·科学技术史·

苏联和美国在粒子物理领域的交流、合作与竞争

Communication, Cooperation and Competition Between the USSR and the US in the Field of Particle Physics

乔笑斐 /QIAO Xiaofei　　路昊明 /LU Haoming

（山西大学科学技术史研究所，山西太原，030006）
(Institute for History of Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi, 030006)

摘　要：冷战时期，苏美两国在粒子物理领域保持着长达数十年的人员互访与项目合作，成为了双方科学交流的典范。促成这场合作的原因是复杂多样的，也与苏联粒子物理学在70年代以后的衰落息息相关。本文通过对这段历史进行梳理与分析，简要探讨美苏合作的成因，总结苏联科学的经验教训，对于当下的科学发展具有一定的现实意义和启示。

关键词：粒子物理学　加速器　冷战　科学交流

Abstract: During the Cold War, the Soviet Union and the United States have maintained mutual visits and project cooperation. In the field of particle physicsfor decades, which has become a model of scientific communication between the superpowers. The reasons for this cooperation are complex and diverse, and are closely related to the decline of Soviet particle physics after the 1970s. Through combing and analyzing this period of history, this article briefly discusses the causes of the cooperation between the United States and the Soviet Union, and summarizes the experience and lessons of Soviet science, which has certain practical significance and enlightenment for the current scientific development.

Key Words: Particle Physics; Particle Accelerator; Cold War; Science communication

中图分类号：O572.2　　**文献标识码：**A　　DOI: 10.15994/j.1000–0763.2022.10.007

冷战是第二次世界大战以来国际局势最为紧张的时期，以美国和苏联为首的两大阵营展开了长达近半个世纪的对峙。同时，冷战也是全球科学技术高速发展的时期，以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程为代表的第三次科技革命对国际政治经济形势和人类的日常生活产生了深远的影响。由于意识形态等原因，美苏两国在冷战期间的科学交流几乎中断，奥本海默等人更是成为了麦卡锡主义的牺牲品。然而，在与军事技术和产业应用相对远离的粒子物理领域，两国的关系却体现出了一种张弛有度的良性互动——以和平交流为主，合作与竞争共存。苏联和美国在粒子物理领域的密切往来成为了冷战时期双方友好合作的典范，两国共同为人类探索物质世界的前沿做出了贡献。本文旨在回顾和梳理美苏两国在粒子物理领域

基金项目：国家社科基金重大项目“当代量子论与新科学哲学的兴起”（项目编号: 16ZDA113）;国家社科基金重大项目“当代量子诠释学研究”（项目编号: 19ZDA038）。
收稿日期：2021年11月2日
作者简介：乔笑斐（1989–）男，山西昔阳人，山西大学科学技术史研究所副教授，研究方向为物理学哲学、物理学史。Email: qxf@sxu.edu.cn
路昊明（1997–）男，河南平顶山人，山西大学科学技术史研究所硕士研究生，研究方向为物理学史。Email: luhaoming1997@163.com

的互动过程，并简要分析其成因、结果与影响。

一、竞争与对抗

1929年，美国物理学家欧内斯特·劳伦斯（Ernest Lawrence）在罗尔夫·维德罗（Rolf Widerøe）论文的启发下，构想了引入磁场的回旋共振模式，并于次年正式提出了回旋加速器原理。后来，劳伦斯因发明回旋加速器及用其制得新元素锝（Tc）而获得诺贝尔物理学奖。但是，回旋加速器中的粒子会因相对论效应而质量增加，进而导致粒子运动周期与交变电压周期无法匹配，从而限制了能量的进一步提高。[1]

为了突破回旋加速器的能量限制，采用调频方法的同步加速器在50年代成为主流，成功地将能量提升至GeV级。同步加速器基于的自动稳相原理最早可追溯至澳大利亚物理学家奥利芬特于1943年的提议，[2]后来分别由苏联科学家弗拉基米尔·维克斯列尔（Vladimir Veksler）和美国科学家埃德温·麦克米伦（Edwin McMillan）于1944年和1945年独立地提出。能量较低的回旋加速器主要被用于放射性同位素研究，而使用加速器系统地研究与发现新粒子则始于同步加速器。1944年下半年，苏联核物理学家就开始讨论建造大型同步加速器的可能性，在库尔恰托夫的领导下，苏联科学院召开了多次相关会议，并决定支持建造450–500 MeV和650–700MeV加速器。[3]

1949年12月，苏联首台大型同步回旋加速器建造完成，运行能量达到480MeV，一举成为全球能量最高的加速器，并在后来升级至680MeV。[4]而美国则在1948年4月批准了布鲁克海文国家实验室（Brookhaven National Laboratory，简称BNL）的大型质子同步加速器建造方案，即于1953年投入运行的Cosmotron加速器，创造了3.3GeV的能量新高。不久，美国伯克利实验室（Lawrence Berkeley National Laboratory，简称LBNL或LBL）的Bevatron加速器也于1954年建成，并成功地将加速器能量上限提升至6.2GeV。1957年3月，全球首台10GeV质子同步加速器在苏联建成。虽然苏联的粒子物理学起步相对较晚，但在50年代时已经跃居国际前列。

美苏在粒子物理领域的竞争是冷战对抗的蔓延。时任苏联科学院院长亚历山大·涅斯梅亚诺夫（Alexander Nesmeyanov）在被问及为何苏联如此努力地推动加速器的建造时，他回答说："我们应该归功于美国人"。[5]在1956年5月的全苏高能粒子物理会议上，苏联报告了50GeV强聚焦质子环形加速器的建造计划，[6]尽管10GeV质子同步加速器还尚未建造完成。而此时美国和西欧计划中的下一代加速器能量上限仅为25GeV，且事实上7GeV就已经可以满足当时全部的研究需要，这也是伊西多·拉比（Isidor Rabi）和汉斯·贝特（Hans Bethe）在后来反对美国建造50GeV加速器的原因。[7]苏联之所以会提出如此"大胆"的加速器建造计划，原因之一在于其具有"集中力量办大事"的制度优势，苏联加速器的建造周期通常短于美国的同能级设施，但更深层的原因在于加速器"竞赛"已经逐渐成为冷战对抗的一部分，苏联有信心在粒子物理领域超越美国。

接下来的几十年间，全球能量最高的加速器多次在苏联和美国之间更迭，这场竞赛一直持续到了冷战后期。1959年11月，欧洲核子研究组织（European Organization for Nuclear Research，简称CERN）的质子同步加速器（PS）创造了24GeV的能量新高，并在后续提升至28 GeV，[8]全球能量最高加速器的桂冠首次来到西欧。然而，这项纪录仅保持了不到一年时间。1960年7月和1966年5月，美国的布鲁克海文国家实验室和斯坦福直线加速器中心（Stanford Linear Accelerator Center，简称SLAC）分别建成了33GeV的交变梯度同步加速器（AGS）和50GeV的斯坦福直线电子加速器（SLA）。面对欧美的来势汹汹，苏联于1963年11月在莫斯科州谢尔普霍夫附近的普罗特维诺成立了新的粒子物理实验室——苏联高能物理研究所（IHEP），并在1967年10月建成了创造新纪录的70GeV质子同步加速器——U–70，它在此后的长达53个月时间里保持全球领先。1972年3月，费米实验室主环（Fermilab Main Ring）达到了

200GeV的预期能量。1976年6月，欧洲核子研究组织的450GeV超级质子同步加速器（SPS）建成并投入运行，直到1983年7月被费米实验室的万亿电子伏加速器（Tevatron）所超越。

1950年至1975年的25年时间里，美国的交变梯度同步加速器（AGS）和苏联的U–70是保持全球最高能量记录最久的两台大型加速器，分别达到了70个月和53个月之久（图1）。冷战后期的1975年至1990年间，则是由美国的万亿电子伏加速器和西欧的超级质子同步加速器保持。苏联和美国对粒子物理领域的积极参与促成了粒子物理学的快速发展，拓宽了人类在微观领域的知识边界。

二、交流与合作

1946年，美籍希腊裔物理学家尼古拉斯·克里斯托菲洛斯（Nichholas Christofilos）独立地提出了同步加速器的构想，当他得知这项工作已经由维克斯列尔和麦克米伦完成后，便转向了同步加速器的改进工作。1948年至1949年，克里斯托菲洛斯向加州大学辐射实验室（伯克利实验室的前身）提出了同步加速器改进方案，但并没有受到重视。1950年，他在美国和希腊申请了这种新型设计的专利，但并未在学术期刊上发表论文。当时同步加速器主要的问题在于轨道磁场的横向聚焦能力弱，其真空室和磁体截面的尺寸较大，因此大型同步加速器的成本很高，改进的方法是通过在粒子运动的环形轨道上交替放置聚焦磁体和散焦磁体，使粒子在轴向和径向都受到聚焦作用，就能够以较小的磁体达到更高的能量。此方案在1952年由任职于布鲁克海文国家实验室的美国物理学家欧内斯特·库兰特（Ernest Courant）、斯坦利·利文斯顿（Stanley Livingston）、哈特兰·斯奈德（Hartland Snyder）和约翰·布莱维特（John Blewett）再次独立提出，被称作“强聚焦原理”或“交变梯度聚焦原理”。

库兰特等人的论文于1952年发表后，很快受到了苏联物理学家科佐达耶夫和泰普金的关注。1953年1月，时任苏联部长会议副主席别尔乌辛召开了围绕强聚焦原理的研讨会，维克斯列尔、安德烈·科洛门斯基（Andrey Kolomensky）、马特维·拉比诺维奇（Matvey Rabinovich）和瓦西里·弗拉基米尔斯基（Vasily Vladimirsky）等人出席了会议。弗拉基米尔斯基建议首先基于强聚焦原理建造一台能量为7 GeV的加速器，如果成功的话就可以进一步建造70GeV的大型加速器，尽管参会者大多对强聚焦原理表示质疑，但是会议依然批准了弗拉基米尔斯基的提案。[9]1961年，苏联的首台交变梯度加速器U–7投入运行，强聚焦原理的正确性得到了验证。随后，预期能量70GeV的U– 70加速器进入设计阶段，这台苏联最大的加速器正是通过应用美国科学家提出的理论而实现的。

由此可见，美苏之间基于科学文献的交流并没有在冷战时期中断，期刊和出版物依然是重要的交流媒介。事实上，苏联在1957年建成的10GeV加速器共计使用了惊人的3.6×10^4吨磁铁，如果依照这种方式建造500GeV加速器，则需要1.8×10^6吨磁铁。即便是美苏这样的超级大国，此等规模的消耗也是难以接受

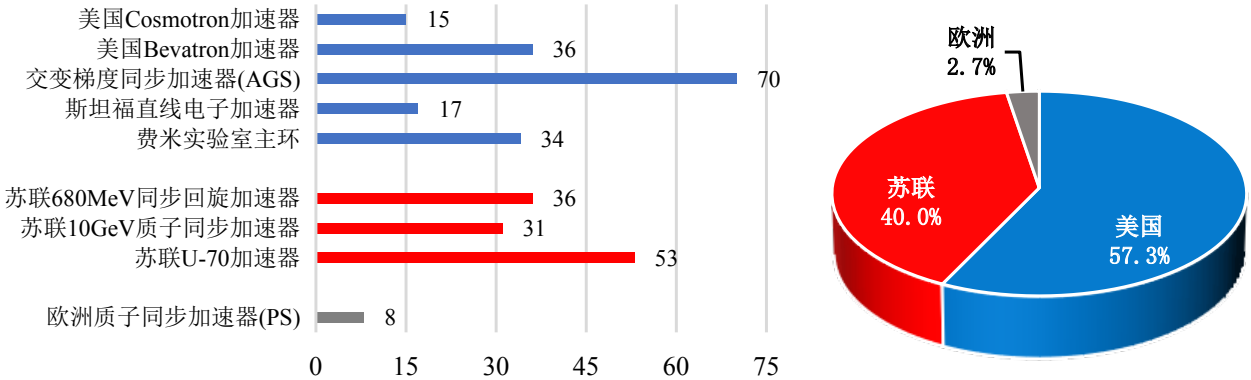

图1 1950年至1975年美苏拥有全球能量最高加速器的时长占比（单位：月）

的，而使用强聚焦原理的费米实验室主环在能量达到500GeV时只需9×10^3吨磁铁。[10]相对低廉的建造成本为加速器的进一步巨大化奠定了基础，质子同步加速器（PS）和交变梯度同步加速器（AGS）能够将能量从10GeV跃升至30GeV左右的重要原因，后来的大多数粒子加速器都采用了强聚焦原理。

1955年8月，联合国召开了日内瓦和平利用原子能国际会议，苏联和美国作为主要国家出席，揭开了双方正式展开友好交流的序幕。1956年4月，在美国罗切斯特大学主办的第六届国际高能物理大会（International Conference on High Energy Physics，简称ICHEP）上①，首次出现了包括维克托·希林（Victor Silin）和莫西·马尔科夫（Moisey Markov）在内的苏联物理学家代表团。1956年5月，沃尔夫冈·潘诺夫斯基（Wolfgang Panofsky）、默里·盖尔曼（Murray Gell–Mann）、罗伯特·马沙克（Robert Marshak）、欧文·张伯伦（Owen Chamberlain）等14位美国物理学家受邀前往莫斯科参加全苏高能粒子物理会议，受到了维克斯列尔、列夫·朗道（Lev Landau）和伊戈尔·塔姆（Igor Tamm）等人的热烈欢迎，他们还首次实地参观了杜布纳联合原子核研究所（JINR）、苏联理论与实验物理研究所（ITEP）等著名实验室，潘诺夫斯基将此次访问评价为："开启了粒子物理交流的新纪元"。[11]

在1957年4月召开的第七届国际高能物理大会上，维克斯列尔出席并发表讲话。同时，马沙克、布罗德等多位美国物理学家开始着手在国际纯粹与应用物理学联合会（IUPAP）中成立粒子物理委员会，并邀请苏联加入其中。1957年9月，以亚伯兰·约费（Abram Ioffe）为首的苏联代表团出席了国际纯粹与应用物理学联合会代表大会，维克斯列尔和塔姆被推举为粒子物理委员会委员，他们将代表苏联参加国际纯粹与应用物理学联合会的定期会议。同时，会上决定自1958年起的国际高能物理大会将在美国、苏联和西欧之间轮换举办②，并确定日内瓦和基辅为接下来两届的举办地。[12]总体而言，国际高能物理大会和国际纯粹与应用物理学联合会起到了良好的桥梁作用，美苏在粒子物理领域的合作关系得到了进一步深化。

1959年5月，在白宫发布的一份官方文件中，明确提到了应当进一步与苏联在粒子物理领域展开合作："作为朝着国际合作方向发展新的粒子加速器的第一步，应当鼓励包括苏联在内的其他国家的代表性科学团体与我们会面。"[13]1959年9月，在赫鲁晓夫访美期间，随行的时任苏联原子能利用总局局长瓦西里·埃梅里亚诺夫（Vasily Emelyanov）与美国原子能委员会主席约翰·麦考恩（John McCone）草拟了一份《美苏和平利用原子能合作备忘录》，又称《麦考恩–埃梅里亚诺夫协定》，内容包括信息交换、人员互访、国际合作等。[14]此协议于同年11月24日正式签署并生效，直接促成了马沙克、巴彻、柯斯塔德和洛夫格伦等人于1960年5月对苏联的访问。他们先后访问了包括杜布纳联合原子核研究所、苏联理论与实验物理研究所、库尔恰托夫原子能研究所（KIAE）、列别捷夫物理研究所（LPI）、叶夫列莫夫电物理装备研究所（NIIEFA）、约费物理技术研究所、格鲁吉亚科学院物理技术研究所、亚美尼亚科学院物理学研究所、乌克兰科学院物理技术研究所在内的众多苏联实验室，[15]双方还探讨了关于建造联合加速器的可能性。《美苏和平利用原子能合作备忘录》在1963年、1968年和1970年多次更新，交流的领域从最初的原子能、核物理和粒子物理扩展到了凝聚态物理、神经放射学等诸多领域，[16]合作的方式从短期的人员互访逐步扩大到长期的团队进驻和项目合作。

1969年，尼基廷小组在U–70实验中使苏联的喷射氢靶技术达到世界前列，率先实现了70GeV条件下的质子–质子弹性散射，[17]这促成了尼基廷与费米实验室③首任主任罗伯特·威

①也被称作罗切斯特大会。
②后来扩大至亚洲，日本、新加坡、中国、韩国都曾担任过主办方。
③当时的正式名称是国家加速器实验室（NAL），1974年更为现名。

尔逊（Robert Wilson）于1970年的会谈。在欧内斯特·马拉默德（Ernest Malamud）等人的建议下，威尔逊决定与尼基廷小组展开紧密合作，因为费米实验室主环的首批实验即是100 GeV小角度质子–质子弹性与非弹性散射（E–36），而当时美国的技术仍存在风险。（[18]，pp.361–363）随后，分别来自杜布纳联合原子核研究所和费米实验室的7位苏联物理学家和9位美国物理学家齐聚伊利诺伊，组成了冷战以来位于美国本土的首个美苏高能物理合作组，E–36实验的成功离不开合作组的共同努力。1970年，首个来自美国的合作小组开始在苏联进行实验。1972年至1974年，美苏政府签订了一系列双边科技协定，[19]双方每年约有750余位科学家进行交流合作。[20]80年代中期以来，万亿电子伏加速器的DZero探测器实验（DØ）和费米实验室对撞机探测器实验（CDF）等实验吸引了大量苏联物理学家。至1990年，总计有137位苏联物理学家参与了费米实验室的28个实验项目。（[21]，p.333）其中，为期一个月以内的短期访问仍是最常见的合作方式，也有一些大型项目需要苏联物理学家留美两年以上，例如为期4年7个月的极化质子自旋效应实验（E–704）和5年4个月的超子极化及磁矩测量实验（E–761）等。

一方面，苏联在70年代放缓了建造大型加速器的步伐，一些前沿的基本粒子实验客观上有必要通过美国或西欧的加速器来完成。另一方面，苏联共享了一些其独有的优势技术，例如喷射氢靶和锂气透镜，（[21]，p.334）这些技术后来均被美国实验室所采用。当然，诸多不便也是客观存在的：苏联对科学家的出境实施管制和审查，美国科学家访苏日程完全由苏联政府安排；[22]长期留美的苏联科学家大都已婚，苏联方面虽然允许科学家妻子同行，但通常不允许其子女前往美国；美国方面虽然提供了良好的生活环境，而且为女性组织了英语培训和娱乐活动，但是40公里以上的旅行需要向实验室提交申请。（[18]，pp.366–367）但总体而言，双方的合作是互利互惠的。美苏能够在冷战时期保持合作的主要原因有：

第一，美苏关系相对缓和。美苏在粒子物理领域的人员互访和项目合作分别始于50年代中期和70年代初期，这显然是受政治环境影响的结果。冷战时期的美苏关系在50年代中期首次实现缓和，赫鲁晓夫访美是冷战以来美苏两国首脑的首次单独会晤，相对宽松的政治环境使粒子物理领域的人员互访成为可能。70年代初期尼克松访苏，双方签署《苏美关于限制反弹道导弹系统条约》等文件，将美苏缓和推向了一个新的高潮，[23]更进一步的实验项目合作和苏联科学家长期留美得以实现。而在冷战对抗最为激烈的60年代，美苏在粒子物理领域的关系则以竞争为主，“国家威望”成为了多个大型加速器项目被支持的重要理由。[24]

第二，美苏在粒子物理领域实力相当。尽管美国的回旋加速器在30年代颇为领先，但随着美苏分别独立提出自动稳相原理并转入同步加速器建造，双方实力在50年代已经接近同一水平。至70年代初期，苏联在一些技术上甚至更胜一筹。除了与美国合作以外，苏联也与欧洲核子研究组织保持着紧密的合作关系，实力相近是平等合作的前提之一。

第三，粒子物理学的纯科学属性。与其他科学领域相比，粒子物理学在客观上较为远离军事技术和工业生产，是基础研究的典型代表。虽然粒子物理学脱胎于核物理学，但亚原子领域的研究往往无法对人类的日常生活产生直接影响，许多粒子永远不可能有实际用处，其主要目的是为了探究物质世界的奥秘、获取关于自然的知识。也正因如此，即使是在冷战时期，美苏依然能够在粒子物理领域留有一定的合作空间。

第四，国际合作是大科学时代的整体特征。基于大型加速器的粒子物理实验室构成了开放的国际交流平台，其能够汇聚来自不同国家和机构的研究者。美苏在粒子物理领域的合作是两国大科学合作的开端，这种合作关系也一直延续至今。尽管美国的超导超级对撞机（SSC）和苏联的质子加速器–储存环复合体（UNK）两个巨型加速器项目在冷战结束后相继终止，但俄罗斯和美国分别于1993年和1997年成为

欧洲核子研究组织的观察员国，两国共同在大型强子对撞机（LHC）的超导环场探测器实验（ATLAS）和紧凑缪子线圈实验（CMS）等实验中做出了重要贡献。

三、分析与反思

普赖斯奖得主、萨塞克斯大学科技政策研究中心教授本·马丁（Ben Martin）与约翰·欧文（John Irvine）曾于1981–1982年对全球182名粒子物理学家进行调查访问，邀请他们对苏联、美国和西欧的14个著名实验室进行排名。根据统计结果，综合排名前4名的实验室分别为斯坦福直线加速器中心、欧洲核子研究组织、费米实验室和布鲁克海文国家实验室，而排在末位的则是苏联理论与实验物理研究所、埃里温物理研究所①和杜布纳联合原子核研究所。此外，即使通过统计出版物总数、论文被引次数与频率、加速器精度与发现数量、同行评估等方式做出系统的综合评价，苏联实验室与加速器也始终处于较低水平。（[25]，pp.318–323）例如，王淦昌小组于1959年发现的反西格玛负超子一度被认为是基本粒子，在当时具有重要意义。而时至今日，它仍然是杜布纳联合原子核研究所唯一发现的新粒子，杨振宁也将其称作是苏联10GeV质子同步加速器“唯一值得称道的工作”。[26] 与欧美大型加速器相比，苏联加速器尽管在能量方面多次位居全球首位，但就成果的数量和质量而言却相形见绌。这其中的原因是复杂的，同时也是具有启发意义的。

首先，苏联加速器与实验设备具有明显的自身局限性。虽然苏联的多台加速器都刷新了全球加速器能量记录，但却似乎只有名义上的优势，其实用性甚至不如欧美一些能量较低的加速器。一位东欧粒子物理学家在1982年的采访中表示：“如果要建造一台新机器，必须事先考虑一下探测器和实验设备。我们犯的最大错误是没有事先考虑如何有效地使用机器。”（[25]，p.326）苏联在独占全球能量最高加速器的数年间，其成果却相当有限，许多重大发现最终都是由近似或更高能量的欧美加速器完成的。

粒子探测器、大型计算机等实验设备的落后是造成这一结果的首要原因。自50年代起，较为重要的气泡室、火花室、多丝正比室、漂移室、时间投影室、硅微条探测器等粒子探测器都不是苏联发明的。在苏联的科学计划中，实验设备也往往处于被忽视的地位，其结果是大量实验设备需要从西方购买。以U–70为例，其使用的主要探测器是从法国购买的Mirabelle气泡室，大型计算机是从英国ICL公司购买的，需要购买的还有射频离子源、示波器、光电倍增管、数字电压表等等。[27] 一方面，苏联在探测器和计算机领域的落后客观上使其不得不从西方购入先进设备，自行研发可能需要极为漫长的过程。另一方面，即使U–70加速器已于1967年建成，但Mirabelle气泡室则在1971年才到位。[28] 在U–70独占全球能量最高加速器的几年窗口期里，它只能够进行有限的实验，设备的局限性极大地降低了新发现的可能。

苏联加速器在设计上也是较为保守和落后的。U–70就像是升级版的PS和交变梯度同步加速器，其设计并没有许多创新之处，在束流品质和设计细节等方面与费米实验室主环相去甚远。尽管苏联早先与欧洲核子研究组织签署了正式的合作协定，西欧各国政府开始对U–70进行投资并安排科学家前往访问，但加速器自身的局限性很快就令西欧科学家感到失望。苏联高能物理研究所等苏联实验室并没有像欧洲核子研究组织一样吸引来自全球各国的科学家和工程师进行长期研究，其对人才的汇聚能力相当有限。

其次，与欧美相比，苏联在粒子物理领域仍然缺乏良好的合作体系。其具体表现在以下三个方面：

第一，国际合作仍然受限。虽然苏联在冷战时期能够与美国保持在粒子物理领域的合作，但这种合作大多是具有官方色彩的正式合

①2010年6月更名为亚美尼亚Artem Alikhanian国家实验室。

作，而科学家之间的非正式合作仍然障碍重重。苏联科学家无法像西欧和美国科学家之间那样通过书信、电话、传真等方式保持密切联系，也无法立即获得未公开出版的研究资料，出国拜访更是难上加难。在这种情况下，苏联研究人员有时无法立即获悉美国的一些前沿成果，相关的实验也具有滞后性。例如，斯坦福直线加速器中心–麻省理工学院联合实验（SLAC–MIT）小组在60年代后期进行的深度非弹性散射实验（DIS）证实了夸克的存在，实验物理学家杰尔姆·弗里德曼（Jerome Friedman）、亨利·肯德尔（Henry Kendall）和理查德·泰勒（Richard Taylor）因此获得了诺贝尔物理学奖，詹姆斯·比约肯（James Bjorken）和理查德·费曼（Richard Feynman）则从理论层面对实验结果做出了解释，提出了标度无关性（Scaling）和部分子模型（Parton）。[29] 夸克的证实对量子色动力学和标准模型的建立具有重要意义，尽管U–70具备率先完成这项实验的能力，但在当时却并没有引起足够的重视。

第二，未建立产业合作体系。自1978年以来，费米实验室在利昂·莱德曼（Leon Lederman）的领导下逐步成立了费米实验室工业联盟（FIA），其成员包括通用电气公司、西屋电气公司、壳牌石油公司、贝尔实验室等数十家企业和机构。[30] 一方面，工业企业能够获得相应利润，同时满足加速器实验室的精密仪器、电子设备等需求。另一方面，加速器实验室可以协助企业实现低温超导、工业控制等技术转移，形成了一种以市场为导向的产业合作体系。而在苏联，由于加速器相关设备的特殊性，多数产品难以批量销售且利润相对较低，企业与实验室之间的关系较为疏远。许多企业更愿意与苏联的军事或太空项目合作，因为其产品能够大量生产。

第三，内部合作效率较低。即使在社会主义阵营内部，科学研究领域的信息、资源与设备的共享依然存在严重问题，合作效率整体而言是较为低下的。一方面，苏联的加盟共和国和其他社会主义国家之间存在着复杂的政治关系，许多合作只能较为私密地在部分实验室之间展开，难以实现信息的全面共享。另一方面，苏联的区域经济发展不平衡问题也导致了莫斯科以外地区的多数实验室硬件设施较差，原本几个小时就能完成的数据处理总是要延长至几天甚至几周。内部合作不畅也导致了一定程度上的人才浪费。

最后，不恰当的科学决策与科学管理严重影响了苏联粒子物理学的发展。苏联480MeV同步回旋加速器、人造卫星Sputnik号、U–70质子同步加速器分别完成于1949年12月、1957年10月和1967年10月，看似毫不相干的日期实则代表了纪念斯大林诞辰70周年、十月革命40周年和50周年。在杜布纳联合原子核研究所和布德克尔核物理研究所（BINP），研究者往往需要为国家做出承诺，例如保证在下一次十月革命纪念活动开始前发现一个新的基本粒子或完成其他重要成果，[31] 这显然是与科学精神背道而驰的。相比之下，美国的众多加速器实验室之间的竞争有力地推动了美国粒子物理学的发展，这种良性竞争机制始终未在苏联形成。例如，美国政府于1961年发布了百GeV级加速器的建造计划后，布鲁克海文国家实验室、美国伯克利实验室和西部加速器联盟（WAG）等多个研究机构很快就提出了详细设计方案。在众多方案的对比与论证中，威尔逊的个人设计最终脱颖而出，国会支持其在伊利诺伊州建立新的加速器实验室，这也是费米实验室的历史起源。[32] 数十年来，美国大型加速器的建造工作是多个实验室交替进行的，设计方案往往需要从性价比、实用价值和人才培养等因素进行多方论证，这种良性竞争机制对于科学的长远发展是有利的。

结　语

苏联与美国在粒子物理学领域的合作是两国科学交流的典范，双方在多个层面展开了长期合作，对国际关系和科学进程产生了重要影响。长期以来，苏联的粒子物理学总是处于被忽视的境地，相关的研究更是少之又少。通过对苏联粒子物理学的发展进程与美苏之间的交

流、合作与竞争的历史进行梳理，可以看出苏联的粒子物理和加速器物理至少在50年代和60年代处于国际前列。回顾苏联在冷战时期的加速器建造史，许多问题是值得研究的，例如：为什么粒子物理学能够成为冷战时期美苏交流的窗口？为什么苏联的大型粒子加速器没有得到有效地利用？本文对以上问题进行了初步探讨，并尝试性地总结了一些经验教训。

首先，苏联加速器在仪器设备的制造方面具有严重的滞后性和依赖性，科学目标的不明确和对高能量的片面追求也使得加速器实用性普遍较差。因此，在建造大型科学设施之前，应当对基础设备进行必要的预先研究。例如，中国科学院高能物理研究所曾进行多年的光电倍增管研究，不仅为江门地下中微子实验（JUNO）奠定了坚实基础，还为相关产业与应用的发展创造了条件。

其次，苏联加速器在设计细节方面缺乏创新性和开拓性，既不利于长期的前沿研究，对国际人才的吸引力也大打折扣。因此，大型加速器的建造必须立足长远，应当具备持续研究的能力和更新换代的可能性。数十年来，苏联的粒子加速器实验室始终未能形成类似欧洲核子研究组织和费米实验室的国际粒子物理研究中心，其影响范围仍然是较为有限的。

最后，国际合作是前沿科学研究的重要方式，和平与发展仍是当今时代的主题。始于50年代中期的美苏科学交流在1960年的U–2击坠事件后出现裂痕，肯尼迪强硬的对苏政策使得1961年至1962年的科学交流陷入全面中断，尽管粒子物理领域的交流在1963年得以短暂恢复，但很快又在约翰逊的越战扩大化政策下成为泡影，这种情况直到美苏关系再次缓和才得到改善，复杂多变的国际形势使得冷战时期的科学合作充满曲折。

［参 考 文献］

[1] 陈思富、黄子平、石金水. 带电粒子加速器的基本类型及其技术实现 [J]. 强激光与粒子束, 2020, 32(4): 5–21.

[2] Wilson, E. J. 'Fifty Years of Synchrotrons'[A], Myers, S., Pacheco, A., Pascual, R. (Eds.) *Proceedings of the Fifth European Particle Accelerator Conference Volume 2*[C], Bristol: Institute of Physics Publishing, 1996, 135–139.

[3] Joint Insititute for Nuclear Research. 'History: Synchrocyclotron Launch'[EB/OL]. http://www.jinr.ru/history-en/. 2021–10–01.

[4] Graham, L. R. *Science in Russia and the Soviet Union: A Short History*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1993, 212–213.

[5] Rosenbaum, E. P. 'Physics in the U.S.S.R.'[J]. *Scientific American*, 1956, 195(2): 29–35.

[6] 王淦昌、朱洪元、朱光亚. 参加全苏高能粒子物理会议纪要 [J]. 科学通报, 1956,(9): 70–79.

[7] Wang, Z. 'The Politics of Big Science in the Cold War: PSAC and the Funding of SLAC'[J]. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 1995, 25(2): 329–356.

[8] Hermann, A., Weiss, L., Pestre, D., et al. *History of CERN, Volume II: Building and Running the Laboratory, 1954-1965*[M]. Amsterdam: North-Holland Publishing, 1990, 15.

[9] Alexeev, N. N., Andreev, V. A., Golubev, A. A., et al. 'Accelerator Technologies Development at ITEP'[A], Kuzin, M. (Ed.) *24th Russian Particle Accelerator Conference, RuPAC 2014*[C], Red Hook: Curran Associates, 2016, 34–38.

[10] 谢家麟. 加速器与科技创新 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000, 124–128.

[11] Panofsky, W. K. *Panofsky on Physics, Politics, and Peace: Pief Remembers*[M]. New York: Springer Science & Business Media, 2007, 100–101.

[12] Marshak, R. E. 'The Khrushchev Détente and Emerging Internationalism in Particle Physics'[J]. *Physics Today*, 1990, 43(1): 34–42.

[13] United States Atomic Energy Commission. 'Annual Report to Congress of the Atomic Energy Commission for 1959'[R]. Washington: US GPO, 1960, 529–536.

[14] United States Department of State Office of the Historian. 'Foreign Relations of the United States, 1958-1960, Volume X, Part 1'[R]. Washington: U.S. GPO, 1993, 402–408.

[15] Kolstad, G. A., Lofgren, E. J. *Visit of U. S. High-energy Physics Team to USSR*[M]. Oak Ridge: Office of Technical Information of AEC, 1960, 7–9.

[16] United States Atomic Energy Commission. 'Atomic Energy in the Soviet Union: Trip Report of the U.S. Atomic Energy Delegation May 1963'[R]. Oak Ridge: AEC Division of Technical Information Extension, 1963, 80–82.

[17] Beznogikh, G. G., Buyak, A., Iovchev, K. I., et al. 'The Slope Parameter of the Differential Cross-section of Elastic pp Scattering in Energy Range 12-70GeV'[J]. *Physics Letters B*, 1969, 30(4): 274–275.

[18] Pronskikh, V. S. 'E-36: The First Proto-Megascience Experiment at NAL'[J]. *Physics in Perspective*, 2016, 18(4): 357–378.

[19] Lubrano, L. 'National and International Politics in US-USSR Scientific Cooperation'[J]. *Social Studies of Science*, 1981, 11(4): 451–480.

[20] Richmond, Y. *U.S.-Soviet Cultural Exchanges, 1958-1986: Who Wins?*[M]. New York: Routledge, 2018, 76.

[21] Rubinstein, R. 'US-USSR Collaboration in High Energy Physics'[A], Allred, J. C., Eckhardt, R. C., Nichols, A. S. (Eds.) *Proceedings of the Conference on Technology-Based Confidence Building: Energy and Environment*[C], Santa Fe: Los Alamos National Laboratory, 1989, 332–337.

[22] 资中筠. 战后美国外交史——从杜鲁门到里根[M]. 上册, 北京: 世界知识出版社, 1994, 368.

[23] 沈志华. 冷战国际史二十四讲[M]. 北京: 世界知识出版社, 2018, 361–366.

[24] 乔笑斐、路昊明. 20世纪60年代的美国粒子加速器之争[J]. 中国科技史杂志, 2021, 42（2）: 269–280.

[25] Irvine, J., Martin, B. R. 'Basic Research in the East and West: A Comparison of the Scientific Performance of High-energy Physics Accelerators'[J]. *Social Studies of Science*, 1985, 15(2): 293–341.

[26] 范岱年、亓方. 王淦昌先生传略[A], 胡济民、许良英、汪容、范岱年: 王淦昌和他的科学贡献[C], 北京: 科学出版社, 1987, 223–268.

[27] Akerlof, C. W. 'Scientific Visit in 1974 to the Institute of High Energy Physics at Serpukhov, USSR'[R]. UM-HE 76-08. Protvino: IHEP. 1976, 6–8.

[28] Bertelo, A., Sulyaev, R. M. 'The “Mirabel” Bubble Chamber of the Serpukhov Accelerator'[J]. *Soviet Atomic Energy*, 1972, (32): 435–441.

[29] 谷青. 研究物质结构的重大突破[J]. 现代物理知识, 1991,（2）: 3–5.

[30] Fermilab. 'Who are the Industrial Affiliates'[N]. *Fermi News*, 1981–05–21(1).

[31] Sagdeev, R. 'Changes in Science: East & West'[A], Jackson, J., Lach, J., Venard, J.（Eds.）*Beyond the Cold War: The Changing Arena of Science*[C], Batavia: Fermi National Accelerator Laboratory, 1993, 12–31.

[32] Hoddeson, L., Kolb, A., Westfall, C. *Fermilab: Physics, the Frontier, and Megascience*[M]. Chicago: University of Chicago Press, 2009, 65–69; 86–91.

［责任编辑　王大明　柯遵科］