·人物评传·

叶企孙在哈佛大学的留学经历

Ye Qisun's Experience of Studying Abroad at Harvard University

胡升华 /HU Shenghua

（中国科学技术大学科技史与科技考古系，安徽合肥，230026）
(Department for History of Science and Scientific Archaeology, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui, 230026)

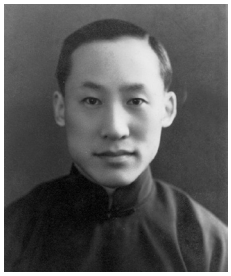
摘　要：叶企孙在中国近代物理学的引进、扎根和培植过程中发挥了巨大的作用。包括他和胡刚复在内的几位中国物理学事业先驱都有在哈佛大学留学的经历，本文分析了哈佛大学物理系实验性物理传统的形成及其影响，通过档案资料考察了叶企孙的博士学位修习情况和当时的学术环境，借助量子力学口述史料探讨了叶企孙在哈佛的一些同学选择成为理论物理学家的学术背景，分析了叶企孙与他们学术生涯不同的原因和合理性，试图揭示叶企孙的留学经历与他后来物理教育实践的一些关联线索。

关键词：叶企孙　胡刚复　哈佛大学物理系　杰弗逊物理实验室　物理学史

Abstract: Ye Qisun (C. S. Yeh) played a significant role in the introduction, rooting, and cultivation of modern physics in China. Several pioneers of Chinese physics, including Ye and Hu Gangfu (K. F. Hu), have had the experience of studying abroad at Harvard University. This article analyzes the formation and influence of the experimentally oriented tradition at the Department, examines Ye Qisun's doctoral degree program and the academic environment at that time by the University archives. With the help of the Archive for the History of Quantum Physics, this article also explores the academic background of some of Ye's Harvard classmates who chose to become theoretical physicists, and analyzes the reasons for and rationality of Ye Qisun's different academic career path. It attempts to reveal connections between Ye Qisun's study abroad experience and his later physics educational practices.

Key Words: C. S. Yeh; K. F. Hu; Department of Physics Harvard University; Jefferson Physical Laboratory; History of physics

中图分类号：K811; O4-09　　**文献标识码：**A　　DOI: 10.15994/j.1000–0763.2024.08.014



叶企孙

叶企孙在哈佛大学留学期间（1920–1923）正是量子力学诞生的前夜，美国物理学和哈佛大学物理系都在经历了物理学这场大变革以后呈现出很大变化——美国逐渐成为物理学强国，哈佛大学物理系也成长为有国际影响力的物理学研究中心之一。叶企孙正是这种变化发生与发展过程的一个亲历者、见证者，他的几位师兄弟更是在这种变化中起到了十分重要的作用。本文通过哈佛大学档案和量子力学口述史等资料，描述哈佛大学学术理念和学术传统的形成、叶企孙的几位老

收稿日期：2023年12月15日；**返修日期：**2024年6月10日
作者简介：胡升华（1961–）男，安徽黄山人，中国科学技术大学科技史与科技考古系兼职教授，研究方向为近现代物理学史。Email: shhu1961@sina.com

师和同学的学术风貌、叶企孙的学位研修情况，以及当时哈佛大学的教学科研状态，探寻叶企孙在哈佛大学的留学经历与他的物理学教育理念和教育实践的一些关联线索。这种研究或可为叶企孙的教育思想分析和中国物理学早期发展的历史背景研究提供新的视角。

一、杰弗逊物理实验室的传统和工作特色

哈佛大学杰弗逊物理实验室（Jefferson Physical Laboratory）建于1884年，哈佛大学物理学教学和研究工作由杰弗逊物理实验室一体化管理，它实际上也等同于哈佛大学物理系。

十九世纪中叶，美国的高等教育还比较落后，哈佛大学1853–1854学年只有44位教师、329名学生。其中物理学（当时归属自然哲学）教授只有一人，分科教育还没有实施。

1869年艾略特（Charles William Eliot）就任哈佛大学校长时，美国几乎没有现代意义上的研究生教育，学院的毕业生若要获得高一级学位只能远赴欧洲。艾略特上任后，从薄弱而又关键的研究生教育着手，改善哈佛大学教学和研究的质量和水平，以此为突破口缩小哈佛大学与欧洲大学的差距。

1870年代物理实验室已经在欧洲大学四处开花，物理实验室已成为物理学研究必不可少的基础条件。[1]杰弗逊物理实验室1884年也应运而生，它标志着哈佛大学物理系已由单纯的教学机构转变为教学与研究并重，甚至更重视研究工作的学术机构。

1. 实验物理传统的形成

鉴于哈佛大学实验物理传统对叶企孙等留学生的影响，我们有必要简略回顾这种传统的形成过程。

在艾略特上任时，哈佛大学只有唯一的一位物理学教授洛夫林（Joseph Lovering），他1838年起在哈佛任教，直到1888年退休，可视为《耶鲁报告》[2]所规范的美国传统高等教育理念的代表人之一。据他后来的同事、物理学家霍尔（Edwin H. Hall）回忆，洛夫林似乎在课堂教学演示之外，从来没有为了物理学研究而去做物理实验。[3]作者检索历年《哈佛大学目录》（The Harvard University Catalogue）时也发现一个有意思的事例：洛夫林的物理课程从1850年代到1870年代一直使用赫歇尔（John Herschel）的《天文学纲要》（*Outlines of Astronomy*）作为教材，20年没有变化。这是当时美国高校物理学教育保守状态的一个典型案例。

特罗布里奇（John Trowbridge）可以称作哈佛大学物理系的奠基人。他在哈佛大学物理系的作用类似于叶企孙在清华大学物理系的作用。特罗布里奇1865年毕业于哈佛大学劳伦兹科学学院，1870担任物理系助理教授。他最早把实验室教学和原创物理学研究引入哈佛大学物理教学体系。[4]特罗布里奇从1888年开始担任实验室主任，直到1910年退休。

随着物理实验室的风行，欧洲物理学呈加速发展态势。美国物理学界有识之士对本国物理学的落后状态痛心疾首，大声呼吁美国要承担起自己应有的责任，不能满足于接受他国科技成就的施舍，心安理得地“捡拾从欧洲人嘴角跌落的面包屑”。[5]

经过特罗布里奇的奔走呼吁和多方谋划，杰弗逊物理实验室于1884年建成。莱曼（Theodore Lyman）1916年评论道，在杰弗逊物理实验室创建的时候，无论是（美国）国内还是国外，几乎没有（这么大规模的）实验室可以作为参考模型，实验室的成功设计在很大程度上归功于特罗布里奇教授的远见，以至于在实验室落成32年后，它仍可以从各方面很好地满足使用目的。[6]

杰弗逊实验室体现了特罗布里奇对未来物理学将带来什么以及如何实现这一目标的热切愿景。实验室落成不久，特罗布里奇在美国科学促进会物理学分会发表了一个演讲，题为《什么是电？》，他说：古人用和平之神、战争之神、土地之神、海洋之神等来代表自然的每一种伟大现象。50年前，科学人就像古人一样赋予大自然的每一种现象一种“力”，但我们将来要找到这些力的关联关系，这就是新实验室的用武之地。让我们用我们所拥有的最强大的仪器，

来勘测那片希望的土地，寻求统一电、磁、光、引力、热和化学作用的物质理论，为此，要不断实验，耐心收集的数据，坚持下去，一定会产生牛顿一样的人物，完成“统一大业”。[7]

考察杰弗逊物理实验室的工作，我们发现，在很长一段时间该实验室都在贯彻特罗布里奇倡导的“不断实验，耐心收集的数据”的指导思想，在经典物理学声、光、电、磁各个方向开展实验研究。形成了稳定的研究方向、研究队伍和研究特色。他的博士生布里基曼（Percy W. Bridgman）一生埋头实验室操作，是这个指导思想的完美注解；布里基曼是叶企孙的博士导师，叶企孙在哈佛大学完成的两项复杂的实验工作也可以视作这个指导思想的体现。杰弗逊物理实验室坚守这个指导思想三四十年，至叶企孙留学时，已经成为有相当国际影响的实验物理中心。

莱曼1910年继任实验室主任，任期直到1947年。他继承了特罗布里奇确立的实验物理传统，他挂在嘴边的一句话是：物理学是一门实验性的学科。把“实验”提升到了物理学研究和教学工作的“信仰”的高度。莱曼的观念其实也是那个时期美国物理学家的主流观念。这种观念的产生有其历史背景：美国物理学研究兴起时正是经典物理学的鼎盛时期，这使美国物理学一开始就形成了牢固的机械自然观——现代物理科学的目标是对宇宙所有现象的机械解释。

莱曼1900年获得博士学位后，曾在卡文迪许实验室随汤姆森（Joseph John Thomson）做研究。他也是氢原子光谱莱曼线系的发现者。在他的任期内，杰弗孙物理实验室形成了较完善的教学体系、研究体系，也确立了实验物理学研究的国际声誉。胡刚复、叶企孙、王守竞、张绍忠、任之恭等多位中国物理学界早期领导人都在他的任期内留学哈佛，受到当时杰弗逊物理实验室所贯彻的实验物理传统，以及物理教学和研究体系的影响是值得注意的。

2. 教学改革

（1）入学考试改革

1878年，美国教育当局的一个调查问卷显示，607所公立和私立中学中，仅11所学校开设了物理实验课程，仅4所学校的实验课程能持续整个学年。[8]中学阶段严重忽视实验教学的状况，必将对大学物理教育带来负面的影响。为改变这种状态，哈佛大学硬性规定，新生入学申请要提交物理实验记录本。为了规范中学物理实验课程，哈佛大学在邀请几位教授试写样稿的基础上，选定霍尔为主编，于1886编写了《哈佛基础物理实验清单》（Harvard Descriptive List of Elementary Physical Experiments），设置了40个实验，作为报考哈佛物理系的中学生的实验要求。霍尔1892年根据这个清单出版的实验教材后来风行全美，实验设备制造商还据此生产了成套设备供中学采购。哈佛大学的这项工作改造了美国中学物理教学。叶企孙回国后，也曾针对中国中学物理学教学缺乏实验的状况，于1929年编写出版了《初等物理实验》一书（同样设置了40个实验），在编写原则、实验数目设置及实验内容编排等方面，对哈佛的物理实验教材有颇多借鉴，还特别地给出了实验所用设备的售价和采购途径，这是国内同期中学物理实验教材少见的。

（2）课程改革

1860年代开始，哈佛大学除了传统的本科教育外，还独立出神学院、法学院、医学院和劳伦兹科学学院，开展分科教育。

1860年代之前的课程体系以必修课为主，内容体现《耶鲁报告》确立的教学规范，重视拉丁语和希腊语教学，在文学和科学各科间保持一定的比例，到三四年级才有少量的选修课，教学方法主要是课堂讲授，没有实验课程。

艾略特就任校长后，实施一系列改革，扩大选修课。从1870年代开始，本科生2年级以后分专业设置选修课，课程选修制的实施，扩大了教学范围，拓宽和丰富了学校的知识生活，促进了学术研究，研究和教学相辅相长的局面逐渐形成。物理实验教学也被引入本科教育，特罗布里奇是在哈佛大学进行物理实验教学的第一人。

（3）管理机制

19世纪后半叶开始，掌控美国大学权利的政治势力和教会势力逐渐衰退，哈佛大学等大学逐步形成了教授治校的管理模式，注重发挥教授的三重职能——教学、管理和研究。[9]教学和科研工作组织管理的基本单元是学系，系主任由教授会选举，而不是行政任命。以系为功能主体的工作机制促进了系一级教师队伍的建设，使全系教师能为一个共同目标而努力。

哈佛大学档案馆保存的物理系教学档案显示，物理系教学管理的重大事项均由教授会讨论决定，内容包括课程设置、入学考试要求、学位课程要求、学位答辩的组织和授予，以及奖学金的评定等等。教授治校的机制后来也为叶企孙等留学归国的教授在清华大学大力推行。

熟悉并借鉴哈佛大学的教学和管理体系对叶企孙后来主导清华大学物理系的发展应该提供了很大帮助。

3. 杰弗逊物理实验室的研究工作

20世纪的前20年，哈佛大学的物理学家对新物理学参与极少，依然按部就班地在声学、电磁学、热力学与统计物理、光学与光谱学等领域进行传统的实验研究，尤以从事光学、光谱学研究的人员居多，几乎覆盖整个波段：杜安（William Duane）研究X射线、莱曼研究紫外光谱、桑德斯（Frederick A. Saunders）研究可见光光谱、查菲（Emory L. Chaffee）和皮尔斯（George W. Pierce）研究无线电波。他们意图通过仪器性能的拓展、精确的实验、仔细的观察，发现物理现象的普遍规律，并找到符合经典理论的物理解释。

在特罗布里奇和莱曼30多年的经营下，杰弗逊物理实验室除形成了完善的教学和研究体系外，更重要的是，营造出了浓厚的研究氛围，教授必须具备研究能力、必须坚持研究是物理系的原则。全体教授都在自己的研究领域不懈地劳作，贯彻“不断实验，耐心收集的数据”指导思想，在实验物理领域取得了一批重要的成果。其中最引人注目的有霍尔效应的发现、氢原子莱曼线系的发现、X射线光谱杜安-亨特关系的发现、萨宾（Wallace C. Sabine）在建筑声学领域的奠基性工作，以及布里基曼在高压物理领域的开创性工作等等。

坚持不懈地开展研究，也使教授们有意识、有能力用最新的研究成果充实课堂教学，形成了以研究促进教学质量，提升教师水平的教育理念。叶企孙后来主持清华大学物理系，也是这种教学理念的坚定支持者和成功的实践者。

二、量子力学诞生前夜的哈佛大学物理系

1. 教授们的反应

叶企孙在哈佛大学留学期间（1920–1923）正是量子力学诞生的前夜，20世纪一二十年代，经典物理学遇到了根本性的挑战，量子物理学在欧洲如火如荼地发展，美国物理学界自然无法置身事外。在这场迄今为止最猛烈的物理学风暴的裹挟下，哈佛物理系师生的状态，构成叶企孙留学教育的非常重要的学术背景。

20世纪60年代，美国物理学史家库恩等人在做量子力学口述史访谈时，曾反复追问肯布尔（Edwin C. Kemble）——这位哈佛大学，乃至整个美国理论物理学的先驱者——在物理学的风暴即将来临时，美国物理学家有没有不安、不适的感觉，以及后来对量子物理的态度。

肯布尔是叶企孙的同门师兄，也是任课老师。根据他的回忆，虽然哈佛物理系的每个人都在做研究，但当时他们从事的工作没有涉及物理学遇到的麻烦事。在1915–1917年，哈佛大学没有人对玻尔的原子理论在欧洲讨论的情况有基本了解。

库恩在访谈中还提到了美国物理学家韦伯斯特（Arthur Gordon Webster），他是美国物理学会的创始人之一，1923年5月自杀身亡。肯布尔认为，他自杀的原因很简单，就是因为他跟不上量子理论的发展。他发现物理学突然朝着一个新的方向发展，他无法跟上，他忍受不了坐在后排当一个沉默的旁观者。[9]

韦伯斯特只不过是个极端的例子，美国主流的物理学家都对量子物理采取回避的态度。杰弗逊物理实验室杜安教授的实例非常典型。1915年杜安在与学生在实验中发现了杜安–亨

特关系。[10]这个关系非常容易根据量子理论予以解释，杜安本人也认为，“我们的实验结果为量子假说的基本原理提供了有力的证据”，他甚至利用这个关系式进行了普朗克常数h的测定，他和叶企孙等合作完成的h测定值[11]曾被物理学界使用了很长一段时间，他的方法也被认为是上世纪30年代已知的6种h测定方法中最精确的方法。[12]但是，“能量量子化”是杜安这一代美国物理学家难以接受的。1915年10月，杜安在美国物理学会年会上提交了一篇论文“由X射线现象提出的假设推导出普朗克辐射公式”，[13]尝试绕过能量量子化假设，推导普朗克辐射公式。杜安是胡刚复的博士导师，胡刚复和叶企孙都曾在杜安指导下进行了X射线现象的系列实验。

叶企孙的博士导师布里基曼被认为是哈佛教授群体中对量子观念敌意最小的人，[14]但也仅此而已，他本人无意介入量子物理研究。

2. 部分学生的反应

与教师队伍整体上的平静表现不同，胡刚复和叶企孙的几位美国师兄弟对新物理学表演出了很大的热情，其中，肯布尔、斯莱特是最突出的代表。

（1）肯布尔与胡刚复

肯布尔是叶企孙的同门师兄，后来又成为叶企孙的老师。他1917年获得博士学位，与1918年获得博士学位的胡刚复可以算是同期同学。当时杰弗逊物理实验室设有多个等级的研究生奖学金，肯布尔和胡刚复都是高级别奖项的有力竞争者，学习成绩难分伯仲。肯布尔后来成为美国的第一位量子物理学家、哈佛大学理论物理的鼻祖；而胡刚复回国后则高举实验物理大旗，成为将物理实验引入中国讲坛的第一人，这种历史演进结果让人印象深刻。

胡刚复天赋上应该更贴近数理理论研究，事实上他在1913年进入哈佛大学研究院时还在数理化三科徘徊了很长时间，他在《哈佛大学1913级刊》上写道：虽然我获得了物理学学士学位，但在研究生院的第一年，在数学、物理和化学三科之间，我并没有确定选择哪一科作为毕生的学术方向。我选修了不少数学课、化学课，以便在确定进入相应专业后能立即投入研究工作。

从哈佛大学保存的档案资料看，在系主任莱曼的眼里，胡刚复并不特别擅长物理实验。莱曼曾这样评价他：“胡先生是一个有能力的思想家，对物理原理的数学形式有很好的了解。我印象中，作为一个实验者，他不十分熟练。这种印象源于我听说，哪里有胡，哪里的仪器恐怕就有损毁的危险”。莱曼之所以这样说，可能是因为有一次胡刚复烧坏了X射线实验用的大电池的开关，为此，莱曼曾下达通知，不容许胡刚复单独触碰这个大电池。但我们并不能由此得出胡刚复物理实验技能不佳的结论。我们能够找到可以比照的案例：下文将要提到的叶企孙的同学斯莱特，曾经当过布里基曼的实验室助理一年，一次在实验中损坏一件较重要的仪器，布里基曼无奈地埋怨说：“你为什么不学理论物理？”但斯莱特自己认为：事实上我非常了解实验室的工作，我在实验室里损坏仪器的数量并没有超过博士生的正常水平。[15]可见，在一个锤炼了几十年的顶尖实验物理学家面前，初出茅庐的博士生的实验技能是很难入其法眼的。但是，相较实验技艺，胡刚复更有理论天赋则是可以采信的。

与胡刚复循规蹈矩地完成实验性博士论文不同，肯布尔对新兴的量子理论的兴趣难以抑制，正如他后来回忆的那样：任何有量子、有h的东西，都令他兴奋。[9]他打定主意，以新物理学做为博士论文研究的领域，做一篇纯理论的博士论文。但是，当时哈佛大学并没有给博士生提供从事理论物理研究的选项。系主任莱曼甚至认为，理论物理不过是实验物理的附属品。[9]杰弗逊物理实验室此前从来没有接受过纯理论的博士论文，而且教授中也没有人对量子物理思想足够熟悉，可以指导这方面的论文。然而，经过导师布里基曼的努力，杰弗逊物理实验室几位知名教授在坚持原则和容忍试错方面还是达成了妥协——同意肯布尔的博士论文以理论物理为题，但前提是论文必须包括一个实验部分。

一个学生，单枪匹马挑战哈佛传统，与周

围教授的想法和研究方向完全不同。对这种处境，肯布尔后来在采访中形象地描述："我是一只孤独的狼，体型还很小"。[14]1917年肯布尔获得博士学位，他也是美国培养的第一位理论物理博士。

现在看，在肯布尔博士论文选题上网开一面，成就了哈佛大学第一位理论物理学家，并为后来哈佛大学理论物理中心的建立奠定了基础，这也可以被视作哈佛大学物理学发展的一个重要转折点。同时，肯布尔的经历也提供了一个因材施教的特殊个案。

（2）斯莱特

斯莱特（John Clarke Slater）与叶企孙同年级、同导师，两人兴趣爱好方面有一些相近之处：不擅长体育，对建筑有兴趣，喜欢读历史和人物传记。斯莱特在量子力学领域的成就使他在年仅31岁时便当选国家科学院院士，这几乎是史无前例的。他在提升美国理论物理学的国际地位方面发挥了关键作用，被认为是继吉布斯（Willard Gibbs）之后的第一人。[16]

斯莱特的个案是值得注意的，他在杰弗逊实验室的学术体系下跟随实验物理学家做博士论文，本应顺理成章地成长为实验物理学家，他为什么会转向理论物理？既然热衷理论物理又为什么要选布里基曼做导师？库恩做量子力学访谈时曾问过这两个问题。斯莱特是这样回答的：因为进入研究院时申请了布里基曼的助教职位，便顺理成章地跟他做实验物理的博士论文了；但是，我意识到，在理论物理领域，我会比周围绝大多数人做得更好，而在实验物理领域，大家都能做。[15]

我们推测，还有一个原因使他转向理论物理，那就是，他与后来的诺贝尔奖得主范·弗莱克（John H. Van Vleck）同宿舍，相互间有影响。范·弗莱克与斯莱特、叶企孙同级，他曾自叙：我在哈佛大学读了一个学期的研究生后，意识到最适合自己的工作是物理理论研究。他于是成为肯布尔的第一个博士生，当时肯布尔是美国唯一有资格指导量子物理纯理论研究的人。

我们认为，斯莱特的理论素养有三个来源：其一是选课，除了物理系的前沿课程外，大量选修数学系课程；其二，阅读最新的物理学期刊，如德国物理杂志、德国物理年鉴、英国哲学杂志等等，熟悉量子物理的前沿进展；其三，参加系里每周一次的讨论班，这个时期的讨论班的主要内容是新兴的量子理论，肯布尔多次做量子物理专题报告。此外还有与舍友范·弗莱克的相互砥砺。

斯莱特毕业时已经在量子物理领域有很好的造诣。他获得博士学位后曾先后去哥本哈根和剑桥大学研修，他在接受库恩访谈时曾说，哥本哈根和剑桥并不比哈佛更前沿和活跃。自己在哈佛的感觉如同在剑桥或哥本哈根一样处于物理学的研究中心，哈佛甚至比哥本哈根更与时俱进、更活跃。但对于斯莱特描述的哈佛，库恩马上表示质疑：从其他人那里得到的印象，尽管当时哈佛不能说死气沉沉，因为有很多非常好的基础工作在开展，但我不觉得一般人真的如此与时俱进。经库恩质疑，斯莱特也承认，他描述的状态可能是他自己的状态，或者说是他与肯布尔、范·弗莱克等人组成的量子物理研究小组成员的状态，而不一定是物理系整体的面貌。[15]斯莱特的回忆对我们了解叶企孙完成博士学位论文时的学术环境提供了很好的参考资料。

（3）量子物理研究小组

第一次世界大战结束后，肯布尔从战时工作回归学术，哈佛大学向他发出了召唤。接到哈佛大学的聘书，肯布尔对薪酬之低感到吃惊，第一反应是拒绝。为肯布尔开出很低的薪酬，反映系里教授对理论物理的重视程度、对肯布尔的期望值并不太高，这可能也是传统价值观的一种体现。这时，又是布里基曼站出来对肯布尔作苦苦挽留，布里基曼不希望哈佛大学失去肯布尔这个难得的人才。在布里基曼的推动下，物理系为肯布尔量身定制了一个计划，授命他在哈佛大学建立一个理论物理中心。

哈佛大学档案馆保存着一封布里基曼致肯布尔的4页纸的长信，布里基曼从哈佛荣誉，乃至民族荣誉与个人事业前景相结合的高度，为肯布尔描绘了一幅宏伟蓝图：肯布尔的使命

是改变哈佛物理系的课程体系，开设量子物理课程。具体而言，为肯布尔量身定制了4门新课：现代电磁辐射理论；红外、光电和比热的量子理论；X射线晶体结构；以及理论物理专题。最终目标是使哈佛成为国内顶尖的理论物理中心，使美国在世界理论物理的版图上占一席之地。[17]肯布尔被说服了。这也是当时美国大学导师对学生的强烈责任感和影响力的一个典型事例。类似的，这种现象后来在叶企孙与学生的关系上也有生动的体现。

肯布尔很快在哈佛大学建立了一个量子物理研究小组，成员包括他的第一个研究生范·弗莱克、博士后研究生马利肯（Robert S. Mulliken），以及斯莱特等。他们主要用量子理论来阐释分子结构。分子结构在上世纪20年代成为美国新兴的量子物理学的研究重点。范·弗莱克于1977年获得了诺贝尔物理学奖，我国物理学家王守竞获得博士学位后曾跟随范·弗莱克做博士后研究，期间做出了很重要的工作。[18]马利肯也因分子同位素效应和分子轨道理论的研究获1966年诺贝尔化学奖。而斯莱特后来也成为国际知名理论物理学家，他从1930年起任麻省理工学院物理系主任，并在这个位置任职31年，把MIT物理系建成了全国最负盛名的物理系之一，为美国培养了一大批理论物理学家。

此外，斯莱特还致力于美国物理学教材的改造和升级换代，在1933年至1968年间，他写了14本关于化学物理、微波以及原子、分子和固体的量子理论等方面的教材，[16]这些教材具有广泛的国际影响。

肯布尔在哈佛大学建立的量子物理研究小组，为理论物理在美国的发展起到了奠基性的作用，吹响了美国物理学振兴的号角。

20世纪20年代中期以后叶企孙的几位同学或师兄弟已经成长为世界一流的物理学家，哈佛大学物理系也成为一个一流的物理学研究机构。范·弗莱克后来曾自豪地说，虽然量子力学的狂欢不由我们开始，但我们的年轻理论家们很快就加入了其中。[19]到了20世纪30年代，美国已经成为物理学强国，物理学文献的变化对此提供了一个直观的反映：在1895至1914年间，全世界的物理学论文引用美国的《物理评论》（*Physical Review*）和德国的《物理学年鉴》（*Annalen der Physik*）上发表的文章比例是1: 8，德国的期刊遥遥领先。但是从1930年到1933年，这一比例变成了3:1，美国期刊的被引频次远远超过了德国期刊。[20]

没有迹象表明叶企孙与他身边的这个量子物理研究小组有紧密的联系，但对于身边这些同仁的工作状态、学术思想，以及后来的成绩，叶企孙当知之甚详。参与美国最好的实验物理学家团队的工作、与美国最顶尖的理论物理学家成为师兄弟、作为美国物理学振兴的一个见证人，叶企孙由此所获得的激励、建立的学术自信、产生的雄心、得到的经验，在他后来推动中国物理学事业的发展中起到的作用是不能忽略的。

3. 叶企孙在哈佛大学的研修情况

根据哈佛大学物理系教授会1922年10月30日会议记录，叶企孙在芝加哥大学选修过的课程有几何光学、物理光学、电学原理与电学测量、电磁学、热学、热力学等；到了哈佛大学以后，又根据学位要求，选修了表1所列课程（修课成绩分ABCDF5等，A为优秀，B为良好，C为中等，D为及格，F为不及格）。

对这张修课表我们做如下的分析：

（1）首先，哈佛大学物理系的课程设计是环环相扣的，绝大部分研究生课程都对前期知识储备有明确的要求，需要通过指定的基础课程训练。比如，叶企孙1920–1921学年选修了数学系的“动力学”课，才被容许在下一学年选修肯布尔的“量子理论及其应用”。

（2）叶企孙有很好的学术鉴赏力，注重从名师修业。布里基曼当时在物理系资历并不突出，与莱曼等相比，他还算是一个年轻人，他得诺贝尔奖是20多年后的事（1946年），但他却是那个时期美国物理学家中物理素养和哲学素养最高的学者之一。他常年潜心于实验研究，自己设计制造远远突破他那个时代极限值的高压设备，不厌其烦地在高压条件下对所能获得的各种材料进行各种物理性能的测试，做出了很多重要的发现。他培养了一大批美国知名物

理学家，徒子徒孙中产生了多位诺贝尔奖得主。

肯布尔的课程被范·弗莱克认为是当时美国最成熟、最复杂的量子理论课程，由于听了肯布尔的课，他和斯莱特才获得了先行一步的优势；[16] 奥斯古德（William Fogg Osgood）当时是哈佛大学数学系主任，他改变了哈佛大学数学系忽视研究的状态，在系里形成了很强的研究氛围，对美国数学研究水平的提升贡献极大。丘成桐曾与合作者出版《哈佛大学数学系150年历史》一书，回顾该系“从三流学系到世界中心”的变化历程，高度推崇奥斯古德的工作。[21]，[22] 肯布尔和奥斯古德分别是美国在物理学和数学领域追赶国际水平的标志性人物。

（3）参考量子力学口述史料我们知道，叶企孙在布里基曼和肯布尔的课堂上是与斯莱特和范·弗莱克这些未来美国最顶尖的理论物理学家同堂学艺，他各门课都取得优良成绩，实属不易。从名师修业、与美国顶尖学生砥砺切磋，对提高叶企孙的学术自信心，建立心中的学术标准，拓展学术视野应当是有极大帮助的。

（4）叶企孙对量子物理和相对论物理曾有心关注，在课程学习上也取得了好的成绩，打下了扎实的理论基础。但他为什么没有向他的同年级同学斯莱特、范·弗莱克一样转向对年轻人有很大吸引力的量子物理研究呢？我们分析有几个原因，其一，他从小养成的务实精神使他更倾向于脚踏实地的实验工作；其二，哈佛的信仰——“物理学是一门实验性的学科”——深入人心，当时哈佛的传统和主流也是实验物理，一个远道而来的“取经者”的首要目标自然是获取经典；其三，实验物理工作更适合中国物理学事业起步阶段的发展的需要。当然，叶企孙也并没有像肯布尔、斯莱特这些一门心思做理论的师兄弟一样有充足的数学准备。

叶企孙回国后主持清华大学物理系，强调基础课、强调物理实验，反对设立“高调及虚空”的理论课程，不鼓励学生出国留学选择理论物理方向，并不是他对理论物理了解不多；我们认为，正是他对当时理论物理的状态，对从事理论物理研究工作所需要的学术准备、所具备的天赋，对中国物理学的基础有深入的了解，为使自己的学生能最大限度的发挥作用，保证中国物理学研究从无到有变化过程中能够打好基础，健康发展，才在那个特定的年代，不鼓励自己的学生出国留学学习理论物理。

由于肯布尔是第一个在美国大学开设量子

表1 叶企孙在哈佛大学留学期间修习课程及成绩一览表

学年	课程类别	课程名称	课程编号	授课教师	课程要求	修课成绩
1920–1921	物理	电学与磁学的数学理论	9	布里基曼	最好修习过电学、电学测量、光的电磁理论、X射线与放射性	B
	物理	研究课–放射性与X射线	20d	杜安		A
	数学	动力学	8	凯洛格		B–
	数学	函数论	13	奥斯古德		B
1921–1922	物理	光的电磁理论	5	肯布尔	需修习过物理光学、电磁学、微积分	A
	物理	量子理论及其应用	16a	肯布尔	需修习过量子辐射理论和数学系的动力学	A
	物理	电子理论与相对论	10	布里基曼	需修习过电学与磁学的数学理论	A
	物理	研究课–高压物理	20g	布里基曼		A
	数学	势函数理论与拉普拉斯方程	10a	凯洛格		B

物理课程的教师，所以叶企孙应该是第一个接受现代理论物理教育的留美中国学生。叶企孙后来成为对中国物理学事业发展贡献最大的物理学家之一，除了他的人格魅力外，与他良好的物理学基础和理论素养不无关系。

（5）叶企孙与杜安教授合作进行普朗克常数的精确测定这项工作的背景，以前我们知之不详，由哈佛大学档案我们得知，这是他选修的一门“研究课程”的内容。1920–1921学年，哈佛物理系9位教授或副教授分别提供了9项研究课程供研究生选修，课程编号从20a到20i，名称依次为热学与电学（指导教师为霍尔）、光谱学（Saunders）、电磁辐射与电磁波（Pierce）、放射性与X射线（Duane）、短波研究（Lyman）、热学（Davis）、高压物理（Bridgman）、电振荡（Chaffee）和量子理论（Kemble）。这些课程清晰地反映了当时物理系的研究方向。相比较传统的热学、电学、电磁学，叶企孙选择了内容更新近一些的X射线与高压物理的研究。

（6）杜安除了在哈佛大学任教外，还在一所医院任职，尝试用X射线治疗癌症。这种学术背景对中国学生是有吸引力的。叶企孙首选跟随杜安进行X射线研究，顺理成章的话，应该跟随杜安进行博士论文工作，但最终他选择了布里基曼，这个变化是值得注意的。叶企孙留学期间，物理系常规的情况是，一名研究生入校后很快就会精通机器车间的工作，并在第一年选择一个实验论文主题后开始建造设备，最终完成一篇实验论文。[14]叶企孙的情况颇不合常规。杜安与康普顿关于康普顿效应的争论是物理学史上的一个著名的事件，[23]基于对量子观念的怀疑，杜安本能地排斥康普顿效应。关于这个争论，斯莱特在接受量子力学访谈时曾有过这样一段评论：“我对康普顿与杜安的争议记忆犹新，我想我们都认为杜安是个好人，他做了很多好事，我们（作为杜安的学生）会保持沉默。但我从一开始就认为康普顿是对的”。[15]虽然布里基曼也不涉足量子物理，但斯莱特对他的学养、课程和工作的评价则不乏溢美之词。叶企孙的博士导师选择，应是他学术鉴赏力的体现。对两位教授充分了解以后，他很可能认为，布里基曼深厚的物理学养和研究风格更适合自己。

叶企孙的博士论文题目是“流态静压力对铁、钴和镍的磁导率的影响”，[24]这是一个难度极高、实验过程非常复杂的研究课题。实验难度来自诸多方面：实验在前无古人的极限高压下进行，受高压设备的限制，样品最大尺寸仅16mm，测量线路的布局和测量数据的采集都非常复杂，需要排除的影响因素很多。样品处理、测量线路布设，以及实验流程等都可能对实验结果产生致命的干扰。需要进行的误差校正也有多项，比如高压下样品尺寸变化对实验结果的影响；压力标定是通过测量锰铜丝在压力下的电阻变化来进行的，同一卷锰铜丝上取出的不同样品的压力系数的微小变化也需要校正，等等。

此外，他还发现了一些导致实验结果出错的原因，如样品未充分退磁（前人同类研究结果散乱的根源）、实验中纯铁样品退火处理可能发生轻微碳化等等。叶企孙的这项实验工作展示了一个优秀的实验物理学工作者的素养：上乘的物理直觉；对实验设备、材料物性的充分了解；心思缜密，足以厘清测量过程和数据采集过程的各种干扰；还有良好的动手能力和操控艺术。

叶企孙这项研究是体现“精确测量”精髓的代表作，堪称实验物理学研究的一个范本，也很好体现了杰弗逊物理实验室研究风格。布里基曼对叶企孙的研究工作相当满意，曾在自己的高压物理学专著中给予详细介绍。由于当时量子力学和铁磁学理论尚未建立，要从理论上解释磁化强度的压力效应还为时过早。

1923年6月，叶企孙获得哈佛大学博士学位，在美国和欧洲进行大半年的学术考察后，于次年3月回国。

总　　结

中国近代物理学是“舶来品”，[25]叶企孙在近代物理学的引进、扎根和培植过程中发挥

了巨大的作用。一种“舶来品”免不了带有“原产地”的环境特征，因此中国物理学早期发展的状态与叶企孙等中国物理学事业开拓者的留学经历应该不无关系，对他们留学经历的考察应该是中国近代物理学史研究的一项重要内容。

本文通过哈佛大学实验物理传统的形成过程、20世纪一二十年代哈佛大学物理系的教学和研究的指导思想和特征的考察，揭示它们与叶企孙后来的物理学教育实践相关联的一些线索；叶企孙留学期间正是量子力学诞生的前夜，哈佛物理系的教授们普遍回避量子物理，而叶企孙的几位师兄弟则克服困难，成功走上理论物理学家的道路，成为有世界影响的理论物理学家，并以出色工作改变了哈佛大学物理系的面貌，也提升了美国物理学的国际地位；基于国情和指导思想不同，叶企孙和胡刚复坚持走实验物理学传统路径具有历史合理性；叶企孙留学期间在当时美国最好的实验物理学家团队的工作经历、曾与美国最顶尖的理论物理学家同堂学艺且成绩不俗、作为美国物理学振兴的一个见证人，由此所获得的激励、建立的学术自信、产生的雄心、得到的经验，在他后来推动中国物理学事业的发展中起到的作用是不能忽略的。

[参 考 文 献]

[1] 胡升华. 物理实验室的创设及其意义 [J]. 物理, 2023, 52（12）: 857–866.

[2] A Committee of the Corporation, and the Academical Faculty. *Reports on the Course of Instruction in Yale College*[M]. New Haven: Hezekiah Howe, 1828, 12.

[3] Hall, E. H. 'Physics Teaching at Harvard Fifty Years Ago'[J]. *American Journal of Physics*, 1938, (6): 17–20.

[4] Hall, E. H. 'John Trowbridge'[A], National Academy of Sciences (Ed.) *Biographical Memoir*[C], Washington D.C: National Academy of Sciences, 1930, 185–204.

[5] Rowland, H. A. 'A Plea for Pure Science'[J]. *Science*, 1883, 2(29): 242–250.

[6] Lyman, T. 'The Work of the Jefferson Physical Laboratory'[J]. *Science*, 1916, 43(1116): 706–708.

[7] Holton, G. 'How the Jefferson Physical Laboratory Came to Be'[J]. *Physics Today*. 1984, 37(12): 32–37.

[8] Moyer, A. E. 'Edwin Hall and the Emergence of the Laboratory in Teaching Physics'[J]. *Physics Teacher*, 1976, 14(96): 96–103.

[9] Eliot, C. W. 'Resemblances and Differences Among American Universities'[J]. *Science*, 1905, 22(572): 769–784.

[10] 'Interview of Edwin Kemble by Thomas S. Kuhn on 1962 May 11, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA'[EB/OL]. https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4702-1,2. 2021–02–06.

[11] Duane, W., Hunt, F. L. 'On X-Ray Wave-Lengths'[J]. *Proceedings of the American Physical Society*, 1915, 6(2): 166–171.

[12] Duane, W., Palmer, H. H., Yeh, C. S. 'A Remeasurement of the Radiation Constant, h, by Meuns of X-Rays'[J]. *Journal of Optical Society of America*, 1921,5(4): 376–387.

[13] Bridgman, P. W. 'William Duane1872-1935'[A], National Academy of Sciences (Ed.) *Biographical Memoir*[C], Washington D.C: National Academy of Sciences, 1936, 23–41.

[18] Duane, W. 'Planck’s Radiation Formula Deduced From Hypotheses Suggested By X-Ray Phenomena'[J]. *Proceedings of the American Physical Society*, 1915, 7(1): 143–147.

[14] Holton, G. 'On the Hesitant Rise of Quantum Physics Research in the United States'[J]. *AIP Conference Proceedings*, 1988, (179): 177–205.

[15] 'Interview of John Clarke Slater by Thomas S. Kuhn and John H. Van Vleck on 1963 October 3, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA'[EB/OL]. https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4892-1,2. 2021–02–06.

[16] Morse, P. M. 'John Clarke Slater 1900-1976'[A], National Academy of Sciences (Ed.) *Biographical Memoir*[C], Washington D.C: National Academy of Sciences, 1982, 297–321.

[17] 'P. Bridgman to E. Kemble, Mar.16,1919'[Z]. Harvard University Archives, UAV691: Physics Laboratories Director’s Correspondence, 1910–1938.

[18] 胡升华. 王守竞的量子力学研究成果及其学术背景 [J].

中国科技史料, 2000,（3）: 235–241.

[19] Van Vleck, J. H. 'American Physics Comes of Age'[J]. *Physics Today*, 1964, 17(6): 21–26.

[20] 赵佳苓. 美国物理学界的自我改进运动[J]. 自然辩证法通讯, 1984, 6（4）: 29–40.

[21] Nadis, S,. Yau, S. T. *A History in Sum: 150 Years of Mathematics at Harvard (1825-1975)*[M]. Cambridge: Harvard University Press, 2013, 32–55.

[22] 丘成桐. 从三流学系到世界中心[N]. 光明日报, 2014–01–24（12）.

[23] 王大明. 康普顿效应与吴有训的实验[J]. 自然科学史研究, 1987,（3）: 281–292.

[24] Yeh, C. S. 'The Effect of Hydrostatic Pressure on the Magnetic Permeability of Iron, Cobalt, and Nickel'[J]. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 1925, 60(12): 503–533.

[25] 钱临照. 怀念胡刚复先生[J]. 物理, 1987,（9）: 513–515.

[责任编辑　王大明　柯遵科]