中子(\bar{n}),则

B 点“湮没”量的总能量应为 $2818 \pm 100 \text{ MeV}$,与实测数据推算值相符。因此可确定 B 量为反中子(\bar{n})湮没过程:



在这一能量关系分析中,径迹 8 (正电)的属性是至关重要的。如果它是 π^+ ,则上述能量关系确立;如果它是 p,则 B 量的总能量只有约 1000 MeV ,这样就只能排斥 AB 粒子为中子(n)的可能性;为此,在分析中做了大量的径迹游离度测量的工作,首先验证了在 20 厘米长的径迹上可以大于 96% 的可信度区分 π^+ 与 p;然后实测了径迹 8 的游离度,其值为 1.02 ± 0.19 。根据径迹 8 (20 厘米长)的动量值,如果它是 p,则游离度应为 1.86,如果是 π^+ 则游离度应为 1.04,正好与

直接提供人们所理想的各种产品,其特点是利用生物资源的可再生性,既节约能源、资源,又可减少环境污染。

生物技术包括遗传工程、蛋白质工程、酶工程、细胞工程等,在“超级小鼠”、“转基因植物”获得成功的基础上,又在培育快速生长和瘦肉型猪、转基因鱼、耐寒、抗虫、抗病毒的优良小麦和大豆新品种方面取得显著进展。又如,通过人工设计和改造各种蛋白质和酶,可望提高催化效率,有人已设想改变光合作用关键酶的结构,提高其固定二氧化碳的能力,以提高农作物产量。还可提高药物的选择性,用“导弹药物”治疗肿瘤等严重危害人类健康的顽症。所以,生物技术可为人类解决食物、资源和医疗保健等问题开拓新的前景。美国有人估计,今后十年美国农业因广泛采用生物技术增产的农产品可达一千亿美元。

人用大脑认识世界并改造自然,开拓宇宙空间,然而人对自身大脑的认识却是最不清楚的。由约一千万个细胞组成的脑,其结构与功能无比复杂。近年来从分子和整体水平对脑的研究已获显著进展。为认识语言、意识等精神活动提供了线索,也对神经和精神病防治、脑衰老等医学问题有重要研究价值。对视觉、听觉的信息加工和调整过程已有相当了解,这对计算机功能的发展、自动控制机器人的研究很有启发。现在的计算机数字运算能力是超人的,但模式识别方面是低能的,表明人脑的工作原理可能与目前的计算机完全不同。所以,正如美国前总统科学顾问乔治·基沃恩博士所指出的:“要创造性地发展计算机,就必须了解人脑”。

由上可见,生命科学研究的深入和实际应用将对人类的科技、经济以至社会发展产生重大影响。例如,日本政府倡导的“人类前沿科学计划”,就试图从本质上搞清人体的能量和信息转换、自动调控等机能,以生物和人的某些功能为原型,开发在工程技术上的应用,以革新工业生产的面貌。我国在1988年也召开了由

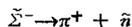
十多个学会共同参加的“生命科学前沿研讨会”,探讨如何把各种学科的力量组织起来,对生命科学前沿的重大问题协同攻关。

物理学在生命科学发展中的作用

二十世纪,作为近代自然科学革命先锋的物理学,对促进科技发展,提高生产力和社会的进步发挥了巨大威力。但是,在今后的生命科学研究中物理学能有何作为呢?主要以无生命物质为对象而得出的物理学原理和规律是否适用于生命活动?对此,有几种不同的回答。第一种意见认为用现有的物理规律足以说明生命现象,因为生命活动归根到底是以物理运动为基础;第二种观点是认为生命和无生命的运动有共同性也有特殊性,因此,必须发展融生物和物理为一体的新的生物物理原理和规律,作为阐明生命活动的基础;第三种看法是否定的,认为生命活动所遵从的规律不能被肢解为物理的或化学的规律。现在,我们还不必对以上观点作最后评判,且从物理学对生命科学研究所起作用的一些实例说起。

我们知道,即使小到生命的基本单位——细胞,它之所以是“活”的,最根本的特征是时时刻刻都在其内部以及与周围环境进行着物质的交换、能量的转化和信息的传递,所以从物理学观点看,它是一个开放的、非平衡态体系。早在1945年,量子力学创始人之一的薛定谔发表了“生命是什么?”一书,就提出了对生命现象的一种概括解释。他首先说明了有机体能保持非平衡态的原因是,它的熵能从体内流向周围环境,首次预见到存在“负熵”。第二个问题是,为什么有机体要由非常大量的原子组成?回答是小量原子组成的体系不能保持高度的有序性。第三个问题,即生物物种为什么能保持高度的遗传稳定性?他已预见到遗传物质必定有一种有高度稳定性的编码(排列)程序。薛定谔的预见经过几十年都被一一证实,并对生物物理研究起了重要的启发作用。五十年代中期,正是在物理学家

测量值相符,以大于4倍统计误差的游离度测量值与 p 相区分。径迹8是属 π^+ 介子是确定无疑的!因此B点为 \bar{n} 湮没也是毫无疑问的。因此在A点所产生的衰变为:

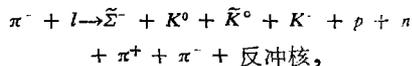


这是一个反超子的衰变,是人们观察到的第一个电荷反超子!

因为我们的实验是用 π 介子来轰击靶核,核反应本底很大。有没有可能2,3及AB三径迹是某种反应产物的单径迹反应(或次级粒子衰变)与另一高能中性粒子反应的偶然符合呢?通过无规选择的模拟分析,确定各种事例在我们的运动学及同平面性分析误差范围的偶然符合机率为 10^{-9} ,从而排除了这种可能

性。 $\bar{\Sigma}^-$ 事件的论证是可靠的!

我们还进一步分析了产生点O星的反应过程,运动学分析表明其可能的反应为:



与已知的奇异量子数守恒要求不相违背。

反西格马负超子($\bar{\Sigma}^-$)被发现了!它是联合所的10GeV Синхрофазотрон上所做出的最重要的成果,是王淦昌教授为我国基本粒子研究所作出的历史性贡献。1960年3月份苏联《真理报》和我国《人民日报》上都为此发表了消息。我国政府为表彰王淦昌教授及参加工作的中国工作人员,于1982年为此发现颁发了国家自然科学一等奖。

和生物学家(华生和克拉克)密切合作下,从实验上测定了 DNA 双螺旋结构,开创了分子生物学新时代。至今,利用 X 射线晶体衍射技术,已成功地测定了数百种生物分子的立体结构。六十年代以来,利用核磁共振、顺磁共振、圆二色、激光拉曼、荧光、紫外等波谱和光谱物理技术,使人们对生物大分子局部组成、构象、构象变化动力学有了更深入的了解,对它们与正常生理功能和疾病发生的关系有了更本质的认识。七十年代末期普利高津创立的耗散结构理论正有力地推动着宏观生物体系的研究,为阐明生物进化、生物在时空的高度有序性和稳定性开辟了新途径。近年发展的二维核磁共振技术可以在更接近真实环境条件下分析溶液中大分子的构象,核磁和 X 射线层析成像技术成了当前医学诊断中的先进手段。由以上实例可见,无论是物理学的理论、方法还是技术,对推动生命科学的研究都起了重大的作用。

进入八十年代,国内外有更多的物理学者对生命现象表现出极大的兴趣和热情,积极投入到生命科学各领域的研究中去,并取得很多可以自豪的成绩,这决非偶然和暂时现象。因为,一方面,作为自然科学两大主要门类的物理学和生物学的结合是科学发展的必然趋势,生命运动固然有其特殊性,但其中同时包含着化学和物理运动,它们不可分割地联系在一起,现代对生命活动本质和规律的深入研究,迫切需要物理的概念、原理和技术。另一方面,物理学的新理论和技术的确立也为生命科学进入现代研究水平提供了条件和可能性。物理学和信息科学处理宏观体系的理论(如热力学、统计力学、信息论和控制论),可以从系统的宏观角度研究生物体系的物质、能量和信息转换的关系;物理学的微观理论(如分子和原子物理、量子力学、基本粒子物理等)及有关结构分析技术,可以从生物分子和分子聚集态水平研究其结构及原子、电子的运动。当然,我们还必须清醒地认识到,至今我们对许多重要的生

命现象的本质和规律了解得还很少,物理学对生命科学的作用也只是初见成效。任重道远,今后需要不断发展物理的新理论和新技术。

生物物理学的研究内容

原则上可以说,所有生物学的各层次(从亚分子水平到生态系统)的问题都有与物理相关的问题需要研究,另一方面,所有物理学的理论、方法和技术都可以在生命科学研究中找到用武之地。生物物理学是一门正在发展中的边缘学科,它用近代物理的理论、技术和方法,研究生命物质的物理性质和生命现象中的物理运动规律,以及理化因素与生命体系的相互作用。对生物物理学研究的分支学科有各种不同的分类方法,从被研究对象的层次可分为以下三部分:

(1) 分子生物物理: 主要研究生物分子及其组成成分的物理特性、结构、构象动力学等与生物功能的关系。

(2) 细胞生物物理: 主要研究生物分子聚集态、亚细胞和细胞水平的结构与物质交换、能量转化和信息传递过程的关系及规律。

(3) 复杂系统的生物物理: 主要用物理数学模型来研究生物体内各种生理系统(如神经、内分泌、血液循环等)、个体以至群体和生态系统的生命活动规律及其相互作用关系。

下面结合我国具体情况,对国内生物物理学界当前研究的一些课题略作介绍:

分子生物物理学: 用各种物理技术和理论方法研究生物大分子在晶态和溶液态的立体构象; 研究重要生物大分子在功能状态下的物理和物理化学变化,生物大分子动力学及其相互作用,生物大分子中的能量传递和电子传递过程,水在生命体系中的作用等。

膜和细胞生物物理学: 研究组成各种生物膜的组分的分子结构和构象,在膜环境中各种分子的相互作

在我们当年工作的时候,仪器设备条件比较简陋。寻找“事例”是用简单的立体扫描仪人工看片; 测量一对底片上相应径迹的座标是用万能工具显微镜; 计算空间坐标及径迹的动量的是每秒 100 次的“第一代”电子计算机“Урал 1”型机,而其它计算均用电动计算机来完成。然而就是用这样简陋的设备,王老师领导我们做出了与同时期美国利用先进设备(大型气泡室、自动扫描、测量仪和高速电子计算机以及“纯净”反质子束)发现反兰姆达超子($\bar{\Lambda}^0$)同样重要的结果。两年多后 CERN 用同样先进的技术装备发现了 $\bar{\Sigma}^-$ 超子。

这些反粒子的发现,完善了人们对于反粒子的认识,是 50 年代末与 60 年代初基本粒子研究的重大成就。王淦昌教授能在较差的技术条件下取得这类前沿课题的重要成果,我想除了全体工作人员的勤奋努力

之外,关键在于王老师的选题具有挑战性,实验构思合理与巧妙和分析工作的严密与严谨。

王老师在反粒子研究方面, $\bar{\Sigma}^-$ 并非孤立的(虽然 $\bar{\Sigma}^-$ 只有一个事例)。我们还发现了几个 $\bar{\Lambda}^0$ 事例,图象非常理想,也包括了 $\bar{\Lambda}^0$ 的产生、巨行、衰变及反质子湮没的全部生命史。在 1959 年王老师还发表了在丙烷气泡室中找到在 π^- 核作用中产生的低能反质子(\bar{p})及其慢化与湮没的图象。

现在基本粒子的研究已发展到了更深的层次,研究课题更加广泛与开阔。北京正负电子对撞机和北京谱仪具有国际先进水平,其它技术装置也十分完善,我国的基本粒子物理学家们一定能做出世界水平的优秀成果,为我国的基本粒子研究增添新的里程碑!