

开放人文

Enrico Fermi

Physicist



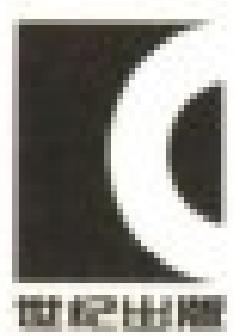
[美] 埃米里奥·赛格雷 著 杨建邺 杨渭 译

Emilio Segrè

# 原子舞者

## 费米传

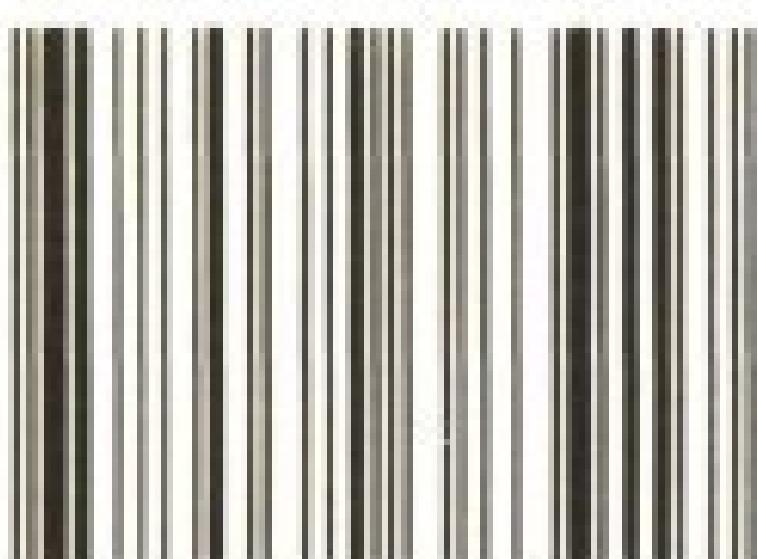
上海世纪出版集团



世纪出版



ISBN 7-5323-8391-1



9 787532 383917 >

定价：32.00 元

易文网：[www.ewen.cc](http://www.ewen.cc)

# 原子舞者

## 费米传

[美] 埃米里奥·赛格雷 著 杨建邺 杨渭 译

世纪出版集团 上海科学技术出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

原子舞者：费米传 / (美)塞格雷著；杨建邺，杨渭译。  
—上海：上海科学技术出版社，2006.4  
(世纪人文系列丛书)  
ISBN 7-5323-8391-1

I. 原… II. ①塞… ②杨… ③杨… III. 费米, E.  
(1901~1954)-传记 IV. K837.126.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015098 号

---

责任编辑 姚晨辉

装帧设计 陆智昌

---

**原子舞者——费米传**

[美]埃米里奥·塞格雷 著

杨建邺 杨渭译

出 版 世纪出版集团 上海科学技术出版社  
(200235 上海钦州南路 71 号 www.ewen.cc www.sstp.cn)  
发 行 上海世纪出版集团发行中心  
印 刷 上海宝山江杨印刷厂  
开 本 635×965 mm 1/16  
印 张 18.75  
插 页 5  
字 数 224 300  
版 次 2006 年 4 月第 1 版  
印 次 2006 年 4 月第 1 次印刷  
ISBN 7-5323-8391-1 / N · 243  
定 价 32.00 元

## 世纪人文系列丛书编委会

主任

陈 昕

委员

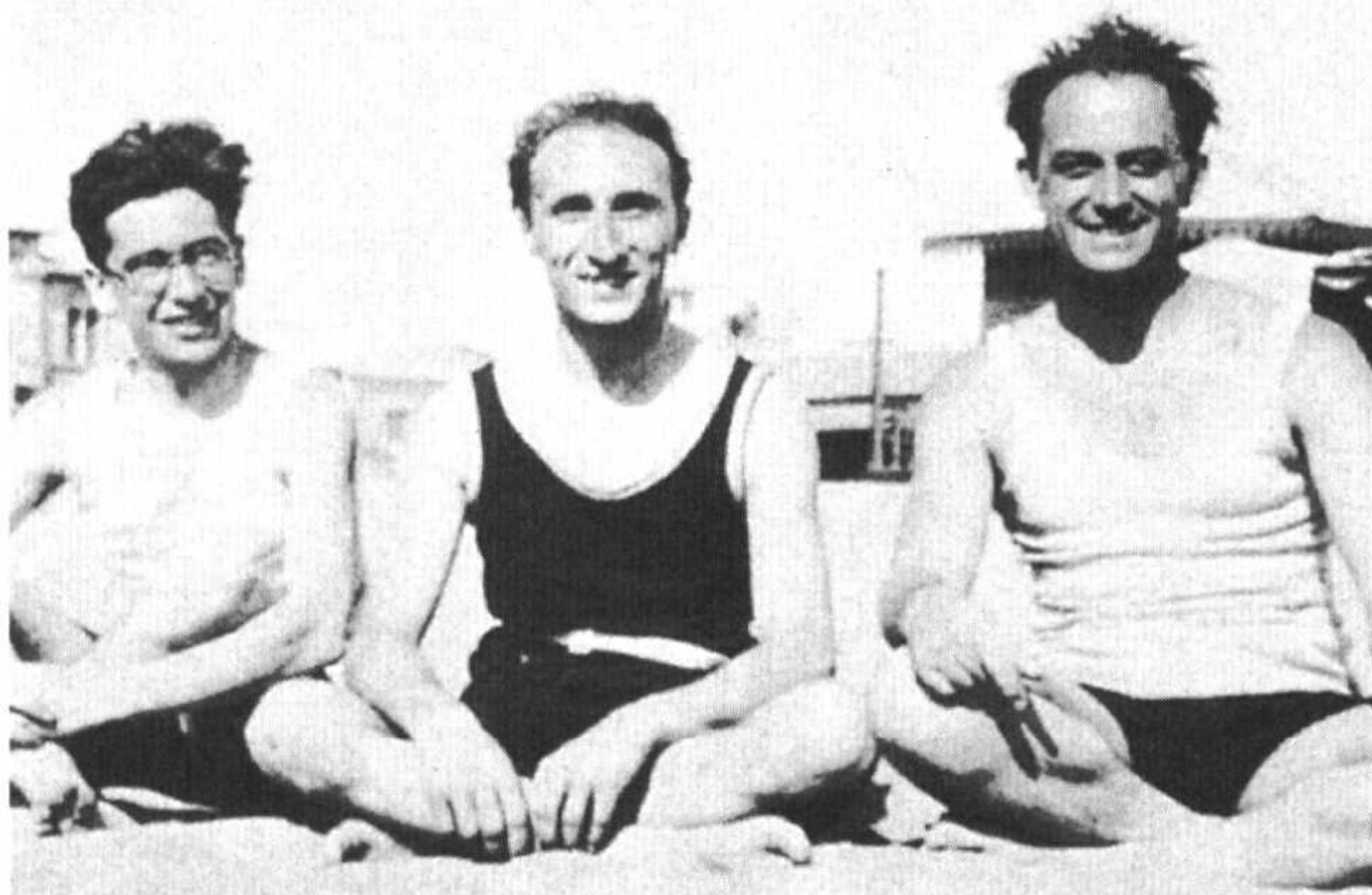
丁荣生	王一方	王为松	王兴康	包南麟	叶 路
何元龙	张文杰	张晓敏	张跃进	李伟国	李远涛
李梦生	陈 和	陈 昕	郁椿德	金良年	施宏俊
胡大卫	赵月瑟	赵昌平	翁经义	郭志坤	曹维劲
渠敬东	潘 涛				



16岁时的费米



正在解决问题的费米(大约摄于 1924 年)



1927年，塞格雷、佩尔西柯和费米在奥斯蒂亚



帕尼斯佩尔纳大道上的罗马大学物理研究所



罗马大学物理研究所图书室



1931年，费米、柯比诺、特拉巴齐、索末菲和  
赞奇(Zanchi)(从左向右)在罗马



1933 年的索尔维会议

站立者：亨利沃特(E.Henriot)、佩兰、约里奥、海森伯、克拉默斯(H.A.Kramers)、斯塔尔(E.Stahel)、费米、沃尔顿(E.T.S.Walton)、狄拉克、德拜、莫特(N.F.Mott)、卡布列拉(B.Cabrera)、伽莫夫、玻特、布莱克特、罗森布鲁姆(M.S.Rosenblum)、埃瑞拉(J.Errera)、鲍尔(E.Bouer)、泡利、韦尔沙菲尔特(J.E.Verschaffelt)、柯辛斯(M.Cosyns)、赫曾(E.Herzen)、考克饶夫、埃利斯、皮尔斯、皮卡特(A.Piccard)、劳伦斯、罗森菲尔德；

坐者：薛定谔、爱伦娜·约里奥、玻尔、约飞(A.Joffé)、居里夫人、里查逊、朗之万(P.Langevin)、卢瑟福、德董德尔(T.de Donder)、M·德布罗意、L·德布罗意、迈特纳、查德威克(以上人物均从左向右数)；

缺席者：爱因斯坦、古伊(C.E.Guye)

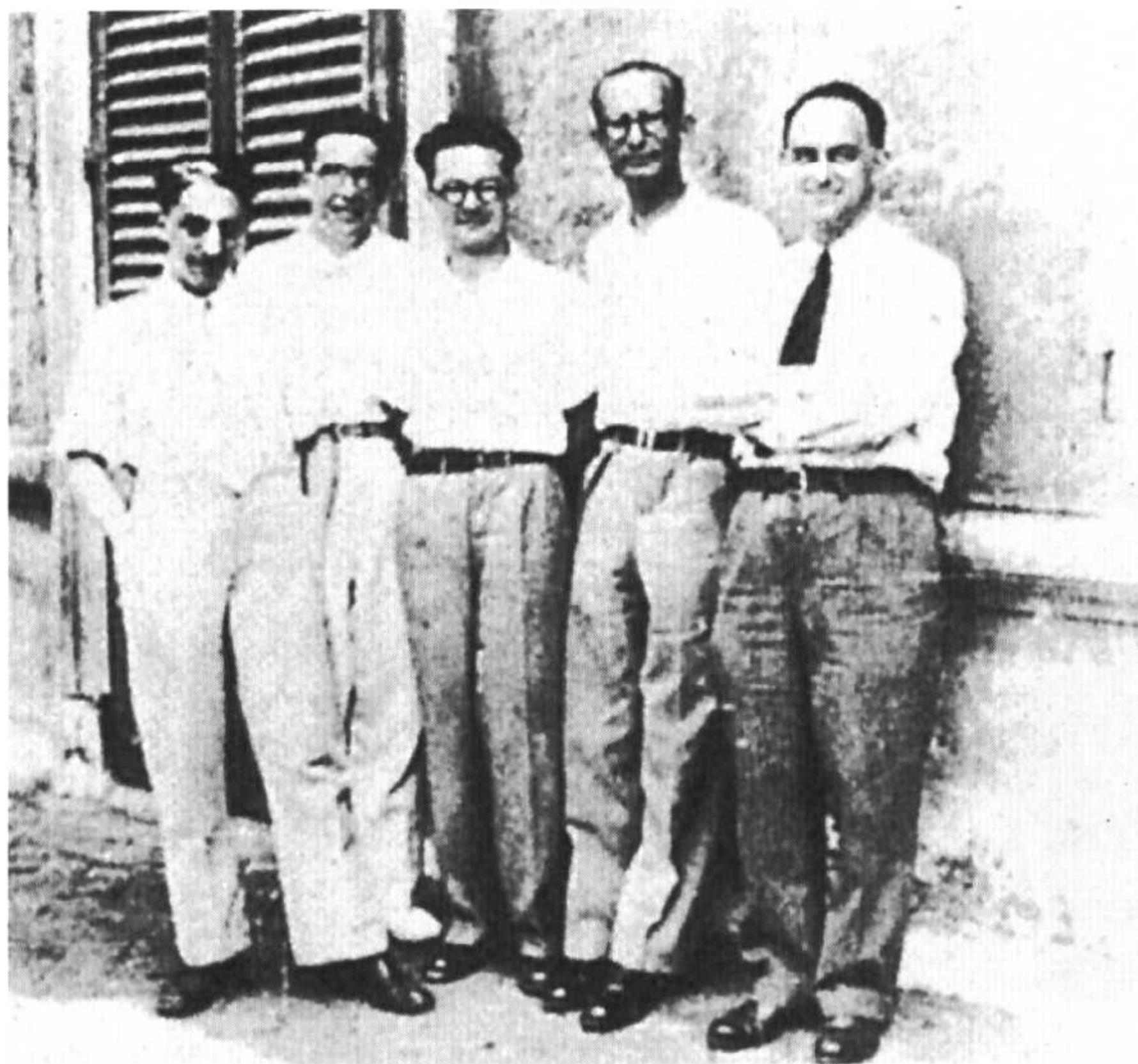
numerisch weiter auf wie die der erlaubten Übergänge.

7. Die Masse des Neutrinos. Durch die Übergangswahrscheinlichkeit (32) bestimmt ist die Form des kontinuierlichen  $\beta$ -Spektren bestimmt. Wir wollen zuerst diskutieren, wie diese Form von der Ruhmasse  $\mu$  des Neutrinos abhängt, um von einem Vergleich mit den empirischen Kurven diese Konstante zu bestimmen. Die Masse  $\mu$  ist in dem Faktor  $p_0^2/v_0$  enthalten. Die Abhängigkeit der Form der Energieverteilungskurve von  $\mu$  ist am ausgeprägtesten in der Nähe des Endpunkts der Verteilungskurve. Ist  $E_0$  die Grenzenergie der  $\beta$ -Strahlen, so sieht man ohne Schwierigkeit dass die Verteilungskurve der  $\beta$ -Strahl Energie für Energien  $E$  in der Nähe von  $E_0$ , proportional ist durch zu

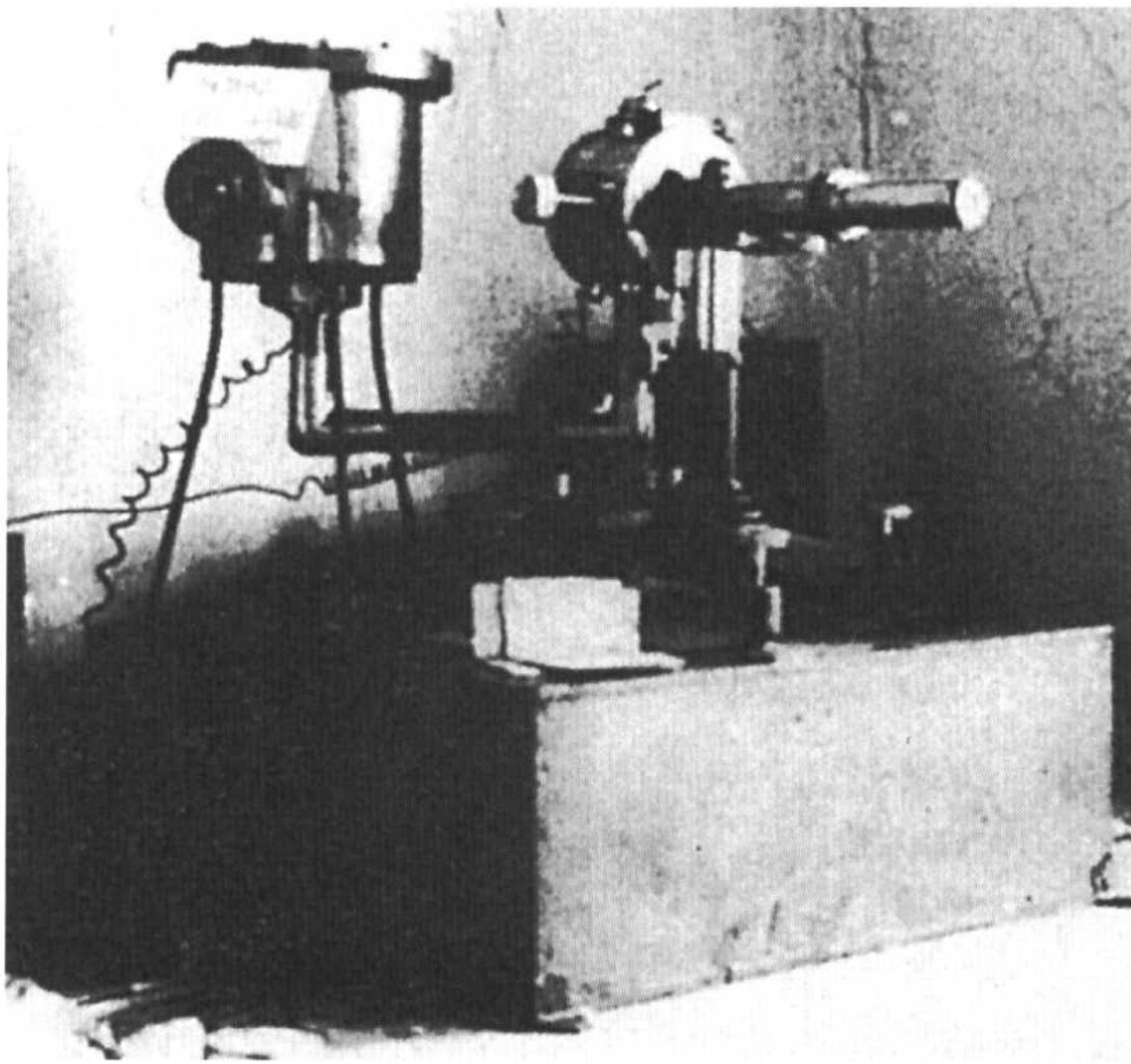
$$\frac{p_0^2}{E} = \frac{1}{E_0^2} \cdot (\mu c^2 + 1) \sqrt{\frac{p_0^2}{E} + 2\mu c^2}$$

$$(3c) \quad p_0^2 - 1 (\mu c^2 + E_0 - E) \cdot \sqrt{(E_0 - E)^2 + 2\mu c^2(E_0 - E)}$$

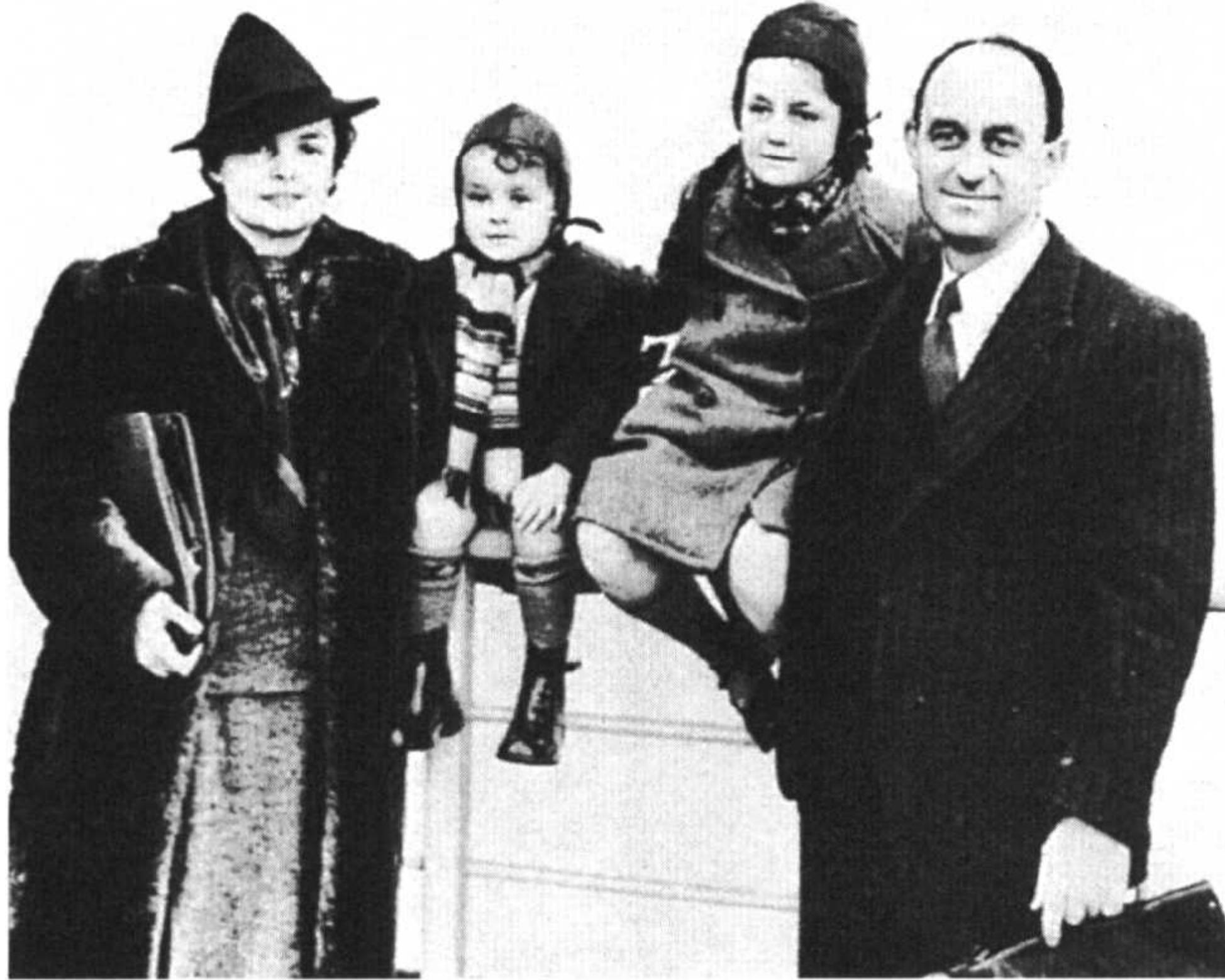
$\beta$  射线理论的手稿(FP80b)



1934年夏，德阿古斯蒂诺、塞格雷、阿玛尔迪、拉赛蒂和费米



“罗马大学的标志”：用来测量放射性的电离室。它简单而精确，  
无论我们到哪儿都会做一个类似的仪器



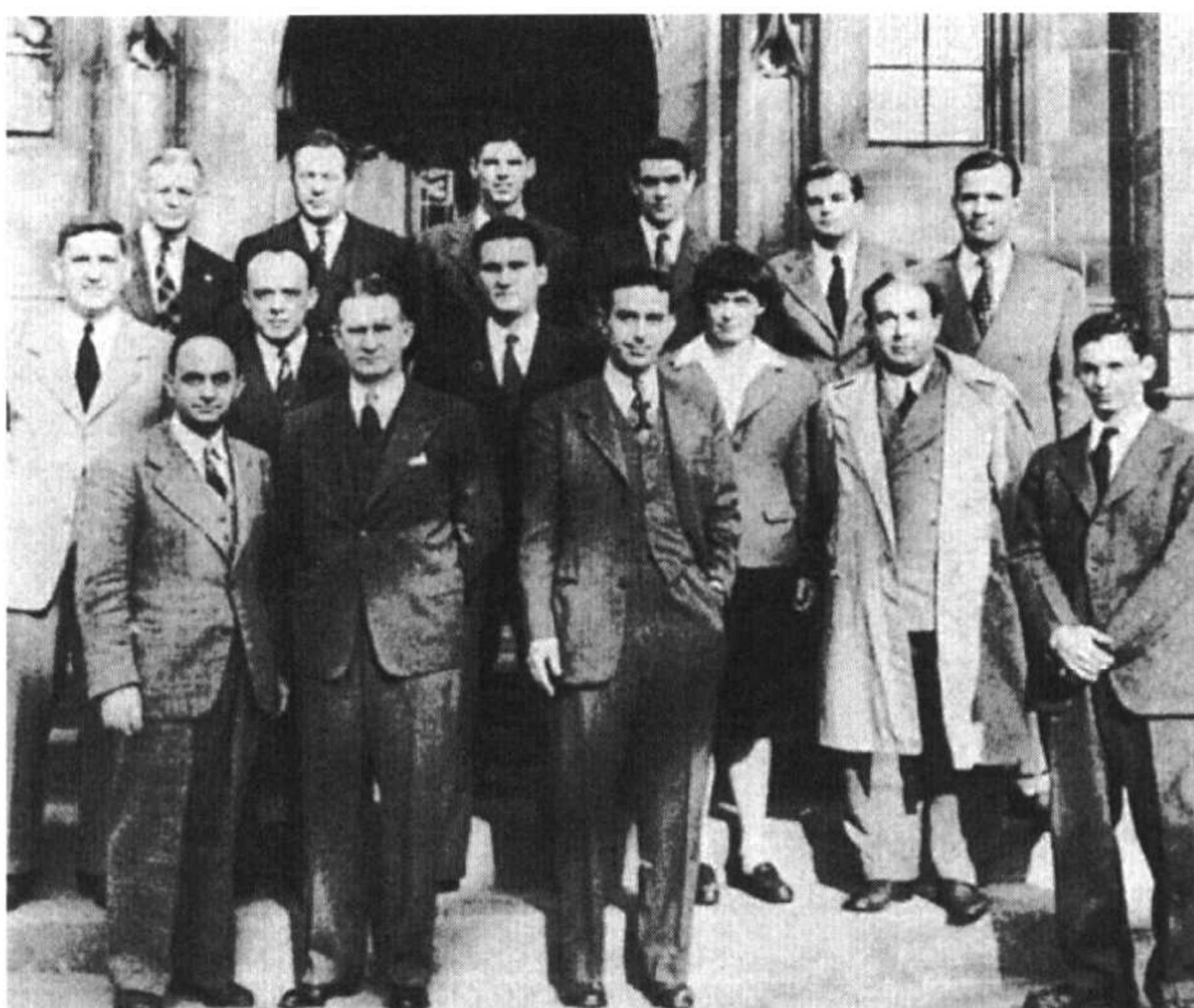
劳拉、朱利奥、勒娜和费米在纽约上岸：费米家族的美国分支从此形成



费米和罗伯特·奥本海默

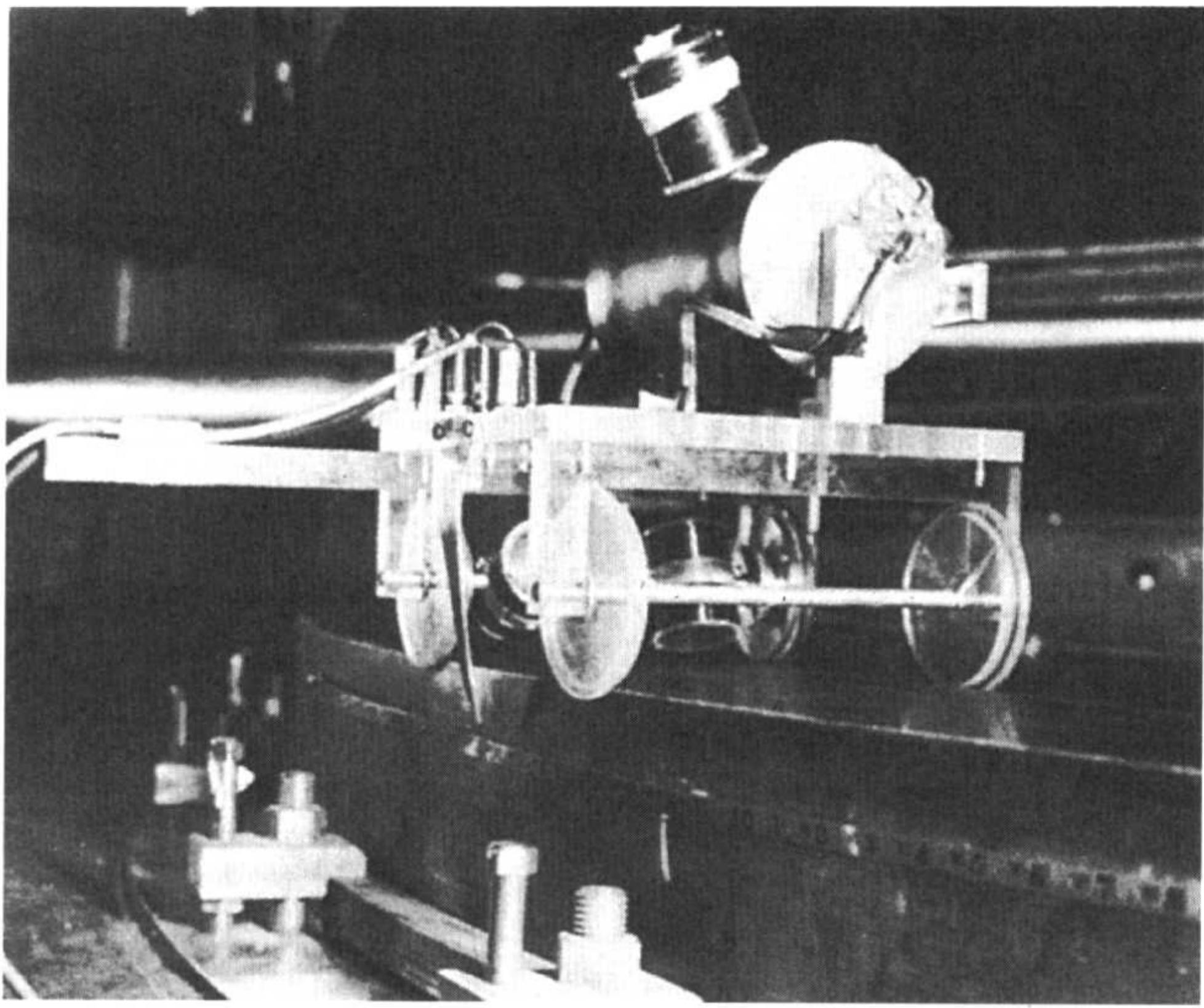


1945年，劳伦斯、费米和拉比在洛斯阿拉莫斯

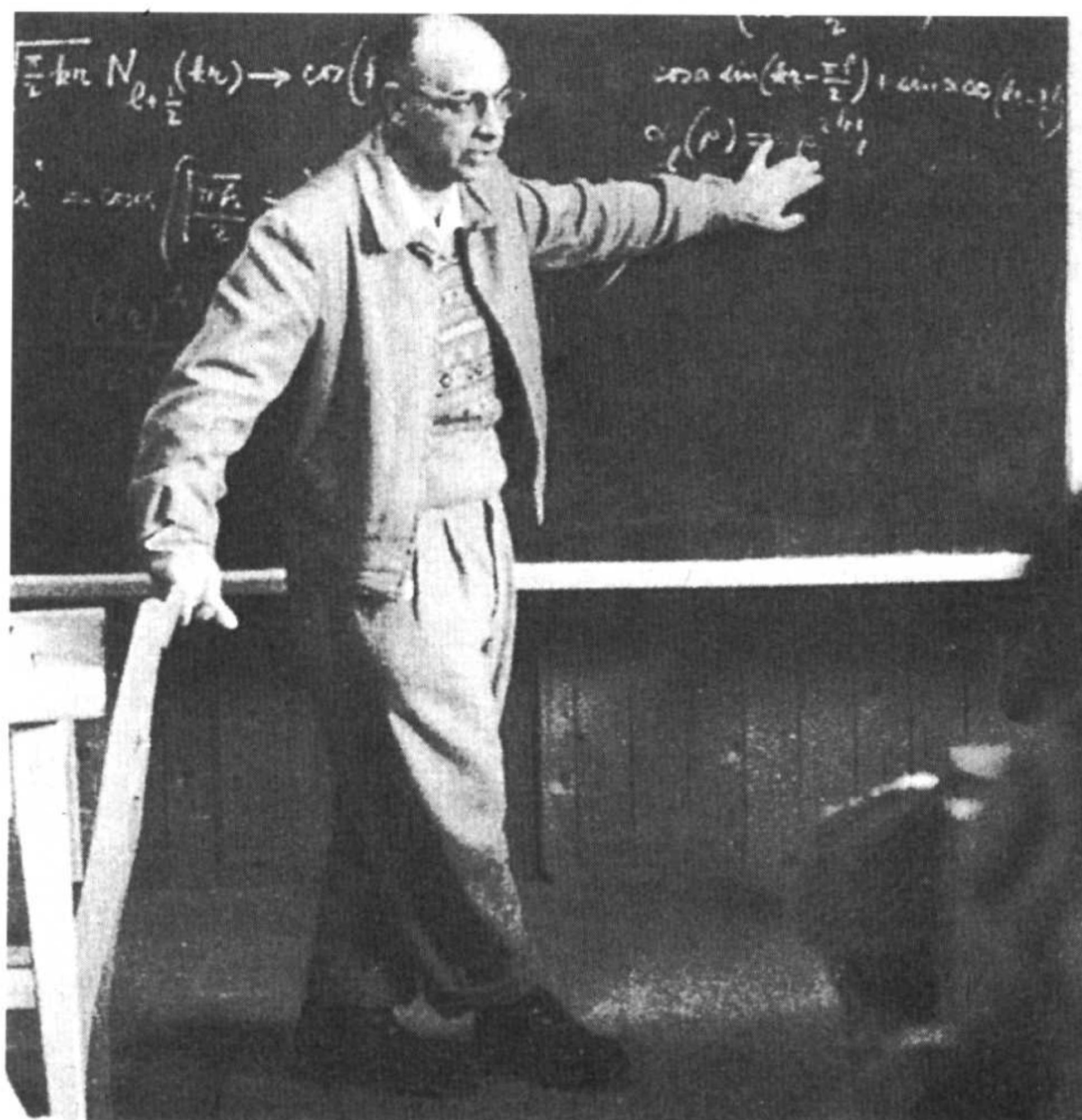


1946年12月2日，部分参加者聚会庆祝第一次反应堆实验  
4周年纪念

后排：希尔伯里(N.Hilberry)、阿利森、布瑞尔(T.Brill)、罗布勒斯(R.Nobles)、利尔(W.Nyer)、威尔肯宁(M.Wilkening); 中排：阿格纽、斯图尔姆(W.Sutrm)、李承伯格(H.Lichenberger)、马歇尔、西拉德；前排：费米、津恩、瓦滕伯格和安德森。



费米自己手工制作的回旋加速器的靶夹



费米在讲课

## 出版说明

自中西文明发生碰撞以来，百余年的中国现代文化建设即无可避免地担负起双重使命。梳理和探究西方文明的根源及脉络，已成为我们理解并提升自身要义的借镜，整理和传承中国文明的传统，更是我们实现并弘扬自身价值的根本。此二者的交汇，乃是塑造现代中国之精神品格的必由进路。世纪出版集团倾力编辑世纪人文系列丛书之宗旨亦在于此。

世纪人文系列丛书包涵“世纪文库”、“世纪前沿”、“袖珍经典”、“大学经典”及“开放人文”五个界面，各成系列，相得益彰。

“厘清西方思想脉络，更新中国学术传统”，为“世纪文库”之编辑指针。文库分为中西两大书系。中学书系由清末民初开始，全面整理中国近现代以来的学术著作，以期为今人反思现代中国的社会和精神处境铺建思考的进阶；西学书系旨在从西方文明的整体进程出发，系统译介自古希腊罗马以降的经典文献，借此展现西方思想传统的生发流变过程，从而为我们返回现代中国之核心问题奠定坚实的文本基础。与之呼应，“世纪前沿”着重关注二战以来全球范围内学术思想的重要论题与最新进展，展示各学科领域的新近成果和当代文化思潮演化的各种向度。“袖珍经典”则以相对简约的形式，收录名家大师们在体裁和风格上独具特色的经典作品，阐幽发微，意趣兼得。

遵循现代人文教育和公民教育的理念，秉承“通达民情，化育人心”的中国传统教育精神，“大学经典”依据中西文明传统的知识谱系及其价值内涵，将人类历史上具有人文内涵的经典作品编辑成为大学教育的基础读本，应时代所需，顺势而为，为塑造现代中国人的人文素养、公民意识和国家精神倾力尽心。“开放人文”旨在提供全景式的人文阅读平台，从文学、历史、艺术、科学等多个面向调动读者的阅读愉悦，寓学于乐，寓乐于心，为广大读者陶冶心性，培植情操。

“大学之道，在明明德，在新民，在止于至善”（《大学》）。温古知今，止于至善，是人类得以理解生命价值的人文情怀，亦是文明得以传承和发展的精神契机。欲实现中华民族的伟大复兴，必先培育中华民族的文化精神；由此，我们深知现代中国出版人的职责所在，以我之不懈努力，做一代又一代中国人的文化脊梁。

上海世纪出版集团  
世纪人文系列丛书编辑委员会  
2005年1月

代译序<sup>[1]</sup>

## 他永远脚踏实地

——纪念恩里克·费米诞辰 100 周年

杨振宁

力能加害而不屑，  
最显能为而不为，  
能动他人已如石，  
坚定冷静不为移；  
如彼允宜得天厚，  
自然丰赐不浪费；  
如彼诚彼美颜后，  
他人糜耗为美役。

(引自莎士比亚十四行诗)

[1] 本文原来刊登在《光明日报》2001 年 9 月 29 日第 4 版，由范世藩、杨振玉译，后经杨振宁先生的允许，作为本书中译本的代序言。杨振宁先生是费米的学生，而且是最好的学生。费米一生从来没有和学生合写过论文，但是与杨振宁先生于 1949 年合写了一篇“介子是基本粒子吗？”而且杨振宁先生也曾经为悼念费米写过几篇文章，本文是最近写下的。我想，用它作为本书中译本的代序言恐怕是再合适不过的了。谢谢杨振宁先生的慷慨大度，允许我们借用他的这篇文章。另外，为了使本文人物的中译名与本书中译本的一致，我们作了稍许的改动，特此说明。——译者注

恩里克·费米是20世纪所有伟大的物理学家中最受尊敬和崇拜者之一。他之所以受尊敬和崇拜，是因为他在理论物理和实验物理两方面的贡献，是因为在他领导下的工作为人类发现了强大的新能源，而更重要的是因为他的个性：他永远可靠和可信任；他永远脚踏实地。他的能力极强，却不滥用影响，也不哗众取宠，或巧语贬人。我一直认为他是一个标准的儒家君子。

费米最早在物理学中的兴趣似乎在广义相对论方面。1923年左右他开始深入探讨统计力学中的“吉布斯佯谬”和“绝对熵常数”。然后，正如塞格雷所写的：

当他读了泡利关于不相容原理的文章后，立即意识到他已掌握了理想气体理论的全部要素。这个理论能在绝对温度零度时满足能斯脱原则，提供低密度高温度极限时绝对熵的正确的萨库尔-蒂特罗迪公式。这个理论没有形形色色的任意假设，而这些假设是以前统计力学中求正确的熵值时必须引入的。

这项研究导出了他的第一项不朽的工作，导出了“费米分布”“费米球”“费米液体”“费米子”等概念。

按照费米研究风格的特点，在做出了这个理论方面的贡献以后，接着他就把此理论用到重原子的结构，导出了现在通称的托马斯-费米方法。对于这个方法中的微分方程，费米用一个小而原始的手持计算器求出了其数值解。此项计算也许花了他一个星期。E·马约拉纳是一位计算速度极快而又不轻信人言的人。他决定来验证费米的结果。他把方程式转换为里卡蒂方程再求其数值解。所得结果和费米得到的完全符合。

费米喜欢用计算器。不论是小的还是大的计算器他都喜欢用。我们这些在芝加哥的研究生们都看到了这个特点，而且都很信服。显然在事业的早期，他就已爱上了计算器。这个爱好一直延续到他的晚年。

费米下一个主要贡献是在量子电动力学方面，他成功地排除了纵

向场，得到了库仑相互作用。1946至1954年间在芝加哥的学生们都知道他对这个工作极为自豪(可是在今天，65岁以下的理论物理学家似乎已经很少有人知道费米的这一贡献了)。这一工作又是极有费米风格的：他看穿了复杂的形式场论，看到了其基本内含——谐振子的集合，进而化问题为一个简单的薛定谔式方程。这项工作1929年4月他第一次在巴黎提出，1930年夏在安阿伯有名的夏季研讨会中再次提出来。50年代后期，G·乌伦贝克曾告诉我，在费米的这项工作以前，没有人真正了解量子电动力学。这个工作使得费米成为世界上少数几个顶尖的场论物理学家之一。

现在我跳过费米1930年在超精细结构理论中绝妙的工作来讲他的 $\beta$ -衰变理论。按照塞格雷的讲法，费米终其一生都认为这个理论是他在理论物理学中最重要的贡献。我曾读过塞格雷在这方面的评论，但是感到迷惑不解。70年代的一天，我和E·维格纳在洛克菲勒大学咖啡室中曾有过下面一段谈话：

杨：你认为费米在理论物理中最重要的贡献是什么？

维： $\beta$ -衰变理论。

杨：怎么会呢？它已被更基本的概念所取代。当然，他的 $\beta$ -衰变理论是很重要的贡献，它支配了整个领域40多年。它把当时无法了解的部分置之一旁，而专注于当时能计算的部分。结果是美妙的，并且和实验结果相符。可是它不是永恒的。相反，费米分布才是永恒的。

维：不然，不然，你不了解它在当时的影响。冯·诺伊曼和我以及其他曾经对 $\beta$ -衰变探讨过很长时间，我们就是不知道在原子核中怎么会产生一个电子出来。

杨：不是费米用了二次量子化的 $\psi$ 后大家才知道怎么做的吗？

维：是的。

杨：可是是你和约当首先发明二次量子化的 $\psi$ 。

维：对的，对的，可是我们从来没有想到过它能用在现实的物理

理论里。

我不拟再继续讲费米此后的贡献，也不拟讲他和学生们的关系。后者，我在以前已经写过。我只讲两个关于费米的故事。

琼·欣顿(韩春)是第二次世界大战中费米在洛斯阿拉莫斯的助手之一，战后成为芝加哥大学的研究生。当我1946年后期开始为萨谬尔·阿里森工作时她也在这个实验室当研究生。1948年春她去了中国，和她的男朋友欧文·恩斯特(阳早)结婚，并定居中国，从事农业(她的经历是一个应该写下来的很有意思的故事。我希望她能很快做这件事)。1971年夏我第一次访问新中国，这是在尼克松访问中国之前半年。我偶然在昔阳县大寨的招待所中遇到了她。大寨是当时农业公社的一个模范典型。我们当然又惊又喜，共同回忆了在芝加哥的那些日子：我在实验室里是怎样地笨拙；我是怎样在无意中几乎使她受到致命的电击；我怎样教了她几句中文；我怎样借了一部汽车开车送她去拉萨拉车站，开始她去中国的漫长的旅程等等。她问我还记得在她离开前费米夫妇为她举行的告别会，这我记得。她又问我记不记得那天晚上他们送她的照相机，这我不记得了。然后她说在告别会前几天，她觉得应该告诉费米她打算去中国共产党控制区。考虑几天后她终于告诉了费米。费米说什么呢？“他没有反对，对此我永生感激。”我知道她的这句话的分量，回到石溪后我立刻给在芝加哥的费米夫人打了电话，告诉她我在大寨遇到琼的全部过程。几年以后，琼自己到了芝加哥，有机会访问了费米夫人和她的女儿勒娜·费米。

现在引述我的选集(1983)第48页中的一段话作为结束：

不论是作为一位物理学家还是作为一个人，费米深为所有的人所尊敬。我相信，他之所以使人肃然起敬是因为他是一个扎实的人。他的所有表现无不散发出他的这种品格的魅力。50年代早期，美国原子能委员会极重要的顾问委员会的主席J·R·奥本海默告诉我，

他曾试图劝说费米在任期满后继续留在顾问委员会中。费米不愿意。奥本海默坚持。最后费米说道：“你知道，我不相信我自己在这些政治问题方面的见解总是正确的。”

# 前　　言

1

这是一本恩里克·费米(Enrico Fermi)的科学传记。物理学是费米生活中最重要的东西，虽然他生活在一个人类发生巨大悲剧的时代，而且他也成为这个时代的主要参与者，但他个人只是以科学发现中智力冒险的形式卷入其中。他生活中其他的一些事情，在劳拉·费米(Laura Fermi)的《原子在我家中》<sup>[1]</sup>一书中有确切的描述。我们有许多观点不一样：劳拉是费米忠实的妻子，而我是费米的一个朋友、一个弟子和一个同行科学家。

我偶尔试图猜测：什么是我不能肯定的？这些猜测后来都被证实是对的。费米不容易接近，但偶然相识者不会有这种印象。我的资料来源除了回忆以外(不十分可靠)，还有保存在芝加哥大学图书馆的费米的文件和手稿，以及我在正文中引用过的一些书。他的信保

前

[1] 此书有中译本，《原子在我家中》(Atoms in the Family)，劳拉·费米著，何兆武、荷芬奇译，科学出版社，1979年；商务印书馆，1988年。——译者注

言

存下来的很少，费米不怎么写信，保存下来的信又只是其中的一小部分。如果说我给他写的信是典型的公务信件，那么他在美国居住期间写的信几乎全都是谈公务或者谈科学问题的，而这些科学问题又都在日后发表的文章中谈到过。早期罗马的通信倒是有一些有趣的内容，可惜又不幸在乘船从意大利到美国时，统统在命运不佳的“安德雷·朵丽亚号”船上遗失了。

我充分利用了《费米论文选》和其中导言的一些资料。费米夫人、埃道多·阿玛尔迪(Edoardo Amaldi)和恩里克·佩尔西柯(Enrico Persico)检查了我这本书的手稿，对他们友好的帮助，我表示衷心的感谢。他们的帮助有无可比拟的价值，但他们不对我的作品负责。R·福尔夫人(R.Fowell)耐心地打出了我的手稿，我的妻子为本书编写了索引，我非常感谢他们的帮助。

玛丽·居里曾写道：“在科学事业中，我们应该注意的是事，而不是人。”费米也曾经讲过类似的话。但是，人们渴望了解伟大科学家的个性，我认为这也是正常的，很多伟大科学家的经历也证明了这一点。我试图满足这种好奇心，当然是在我认为合理的范围内，而且应该用一种客观的精神。

## 目录

代译序 .....	1
前言 .....	1
第一章 青少年时期 .....	1
第二章 走上讲台 .....	29
第三章 罗马大学教授 .....	53
第四章 原子弹的诞生 .....	113
第五章 芝加哥大学教授 .....	172
附 录 .....	206
附录一 给恩里克·佩尔西柯的信 .....	206
附录二 诺贝尔奖演讲 .....	234
附录三 最后一次报告 .....	242
附录四 关于链式反应堆的报告 .....	252
索引 .....	261
译后记 .....	275

目  
录

## 第一章

# 青 少 年 时 期

1

在罗马，星期三是一个集市日。1915年年底的一个星期三，一个矮而壮实的14岁男孩在旧书市拥挤的人群中寻找他想买的书。他从3千米以外的家里赶到这儿，目的是寻找物理学书籍。这个男孩的表情十分严肃而坚决，还有些凝重。第一次世界大战正如火如荼地进行，冗长的死亡名单不断地公布，年轻的一代首先承担着这些不幸的事件。这个男孩最近也经历了个人的悲伤事件：比他大一岁的哥哥去世了。他闭口不谈这一不幸，只是在旧书市中寻找书籍，这可以帮助他忘记这件令人悲伤的事情。他发现书市中有许多大本的神学书(罗马有数不清的教士)、许多年以前出版的小说和艺术书籍，就是没有物理学方面的书，他似乎在浪费时间。他几乎丧失了信心，随手打开了两本已经没有了书名的书。当他看见书里写满了数学符号后，他高兴起来。这是两本物理学书，正是他要寻找的。翻到扉页，他看到书名是：《物理数学初步……》，作者是耶稣会的卡

拉法(Andrea Caraffa)，出版时间是 1840 年，还是拉丁文版本。虽然如此，有总聊胜于无吧。冗长乏味的拉丁文语法学了这么久，而且成绩总是最好，现在找到用武之地，总算没有白白浪费时间。经过一番讨价还价后，他那很少的零用钱刚好够买下宝贵的书。恩里克·费米就这样获得了他的第一本物理学书籍。

我是在他买书之后的第十年，才首次听到他讲这个故事。那时他正在一次演讲中讲一些令人惊讶的事情——对于 19 世纪的卡拉法牧师来说是不可想像的一些事，听众们是罗马最著名的一些数学家、我的一些同事和一些只比讲演者年轻几岁的大学生。在这次会上，我第一次认识了他——我今后的老师和朋友。

20 年后一个 7 月的凌晨，在新墨西哥州的沙漠里，费米和我亲眼目睹了第一次核爆炸的可怕景象，这次爆炸是他工作的直接成果。

又过了差不多 10 年之后，在芝加哥大学的一个小礼堂里，一群深深陷入悲哀的人在哀悼他们敬重的朋友、老师和同事。牧师绞尽脑汁才找到一句适合死者和这种场景的话，这句话是从圣弗朗西斯(Saint Francis)的《万物颂歌》中找到的，它能深刻反映费米对自然深深的挚爱：

最高、最有权威和善良的主，您的一切，都值得我们赞颂！  
我们忠心祈祷您的荣光和盛誉。

恩里克·费米 1901 年 9 月 29 日出生于罗马。他的祖辈原先是农民，生活在意大利北部波河流域靠近皮亚琴察最肥沃的地区。恩里克的祖父斯蒂凡诺(Stefano Fermi)是费米家族放弃种地的第一个人。他通过坚持不懈的发奋努力，改善了他的社会地位，并在帕尔玛公爵(Duke of Parma)手下谋得一个不高的职位。帕尔玛公爵是一个小国的君主，他是在拿破仑失败与维也纳和平时期统治波河流域的一个小国君主。帕尔玛的公爵们受到奥地利强烈的影响，代表了保守、专制

思想的势力。但他们似乎与居住在这个小区域里人数不多的臣民关系不错。我们可以猜度，斯蒂凡诺是一个坚韧、极度节俭的人，他聪明而又有野心，既褊狭又果断。恩里克在婴儿时期见过他，以后很久都记得他严厉的祖父。尽管工作非常努力，斯蒂凡诺仍然比较穷困。他在 1905 年 87 岁去世时，只有一间小小的房子，另外在皮亚琴察附近的卡沃索镇有一小片土地。斯蒂凡诺的妻子吉妮娅·伯冈兹(Giulia Bergonzi)出生于 1830 年，比斯蒂凡诺小 13 岁。她是一个典型的 19 世纪意大利农村妇女，意大利小说家的笔下常常出现这种女人。她对教堂无比虔诚，有一个大家庭，每天干很长时间的家务劳动，具有善于管理家务的人的一切美德。当着其他人的面，她常常简单地叫丈夫为“费米”。她的儿子和孙子都喜爱她，她只要有空就为他们朗读曼佐尼(Alessandro Manzoni)<sup>[1]</sup>写的经典天主教小说《婚约夫妇》，或者朗读她的祈祷书——但她从来没有学习写字。她的孩子一直都是虔诚的教会信徒，但恩里克的父亲阿尔伯托(Alberto Fermi)不是。作为祖母，吉妮娅对阿尔伯托的孩子们都不遵循家族的宗教传统感到十分难过，但她尊重儿孙们的小选择。当孙子们看望她的时候，她总会给他们一些小礼物，这些礼物虽小，但对她特别紧张的收支来说，也不是微不足道的。

阿尔伯托·费米是斯蒂凡诺的二儿子，于 1857 年 4 月 3 日出生在皮亚琴察附近的波戈努尔。他在一种严峻的环境中长大，在这种环境里，社会和经济进步的需求与穷困的矛盾，使他很早就出门挣钱。我不知道阿尔伯托在正规教育中学到了些什么，但他好像上过一个职业高中。这种学校是在意大利统一后不久建立的，它们主要是让年轻人学一些实际的知识，而进这种学校的孩子多半没有钱接受高等教育。这些学生很少进入大学(即工程学院)，一般从职业高中毕业后就没打算继续学习。

[1] 曼佐尼(1785—1873)，意大利诗人、小说家。——译者注

阿尔伯托在 1882 年前应该找到了一份有报酬的工作，但我找不到有任何记录证明这一点。1882 年，他被意大利北方一家私人铁路公司雇用，这家公司是阿尔塔公司。从此，他开始了作为铁路雇员的生涯，并一直顺利地干到 1921 年退休为止。由于意大利铁路公司合并，好几个公司都雇用过他，后来他还升职做了行政工作，这使他有机会到过意大利的许多地方。1885 年，他在那不勒斯为地中海公司工作。后来，很可能是在 1888 年，他到罗马工作，1890 年任会计员，1898 年任巡视员。到 1901 年，他获得骑士称号，这是他获得的第一个荣誉，不过当时这种称号已经由于滥用而贬值了。当国家把铁路收归国有时，阿尔伯托成了政府的一名公务员。最后他获得了巡视主任这样一个比较高的职位，相当于军队中的陆军准将。他还获得过圣毛里齐阿(Saint Maurizio)和拉扎诺(Lazzaro)荣誉勋章，还获得过意大利王冠荣誉勋章。阿尔伯托没有受过高等教育，却能获得这么高的职位和这么多的荣誉，说明他有非同一般的能力。<sup>[1]</sup>人们通常以为他严肃、沉默寡言，但是他在刮胡子的时候常常哼维尔迪(Giuseppe Verdi)<sup>[2]</sup> 的抒情歌曲(对费米来说，这是他最初的“音乐”教育)。

费米的母亲是艾达·德·格蒂斯(Ida de Gattis)，她 1871 年 4 月 10 日诞生于意大利另一端的巴里，她的父亲是一位军官。她在师范学校学习过，一生的大部分时间在小学教书。她的孩子和孩子们的朋友认为她非常聪明，而且十分能干。1898 年她与阿尔伯托结婚时，阿尔伯托 41 岁，艾达才 27 岁。尽管他们的年龄相差 14 岁，但这位年轻的妇女在这个家庭里很有威信。他们在格耶塔路的公寓里住了 10 年，这所公寓在罗马火车站附近。1908 年，他们搬到恩伯托亲王路 133 号的一所公寓里，恩里克在这儿度过了他的青少年时期。

[1] 感谢意大利国家铁道部为我提供了阿尔伯托·费米的一些个人资料。同时参见 Laura Fermi, *Atoms in the Family* (Chicago: University of Chicago Press, 1954), chap. 2; and private letters of Maria Fermi. ——作者注

[2] 维尔迪(1813—1901)，意大利歌剧作曲家。——译者注

1870年，罗马被定为意大利首都后急急忙忙开发了一些地区，费米家住的公寓就位于这样的地区。此后，教皇世俗权力逐渐衰减，大量的工人、政治家、商人和其他一些人急速涌进罗马，使罗马的人口从1870年的18万人增加到20世纪初的近40万人。于是罗马经历了一阵建筑业的突然繁荣时期，一些全新的城区迅速建立起来，这些城区以丑陋而广为人知：全是千篇一律的正方形格子式建筑，与罗马原有的建筑特色完全不协调。虽然这些建筑以一种不可理喻的机械方式模仿文艺复兴晚期的宫殿式建筑，但这些浮华的建筑却不能使居住者感到舒适和愉快。住进这些城区的居民大部分是从意大利其他地方来的移民，他们多属于政府较低机构和小公司的白领阶层。

费米家居住地区社会成员的构成，对该地区的学校(尤其是中等学校)有重要的影响。罗马的高中是一种文科中学(humanistic school)，这种学校的唯一目的是培养学生考入大学。它们的教学计划是统一的，但不同的学校在学生的教育上却有微妙而重要的不同。这种不同显示了学生家庭社会地位的不同，这就好像英国学生的学校领带显示不同的地位一样。费米上的学校主要面向中下阶层的学生。

费米家的第一个孩子是女孩，叫玛丽亚(Maria Fermi)，生于1899年。1900年，第二个孩子出生，是男孩，叫朱利奥(Fermi Giulio)；1901年，第三个孩子出生，他就是恩里克·费米。按当时一般的做法，婴儿要交给乡下的乳娘哺乳。费米直到2岁半才回到罗马的家里，并很快适应了新的生活，而且非常依恋他的父母和姐姐哥哥。他的妈妈非常强调责任感和服从，不过这些都与理智和对家庭的热爱结合在一起。她对孩子们影响很大，她以自己的楷模行为激发孩子们对生活和工作的想像力，她的爱对家庭具有一种和谐的影响。孩子们没有接受宗教的教育，不过为了满足祖父的感情需要，他们都受了洗礼。恩里克·费米对待教会的态度最终完全和祖父不一样，他终生是一个不可知论者。

费米很早就学会了读和写，可能是向姐姐和哥哥学的。他很快

就显示出惊人的记忆力，这表现在他学习阿里奥斯托(Ludovico Ariosto)<sup>[1]</sup>的叙事诗《疯狂的罗兰》上，这是写于 1530 年左右的英雄喜剧诗歌，写的是摩尔人入侵西班牙的事情，主题是描写骑士精神和罗兰疯狂的爱。这部叙事诗曾经使伽利略为之倾倒。我感到奇怪的是，费米何以如此被这部诗所迷醉，他姐姐记得他曾以无比的欢乐背诵这部诗的摘录。到成人以后，他似乎已经不大记得阿里奥斯托了，不过他倒是记得很多但丁的诗。

6岁时，费米像其他孩子一样，进入了完全世俗的公立学校。他的学习成绩不错，总是得高分，而且很快显示出他在数学上非同一般的能力。

费米从来没有告诉我他是如何开始接触数学的。可能是他父亲的一个朋友引导过他。意大利铁路行业需要很高水平的技术知识，所以阿尔伯托的同事中有些人对数学很有兴趣，也读过不少数学书。至少，费米曾经告诉我，他最大的挑战之一是在 10 岁时试图了解代表圆的方程  $x^2 + y^2 = r^2$  到底说的是什么。肯定有人向他讲过这个方程的意义，但是他要自己去弄明白这个方程在描述什么。

10岁正是一个孩子离开小学进入 5 年中学的年龄；5 年中学读完以后，还可以为升大学再读 3 年的预科学校。中学和预科学校强调的课程是意大利语、拉丁语和希腊语，还有历史、地理、数学、物理学、自然科学史、哲学和法语等课程。所有这些课程都是必修的。对成绩中等的学生来说，课程负担很重，内容也比较艰深。

这种教育制度的缺点是过分强调文科课程，对修辞能力要求很严格，并且形成一种华而不实的文风。在高中为费米讲授意大利语的是费德佐尼(Giovanni Federzoni)教授(他的儿子后来成了意大利法西斯党的一个领导人)，他对但丁素有研究。他朗读但丁的《神曲》似乎

---

[1] 阿里奥斯托(1474—1533)，意大利诗人，以史诗《疯狂的罗兰》而闻名于世。  
——译者注

强烈地感染了费米。费米能背诵这部著作的许多段落，并且在日后偶尔会用一种淡淡的幽默引用这些段落，好像取笑自己一样。另一方面，费米没有学会任何特别精巧的文风，他多年写作的风格是非常实用的。他可以清晰地表述自己的想法，因为他的思想是清澈的。但在他早期的论文，以及他 1927 年写的《原子物理导论》中，他既没有努力使文风洗练，甚至也没有试图避免过分的单调和粗心；到了晚年，为了表达的精确，他似乎有些故意卖弄文辞，这与他早期论文的风格不一样，与他成熟时期明白易懂的风格也不一样。

我不记得费米曾经向我提到拉丁语的学习，但很多年以后，在洛杉矶，有一天我告诉他，我前一天晚上梦到高中希腊语结业考试的往事，他这时向我提到，他以前也做过同样的噩梦，不过是学习拉丁文。

他中学时考试成绩一直很好，很轻松地就成为班上最好的学生。由于他习惯于秩序和纪律，所以他有很多富裕的时间由自己支配，他把大部分自由时间用来做他喜爱的科学的研究。

他最亲密的朋友是他的姐姐和哥哥，他曾和哥哥一起制造了一个电动机和其他一些机械玩具或电动玩具。朱利奥只比费米大 1 岁，他像费米一样聪明过人，但他具有一种艺术家那样热情的性格，他们的母亲也特别喜爱他。这兄弟俩儿总是在一起玩耍，形成了一个对外多少有些封闭的小世界，他们在这个小世界里觉得非常满足。

1915 年 1 月 12 日，这时费米还不满 14 岁，一个非常严重的打击突然意外地落到了费米的家庭。朱利奥的喉咙上出现了一个小脓包，需要手术治疗。没有人想到这有什么危险，但是，他却意外地死于麻醉。这个悲剧完全摧毁了费米的母亲，她患上了严重的忧郁症，经常几小时不停地哭叫，完全不能帮助这个家庭面对这一悲伤事件。费米的悲痛同样非常深沉，但是他沉默寡言和内向的性格，使他的感情从不显露出来。他失去了他唯一的哥哥和最好或几乎是唯一的伙伴。在这悲伤的日子里，唯一的安慰是学习，他让自己学习

更深、更难的内容。

幸运的是，他不久找到了一个新的朋友——恩里克·佩尔西柯。佩尔西柯是朱利奥的同学，但他与费米兄弟俩不是很亲密的朋友，这是因为费米兄弟两人关系太亲密，几乎不与外人交往。在本书后面我们会经常提到佩尔西柯，他于1900年出生于罗马。他对科学也很有兴趣，后来他和费米成为意大利最早的两个理论物理学教授。佩尔西柯曾描述过他与费米早期的友谊：

当我14岁首次见到费米时，我惊讶地注意到，我的这位同学不仅像一般所说的那样“科学课程很好”，而且具有非同一般的智慧，他与我以前知道的其他男孩和我认为是聪明的好学生完全不一样。

我们逐渐养成一起散步的习惯，从罗马市的一端走到另一端，以年轻人的急躁讨论各式各样的问题。但在这些青春期的谈话中，费米表现出一种思想的精确性、一种自信和原创性，它们总是让我感到惊讶。还有，他在数学和物理学上拥有的知识，远远超过学校教的。他不是以一种死记硬背的方式理解这些知识，而是可以非常方便和熟悉地使用这些知识。即使在这个时期，对于他来说，学习一个定理或一个定律主要意味着如何利用它们。

为了表达我对几乎同龄的费米智力的惊讶和羡慕，我曾多次自问：我是否曾经把他称为“天才”。也许没有，因为对于一个儿童，或者也可以说对大部分成年人来说，“天才”这个词似乎并不与智力有关，而一般与老年、著名和不可接近的人有关。我的朋友的思想对我来说太新鲜，以致无法用一个名称来形容。<sup>[1]</sup>

在罗马长距离散步时，他们时常到百花广场(Campo dei Fiori)的市

[1] Enrico Persico. Souvenir de Enrico Fermi, Scientia 90 (1955): 316. ——作者注

场去，就是本书开始提到的那个市场。百花广场在罗马文艺复兴中心的最繁华地带。这里有一些壮丽的古典宫殿，例如米开朗琪罗(Buonarroti Michaelangelo)<sup>[1]</sup>修建的法尔内塞宫(Palazzo Farnese)和桑迦罗(Sangallo)<sup>[2]</sup>修建的坎榭列利亚宫(Cancelleria)。它们仍然是1500年罗马无言的证人。在这个广场里，布鲁诺(Giordano Bruno)<sup>[3]</sup>被烧死在火刑柱上，这件事是同一时期黑暗势力的证明。不过，费米到这儿来不是寻求历史的启示，只不过是来寻找二手书。正是在这儿，他找到了卡拉法写的教科书。这本书是一本不错的大学教科书，包含1840年前的力学、光学、声学和天文学知识。书中还包含数学导论，其中有微积分；虽然它是18世纪应用的形式，不太严密，但具有一种代数的技巧。费米肯定非常认真地读过这部书，因为在书中有一些旁注和对错误的纠正，还有几页费米手写的笔记残页。这部两卷本的著作为费米将来的学习打下了坚实的基础。

大约也是这个时期，费米遇见了另一个对他后来发展起了重要作用的人，他就是阿多夫·阿米迪(Adolfo Amidei)——费米父亲的一个同事。阿米迪是一位工程师，这就是说他在大学受过高级技术训练。费米多次对我提起阿米迪，1958年，我曾请求这位老人回忆一下费米年轻时的事情。他给我写了一封信，信中这样写道：

1914年，我是铁道部的首席巡视员，这个职位比巡视主任要低一点，而巡视主任是阿尔伯托·费米。我们回家时走同一路，所以常常一起步行。这时恩里克·费米(我同事的儿子)总是与我们一起步行，因为他有一个习惯，每天在他父亲办公室门前等他一起回家。这个小伙子在知道我曾经是一个热爱数学和物

[1] 米开朗琪罗(1475—1564)，意大利雕刻家、画家和建筑家。——译者注

[2] 桑迦罗的家族有好几位都是意大利的建筑家和雕刻家。——译者注

[3] 布鲁诺(1548—1600)，意大利哲学家，因宣传哥白尼的日心说被宗教裁判所烧死于百花广场。——译者注

理学的大学生之后，就总是抓紧机会问我一些问题。那时他 13 岁，我 37 岁。

我记得很清楚，他问我的第一问题是：“据说几何学有一个分支，它能够不利用量的概念，就可以奠定一些重要的几何特性，这是真的吗？”我回答说，这是千真万确的，这种几何就是投影几何学。恩里克听了以后又问：“这些特性又怎么能应用于实际呢？例如用于土地测量和工程学。”我觉得这个问题问得很有道理，我尽量向他解释了一些很有用应用价值的特性，然后我告诉他，明天我将带一本西奥多·雷耶(Theodor Reye)教授写的投影几何学<sup>[1]</sup>给他(我也这么做了)，这本书里有一个导论，用非常优美的风格成功地解释了这门学科的实用性。

几天后，恩里克告诉我，他读完了导论，还读了前三讲，还说只要一读完就把书还给我。两个月之后他把书还给了我，我问他遇到了什么困难没有，他回答说：“没有遇到困难。”他还说，他证明了书中所有的定理，还迅速地计算了书末附录的所有问题(有 200 多个题)。

我十分吃惊，因为我记得书中有些问题很难，我曾花了很多时间都无法解答，甚至还放弃了这些问题。我想知道费米是否真的解决了这些问题，结果他向我证明他真的解决了。

这是千真万确的。这个孩子在完成中学课程的许多练习后，利用那很少一点的业余时间彻底学懂了投影几何学，并且没有任何困难地解出了很多附加的难题。

我开始相信，费米是一个真正的神童，至少在几何学上是一个神童。我把这个想法告诉了恩里克的父亲。他回答说，是的，他的儿子在学校里是一个好学生，但是没有一个老师知道这个孩子是一个神童。

[1] Theodor Reye, *Geometria di Posizione*, trans. A. Faifofer (Venice, 1884). ——作者注

后来我知道费米在学习他买来的二手教科书中的数学和物理学，想找到科学地解释陀螺和回转仪运动的内容，但书中没有，于是他不断地想知道如何解决这个问题。后来他成功地找到了对这种神秘运动各种特性的解释，不过这种办法具有一些神秘的特性。后来我对他说，如果想得到一个严格的解释，就必须学习一门叫理论力学的课程，但要学习这门课程，得先掌握三角学、代数、解析几何和微积分。我劝他在没有学习上述课程之前，不要试图去研究陀螺和回转仪的问题，因为在学了这些课程之后，就可以轻而易举地解决这个问题。费米相信我的劝告是对的。此后我就不断循序渐进地给他一些书，使他能具有清晰的思想，并打下牢固的数学基础。

我借给他的书和借出的日期如下：

1914年，三角学。赛瑞特(Serret)写的平面和球面三角学；

1915年，代数。恩勒斯托·色赛诺(Ernesto Cesàro)写的代数分析教程，比萨大学比安奇(L.Bianchi)写的解析几何；

1916年，微积分。比萨大学狄尼(Ulisse Dini)<sup>[1]</sup>写的微积分。

1917年，理论力学。泊松(S.D.Poisson)<sup>[2]</sup>写的《力学教程》。

我还认为，让他学习格拉斯曼(H.G.Grassmann)<sup>[3]</sup>写的《线性扩张论，数学的新分支》(1844年)一书是合适的，尤其是这本书中有皮亚诺(Giuseppe Peano)<sup>[4]</sup>写的一个导论，介绍了演绎逻辑的运算。这些书是1918年借给他的。我之所以认为合适，是因为《线性扩张论》这本书有些类似矢量分析，是学习几何学、理论力学等不同课程非常有用的工具。在这种计算体系中，不

[1] 狄尼(1845—1918)，意大利数学家。——译者注

[2] 泊松(1781—1840)，法国数学家。——译者注

[3] 格拉斯曼(1809—1877)，德国数学家。——译者注

[4] 皮亚诺(1858—1932)，意大利数学家，符号逻辑奠基人。——译者注

用决定几何体的数字(坐标)来计算，而是用几何体自身来计算，由此获得的公式既简单又易于理解。而且这种计算在特殊情形下还包含解析几何，因此特别适合于学习理论力学和图解静力学。

费米发现矢量分析很有趣、很有用，而且学习起来也不困难。从1917年9月到1918年7月，他还学习了一些我借给他的工程学方面的书。

1918年7月，费米高中毕业(第三年跳级了)，于是他开始考虑是否进罗马大学学习。恩里克和我就这个问题讨论了很久。

首先我问他，他是否愿意献身于数学或物理学。我记得他的回答是：“我热衷于学习数学，是因为我认为这是学习物理学不可缺少的；而我愿意无条件地献身于物理学。”然后我问他，他的物理学知识是否像数学知识那样丰富和深入。他回答说：

“我想应该更丰富和更深入，因为我已经读过所有最著名的物理学著作。”<sup>[1]</sup>

我完全相信，当他读过一本书以后，哪怕只读一次，他就能完全弄懂，而且永远不会忘记。例如，当他读完狄尼写的微积分教科书后还书给我的时候，我对他说可以一年以后再还我，这样，当他需要的时候可以重新翻阅。他的回答让我颇为吃惊，他说：“谢谢，但我不需要它再放在我这儿了，我已经记住这本书的内容了。事实上，过了几年之后，对于书上的一些概念，我会比现在懂得更加清晰，如果我需要利用某一个公式，我知道如何用更方便的办法把它推导出来。”

事实上，由于费米对科学有一种非同一般的天赋，他具有一种惊人的记忆力。

后来，我觉得已经到了适当的时候向他提出我为他思考了一

[1] 可以与附录一中的1918年8月18日的明信片对照。——作者注

年的设想，从我建议他应该学习德语时，我就开始思考了，因为我已经预见到直接用德语阅读德国的科学出版物，而不必等待翻译成法文或意大利文是非常重要的。我提出这个建议，他立即赞同并开始学习德语。

我的计划是：费米不应该进罗马大学，而应该进比萨大学。这样，他首先得考取比萨大学的高等师范学院，学完该学校的课程。这不仅仅是因为高等师范学院为学生提供食宿，减轻了家庭的负担，更重要的是对费米有以下几项好处：

1. 该校有一个藏书丰富的图书馆向学生开放；
2. 该校设置的课程齐备，还设有许多全新的课程；
3. 费米学习了德文和通晓了法语后，他可以与巴黎高等师范学院的教授或德国科学家通信联系，这些教授和科学家每年发表有关物理学新进展的论文，而物理学进展极为迅速(量子理论、相对论等)；
4. 他在那儿可以专心致志地学习，在朱利奥去世后，他家里总是笼罩着一种悲哀的气氛，这种氛围显然不利于费米的学习。

费米立即认识到我的建议很好，并决定按计划行事，虽然他知道他的父母会反对这个计划。我立即到比萨去打听更详细的情形，以便能保证恩里克可以考取高等师范学院。回罗马以后，我立即和费米分析所得到的新的信息。我确信他的数学和物理学知识是很厚实的，我对他说，他不仅考取没有问题，而且还一定会是考生中最好的。后来事实果然证实了这一点。

费米的双亲不赞成我的计划，因为他们舍不得与儿子分别。他们说：“我们失去了朱利奥，现在我们再让费米离开我们到比萨去学习4年，何况罗马也有很优秀的大学。这样合适吗？”

我耐心地说服他们，说他们的牺牲将会给他们的儿子带来辉煌的未来。最终，他们同意了，我的计划因而得以实现。费米的妻子在她写的《原子在我家中》一书中写道：“最后，费米和

阿米迪联盟获得了胜利。”

我上面所用到的费米的话，是非常精确的，因为我在每次谈话的当天就记录了下来。

阿米迪的信是一份非常重要的文件，虽然它写在事后很多年，但在这儿引用是十分合适的，因为这封信能够把阿米迪在整个事件中的作用说得一清二楚。

在费米学习物理学理论知识的同时，他还学会了各种实验技术。前面我说过，他和哥哥曾经一起做电动机、飞机模型、机械玩具和电动玩具。后来在他和佩尔西柯一起在学习物理学知识的同时，他们的实验技巧日臻娴熟。据我所知，他们曾经想精确地测量罗马的重力加速度、自来水的密度以及类似的一些数值。他们把测量的某些结果记下来，还作了一些注释，其中包括关于错误和测量精度颇有深度的讨论。大约也是这个时期，他们还对陀螺(或回转仪)作了深入的研究，这个研究给年轻的科学家带来了许多值得思考的问题。经过艰苦的研究，费米提出了一个让他们两人感到满意的理论，但其详细的记录已经遗失了。

令传记作者感到幸运的是，佩尔西柯保留了1917~1926年费米写给他的信件。他好心地把这些信件的复印件给了我，这些信件生动地展示了年轻费米的生活和个性。这些信件全部放在附录一中。

从邮戳上看，第一封信写于1917年9月7日。费米在信中说他每天早晨到罗马公共图书馆看书。为了准备比萨大学高等师范学院的入学考试，他正在系统地学习乔尔森(O.D.Chwolson)写的厚厚的物理学教科书，这本书在当时是一本标准的教科书。大约正是这个时期，他还掌握了泊松的《力学教程》(在前面阿米迪的信中提到过)。泊松的书给他留下了深刻的印象，他经常向佩尔西柯提到这本书，甚至在多年之后还向我提到过这本书。显然，他彻底地了解了这本书。几乎是40年之后，当他告诉我关于力的合成的一个精致的证明

时，我颇感惊讶，因为这完全不像我熟悉的费米风格。正好在那个时候，我发现了一本老版本的泊松的旧书，就买下来作为礼物送给了他。我仔细看了一下这本书以后，发现费米完全记住了书上已有的证明，并且再次重复了泊松对这一定理的证明。

1918年11月14日，费米参加了在罗马举行的高等师范学院入学考试，他的论文题目是“声音的性质”。在作了一些基本介绍后，他在论文(保存在高等师范学院档案里)中列出了一根振动棒的偏微分方程；用傅里叶分析解出这个方程后，他得出了本征值和本征频率。这篇论文如果在这个水平上充分展开，完全可以达到博士考试的水准，远远超过大学入学考试水平。<sup>[1]</sup>看来，这个非同一般的年轻人对这场大学入学考试进行了充分的准备。

主考人是皮塔莱利(Giuseppe Pittarelli)教授，他在罗马大学教画法几何学。他是一位优秀的数学家、一位不错的业余画家，还是一个仁慈的绅士。费米论文非同一般的水平使他大吃一惊，因此决定见一下论文的作者。虽然这种面谈并非规则上的要求，他还是让费米来见他。面谈结束后，皮塔莱利告诉费米：在他的长期教授生涯中，他从来没有遇见这种事。他说费米是一位极不平常的人，将来必定会成为一个了不起的科学家。至于考试，他说，费米肯定可以获胜，如果有人能与他匹敌，那将是不可思议的。在考试后好多年，费米非常欣慰地把这个故事告诉我，并且对皮塔莱利的鼓励和赞扬十分感激，因为这些鼓励和赞扬给了他自信。1918年秋，费米离开罗马来到比萨的高等师范学院，除了假期，此后的4年他一直呆在比萨。从一个现代化大城市(即使在1918年，罗马也具有这种特

[1] 这篇文章的一部分在《费米论文选》中有影印件(The Collected Papers of Enrico Fermi, 2 vols., Chicago: University of Chicago Press, 1962, 1965) vol.1, p.xxii。这两卷著作包括了费米的主要著作，它们按年代排列并作了序号。在提到本文选中的某一篇文章的时候，我们用的是缩写形式，如 FP 123，其中 FP 指的 The Collected Papers of Enrico Fermi, 123 指的是引用论文的序号。当我们特别提到文选中特别的页码，我们用的是 FP, 1: 78，冒号前的是卷数，冒号后的是页码。——作者注

征)，费米来到一个宁静的、在中世纪曾经辉煌一时的城市。

比萨原来在海边，现在位于离大海约 10 千米处的阿尔诺河边。它地势平坦，四周都是富饶的农田。在经历了一段海上共和国的辉煌时期之后，比萨在中世纪后期公元 1000 年左右的时间里，一直是一个伟大的城市，成为带动文艺复兴时期新艺术发展的一个重要中心。比萨的大教堂大约在 1063 年动工，大教堂的钟塔(比萨斜塔)在 100 年后建成。13 世纪末(但丁时代)，由于内战和海军败于热那亚，比萨的政治和军事力量削弱了，但它的艺术和文化发展仍在继续。比萨大学建于 1343 年，一个世纪后佛罗伦萨的美第奇家族征服了比萨，这所大学得到帮助和进一步的发展。16 世纪以后，它成为托斯卡纳地区主要的大学，名声颇为显赫。在一个相对短的时期里，切萨皮诺(Andrea Cesalpino)、法洛皮奥(Gabriello Fallopio)、伽利略和马尔皮基(Marcello Malpighi)<sup>[1]</sup> 先后在这儿执教。到 19 世纪，这所大学的政治意识增强，在统一意大利的复兴运动中，成为一个自由政治活动的中心。这个时期，关于比萨大学的情况有过许多记载和描述，其中最值得一看的是诗人朱斯蒂(Giuseppe Giusti)<sup>[2]</sup> 的描述，他于 1830 年前后在比萨大学学习。虽然他的诗句后来被意大利中产阶级的保守思想和托斯卡纳地区的刻薄、怀疑精神所影响，但是他诗句中的浪漫和波希米亚风味仍然有所保留。

在意大利统一之后，比萨大学经历了一个辉煌的时期，他吸引了许多意大利最伟大的文学和科学天才。最著名的数学家有贝蒂(Enrico Betti)、狄尼和比安奇；物理学家莫索蒂(Ottaviano Mossotti)在物理学界也是知名人士。同样，维拉里(Pasquale Villari)、德安可纳(Alessandro d'Ancona)和金蒂勒(Giovanni Gentile)都是人文科学方面的知名学者。

[1] 切萨皮诺(1519—1603)，意大利医生、哲学家和植物学家，所著《植物十六卷》(1583)是第一部植物学教科书。法洛皮奥(1523—1562)，16 世纪意大利最著名的解剖学家，1548—1551 在比萨大学执教。马尔皮基(1628—1694)，意大利医生、生物学家，最早的组织学家，发现动、植物结构有相似之处。——译者注

[2] 朱斯蒂(1809—1850)，意大利北部诗人，讽刺作家。——译者注

伟大的数学家黎曼(Bernhard Riemann)<sup>[1]</sup>为了恢复他的健康，曾经在1858~1860年离开哥廷根，到气候良好的比萨，并且在比萨大学参加过大学的数学活动。

高等师范学院(简称高师)在1810年由拿破仑创建，附属于比萨大学。原来创建的目的是作为巴黎高等师范学校的一个分部，为高等学校培养师资和促进现代科学的学习和研究。拿破仑垮台后，这所学校曾经被关闭过，后来在托斯卡纳大公的扶持下于1846年又重新开学。大公把高师作为最好的学院附属于比萨大学，日后它的命运多少与大学休戚相关。高师培养出了许多有名的人物，例如诗人卡度西(Giosuè Carducci)；数学家里奇-库巴斯托(Gregorio Ricci-Curbastro)、沃尔泰拉(Vito Volterra)、富比尼(Guido Fubini)、卡斯特努沃(Guido Castelnuovo)和塞维利(Francesco Severi)；语言学家巴比(Mechele Barbì)、拉杰纳(Pio Rajna)和维特利(Girolamo Vitelli)。这些人大部分是他们研究领域里很著名的学者，是意大利学术界的领导人物。由于在全国严格而公正地在竞争中挑选学生，比萨高师和帕维亚一所性质类似的吉斯莱厄里学院一直是意大利杰出人才的来源。

比萨高师位于卡瓦列里宫(Palazzo dei Cavalieri)，在一个与著名的大教堂和比萨斜塔所在地不远的气势雄伟的广场上。当伽利略在比萨读大学时，那时学院附近的环境与现在的差不多。1918年，这个城市有5万人，尽管其中大学生有1万人，却显得十分宁静。由于它巨大的历史和艺术财富，使它具有一种鲜明的博物馆特征。高师所在的宫殿外表富丽堂皇，但像所有文艺复兴时期的宫殿一样，在冬天却冷得让人受不了。费米在那儿读书的时候，在陶制的火盆里烧炭取暖，也没有热水供应。学生的宿舍使人联想起修道院修士住的房间，比较大，但缺乏装修。吃的食品丰富而有营养，但式样单调，

[1] 德安可纳(1835—1914)，意大利历史学家；金蒂勒(1875—1944)，意大利唯心主义哲学家，有时被称为“法西斯哲学家”；黎曼(1826—1866)，德国数学家，他的工作广泛地影响着几何学和解析数论。——译者注

很少变化。负责食宿的是男性管理人员。

当时高师大约有 40 多个学生，分为两个部分：一部分人学人文科学；另一部分人学习数学和科学。一位希腊语教授担任住校生的管理主任。这群能力极强和目标崇高的大学生，全身心投入学习之中，因而这是一个很安静的群体。费米和他的同学们主要的运动就是到阿普阿内山徒步旅行，那儿离比萨不太远。这些山并不太高，但由于盛产著名的卡拉拉大理石而很有名气；再加之这些山从海平面上拔地而起，山路又陡峭崎岖，是登山者登山的好去处。山脚下的平原到处是青葱翠绿和富饶的庄园，是骑自行车的好地方。

在新环境里，费米开始的时候感到很陌生，不免有些想家，但几周之后他克服了消沉情绪，重新像往日那样沉稳、镇静。到比萨后不久，他交上了一个叫弗朗科·拉赛蒂(Franco Rasetti)的朋友。拉赛蒂在大学学习物理，不过不是高师的学生，他的家在比萨。

拉赛蒂家里有很多农田，他的父亲曾经在农业大学补习班做老师；他的母亲是著名的生理学家伽利奥蒂(Gino Galeotti)的妹妹，而且她还是一个很不错的业余画家。拉赛蒂是他们家唯一的孩子，当他读大学时，他的父亲去世了，于是他的妈妈把全部情感都集中到拉赛蒂身上。拉赛蒂智力非同一般，但不大与别人交往。他从小有收藏的爱好，特别喜爱自然科学。他把收集到的昆虫、植物等分门别类地收藏起来，表现出非凡的细心和深刻的科学洞见。他的记忆力像费米一样，相当惊人，他对许多科学分支都有兴趣，而且学得都很好。在大学学习时期，他除了学习物理学以外，还学习了昆虫学、胚胎学、植物学和古生物学，其熟悉的程度不亚于专业学习者。按劳拉·费米的看法，拉赛蒂在大学学的是物理学，而不是他最感兴趣的生物学，“因为物理学对于他不大容易理解，而他想向自己证明，他可以克服任何困难”。<sup>[1]</sup>但不论怎样，拉赛蒂成了费米最亲近的

[1] Laura Fermi, *Atoms in the Family*, p.24. 同时参见 Thelma Nason, “A Man for All Sciences”, *The Johns Hopkins Magazine*, v.17, Number 4, p.12(1966). ——作者注

一个朋友。拉赛蒂常常邀请费米到他家去，星期天就留他在家吃饭，以改善学校单调的伙食。

拉赛蒂组织了一个“反邻居协会”，费米积极加入了这个协会。这个协会的目的就是让别人吃苦头。当时意大利通常在街道上方便的角落建一些公共尿池，这种尿池的样式使得入厕者要紧挨着一池水站着。这个“协会”会员最拿手的把戏是悄悄地跟在一个人厕所后面，把一小块金属钠扔到水里，然后躲到一个安全的地方观看钠的着火和爆炸。另一个恶作剧是两人出动，一个人与被害者谈话以分散其注意力，另一个人就悄悄地用一把小锁锁在被害者上衣或外衣的扣眼上。有时他们还在屋顶上假装决斗。

学习当然还是他们真正的爱好。费米认真读过彭加勒(Henri Poincaré)的《涡流理论》、阿佩尔(P.Appell)的《力学》和普朗克(Max Planck)的《热力学》。他的学习还不仅仅止于阅读，他还解决了许许多多的问题，这些问题有些是自己发现的，有些是书上提出来的。有时他在信中给佩尔西柯提出一个问题，有时还像一个大哥哥一样给佩尔西柯一些忠告，其实佩尔西柯比他还大1岁。他花了很多时间集中精力思考一流物理学家的著作，彻底了解和辨明那些重要的概念和方法。他的判断常常十分准确。许多年之后，他可以迅速做出物理学中所有重要定理的证明，而且与他在比萨读书时书上的证明完全一样，有时连措辞都不差分毫。例如，尽管他已经完全忘记有些定理是泊松书上的证明，他却能用与书上相同的方法迅速证明出来。很明显，费米晚年在大脑中重新复习物理学中的一些章节，就像一个指挥家重温交响乐一样。当驾驶汽车长途旅行或类似的情形下，他就会这么做。

1919年暑假，他高兴地回到罗马家中，见到好友佩尔西柯。他还去过祖父在卡沃索的家。在假期，他还把他学过的物理知识系统地重新组织了一次，使它更有条理化。在罗马和卡沃索，他在一个皮封面小本子上写下了许多笔记。这个小本子与他的论文一起，至

今还保存在芝加哥大学。这说明这个小本子他保留终生，当他移民到美国时，也没有把它丢在意大利(虽然在费米死前我从没有见过这个小本子)。这个小本子分成几个部分；都是用铅笔写的，而且从没有用橡皮擦过。它清晰地表明了费米在 1919 年 17 岁时和 1920 年的科学准备工作，以及在学习和智力上取得的进步。前 28 页是对分析力学的一个总结，1919 年 7 月 12 日记于卡沃索。在这些总结中，费米改进了哈密顿和雅可比(Jacobi)的理论，用一种非常简洁的方法处理了一些很高级的课题。费米没有注明这些方法的来源，但很类似彭加勒和阿佩尔的书上使用的方法。其后讨论的是物质的电子理论，注明是 1919 年 7 月 29 日记于罗马。其中包括一个关于电子理论的摘要，像通常一样，十分简短。还讨论了洛伦兹的电子论、相对论、黑体理论、抗磁性和顺磁性等。在这一部分中，费米列出了这些主题资料来源的书目，包括理查森(O.W.Richardson)的《物质的电子理论》，他认真学习过这本书。

小本子中还提到了玻尔论氢原子的第一篇论文，那时在意大利还很少有人知道和了解这篇论文。接下来是 1919 年 8 月 10 日记于罗马的 19 页，大部分记的是普朗克黑体理论的一些详细讨论。再下面是大量关于放射性物质和衰变方面的书目，是从卢瑟福的《放射性物质和它们的放射性》一书上摘下来的。81~89 页记述的是玻尔兹曼的 H 理论和分子动理论，标注的日期、地点是 1919 年 9 月 14 日和卡沃索；除了像通常一样简洁地解释了这个理论以外，还提到一些应用。他建立 H 理论的方法和玻尔兹曼曾使用的方法一样，还包含对所有碰撞的详尽分析。

这小本子共有 102 页，包括从汤森(J.E.Townsend)论气体放电的书中摘录的两个书目，它们涉及了气体的电性质和光电效应。最后几个注释是 1919 年 9 月 29 日(18 岁生日)在罗马记下的，再后是一个目录。

这小本子反映了费米在成长时期的一些特点。从资料的选择来

看，费米的鉴别能力让人吃惊，尤其是考虑到他的年龄和他实际上是在自学，更是让人惊讶。费米的另一个特点是：虽然他从来没有被数学上的困难吓倒，但他也没有因为纯数学的原因去寻找优美的数学。他似乎并不关心数学上的难易；他关心的是能否阐明物理概念的本质特征。如果理论明白易懂，当然很好，但是如果需要困难的数学，他也会很快就适应这种需要。看了这小本子以后也许有人会注意到，有些部分的内容与实验内容比起来逻辑结构占优势，但有的部分具有更多经验的特征，这两者之间有些不同。对于前者，可以感觉到大师的手笔；对于后者可以看到经验的缺乏和对许多引用论文批评性评论的缺乏。所有这一切告诉我们这件事是令人吃惊的：一个只在大学读了一年的大学生能够写出小本子上的这么多内容，即使对于一个多年从事物理教学的老师，这小本子也是非常有价值的。

费米不寻常的才能很快被他的大部分教授和同学们所认可。在高师，无论是学人文科学还是学自然科学的同学，都知道他是一个真正不同寻常的人才。当时，物理实验室主任是普欠迪教授(Luigi Puccianti)，他1875年出生于比萨，很有天赋，思想敏锐，但是十分懒散。当他还是一个年轻人的时候，他曾经对碱金属蒸气的反常色散作过有价值的研究，但是当费米到比萨来读书时，普欠迪教授已经停止有创造性的实验研究，但他对经典物理学——尤其是磁学——仍然很有兴趣，也有深刻的批判性认识。普欠迪教授很快就发现，他能教给费米的很少，而他倒是可以从他的学生费米那儿学到很多东西。他十分坦白地承认了这一点，还多次对这个学生说：“教给我一些东西吧。”

费米也充分意识到自己杰出的才干。1920年，他曾坦率而没有假意谦虚地对佩尔西柯说：“在物理系，我正渐渐成为最有影响力的权威人士。事实上，就在这几天里，我要在几位学术权威面前作一次量子理论的讲座。我成了一位量子理论热忱的宣传者。”那时他是三年级的大学生，只有18岁。他精通索末菲(Arnold Sommerfeld)的

《原子结构和光谱线》一书，在意大利可能最熟悉玻尔-索末菲的旧量子论的人是他。尽管他在理论物理学方面成绩优秀，但这并没有影响他认真、自觉地学好其他必修课程，即使他对这些课程毫无兴趣。如果需要一天学习 6 小时化学，他也照样能够一丝不苟地认真去学。拉赛蒂曾经多次向我描述，他和费米两人经常用一种特殊的方法完成化学分析。实验室里化学实验设备很差，他们两人又不愿意按要求的方法耐心地、一步一步地去完成实验，于是他们找到一条捷径。当要求他们分析的物质是粉末时，他们不按规则溶解它们，然后按程序进行分析，而是把未知物质的样品拿到物理系用显微镜观察。一种混合物只能包含普通、廉价物质的成分，这是显而易见的，因为化学系只能买得起这些玩意儿。经常是只要认真用显微镜看一下这种粉末，他们就知道了其组成成分，然后他们会仔细写好一个“一步一步”系统分析了的实验报告，而这实验他们根本没有做。

22

我不清楚 1920 年夏季费米学习的情形，但在第三学年开始时，他于 1920 年 11 月 29 日写给佩尔西柯的一封信却让人吃了一惊：他的信是用德语写的。显然，费米以前学过德语，当时德语对所有学习物理的大学生是至关重要的一种语言[索末菲的《原子结构和光谱线》是原子物理学的圣经，德国的《物理学杂志》(Zeitschrift für Physik) 可能是最重要的杂志]。作为一个没有到过德语国家的人来说，费米的德语除了有少数语法上的错误，算是很不错了。因此他很喜欢在朋友面前卖弄他的德语，但他那种科学文献式的风格却让人无法喜欢。

费米可以流利地阅读法文书籍，在大学要学习这种语言，而意大利人很容易学会它。他也能没有困难地阅读英文科学书刊，这可以由他的笔记中列出的书籍证明。在此后的几年里，费米的德语水平大有长进，可以用流利的德语讲话；当他移民到美国时，他又非常努力地改进他的英语。

在 1919~1920 学年结束时，费米在比萨已经呆了两年，预备性的

课程全部结束。这时，他作为一个大学生的身份已经发生了变化。他在物理实验室接受了一个类似美国研究生的职位。此后，他只听一些高级的专业课程，并准备博士论文的答辩，答辩多半是在第四年的末尾。1920年11月29日，被费米称为“合作者”之一的拉赛蒂在写给佩尔西柯的信中，曾用下面的描述说明费米当时情况：

1920年秋天，比萨大学物理系接受了恩里克·费米、勒洛·卡拉拉(Nello Carrara)和弗朗科·拉赛蒂三个学生。由于第一次世界大战刚刚结束，没有比他们大的类似学生，因此这三个19岁的大学生组成了当时全体“研究生”小组。物理实验室主任普欠迪教授给予他们三人极大的自由，这种自由的程度在意大利和其他国家的大学里很少会有人同意。他们被允许任何时候利用实验室作研究，连图书室和仪器保管室的钥匙都交给了他们。只要是实验室的仪器，他们随时可以用来做他们想做的实验。卡拉拉和拉赛蒂在此前一年就已经认识到，费米的数学和物理学知识博大精深，因此把他视为他们天然的领袖，甚至把他看得比教授们还高明。

仪器保管室打开后，他们在实验室度过了愉快的几周。他们猜测仪器的可能用途，还试着做了几个简单的实验。他们发现在研究光谱学方面，实验室的设备非常好，在这个领域里普欠迪教授作过重要的贡献。有些X射线的设备虽然是设计用来做教学演示用而不是做实验的，但还是可以用来做实验。

费米在阅读了必要的文献后，认识到X射线是可以为他们提供原创性研究的最佳领域，并建议我们三人都学习做X射线实验的技术。可以使用的X射线管是充满了气体的那一种，用一个大的感应线圈使管内产生X射线，一个火花间隙作为检波器。费米决定让小组的人首先用X射线得到一个劳厄图。经过几次不太严重的失败以后，我们得到了劳厄图。由于光束对准器很

糟，晶体定位也不完善，所以得到的劳厄衍射图不很清晰，但这些大学生仍然为他们得到的结果激动不已。

他们很快发现，密封的X射线管不适用于做研究，因此这三个实验者决定自己来做这种管子。玻璃管由一位吹玻璃的工人按说明书吹制，而窗口和电极的密封则由他们这三位物理学家来完成。他们没有可供使用的扩散泵，因此用盖德型旋转水银泵把管子抽成真空。他们花了好多时间才使这些管子能很好地工作，并最终得到了几种元素的K辐射，并用布拉格反射做了观察。

1922年初，费米决定利用他学到的X射线技术作一些原创性的工作。那时他既然已经发表了，或者说至少是完成了几篇重要的理论文章，人们可能会问，他为什么不选一个理论题目研究？这是因为在那个时候，理论物理学在意大利还没有被作为一门课程在大学讲授，如果以理论物理作为博士论文将会让人震惊——至少在老一辈教授中会如此。物理学家生来就是实验家，只有实验性的博士论文才会被看做物理学论文而通过。最靠近理论物理学的课程是力学，但它被看做是应用数学领域里的课程由数学家来讲，并且完全忽视其物理学的应用。在这种环境中，可以明白为什么像量子论这样的论题在意大利没有立足之地，因为它们介于物理学和数学之间，是“无人之地”。费米是这个国家第一个试图填平这个间隙的人。

但是，我心里绝不会认为他在大学第三、第四学年的实验活动，仅仅是为了找到一个方便的、可以通过的博士论文题目。他对实验工作像对抽象理论一样感兴趣，而且特别喜欢交替着做这两种工作。从一开始他就是一个全面发展的物理学家，认为理论和实验有相等的重要性，即使多年后他主要因为理论物理的贡献而蜚声科学界时，他仍然持这种态度。但他从来不是那样的理论家，像后来罗马小组里开玩笑说的那样“不

能辨别钢和铝”。<sup>[1]</sup>

由于长期忽视实验室的建设，这几个年轻人工作的实验室条件很差。实验室不仅缺乏那个时代欧洲优秀实验室具有的设备，而且很多仪器被“肢解”了——它们的某些部分被拆下来为其他仪器所用。很可能是在比萨，费米开始有自己动手装备一切的习惯；这种习惯使他后来常常显得过分，让人惊奇。（我记得一个例子，在罗马的时候，尽管他的朋友和同事们反对，他仍然花了很多时间和钱做了一些电容器，而这些电容器很容易买到。）物理实验室里还有普欠迪的第一个助手波尔伐尼博士(Giovanni Polvani，他成了费米的好朋友)和另外两个助手皮茹希博士(Mariano Pierucci)和齐柯勒小姐(Anna Ciccone)。

1921年1月，费米发表了他的第一篇论文“论电荷刚性系统在平移运动中的动力学”。费米对这个问题后来持续研究了好几年，即使是现在，它仍然有价值，不时会出现在文献中。

1921年11月，佩尔西柯获得博士学位，费米在一封特别的信中表示祝贺：信纸上画着紧握的双手表示贺意，信中还写道：“画旁有说明，如果我在罗马就会做出如图所示的动作。我不知道你是否明白其中的意义，因为真正的艺术作品总是很难被人理解的。”

1922年的大部分时间里，费米在准备他的论文，论文内容是弯曲晶体的X射线衍射以及由这一方法获得的图像。与此同时，费米还不得不为高师准备了另一篇内容不同的论文，题目是概率定理和它在天文学中的应用。大学的论文于1922年7月7日答辩，以优等成绩获得了博士学位。接着他获得了高师的毕业证书。1922年5月25日和6月2日，在费米写给佩尔西柯的信中，我们发现费米谈到写给高师的论文出现了不愉快的事情。波尔伐尼教授亲眼目睹了这一事件，他说在评审费米的论文时，数学家们针对费米的计算提出了一些

[1] FP, 1: 55—56. ——作者注

批评。论文“论概率的一个定理和它的一些应用”一直没有发表(当然是费米这么决定的)，直到后来在高师档案中发现才收集到《费米论文选》中出版。

在这期间还发生了比论文更重要的事情。1922年，费米还在比萨的时候，他在研究广义相对论时得到了一个重要的结果：他证明在世界线附近的空间是欧几里得空间。这个定理是费米完成的第一个有永久价值的研究，论文的题目是“论世界线附近发生的现象”。

不同的物理学家喜爱物理学不同的方面。有些物理学家努力寻求的是最基础的普遍原理，有些物理学家只猎取新的现象，有些则喜爱测量的精确性，还有些人则热爱改善仪器或技术。所有这些追求并不相互排斥，事实上它们经常相互补充，对于物理学的进步都是不可缺少的。物理学家习惯性的选择常常用“爱好”和“风格”来描述。当费米1922年离开比萨时，他已经有了他自己的风格。

如上面说过的那样，费米几乎是全靠自学完成学业的。他所知道的要么是从书上学的，要么是他自己重新发现的。从来没有优秀的科学家能够指导他，后来在德国、荷兰和英国，都没有这样的科学家。他个人也从来不知道有哪个科学家能与他自己相比较。他知道他比他周围的人更优秀，但他也明白，这并没有什么了不起，因为这些人并没有活跃在当前科学的前沿。还有，虽然他与一些著名的数学家有联系，他本人也精通纯数学，但他不是一个职业数学家，对数学也没有多大兴趣。

因此，除了阅读文献以外，他在问题的选择上必然是完全独立的。青年费米的特点是喜欢分析确定的现象，对这些现象的解释需要深奥地利用已知的原理、想像力和奥妙的想法。他不喜欢费力地作较多的综合，甚至有时不能完成这种综合，他经常满足于现象学的理论。他从来不轻视研究给定的特定问题，但是颇值得注意的是，他经常使他的研究成为进一步研究的范例。即使在他主要的理论成果(统计学和 $\beta$ 衰变理论)中，他总是与特定的问题贴得很近。费米

倾向于研究可以被直接实验证实的具体问题，至少部分是由于他希望大自然这个至高无上的审判者来检验他的研究是否确实可靠。他同样喜欢做实验和做手工活，如果他能用自己做的实验来验证自己提出的理论，那就没有比这更让他高兴的事了。

费米对抽象的问题缺乏自信。他要求对它们有绝对清晰的了解。也许就是这一原因阻碍了他在日后全身心地参与早期量子力学发展的工作。他不喜欢哲学，对它十分警惕。我相信，玻尔(Niels Bohr)和海森伯(Werner Heisenberg)的哲学嗜好不会引起费米的兴趣。他不能透彻理解海森伯早期有关量子力学的论文，这不是因为任何数学上的困难，而是因为那些物理概念与他格格不入，使他觉得有些云里雾里、朦朦胧胧。薛定谔的论文向他展示了新的量子力学，他尽自己的能力迅速学习和彻底掌握了它们，当他吸收了薛定谔的思想后，他完全相信了这一新的进展。他也深入地研究了狄拉克(Paul A. M. Dirac)的论文，多次用不同的数学形式重新表达狄拉克的思想。

1922 年，相对论成了人们关注的中心，意大利在这个领域里做了许多工作，其中有里奇-库巴斯托的先驱性工作和勒维-契维塔(Tullio Levi-Civita)新近的补充。因此可以理解，费米早期也在这个领域里工作，并成为一个享有盛誉的相对论学者。勒维-契维塔也很快认识到费米的能力。这儿有一个特别事例说明费米在他的事业刚开始就获得了声誉。1923 年，柯普夫(A. Kopff)写的一本论相对论的书译成意大利文，在意大利著名的 Hoepli 出版社出版。这本书内容比较艰深，它的译者和出版者请了几位意大利和国外的著名学者写了几篇短文作为该书的附录，表述他们对相对论的看法。如果有人想了解当时意大利的科学状况，这些短文可以为你提供有意义的参考。值得注意的是，这些短文中有一篇是费米写的，这足以说明刚从大学毕业的 22 岁的费米，已经相当知名，并被视为一名权威学者。

费米的短文是“相对论中的质量”。除了其他讨论以外，费米特别论述了核能释放的可能性，并把这个问题着重提出来，视为相对

论的一个最了不起的结果。费米引用了卢瑟福核蜕变实验，当然，他没有暗示将要发生的事或他将来要参与的事。但他十分清楚，物理学两件伟大的新奇事物(相对论和量子论)中，量子论有更多的应用前景，对于物质的构成会给出更多的洞见。量子论孕育着新的物理学，而不是数学，因此费米更倾心于它。

正是这个时候我第一次见到费米，听他讲课。我那时是罗马大学二年级的学生，正在学习一些基础课程，如工程学、数学和物理学等。有一位叫乔万尼·恩里柯(Giovanni Enriques，数学家费德里戈的儿子)曾经对我说过，有一个叫费米的年轻人很了不起，正在讲授量子论。我立即去听这门课。我通过自学知道一点儿量子论(我们大学根本没有开设这门课程)，我对费米表述的清晰、讨论的重要意义以及演讲者的自信有极深的印象。我觉得除了年龄之外，费米与罗马大学某些最著名的数学教授一点也不差，对后者我们几乎顶礼膜拜。我不记得他具体讲的什么(可能是对“量子论原理”的基本介绍)，但对其良好的印象一直历历在目。他讲的内容我已经不记得了，但他深沉的音调和他那缓慢的、有如音乐般的节奏还留在我的记忆中，我还记得。当他微笑时，有一颗突出在整齐坚固的牙齿之外的小乳牙会显露出来，这使得他的微笑有一种特别的样子。我没有同费米讲话，此后几年也没有。

## 第二章

# 走上讲台

29

费米得到博士学位以后就回到罗马与家人住在一起。他必须找到一个能养活自己的工作。对他来说，留在大学里是唯一让他满意的事。在意大利，一个年轻科学家的博士后历程经常是从担任一位教授的助手开始，然后获得编外讲师资格，这样就可以在大学讲一些选修课。编外讲师没有薪水，但是有时候，助教和编外讲师可以被分派讲一些必修课，这种工作有报酬。所有这些工作可以用不同的方法结合起来，使他们成为一个教授的被保护者。到国外找到博士后职位也是可能的，而且更让人感到惬意。

当一个科学家作了几年助教和编外讲师以后，经过国家考试就有可能得到一个正式的教席。在教授席位空出来了并需要填补时，国家考试随时可以举行。考试的获胜(一般由3个人中挑选1个)是将来从事科学事业最关键的一步。以后的晋升主要是靠资历。一个著名大学的助教获胜后，通常转到一个省级较小的学院或研究所工作，以

后再逐步向更好的大学调动。考试的评判由一个 5 位教授组成的委员会承担，委员会只根据候选人的论文和其他文件来挑选，不进行口试或笔试。虽然任何大学的教授在名义上是平等的，得到的文职人员工资也都一样，但如罗马大学、比萨大学、那不勒斯大学、博洛尼亚大学或都灵大学等著名大学的教授，与那些不著名的或比较偏远的学院的教授相比有很大的不同。

对于一个科学家来说，最大的荣誉是被选为林赛科学院(即意大利的国家科学院)的院士，这个科学院可以追溯到伽利略时代。从那时到现在，这个科学院出版了意大利科学文献中很重要的一部分，国际上也都承认它是世界领先的科学院之一。有些教授还可以成为王国参议员(上议院委任的终生成员)，这在政治和科学上都是一种荣誉。

费米非常了解这个系统，也急切地想尽快达到这个系统的顶部。  
作为一个重要的开端，他已经有了不错的声誉，普欠迪在比萨时以及意大利其他大学的物理学家和数学家组成的紧密团体里，都承认他是一颗明亮的新星。在罗马，费米很快被一个数学家小组接纳，这个小组的中心人物是卡斯特努沃、勒维-契维塔和恩里柯。费米还拜访了罗马大学物理实验室主任奥尔索·马里奥·柯比诺(Orso Mario Corbino)教授，当时柯比诺被默认为是意大利健在的最著名的物理学家。下面是费米记录的他们第一次会面的情形：

我第一次见到柯比诺参议员是我大学毕业回到罗马以后不久。我那时 20 岁，柯比诺 46 岁。他是一位王国参议员，曾经担任过公共教育部的部长，也是一位广为人知的最著名的学者。可以理解，当我向他介绍我自己时显得有些疑虑，但这种疑虑在他热情而感兴趣地与我谈起我的学习时，很快就消失了。

在那一时期，他几乎每天都与我交谈、讨论，这些谈话不仅澄清了我许多模糊不清的认识，而且在我内心深处引发了一种学

生对大师的尊敬。这种尊敬在我被允许在他的实验室工作的岁月里，有增无减。[1]

柯比诺教授对意大利物理学的发展有很大的影响。<sup>[2]</sup>他于 1876 年 4 月 30 日诞生于西西里东海岸一个叫奥古斯塔的小镇。他的父亲文森佐(Vincenzo Corbino)曾经学习过神学，想当一名神父，但由于西西里常常动荡不安，到 1861 年加里波第(Garibaldi)<sup>[3]</sup>的远征时，这种动荡达到了顶峰。这一年，西西里岛被合并到意大利，文森佐也由此改变了他的命运，他被征募为新组成的意大利国防军，并在大陆本土服役几乎达 7 年之久。他参加了 1866 年反对奥地利的战役，1868 年从军队退伍回到奥古斯塔，在那儿开了一个小小的通心粉工厂。通心粉由柯比诺和他的家庭成员用手工制成，就在附近出售。

1872 年，文森佐·柯比诺与罗莎莉娅·英普莉西娅(Rosaria Imprescìa)结婚，她来自一个比较富裕的地主家庭。罗莎莉娅比新郎小 11 岁——与费米双亲年龄的差别一样。<sup>[4]</sup>她有许多兄弟姐妹，按照当地的习俗，财产都留给男性的继承人，因此罗莎莉娅没有什么财产。虽然她很聪明，但她没有受过教育，不会认字和写字，因为那时西西里的学校只收男生，所以即使是比较富裕的家庭，女孩子也不能到学校学习。直到 1908 年，当罗莎莉娅过了 50 岁时，她才靠自学学会了认字和写字。他们有 4 个男孩 3 个女孩，最大的儿子莱昂尼(Leone Cobino)在警察部队任没有军衔的军官；第二个儿子奥尔索·马里奥是物理学家；第三个儿子卢帕(Lupo Cobino)移民到美国，后来死在美国；最小的儿子叫埃皮卡莫(Epicarmo Cobino)，是一名著名的经

[1] 译自 FP 120. ——作者注

[2] 我感谢 E. 柯比诺教授，他告诉了我有关 O.M. 柯比诺年轻时的一些资料。同时参见 Orso Mario Corbino, *Conferenze e Discorsi* (Rome: Enzo Pinci, 1937). ——作者注

[3] 加里波第(1807—1882)，意大利民族统一运动的著名领袖，一生为意大利的独立而战斗。1860 年 5 月，他带领 1 000 多名志愿人员到达并占领了西西里，接着控制了意大利南部。1861 年，意大利王国终于宣告成立。——译者注

[4] 此处原文可能有误，前面提到费米双亲的年龄相差是 14 岁，不是 11 岁。——译者注

济学家，在那不勒斯大学任教授，后来成为意大利共和国的一个内阁成员。

奥尔索·柯比诺是一个早熟的孩子，在奥古斯塔上的小学。他9岁时，当地一位主教到奥古斯塔来传教，他被引见给这位主教。好心的主教为奥尔索在神学院提供了一个位子，希望他将来能成为一个神父。年轻的奥尔索·柯比诺在神学院里呆到11岁，在那儿他学习了拉丁文，但他并不希望自己从事神父这一职业。在他的请求下，他的双亲让他从神学院退学，然后把他托给奥古斯塔的一位牧师，由他帮助奥尔索参加初中的最后考试，那时他只有13岁，比正规毕业生的年龄小2岁。后来，他到卡塔尼亚继续学习，这是一个比奥古斯塔大一些的城市，在奥古斯塔北边25千米处。在这儿他完成了高中教育。他用2年的时间学完了3年的课程，所以当他准备考大学时，比一般同学要小3岁。在这段时期里，他还听了那些为大同学开设的物理讲座，这些讲座由一位优秀的中学教师斯特拉夏蒂(Stracciati)教授讲授，这位教授在热力学和黑体辐射方面做过一些原创性的研究。

柯比诺在卡塔尼亚大学注册后，成为一个学习自然科学的大学生，但他只在这所大学读了1年，就由一位朋友介绍到巴勒莫大学学习。巴勒莫是西西里的省会，在这儿他可以受到更好的教育。在巴勒莫，柯比诺在马卡卢索(Damiano Macaluso)教授的指导下完成剩下3年的学习。马卡卢索是物理研究所的主任，是一位有教养的科学家，有宽阔的视界，家庭又比较富裕，因此他常到国外旅行，和当时国外著名的物理学家(如H.A.洛伦兹等)见面和通信。年轻时，他曾在德国工作过，写了一本明白易懂的热力学著作。马卡卢索立即认识到柯比诺非同一般的天才，此后他和他的家庭与柯比诺保持着亲密的关系。<sup>[1]</sup>

---

[1] 马卡卢索的讣告见 Luciano Sesta, “In Memo-ria di D.Maca-luso”, Nuovo Cimento 10 (1933): 1. ——作者注

1896 年获得博士学位以后，20 岁的柯比诺在卡坦扎罗一所高中呆了几个月，这是卡拉布里亚区的一个城市，他哥哥莱昂尼的部队驻扎在这儿。但他很快被巴勒莫一所中学聘请为教师，于是他又回到巴勒莫呆了 5 年。这所学校对他今后的发展很有好处，因为在这儿他可以自由地进入一个实验室，不过这个实验室的设备一般。尽管他的课程很多，没有多少自由支配的时间，他还是做了一些研究。

1898 年，柯比诺和马卡卢索发现把钠蒸气放在磁场中时，在吸收线附近有反常旋光现象。这个发现是在塞曼效应仅仅发现两年之后作出的，而塞曼效应与旋光本领有关联。柯比诺立即明白这两种现象之间有某种联系，并且对此作出了满意的解释。这一发现使其他国家的物理学家注意到了他。在接下去的几年中，柯比诺发表了几篇很有深度的关于磁光学方面的论文，这项研究使他在国内外都有了不小的名气，成为意大利最有名的年轻物理学家之一。博洛尼亚大学的里齐(Augusto Righi)教授高度评价了他的成就。里齐教授在赫兹之后研究过电磁波，在当时被认为是意大利著名的物理学家。<sup>[1]</sup>

在经历了开始的困难以后，柯比诺的事业进展得十分迅速。1904 年，他通过竞争获得了两个大学教席，一个是物理学的，另一个是电机工程的，他接受了物理学教席，到墨西拿大学任教。1908 年，当墨西拿发生地震时，有 20 万人死于这场灾难，但柯比诺却奇迹般地逃过了。(正是渴望知道这场灾难的真切原因，促使他的母亲开始学习认字写字。)在地震发生前不久，柯比诺被罗马大学物理实验室主任布拉舍纳(Pietro Blaserna)教授请到罗马去了。布拉舍纳是一位年老的绅士，是意大利参议院主席，还是皇太后玛格瑞塔(Margherita)的朋友。布拉舍纳曾经在赫姆霍兹(Hermann von Helmholtz)手下学习过，我不知道他对物理学作过何种重要的贡献，但他对物理实验室有很大的兴趣，曾计划建造一个设备齐全的实验室。他没有做出任何

[1] 柯比诺写的里齐的讣告见 *Rendiconti Lincei* 30 (1921): 215. ——作者注

值得一提的物理学成果，主要是因为一些比较年轻的物理学家，如塞拉(Alfonso Sella)教授等人的工作跟不上去。当塞拉意外去世以后，布拉舍纳决定将柯比诺请到罗马。

到罗马以后，柯比诺作了一段时期的实验研究，内容是以前研究过的磁光学，同时还研究过高温下金属的比热容以及霍尔效应和磁场电效应。他是最先认识到阴极射线示波器(当时称为布劳恩管)作用的人中的一个。他广泛使用这种仪器，虽然它只是一个非常简单的和外来的仪器。在第一次世界大战期间，柯比诺转向了应用研究，开始做的研究很危险：研究硝化甘油的蒸气压，后来研究 X 射线管的电源。

在战争结束后，他越来越多的卷入了行政和政治工作。他精通技术，这一点立即为政府和工业界所重视。政府请他担任一个负责全国水资源的委员会的主席，他很快熟悉了意大利的经济和工业问题。1920 年，焦利蒂(Giovanni Giolitti)<sup>[1]</sup>政府任命他为王国参议员。1921 年，他接受内阁给他的第一个任命，成为公共教育部部长，当时内阁首相是博诺米(Ivanoe Bonomi)<sup>[2]</sup>，一位温和的社会主义者。1923 年，墨索里尼聘柯比诺担任国家经济部部长，但他当时不是，此后也从来不是法西斯党员。

柯比诺一流的科学头脑，让每一个接触他的人(包括费米和其他年轻一代的物理学家)留下了深刻的印象。他能够以几乎是不可思议的速度判断任何问题，包括科学的问题和与人有关的问题。在 1920 年前后，他几乎是意大利老一辈物理学家中唯一理解物理学最新发展的人。他是一个杰出的演讲者，他具有闪光的智慧，他的智力特征更由于他热情豪爽的个性和学究性策略倾向的补充，显得更为完备。

[1] 焦利蒂(1842—1928)意大利政治家，5 次担任首相。最后一次是 1920 年 6 月至 1922 年 6 月。——译者注

[2] 博诺米(1873—1951)，意大利政治家。1920 年出任焦利蒂政府国防部长，1921 年 7 月任首相，1922 年 2 月因为无法控制法西斯党过激做法而辞职；墨索里尼上台后退出政坛。二战结束后任参议院议长等职。——译者注

他善于调解升迁、调动工作等类似的事情，而且常常将这些事处理得很好。他是我见过的最精明、聪慧的人，但与其他同样热情的学术领导人相比，他最突出的特点是他的目的极其崇高和判断可靠。

我想，尽管柯比诺取得了巨大的成功，但让他深为痛惜的是：按他非同一般的能力，如果在更好的环境下，他本应在科学上获得更大的成功。1922年，他作为公共教育部的部长在内阁发言说：“尊贵的议员先生们，现在我已经克服了一个危机，一个我希望我明天的同事们不再遇到的危机。对我来说，我也曾经有处于艰难的时刻，困难不大，但绝对是困难。我尽力坚持，但最终我放弃了。我成了一位议员，成了一名部长(公共教育部)，但我仍然渴望从事科学事业。在残酷的政治活动中，我渴望在实验和仪器里度过和平的日子。我难过的是，在奥古斯托·里齐去世后，意大利物理学界还没有找到他的继承人。”<sup>[1]</sup>

这些讲话，我想是了解柯比诺的深思熟虑和他对费米的尊敬友好的关键。我不清楚的是，在他讲这些话时，他是否暗示里齐的接班人已经找到了。

柯比诺和费米的谈话，不仅只是关于物理学，也涉及到政治、世界大事以及其他一些事情。这种习惯持续了好多年，对费米在物理学之外的教育起了重要作用。劳拉·费米曾经记录下柯比诺对1922年墨索里尼进军罗马所作的评论：

10月28日上午，费米正好在柯比诺的办公室里。这一次他们没有谈物理学，也没有谈制定未来工作计划的事。柯比诺对政治形势一直十分关注。他不喜欢法西斯领袖墨索里尼公开宣传暴力。这个年轻的法西斯主义者是一个粗暴和残酷无情的人。在他的命令之下进军罗马的方队，对国家造成了一种威胁

[1] Corbino, *Conferenze e Discorsi*, p.167. ——作者注

和危险。

“但是，”他说，“内阁宣布的围城状态的法令不解决问题，也不会带来好的结果。如果国王签署了这个法令，我们就将面临一场内战。军队将会得到作战的命令，如果他们服从命令，而且不倒向法西斯，那结局就没有什么可怀疑的，因为法西斯那边没有武装。于是就会出现一场屠杀。多么可悲的事！那么多的青年将会死去，而他们只不过是寻找一个值得崇拜的理想而已，而且他们发现没有比法西斯更好的理想。”

“你怀疑国王会签署这一法令。你真的认为他会反对他的内阁吗？从来没见过他采取主动，他总是跟着他的部长们行动。”

柯比诺深思了一会儿说：“是的，我想国王有可能不会签署那个法令，他是一个有勇气的人。”

36

费米说：“那就还有一线希望。”

“希望？什么希望？不是得救的希望。如果国王不签署法令，我们肯定会有一个人在墨索里尼统治之下的独裁政府。”<sup>[1]</sup>

费米在当天晚上把这次谈话告诉他的家人时，国王果真拒绝签署围城法令，法西斯也真的像柯比诺预言的那样开始了他们的独裁统治。费米当时就考虑过移民的可能性，但直到 16 年之后他才真的移民了。

费米当时最急迫的问题是想到一个视界更宽阔、不怎么狭隘的科学环境中去。很显然，他应该到国外去获得现代物理学的一手知识，与比意大利同行更积极的物理学家圈子进行接触。意大利教育部有一个研究自然科学的博士后奖学金，费米决定争取到它。负责评议奖学金的委员会有 5 个人组成，其中有 2 个物理学家、2 个数学

[1] Laura Fermi, *Atoms in the Family*, p.30. ——作者注

家和 1 个化学家。委员会的结论是一致的：

由于费米具有过人的智慧，而且在高等数学和非常困难的物理学问题中进行了深入的研究，所以在获得学位后几个月，他就显示出科学上的成熟，由此可以使他能够根据他明晰的直觉，处理数学物理和实验物理中的问题。这可以由以下几个方面表现出来：任意构形下电荷刚性系统动力学研究和均匀引力场中静电学问题的研究；电磁质量不同表示之间的基本误差的解释；发生在世界线附近纯属广义相对论方面的论文；电磁质量引力中心的研究；概率计算中一个重要定理的注释。

他在实验物理学方面的论文也是很引人注目的。其中有利用不完全平行的 X 射线来确定 X 射线谱线形态，以及利用古伊方法(Gouy's method)获得有关阴极射线图像的论文。

在科学事业的开始就具有如此丰富而强有力的研究能力，我们除了感到惊讶，就是表述我们的愿望，希望这位候选人获得这份奖学金后能进一步扩大他的知识领域，从他已经完成的研究中获得更大的利益。<sup>[1]</sup>

委员会是 1922 年 10 月 30 日开的会，也就是说是法西斯进军罗马和前面提到的费米与柯比诺(他是这个委员会的成员之一)谈话的两天后。委员会提到的研究工作，后来被收录在《费米论文选》前 6 页中。其中的“论世界线附近发生的现象”直到现在仍然有价值，它包含张量分析的重要结果。这篇论文在 1922 年 1 月发表。

1923 年冬天，费米利用这份奖学金到哥廷根玻恩(Max Born)的研究所工作。那时，哥廷根的物理活动正处于它的顶峰时期。玻恩是

[1] Ministero della Pubblica Istruzione, Bollettino Ufficiale, Atti di Amministrazione, Anno 50 (March 8, 1923) 1: 802. ——作者注

理论物理学教授，夫兰克(James Franck)是实验物理学教授，在他们两人周围有一群年轻人，他们命中注定会改变物理学。很多学习理论物理学的德国学生都到当时一流的学者那儿学习，如慕尼黑的索末菲、哥廷根的玻恩和哥本哈根的玻尔。当费米到哥廷根时，他发现那儿有几位很优秀的同事，其中有海森伯和约尔丹(Pascual Jordan)，他们是理论物理学里最闪光的两个人。这两个人已经认识到他们非同一般的能力。当费米在哥廷根的时候，玻恩正与他们两人合作写论文。

不幸的是，费米似乎没有成为这个非常杰出的小组的一员，或者似乎没有与他们接触。我不清楚其中原因。费米的德语很好，足以使他方便地与人交流。玻恩对费米很热情，但可能没有充分了解他的能力。在费米的私人信件中，有几封是与玻恩教授和玻恩夫人来往的信件，信件中的措辞都十分友好。其中一封是邀请费米的姐姐玛丽亚到哥廷根玻恩家中住几天。玻恩夫妇表示在访问罗马时，将到费米家中拜访。但是，费米在哥廷根逗留期间，并没有像预计的那样受益很多。费米写了几篇论文，但这些论文他在罗马也可以写出来，他对周围激动人心的事件似乎没有什么反应。

也许是与他年龄相仿的物理学家(海森伯、泡利和约尔丹都是杰出的人物，本应与费米成为伙伴)都深深陷入他们自己思考的问题中，以至于没有认识到费米的才能？而费米又是一个羞怯、骄傲和习惯孤独的人。也许这就是他持疏远态度的原因。只是到了以后的年月里，他才成了海森伯和泡利的好朋友。

1924年5月8日，费米的母亲去世。这一打击并不像预料的那么严重，因为有一段时间她由于肺部生病，常常到疗养院治疗。费米的感情从不外露，所以我们对他与他的父母的感情知道得很少。他很少向他的朋友们提到他的父母，我所知道的一些信息多半是间接的。费米无疑很钦佩他的母亲。他有时向妻子劳拉赞赏他母亲的智慧和能力：“如果她想做什么事情，她就会自己去做。”有一次费米

指着一个精巧的家制压力炊具告诉他的妻子说，这是他母亲发明的。他还把这件事告诉他的儿子，他的儿子也像奶奶那样，干什么事都希望自己动手，而且像费米一样非常的自信。可能由于费米缺乏欢快的性格，在幼年时期他的母亲更爱朱利奥一些，直到他儿童的后期，她才发现了他的天才。朱利奥的死把她从一个活泼的人变为一个沮丧、消沉的人。虽然费米对父母和姐姐感情很好，但生活在家里他总感到压抑。

所有这些说明，费米有很深的家庭情结。在他上大学以后，只要有机会他就回家与父母和姐姐住在一起。1924年，他们家在罗马郊区安涅内河边得到一处正在建筑中的住宅，他们准备住在一起。当房子建好时，母亲去世了；后来费米、他的父亲和姐姐玛丽亚住进去了。1927年阿尔伯托·费米去世，几乎正好是他妻子三年前去世的那一天。费米和玛丽亚在他病重时尽心照顾他，有几个星期他们俩在夜间轮流值班，父亲去世以后，他们姐弟两人还是住在一起，直到1928年费米结婚，玛丽亚后来一个人住在那儿。

当费米从哥廷根回到意大利以后，在罗马大学为化学家和生物学家开设一门数学课程。这项工作以前一直由柯比诺承担，佩尔西柯那时是柯比诺的助手，因此这两个朋友可以一起工作了。费米在1923~1924学年干的就是这个临时性工作。后来，他在哥廷根写的论遍历定理<sup>[1]</sup>的论文引起了在莱顿的埃伦菲斯特(Paul Ehrenfest)的注意。这篇论文给他的印象很深，因此他请自己以前的学生乌伦贝克(George Uhlenbeck)去见见费米，乌伦贝克那时在德国驻罗马大使的家里当家庭教师。乌伦贝克见到了费米，两人从此成为终生的朋友。此后不久，由于沃尔泰拉教授的推荐，费米从国际教育理事会(洛克菲勒慈善事业的一个机构)得到三个月的奖学金，到莱顿大学作

[1] “Proof that a Normal Mechanical System is in General Quasi-ergodic” (FP 11). —— 作者注

研究。

1924年夏天，在去莱顿之前，费米到多洛米蒂山<sup>[1]</sup>度假，在那儿他经常徒步旅行，享受一种简单的户外生活。有时费米躺在草地上，手中拿着笔和纸，把心中认真思考的问题写下来。就这样他提出了原子碰撞的理论，引入了现在被称为外扎克-威廉姆斯法的方法(Weizsäcker-Williams method)。费米曾对其基本思想作过如下叙述：

当一个带电粒子经过一给定点附近时，在这个点上就产生了一个变化的电场。如果我们用傅里叶积分法把这个场分解为谐和分量，我们将看到，这与该点被具有合适连续光谱的光辐射产生的场是一样的。

现在假定一个原子处于上面我们考虑的点上，接下去我们自然地假定带电粒子的电场所引起原子的激发和离子化过程，与等价光的电场产生的过程是一样的。我们知道，原子对光的吸收效应是光频率的函数，由此我们可以计算一个带电粒子以一给定速度经过一给定距离的原子时，离子化该原子的概率。<sup>[2]</sup>

这个方法给费米的印象很深，此后他经常用到这个方法。费米把论文寄给佩尔西柯并在信中请佩尔西柯告知实验数据，以便与他的理论作比较<sup>[3]</sup>。这篇论文用德文和意大利文两种文字发表，这说明费米认为这篇论文十分重要。

费米发表论文时坚持一个固定的方针。由于各种各样的理由，包括法西斯政府的指令，所有科学著作必须用意大利文发表。但费米知道，在国外很少有人阅读意大利的物理杂志。因此，当他认为

[1] 多洛米蒂山是意大利北部阿尔卑斯山脉东段的山群。其中18座山峰海拔超过3 050米。——译者注

[2] “On the Theory of Collisions between Atoms and Charged Particles” (FP 23a). ——作者注

[3] 见附录一中1924年7月26日的信。——作者注

有些文章很重要的话，他就同时用德文发表他的论文，一般在《物理学杂志》上发表，当时这份杂志是国际上一份重要杂志。在以后的年月里，他经常劝他的学生和朋友也采取同样的方针。费米非常清楚物理学的国际性，瞧不起许多意大利教授狭隘的观念，并且努力进入国际共同体。当他在国外逗留期间，他见到了许多国外著名的物理学家，并且通过他们的著作对他们十分了解。他正确地判断出，年轻的意大利物理学家要在国外获得名声，最好的办法是发表最重要的结果，这必然会引起教授们的注意。那些不重要的论文，或者在职务等方面竞争时而写出的仅仅为了增加数量的论文，就只在意大利发表，实际上在国外很少有人知道。当纳粹政权建立以后，作为象征性的抗议，不用德文发表文章了。这样，在英文杂志上发表重要文章成了大家普遍采用的方式。

费米把论碰撞的论文寄给了《物理学杂志》，当它发表后不久，玻尔通过实验观测发射电子的能量分布时，发现费米的方法与实验不符。玻尔批评费米的论文说：“在这些情形下，我们不能把建立在能量守恒基础上的对阻止本领的估计与实验近似相符这一事实，看作是对费米假定的支持。”<sup>[1]</sup>费米感到这个批评伤害了他，他觉得这不公正，而且这个批评出现在他为获得大家的承认而奋斗之时。很可能这一事件使他在看待“哥本哈根精神”上起了负面影响。随着量子力学的发展，费米的方法在与时间有关的微扰理论中得到了量子力学严格的证明，就像狄拉克表述的那样。威廉姆斯(E.J. Williams)和外扎克(C.F. Weizsäcker)对费米假定有效性的限制(包括相对性)作过仔细的讨论，并利用它进行过几次重要的应用。

由此我们可以看到费米工作方法早期的例子。一些颇为有限的基本思想和方法给了他深刻的印象，其中有些思想包含在上面讨论了的论文，以及后来与时间有关的微扰理论和它在从一个态跃迁到一个

---

[1] Niels Bohr, *Zeitschrift für Physik* 34(1925): 149. ——作者注

连续区的应用。后一个公式被他称为“第二号黄金规则”，这个术语后来作为普遍用语被物理学家接受，并进入了教科书。当面对新的问题时，费米经常发现可以把这个新问题视为他喜爱的一个思想的一次简单应用。这种关联在事后来看似乎很自然，但其实这种关联很不容易被发现。

1924年9月1日，费米来到莱顿，他发现那儿的气氛很适合他。曾经给他很大鼓励的埃伦菲斯特对费米的能力给了一个可信的判断。因为他熟悉世界上几乎所有的理论物理学家，他的判断又是在大量比较的基础上得出的，所以可信。这种判断对年轻物理学家恢复自信心是非常必要的。莱顿物理学家十分关注的一些问题——如统计力学和光谱学——非常适合费米。他告诉我，有一次他研究一根弦的布朗运动，解决了其中一些明显的困难。也许正是在这个时期，理想气体的熵、萨库尔-蒂特罗迪公式(Sackur-Tetrode formula)和斯特恩(Stern)对与时间有关的熵常数计算，引起了他持久的兴趣。在他1924年和1925年写的几篇论文中，我们可以发现他对这些问题感兴趣的踪迹。后来费米统计的发现就是从这儿孕育出来的。可以看出来，费米当时正在探索某种让他感到迷惑的东西。现在我们知道那是泡利的不相容原理，这一原理对物理学太重要了。在它发现后不久，费米在并不知道它的情形下就准备将它用于统计力学。

费米从莱顿回来以后，就急切地想找到一个能使他维持生活的工作。普欠迪、柯比诺和勒维-契维塔以及其他一些人都高度评价了费米的成就，他们都把他的某些论文推荐到林赛科学院，但费米认为通过发表数量更多的论文，还可以进一步推进他的研究。因此，他在意大利尽量多地发表论文。虽然他尽量保证论文的高水平，但也十分关心论文的数量，抽印本堆得越高他越高兴。他想尽快在他的学术事业上迈上另一个台阶，成为编外讲师，他相信论文的绝对数量是非常重要的，尤其当评判者们太懒，或者缺乏能力，因而不能正确评价他的价值的时候。

意大利物理学界有权势的人已经作出一个新的安排，为费米、佩尔西柯、拉赛蒂和其他一些在物理学上处于相同等级的人提供工作。助教的职位薪水太低，虽然这个工作可以为他们提供非常多的业余时间作各自的研究；但合适的人选并不多。在比萨的普欠迪、佛罗伦萨的伽巴索(Antonio Garbasso)和柯比诺之间达成一个协议，让拉赛蒂去佛罗伦萨，后来费米也去了，而佩尔西柯留在罗马。

从莱顿回国后，费米在 1924 年年底接受了佛罗伦萨的临时性工作。佛罗伦萨大学的物理实验室是新建造的，它位于城外阿翠堤(Atcetri)一个华丽的楼房里，与大学的其他部分不在一处。建造在这儿可能源于一种情感上的原因，因为年老的伽利略曾经生活在紧靠实验室的地方。历史的遗址有益于雄辩的就职演说和其他浮华不实的演讲，但实在没有什么理由把一个现代化实验室放到这儿。安东尼奥·伽巴索教授是实验室的主任，他还是佛罗伦萨的市长，他的政治事务在那时多于科学事务。伐斯柯·荣奇(Vasco Ronchi)教授指导光学研究，而且主要是研究、测试和改进光学仪器，但费米很少涉及这项工作。费米讲授的是理论力学和电学，水平比较高，相当于现在美国大学研究生初级课程。他很精心地写了一些电学笔记，它的副本仍然保留在他以前学生的档案中。

他还继续做在莱顿开始或受到鼓励的一些研究。但他的大部分论文都是在阅读当时文献的基础上写的。在这期间，他照例阅读《物理学杂志》上的大部分文章，也阅读其他一些重要的杂志。阅读后他经常深入思考，并经常被激发想出一些新的东西。这种习惯一直持续到作中子研究的时候，这可以解释他知识的广博和全面。

拉赛蒂来到佛罗伦萨也起了重要作用。他推动了甚至是引入了实验研究，类似于费米在佛罗伦萨作的理论研究。拉赛蒂杰出的、天生的能力和多才多艺使他成为费米不可多得的伙伴，这种关系在比萨求学时代就已经出现了。他们可以在一起讨论可能的实验、评论科学文献、进行有效而又富有成果地彼此激发。所有这些影响都是

互惠的：如果费米教拉赛蒂理论物理，而拉赛蒂则可以教费米许多事情，从现代英语文学到生物学，而且拉赛蒂对实验物理有非同一般的把握能力，这使他可以用非常简单的方法完成有价值的现代物理实验。在费米离开意大利之前，这种互惠的影响和科学的合作一直持续着。

1925年，他们两人合作得到一个重要的和成功的结果，那就是研究在一个交变磁场作用下共振辐射的退极化。<sup>[1]</sup>这是费米参加的第一个有意义的实验工作，拉赛蒂曾对此作了生动的描述：

伍德(R.W.Wood)、埃利特(A.Ellett)和汉勒(W.Hanle)曾宣布过他们著名的发现：水银共振辐射在弱磁场中的极化。拉赛蒂在佛罗伦萨曾经观察到这种效应。当费米来到佛罗伦萨大学几个月后，他对这一现象表现出极大的兴趣，当时能解释这一现象的理论是基于拉莫尔进动概念的一个经典理论。费米指出，既然水银共振线显示出 $3/2$ 朗德因子的反常塞曼效应，那么水银原子就更应该以一个比拉莫尔频率高 $3/2$ 的频率进动。这两个频率的确定，决定于对磁场中极化行为的研究，这个磁场必须有1高斯( $10^{-4}$ 特)的磁感应强度、变化频率为每秒几兆周，以及与原子进动频率接近的共振频率。

拉赛蒂有光谱技术方面的经验，但实验室没有射频电路。好在费米计算出一个简单振荡电路的参数，它可以产生强度和频率都适合需要的场。幸运的是，在仪器保管室找到了一些三极管，费米声称可以用它们装备成一个射频电路。实验室还有几个热线安培计可以用来测定线圈中的电流，这样就可以确定磁场强度。如果这些仪器不适用，这个实验就不可能完成，因为实

[1] “Effect of an Alternating Magnetic Field on the Polarization of the Resonance Radiation of Mercury Vapor” (FP 26). ——作者注

验室的研究预算严重不足，不允许他们购买贵重的设备。这种财政状况的另一个后果是这栋楼房没有暖气，因为很容易就可以算出来，一个月的取暖费可以把物理系一年的预算用光。从12月到3月，这栋楼房里的温度在3~6摄氏度之间。不幸的是到了春天做实验的时候，房间里的温度升高到12摄氏度，这适合居住，但对保证饱和水银蒸气有适宜的低密度来说却又太高了。

感应线圈和一些简单的部件由实验人员自己做。当线路装备好以后，它立即像费米预言的那样工作起来。实验很快就完成了，不幸的是由于温度高和对测量极化所用的摄影方法来说，精确性比较低。好在结果清楚地显示，原子的进动频率与基于朗德因子的预言是一致的。<sup>[1]</sup>

这项工作与原子光谱学有关，但在射频被广泛用于原子光谱学之前就已经完成。在费米的通信中还提到，他还试图利用日光的电场，在一个高频变化的电场中得到斯塔克效应，但没有获得成功。

在佛罗伦萨，费米为他的事业有些心神不定。他希望得到一个正式的大学任命书，这可以使他全身心的投入到物理学中去，而不为自己的生计犯愁。他的物质需要很少，他过着一种斯巴达式的生活，也没有任何家庭负担。一个新任教授的薪资虽然不多，但既有保障而且可以满足他的所有物质需求。教授的称号也是对他一种正式的认可，而现在他已经充分认识到自己的能力。我并不认为虚荣心或任何正式的认可在他的思想中有任何作用，一个想得到正式任命的真正理由是他热爱教书，这在他孩童时代的活动中就表现的得很明显。对于他自己在物理学中取得的成就以及在大学事业中的进展孰重孰轻，费米有正确的判断，他很清楚第一方面远远重要于第二方面。他知道他的才能总会被承认的，但他急于达到他的目的，而且

[1] FP, I: 159. ——作者注

以他特有的方式努力。他给佩尔西柯的信让人看了觉得意外：费米采取了学术上的计谋。

费米曾经对他正式的职业如此感兴趣，这也许会让那些知道他后来成就的人感到惊讶。我记得早在 1930 年，或者在那年之后，他对朋友们和合作者们学术进展的问题没有多大兴趣。他看重科学成就和工作条件，远胜于事业问题。他当然是对的，但是，他似乎已经忘记他年轻时的想法。

1925 年，虽然费米做出了一些优秀的有原创性的工作，但职业问题仍然是主要问题。大约 10 年之后，费米说他现在懂得了规则：“偶数年份是物理学的吉祥年；奇数年份则不是。”

1925 年夏天，费米一直呆在多洛米蒂山。像以往一样，几位罗马来的数学家和他们的家眷到这儿来躲避平原夏天的酷热。这些人当中有勒维-契维塔、卡斯特努沃、邦皮阿尼(E. Bompiani)<sup>[1]</sup>、乌戈·阿玛尔迪(U. Amaldi)<sup>[2]</sup> 和比较年轻的特里柯密(F. Tricomi)<sup>[3]</sup>。一位年轻而聪明的物理学家克朗尼格(R. de L. Kronig)也加入到这群人当中，他和费米以及阿玛尔迪 17 岁的儿子埃多阿多(Edoardo Amaldi)常常一起远足。埃多阿多那年刚刚高中毕业。这个中学生对费米和克朗尼格的谈话感到入迷，虽然他对他们的谈话了解得很少。克朗尼格离开以后，费米和埃多阿多·阿玛尔迪——这群度假者中最强壮的运动员——在多洛米蒂群山中一起艰难地骑自行车旅行。

1925 年秋天，费米终于有机会得到一个永久的职位。卡利亚里大学有一个数学物理学讲席需要聘用教师，这一消息在撒丁宣布。费米和佩尔西柯是所有应聘者中最年轻的两个，他们两个在科学上属于新一代，其他应聘者的年龄都比他们大得多。在那时，对所谓

---

[1] 邦皮阿尼，意大利数学家，在常微分方程和微分几何方面做出了贡献。——译者注

[2] 乌戈·阿玛尔迪，意大利数学家，对群论和拉普拉斯积分变换有深入研究。——译者注

[3] 特里柯密，意大利数学家，主要研究解析学、函数方程和积分方程。——译者注

“数学物理学”的解释非常狭隘，它被视为弹性学、经典电学诸如此类的东西。柯比诺有一次开玩笑地说：“这是 1830 年的理论物理学。”具有电子符号  $e$  和量子理论符号  $h$  的现代理论物理学在意大利没有讲席。更糟糕的是，如果说不是出于明显的恶意的话，理论物理学常常遭到几位地位巩固的物理学教授的怀疑，他们经常嘲笑理论物理学，或者对他们不懂或不了解的内容表示轻视。

柯比诺是他那一代物理学教授中最杰出的理论物理学的拥护者。他虽然并没有掌握理论物理学中繁复的技术层面的知识，但他了解和明白它的主要结论和问题，认识它的潜在价值，而且清楚地看出，如果意大利想获得和保持一个高的科学水平，就必须建立基础扎实的理论物理学。费米和佩尔西柯是他最忠实的拥护者，他们也全身心投入到这一事业之中。

数学家的情形完全不同。从 1870 年开始，意大利的数学水平就不错，到了近期，更处于发展状态，有了更优秀的成就。沃尔泰拉和勒维-契维塔可能是最接近理论物理学的两位数学家。沃尔泰拉主要的兴趣在于泛函和其应用方面的发现，勒维-契维塔主要的兴趣在绝对微积分和它们的应用，以及张量分析(在这方面他作出了基础性贡献)和它在相对论中的应用。他们两人都在罗马工作，都是国际知名的学者、反法西斯分子、优秀的数学家和不错的物理学家。费米在科学上和个人关系上更接近勒维-契维塔，但这两个人由于年龄、见解和所受科学教育的不同，在兴趣上有极大的差异。其他数学家，特别是费德里戈·恩里柯和卡斯特努沃，也有广泛的兴趣，但他们离开物理学更远；他们知道费米工作的重要性，费米和他们的交往也比较亲密。

当委员会在评定数学物理学讲席竞争者的时候，在一种绝对的尺度上说，委员们一致认为费米适合这个岗位，但在比较时出了分歧。3 个委员[享有盛誉的教授索米廉那(Carlo Somigliana)、吉列尔摩(Guglielmo)和马科隆哥(Roberto Marcolongo)]投票赞成乔吉(Giovanni

Giorgi)，他是米—千克—秒单位制的创立者；另两个委员(勒维-契维塔和沃尔泰拉)赞成费米。但是位子只有一个，最后决定让费米留在佛罗伦萨。委员会的报告在1926年3月公布，报告中讨论了诸多竞争者的工作，然后挑出费米和乔吉：

在开始，要在费米和乔吉之间作出选择是非常困难的，因为在能力和人格等方面成熟上，这两个优秀的竞选者很相似。

有些委员认为，无论在科学成果方面还是在思想特征上，乔吉都比较成熟，尤其是在纯理论上和哲学上，形成了一个多种因素的复合体，这使得乔吉比费米更有利。但是，他们也了解费米的科学成果，了解这个年轻探索者的成果在未来有非常乐观的预期。

其他委员，虽然对乔吉扎实、聪明的能力与其他同事有相同的判断，但却倾向于选择费米，因为费米的研究不仅重要而且有原创性。<sup>[1]</sup>

费米受到挫折，他觉得受到了不公正的待遇，好多年他对这一竞争和决定一直耿耿于怀。但实际上，费米并没有受到什么伤害，因为不到一年，他在罗马大学的教席竞选中获胜，这个任命比起卡利亚里大学的要重要一些，因此所获得的成功也大一些。此后，他继续他的科学研究工作。

他早些时候对单原子理想气体熵的思考，突然被泡利发现的不相容原理所说明。这个原理对气体量子化的解释起了关键作用，它的规则是一个量子态只允许存在一个粒子。费米的论文“理想单原子气体的量子化”完成的日期是1926年2月，他提交给林赛科学院的柯

---

[1] Ministero della Pubblica Istruzione, Bollettino Ufficiale, Atti di Amministrazione, Anno 53 (March 4, 1926) 1: 793. ——作者注

比诺，不久就在《物理学杂志》上发表了。这是费米对物理学的第一个重要贡献。

气态方程和理想气体熵的表达式是一个老问题。玻尔兹曼和普朗克曾经研究过它，除了斯特恩，萨库尔和蒂特罗迪也发现一个与量子理论相容的气体熵的表达式。但是，统计力学在包含全同粒子气体的状态计数时遇到了困难，在解决这一困难上走出重要的第一步的人是玻色(J.C.Bose 1858—1937)。1924年，他利用统计方法推出了黑体公式。他把黑体看做光量子的理想气体，然后用一种新奇的方法对微观态计数。爱因斯坦立即认识到玻色工作的重要性，并把它扩展到普通分子的气体中。玻色和爱因斯坦的中心思想是把系统看做由全同粒子的数来定义，而这些粒子占据着单粒子量子态。仅仅用这些就足以定义系统的状态。这种研究方法不同于经典的方法，经典方法认为既然全同粒子运行的轨迹原则上可以跟踪，因而全同粒子也是可以计数的，但对于可用来描述粒子的德布罗意的波包广泛重叠时，这种计数就不可能了。有一个例子可以帮助我们澄清这两种状态计数方法的差异。假定我们有两个全同粒子a, b和三个不同的态1, 2和3。我们把在各不同态的粒子数放进括号里，例如(1, 0, 1)表示一个粒子在态1, 态2没有粒子, 态3也有一个粒子, 那么, 可能发生的情形有: (2, 0, 0)、(0, 2, 0)、(0, 0, 2)、(1, 1, 0)、(1, 0, 1)和(0, 1, 1)，也就是说，对态1, 2, 3的占有数分别是2, 0, 0及0, 2, 0等；在这些可能性中的头三个只能用一种方法实现，但后三种可能性按经典统计，每一个可以有两种方法实现，因为(a, b, 0)(b, a, 0)是不同的，但玻色统计不能区分(a, b, 0)和(b, a, 0)，只能把它们看做是同一的。玻色-爱因斯坦统计可以应用于所有其有整数自旋的粒子(质子、 $\pi$ 介子、 ${}^4\text{He}$ 等)。半整数自旋的粒子(电子、光子等)则不同，它们有奇怪的特性，即只有1或0粒子可以进入一个单独的量子态(泡利原理)。因此，允许的占有数只能为1和0。费米提出了具有由这些粒子组成的理想气体特性的理论。现在人们把第一

类粒子(整数自旋)称为玻色子，而第二类粒子(半整数自旋)称为费米子。

实际上，所有稀薄气体在高温下的行为都同样是经典的，只有当密度很高时才会出现特殊的现象——例如，比热容消失了。这种情形称为简并，它发生于  $nh^3(3mkT)^{-3/2} \gg 1$  的时候。式中  $n$  是在单位体积的粒子中气体的密度， $m$  是粒子质量， $T$  是热力学温度， $h$  和  $k$  分别是普朗克和玻尔兹曼常数。为了理解这个关系的意义，必须记住在精度  $\Delta x$  内对一个粒子或波包进行定域，对应波的波长  $\lambda$  必须满足  $\lambda < \Delta x$ 。这儿的  $\lambda$  通过德布罗意关系式  $h/p = \lambda$  而与动量相联系。根据经典理论，一个原子的平均动能是  $p^2/2m = (3/2)kT$ ，由此我们可以得到  $\lambda = h(3mkT)^{-1/2}$ 。在经典描述中，不可避免会出现不同原子之间的干涉现象，各个波包必须保持一定的距离，这个距离要大于它们的尺度。因为原子之间的平均距离是  $n^{-1/3}$ ，所以  $\lambda \ll n^{-1/3}$  或者  $n\lambda^3 \ll 1$ ，也可以写为  $nh^3(3mkT)^{-3/2} \ll 1$ 。

碰巧有几种重要的系统可以用简并气体近似表示，例如金属中的电子、原子中的电子和原子核中的核子在一级粗略的近似中，都可以看成简并费米子气体。由于这一原因，费米统计十分重要，它的影响已遍及物理学的几个领域。在费米提出费米统计和它的量子力学基础以后几个月，狄拉克也独自得到了相同的结果。

费米统计几乎立即被应用于金属。例如，长期以来，人们就为金属中的自由电子不显示任何比热而感到无法理解。这个事实现在可以正确地归之于简并现象，但有关它的思想并不清楚。费米很了解这个问题，因为柯比诺(和其他人)曾经用实验研究过。费米曾经将他的统计方法用到金属蒸气的比热上，但没有就这一研究发表任何文章。索末菲首次将这个新的理论通过一种系统方法应用到金属中。这篇关于统计的论文被普遍认为是一个基本的进展，把费米带进了世界理论物理学家的中心。现在，由于费米拥有了谁也不能再忽视的新成就。柯比诺认识到，他想在意大利发展现代物理学的计划已经

接近于实现，于是他迫使罗马大学建立了一个理论物理讲席。如佩尔西柯信中所说，费米也没闲着。<sup>[1]</sup> 竞选的结果于 1926 年秋天发布。

但是，即使对费米个人而言，物理学更重要的一个进展是薛定谔论波动力学第一篇论文的出现。（有关这方面论文的出版一直延续到随后的两年。）<sup>[2]</sup> 费米在佛罗伦萨就开始研究这些论文，并受到了深刻的影响。由此他自然地明白了量子力学的问题（说得更准确一点是危机）。他已经熟练地掌握了玻尔-索末菲旧的理论，他阅读过海森伯关于矩阵力学的早期论文，但没有理解，在薛定谔系列论文的第一篇论文“作为本征值问题的量子化”像惊雷一样震撼了物理学界时，费米忽略了德布罗意的工作。薛定谔的这篇论文以及后续的几篇论文，立即引起物理学家的欢呼，认为这是量子理论在向前发展中迈了一大步。这些论文不像海森伯和狄拉克的论文那样难懂，它们很容易（即使不完全）理解，它们所利用的是常见的物理学和数学工具，而且给出了立即可以用实验验证的具体结果。在普朗克和薛定谔的通信中，对普朗克和柏林物理学家的反应有非常明白的描述。<sup>[3]</sup>

费米立即掌握了薛定谔的技巧，但在一段时间里他对波函数或者如当时称呼的场标量(field scala)的解释心有疑虑。他曾经读过玻恩有关碰撞的论文，在这些论文中玻恩提出过概率的解释，<sup>[4]</sup> 他甚至还将玻恩的碰撞理论作过一次巧妙的应用；但是在此后的几个月，他仍试图用不同的方式来解释波函数 $\psi$ 。

与此同时，罗马大学的选聘工作正在进行。1926 年 11 月 7 日，

[1] 见附录一中 1925 年 6 月的信。——作者注

[2] Erwin Schrödinger, “Quantisierung als Eigenwert Problem”, *Annalen der Physik*, 4th ser., 79 (1926): 361. The first paper is dated January 27, 1926. 同时参见 Erwin Schrödinger, *Abhandlungen zur Wellenmechanik* (Leipzig: J.A.Barth Verlag, 1928). ——作者注

[3] Karl Przibram, *Briefe zur Wellenmechanik* (Wien: Springer, 1963). 关于量子力学史可参见 Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (New York: McGraw-Hill, 1966). ——作者注

[4] “On the Wave Mechanics of Collisions” (FP 36). ——作者注

委员会举行了会议，委员们有伽巴索、马吉(G. A. Maggi)、坎顿(M. Cantone)、马约拉纳(Quirino Majorana)和柯比诺，柯比诺写了会议报告。费米赢得第一名，佩尔西柯第二，庞特里摩利(Aldo Pontremoli)第三。讨论了竞选者的论文以后，委员会对费米的工作作了如下评价：

委员会在审查了费米教授大量复杂的科学的研究工作后，大家一致认为它们具有非同一般的水平，并且认为在他年轻时期，尤其是这几年来的科学活动，已经为意大利的物理学带来高度的荣誉。

一方面他把握了最微妙的数学工具，他适度而审慎地运用它们，同时没有忽视他正试图解决的物理学问题，也没有忽视他正在考虑的物理量的作用和大小。另一方面，他非常熟悉经典力学和数学物理学最精致的概念；在现代理论物理学最困难的一些问题中，他完全自信地搏击着。他是最适合代表我们国家进入目前全世界正紧张研究的科学活动领域的人，他准备得最充分。委员会由此一致认为，费米教授完全胜任理论物理学教席，因此获得了竞选的胜利。我们认为，这个教席将使他更有希望在意大利创建和发展理论物理学。<sup>[1]</sup>

这次竞争的另一个结果是，佩尔西柯去了佛罗伦萨，庞特里摩利去了米兰。庞特里摩利不久在一次飞船极地探险中去世，这次探险由诺毕尔(Umberto Nobile)指挥官<sup>[2]</sup>领导。费米在获得了罗马的职位之后，实际上已经达到了他在意大利大学职务中的最高点。更使他满意的是，他又可以和他的父亲和姐姐团聚了。

[1] Ministero della Pubblica Istruzione, *Bollettino Ufficiale, Atti di Amministrazione*, Anno 54 (March 3, 1927)1: 634. ——作者注

[2] 诺毕尔(1885—1978)，意大利航空工程师和北极飞行的先驱。——译者注

## 第三章

# 罗马大学教授

53

在 26 岁那年，费米回到罗马接受了一个重要的终生席位，对大多数教授来说，只有当他们 50 岁的时候才能得到这个席位。他的科学事业达到了巅峰时期。但是还有一个问题有待解决：他需要一个适宜的科学环境。

我们知道，在罗马有一群年龄比他大得多的知名数学家，他与他们十分友好。但是良好的个人关系以及他们彼此间的高度评价，并不足以产生有成果的交流或者智力上的合作。在物理学家中，唯一能够跟踪和理解现代物理发展的柯比诺却整日忙于政治和商业活动，虽然他充分了解恢复意大利往日物理学辉煌，以及把更多年轻人引进这个领域的重要性，但是他的科学活动受到了限制。

费米在比萨的年月里就曾努力把现代物理学引进意大利，他把这一努力视为自己生活的主要目的之一，虽然他没有明确说出这一点，甚至很少公开宣传这一目的。华丽的言词与他的本性完全相反，他

的本性倾向于少说话多做实事。为了实现他的计划，费米采取了几个具体步骤，它们后来起了重要的作用。首先，写文章把现代物理学介绍给广大的读者(包括高等学校的教师)；其次，写一本原子物理学方面的教材；第三，寻找并训练年轻的物理学家。

文章最初提交给半通俗的讲座，费米利用意大利科学促进会年会和其他一些讲座讲述物理学新近的发展。在这些讲座上还经常有柯比诺、佩尔西柯、拉赛蒂或其他著名物理学家的演讲，他们相互配合、相得益彰。讲演的文本以后在会报上作为文章发表，或者在其他为工程师和教师办的专业杂志上发表。费米文章的内容很优秀，有时候文体并不优雅，但它们达到了作者的意愿：吸引了年轻一代关注现代物理学。

在 1928 年以前，意大利还没有适合训练高年级大学生的现代物理学课本。整个年轻一代学习的课本是索末菲德文本的《原子和光谱线》；而作为这门学科的入门书，这本书写得太长而且太细。费米认为最好的办法是自己写书，这恰好反映了费米的性格。1927 年暑假他到多洛米蒂山去完成这一任务。像以前一样，他侧卧在一块山地草坪上，面前放着足够的铅笔和许多空白笔记本，他一页页地写下去，身边没有一本参考书，没有一处涂改(那时意大利的铅笔上还没有橡皮)，也没有删去一个字。手写体的草稿送到博洛尼亚的赞里切利(Zanichelli)出版社那儿，1928 年就出版了。这本不厚的书就是《原子物理学导论》，它极其成功地完成了作者的意愿。遗憾的是它写成于波动力学正式被科学界接纳之前，因此，虽然在最后一章写到了薛定谔方程，也提到了海森伯的矩阵，但有关量子论的内容主要是以玻尔-索末菲轨道概念为基础的。

第三步是发现和训练年轻的科学家，这是最重要的，同时也是最困难的。为了弄清楚费米到底完成了什么，我在下面描述在他到来以前罗马的情形。

1927 年，意大利大学里学习物理学的学生很少；最大的学校罗马

大学中，4个年级中大约只有12个学生学习物理学。物理学主要是给学习工程、化学、医学和类似专业的学生们开设的一门辅助课，同时也为未来的高校教师开设。在当时，对于伟大的相对论和量子理论，前者倒是经常有人提到，但是恐怕全意大利除了费米和佩尔西柯(他们教量子理论)以外，还没有能够讲它们的教授。

在费米回到罗马以后，他试图把罗马大学的物理研究所(大约相当于美国的物理系)改造为世界一流的研究所。他没有把这种意愿写进任何文件里，但这却是他行动的主要动机。关于这一意愿，他和柯比诺两人都完全赞同，而且他们相互合作、彼此帮助。第一个任务就是加强物理实验。后来的事实证明，这项任务比建立理论物理学更加困难，因为根本就没有实验物理学家能够单独完成费米正在理论上设想的东西。而且，实验物理需要的技术和财政的支持，比理论工作要大得多。

在罗马，那时除了柯比诺以外，另一位实验物理学家是安东尼诺·洛苏尔多(Antonino Lo Surdo)教授，他是近代物理学教席的教授。洛苏尔多像柯比诺一样，是西西里人，他工作的领域主要是光谱学，他曾经发现一个有效的方法，在电场中观测氢光谱谱线的分裂和频率移动，后者现在一般被称之为斯塔克效应。洛苏尔多的工作完成于1914年前后，在斯塔克发现之后不久，但此后他没有再追随物理学后续的发展——至少没有这么做的迹象。我在1927年和1928年听过洛苏尔多的讲座，其中包括一些有趣的演示实验，但它们基本上都来自德鲁德(Drude)有关光学的书(1900)<sup>[1]</sup>和J·J·汤姆逊关于气体放电的著作(1903)，<sup>[2]</sup>而这些内容丝毫也不涉及量子理论。但是，洛苏尔多却认为他就代表了现代物理学，而且他有嫉妒他人的特点。他曾经设法不让费米到罗马来，认为费米的出现将是他本人的一种忽

[1] Paul Drude, *Lehrbuch der Optik* (Leipzig: S. Hirzel, 1900). ——作者注

[2] J. J. Thomson, *Conduction of Electricity through Gases* (London: Cambridge University Press, 1903). ——作者注

视。洛苏尔多的态度和行为使他和柯比诺的关系紧张起来。柯比诺有时故意不理睬他，但又做得无可挑剔，有时又故意对研究所其他教授的优点表示尊重。

洛苏尔多是一位不幸的人，遭遇过几次严重的不幸，他本可以帮助新一代的人来大大改善他的处境，但他却选择敌视费米和年轻物理学家的道路，结果受到了严重的惩罚。后来，当法西斯进行种族迫害时，他对法西斯党表示了极大的忠诚，为此他又得到回报。但是，他活着的时候看到了法西斯的崩溃，他拥有的影响在独裁政权最后几年也逐渐衰微。

罗马大学需要补充一位年轻而有活力的实验物理学家，这成了一件重要而迫切的事情，拉赛蒂是最佳人选。他在 1927 年初就从佛罗伦萨来到罗马，成为柯比诺的助手。

拉赛蒂的工作完成得十分漂亮，不到几年的时间就获得了国际声誉，这主要是由于他在拉曼效应方面的研究。柯比诺还为此在罗马大学为他的这位被保护人创建了一个光谱学教席。几年以后的 1935 年，柯比诺说，中子的研究将会给费米带来诺贝尔奖，让拉赛蒂入选林赛科学院，为我提供一个物理学教席，阿玛尔迪则会继承我的位子成为他的第一助手。这一切真的都发生了。

下一步是招募学生，招募好学生。费米在罗马大学物理研究所没有发现他满意的人，因此招募人才的事还不那么容易。在意大利，那时物理学只为科学事业打开一扇可能性的门。大学的教席非常少，要想取得这样一个席位得熬许多年。高等学校只提供非常有限的职位，所以，一位物理系的学生想获得成功，就必须有一种对物理学狂热般的喜爱，或者家境富裕，或者两者都具备。但是，费米的威望已经扩展到物理研究所之外，当费米一到罗马大学，从技术学院毕业的我立即就感到一次伟大的机遇来到了身边。

1927 年春天，通过朋友和同事乔万尼·恩里柯(一位数学家的儿子)的介绍，我见到了拉赛蒂，我从他那儿学到一些物理学理论，但

更重要的是我获得了信心：罗马的物理学正在苏醒。1924年，我曾经在数学讨论班听过费米的演讲，它给我留下了深刻的印象。在大学学习期间，我没有学过原子物理学，但在阅读赖彻(Reiche)写的量子理论时，对原子物理学有了大致的了解。<sup>[1]</sup>现在遇到拉赛蒂和费米这两个年轻人之后，我才对这门学科有了深入的了解。但是，我一直没有单独会见过费米，我也没有办法把这位只比我大几岁的演讲者，与我在读书时知道的著名物理学家相比较。

1927年夏季，通过拉赛蒂和恩里柯我了解了费米，并立即感觉到我发现了一位非常了不起的导师。费米在远足和在海岸边与我交谈时，问我几个简单的数学与经典物理学的问题，也许他是想谨慎地测试我的知识和能力。1927年9月，当我与拉赛蒂、恩里柯和其他人从阿尔卑斯山考察回来以后，参加了在科莫举行的国际物理学会议。让我无法忘怀的是，在会上我亲眼见到了我在书上看到过的一些伟大的物理学家，他们是洛伦兹、卢瑟福、玻尔和其他许多人，还见到一群非常年轻的人——海森伯、泡利和费米——他们命中注定是未来的“伟大物理学家”。我在会议中也学习了不少物理学知识，这是由于拉赛蒂和费米不断给我指出那些名人，还告诉我他们最主要的成就。

事实上已经很清楚，至少在科学上，费米的声音是会议中意大利最有价值的部分。<sup>[2]</sup>意大利的科学家在会上很少被人提及，但他被提到了，而且参加了讨论。玻恩、索末菲和其他著名的物理学家认真听取费米的讲话，明显地把他看做是会议中重要的物理学家之一。

1927年秋天回到罗马时，我决定顺从我以前想学习物理学的兴趣，几个月以后我离开了我曾经追求的工程学研究，转到物理研究所。在这期间，我感受到了柯比诺深远的影响。他很容易地就克服

[1] Fritz Reiche, *Die Quantentheorie*(Berlin: Springer, 1921). ——作者注

[2] 参见 *Atti del Congresso Internazionale dei fisici 1927*(Bologna: Zanichelli, 1928), especially p.470—71. ——作者注

了严重的行政困难，把我学习工程学的学分给了我。没有人特别注意这件事，但我却成了费米的第一个学生，至少在形式上是如此。罗马学派诞生了。

1927年6月，柯比诺在他的工程物理学的一个班级中宣布，物理研究所准备接受少数几个有非同一般能力的学生。他指出这是难得的好机会，因为现代物理学在科学上大有前途，而且新来的年轻教师非常熟悉这门学科，并急切希望教授它。只有一个学生——埃多阿多·阿玛尔迪——接受了邀请，成了一小群学生中的一员。费米亲自给他们讲课，希望他们将来成为研究型物理学家和合作者。这种努力最终也许会导致意大利物理学的复兴，不过在当时他并没有明确地说明这个目的。

在几个月的学习以后，我对我的朋友和工程学院的同学埃托瑞·马约拉纳(Ettore Majorana)<sup>[1]</sup>谈到我的学习，结果他也加入了我们的小组。他是博洛尼亚大学实验物理学家奎利诺·马约拉纳的侄子，费米应聘罗马大学时奎利诺是评选人之一。论智力和知识的深度、广度，埃托瑞·马约拉纳比他的新伙伴们强过许多，而且在某些方面——例如数学——他甚至超过费米。不幸的是，他非同一般的原创性和极高的智慧，却伴以一种过度批判的倾向和一种深沉的悲观主义。他的性格使得他宁愿单独地工作，过一种孤独的生活。他很少参加我们的学习，但他常常以他的原创性思想、方法以及闪电般的心算能力，帮助我们解决困扰我们的理论难题(他可以轻而易举地成为一个职业数字奇人)。后来，他把自己孤立得更厉害，1935年以后他从大学里消失了，很少离开他的家。

其他学生经常到研究所来听费米的常规讲座，讲座的内容有电学、现代物理学等。他们偶尔也参加费米专门办的讨论班，其中有

[1] 参见 E. Amaldi, *La vita e l'opera di Ettore Majorana* (Rome: Accademia Nazionale dei Lincei, 1966). ——作者注

贾尼尼(Gabriellom M.Giannini)，他在 20 世纪 20 年代末移民到美国，后来成了一个事业有成的工业家和商人。

费米的讨论班总是即时决定和非正式的。在下午较晚的时候，我们到他的办公室见他，我们的谈话就可能引起一次讲座。例如，如果问到关于毛细现象我们都应该知道些什么时，费米就会即时来一个漂亮的讲座，讲述这方面的理论。人们听了讲座以后会有一种深刻的印象，认为他曾经仔细地研究过一直到那时为止的毛细现象的所有理论，而且曾经为这一讲座作过精心的准备。我在自己的一个笔记本中发现，在那些年代里讨论过如下一些课题：黑体理论，气体的黏性，波动力学(薛定谔方程的建立)，张量分析，光的色散理论，高斯误差曲线，大量的量子力学，以及狄拉克的自旋理论。

利用这种方式，我们学习了许多课程，它们的水平相当于美国大学研究生开始时的一些课程。但是有时的讨论水平要高一些，费米可能会解释他刚刚读过的一篇论文。由于这种讨论，我们逐渐熟悉了著名科学家薛定谔和狄拉克刚刚发表的一些著名论文。我们从来没有正规的课程。如果有一个我们完全不知道的领域问到费米时，他一定只限于告诉我们有一本好书可以去读。因此，当我向他求教热力学问题时，他告诉我去读普朗克写的书。但是他建议读的书并不总是最好的，也许这是因为他只提到他自己读过的书，这些书对教学并不是最需要的，只不过他在比萨图书馆见过而已。讲座之后，我们要作笔记，还要解决(或努力试图解决)他给我们留下的一些问题，或者其他一些我们想到的问题。除此以外的时间，我们做一些实验研究。费米讲授的主要是理论物理学，但对未来的理论物理学家和实验物理学家们并没有什么区别。费米在那时主要做理论研究，但对实验研究也有兴趣。我清晰地记得我们第一次在实验室见面的情形：费米和拉赛蒂——一个矮而壮实，另一个高而瘠瘦，两人都不大讲究，穿着灰色工作服，正在用一个雅满干涉仪(Jamin interferometer)把干涉条纹聚焦在希尔格石英摄谱仪的缝上，摄谱仪用

薄的桃花心木包着。他们试图用实验来让我对他们表示敬畏。实验是测量铊蒸气的折射率。结果——或者十分类似他们的结果——发表在一篇论文上，<sup>[1]</sup> 它们是直接从拉赛蒂的博士论文发展而来，至少在技巧上是如此。

拉赛蒂对费米和整个小组的影响是很大的，甚至在物理学之外也是如此。他读书(科幻小说和通俗科学书)，他到遥远的地方去旅行，他收集昆虫，他吃与众不同的食物，等等。他利用诡谲的表情，极力赞扬他自己读的书或行动，刺激大家模仿他的一切。我们开玩笑地称他为“尊敬的艺术大师”，这种嘲弄多少有一些道理。

我们的集体生活和小组紧密的联系，有一个可笑的反映方式，那就是小组中的每一个人都有一个特殊的声音和音调。费米和拉赛蒂两人的声音低深、缓慢，还用一种奇怪的方式改变声调、节奏，而所有他们的朋友都在无意中学习他们的腔调。据说这些朋友中的一位乘火车旅行时与另一位旅客谈话，谈话突然中断，因为那位旅客突然问他是不是罗马的物理学家。朋友十分惊讶地问他是怎么知道的，旅客回答说：“从你讲话的方式。”

上述活动都在帕尼斯佩尔纳大道 89A 的罗马大学老物理实验室进行。这座建筑大约于 1880 年兴建，当时这儿还是城市的郊区，是某修道院的土地，1870 年才成为非教会的财产。(隔壁的化学系也曾经使用过老修道院的房屋。)物理楼完全适合 20 世纪 20 年代的科学的研究工作，与欧洲其他主要实验室相比还算很不错的。设备也很好，主要的仪器有分光仪等，还有些合适的辅助设备。实验车间设备陈旧，机械工具少得可怜，但图书室很好。物理楼位于山上一个小公园里，靠近罗马的中心地带，在当时既方便又美丽。公园风景宜人，栽有棕榈树和竹林，除了傍晚燕群飞聚到温室时以外，这儿总是

[1] “A Measurement of the h/k Ratio through Anomalous Dispersion of Thallium” (FP 40). ——作者注

非常安静。这使得研究所成为一个非常宁静和吸引人的研究中心。我相信每个在那儿工作过的人，都会亲切地怀念这个古色古香的地方，会对它产生一种诗意的情感。

三楼是柯比诺居住的地方，二楼有研究实验室，柯比诺、洛苏尔多和费米的办公室以及图书室也在二楼；一楼有试验车间、教室和学生的实验室。地下室有发电机和其他一些设备。

费米、拉赛蒂和他们的学生占据了二楼整个南边，而洛苏尔多占据了北边。后来，费米手下的人越来越多，结果几乎把整个二楼都占据了，相邻的  $1/4$  由特拉巴齐(G.C.Trabacchi)教授占据，他是卫生部的首席物理学家。他有很好的仪器设备，材料供应也富裕，而且他很慷慨，只要我们需要他总是会借给我们，因此他得到一个绰号“神意”(divine providence)。柯比诺通常每天早上都花一些时间读书，并经常到费米那儿，和费米或他的学生谈有关物理学和其他的一些事情。

费米在得到罗马大学任命以后的第一篇重要论文是“一种确定原子某些特性的统计学方法”。文章中提出了托马斯-费米统计法。费米不知道托马斯在几乎一年以前发现了这种方法。像通常那样，他精力充沛地用一个袖珍计算器算出基本函数  $\psi(x)$ 。马约拉纳那时刚来到学院不久，他是一个非常多疑的人，决定自己检验一下  $\psi(x)$  的数值。他回家以后，把  $\psi(x)$  的方程变为里卡蒂方程，然后不利用任何计算工具的帮助，解出方程的数值。当他把他的结果与费米的结果进行比较以后，他发现费米的结果没有错，他感到十分惊讶。

后来费米继续研究许多特殊的应用，并提出其中几个问题让拉赛蒂和他的学生们研究。这个统计方法的基本思想成了他最喜爱的一种思想，后来他又多次思考过它。当他在论文“高能核事例”中把统计方法用于高能物理学时，他可能在心中又想起了这一基本思想。1928 年在莱比锡的一次会议上，在德拜(P.T.Debye)的支持下，费米总结了 1927~1928 年的结果，这可能是他第一次在国际会议中成为主

角。到了1930年10月20~26日，费米参加了第六届索尔维会议，这次他受到了比在莱比锡会议上更大的重视。索尔维会议是由恩斯特·索尔维(Ernest Solvay)发起的。索尔维是比利时人，是碳酸钠制备过程的发明人。这一成功的发明使他致了富，于是他捐赠了一部分钱作为会议的经费。会议在布鲁塞尔召开，每次约一周时间，约有30位全世界最杰出和最活跃的物理学家就某个专题发表个人的意见，然后进行讨论。第一届会议在1911年举行，主题是“辐射和量子理论”；第六届会议(就是费米第一次参加的这一次)，于1930年召开，主题是磁学。另一位唯一有资格参加这种精英会议的意大利人是柯比诺，那是在1924年，但他没有参加。<sup>[1]</sup>

费米的知识和兴趣涵盖了整个物理学，他认真而坚持不懈地阅读几种杂志。如以前曾经提到过的，他更钟情于具体的问题，不大相信太抽象和太普遍的理论，但是物理学任何领域的任何明确问题，无论是经典力学、光谱学、电动力学、固体理论或其他分支的问题，都会让他着迷，并且将之看成是对他的创造力的挑战。人们经常会遇到这种情形：当你跟他谈到某个问题时，还没有等你讲完，你就会听到他讲出了一个漂亮的解释，简单而又清晰，可以解决一种让人感到迷惑的现象。我们经常有机会看到，他用这种方法完成新的和有创新价值的工作。我们还经常看到他提出和发展一种计算方法，其进展速度适中，极少有错误、不正确的开端或方向的改变。这类工作多半在演讲中发生，虽然进行得比较慢，但到结束时，论文或者至少是方程已经准备复印和发表，很少需要改正。当然，我们无法说出费米自觉或不自觉地完成了多少初始性工作。

以这种方式完成的研究有一个值得注意的例子，那是“辐射的量子理论”。费米看过狄拉克的论文，<sup>[2]</sup>也了解他得到的结果。但狄

---

[1] 参见 Maurice de Broglie, *Les premiers Congrès de Physique Solvay* (Paris: Albin Michel, 1951). —作者注

[2] *Proceedings of the Royal Society (London)*, ser. A, 114 (1927): 243, 710. —作者注

拉克的方法与费米的完全不同，于是他决定用他熟悉的数学形式重建这个理论。他几乎每天都向拉塞蒂、朱利奥·拉卡(Giulio Racah)、马约拉纳、阿玛尔迪和我讲解他已经完成的部分，并常常当我们的面就想到了一种新的应用。至少在当时他没有读过约尔丹、泡利和海森伯有关量子电动力学的重要论文。他极力想找到一种办法消除量子电动力学的发散问题，他写满了许多进行这种计算的笔记本，但没有获得成功。1929年，在巴黎彭加勒研究所举办的系列讲座中，费米讲述了他在辐射量子理论方面的研究；1930年在密歇根安阿伯暑期学校，他对此作了更正式的介绍。他的介绍后来整理成文用法文和英文发表了。贝特(Hans Bethe)曾与费米在量子电动力学中的一个问题合作过，他描述了它们给他的影响：

你们中的很多人可能像我一样，最开始学习场论是从费米发表于《现代物理评论》(1932)上的奇妙文章开始的。这是简单性在一个困难领域里的一个范例，我以为无人能与之相比。这篇文章发表在许多有关这个课题的十分复杂的论文之后和另一些十分复杂的论文之前，但是如果没有费米启迪心智的简单性论文，我想我们至今还不能深入理解场论。我想我是他们中的一个。<sup>[1]</sup>

维格纳(E.P.Wigner)并没有从费米那儿学习场论，但他的评论同样可以说明费米论文带来的影响：

费米不喜欢复杂的理论，尽可能地避开它们。虽然他是量子电动力学的奠基人之一，他仍然尽可能地坚持不使用这个理论。发表在《现代物理评论》(1932)的文章“辐射和量子理

[1] H.A.Bethe, “Memorial Symposium in Honor of E.Fermi at the Washington Meeting of the American Physical Society, April 29, 1955”, *Reviews of Modern Physics* 27 (1955): 253. ——作者注

论”，是他许多演讲和讲座的一个典范：在没有充分熟悉这个理论错综繁复的情形下，没有人能够把它写下来，而且也没有任何人能有更好的办法避开这种错综繁复的情形。但是，当他面对一个不得不利用许多他不喜欢的量子场理论概念进行解决的问题时，他也会使用它们，而他一篇最优秀的论文正是在量子化场的基础上写成的。<sup>[1]</sup>

维格纳这儿暗示的是算符的破坏和创建，但是费米似乎直到1933年研究β-衰变之前，还没有充分理解“这种错综繁复的情形”。

费米有一个很奇特的工作习惯，那就是进展的速度很稳定。如果有一部分很容易，他依然进展得很慢，头脑简单的人也许会问他为什么把这么多时间花在简单的代数上。当遇到一些困难时，它也许会使能力较差的人停下来，但费米仍然以不变的速度解决这些困难。人们很深刻地感到，费米像是一台碾路机，前进速度不快但却没有任何东西能阻挡他，最后的结果总是明晰无误。人们总会禁不住好奇地问，既然一切是如此地简单和自然，为什么在以前没有发现呢？他只要使用过一种方法，这种方法就会存储在他的记忆里，此后就会经常地被用到另一些问题上，这些问题与原来创建物理思想和数学技巧时的问题已经很不相同了。例如，“散射长度”的演化和后续的多次应用就是一例，它首先出现在“光谱系中高频线的压致频移”和“中子轰击产生的人工放射性”，后来又出现在有关原子和核的统计的课题中，这是费米适应性技巧的一个范例。

早在1928年，费米就很少用到书，拉斯卡(Laska)的数学公式汇编和兰多尔特·伯恩斯坦(Landolt Börnstein)的物理学常数表几乎是他办公室中仅有的参考书。当他需要从图书馆的书中查找一个复杂的方法

[1] E. P. Wigner, *Yearbook of the American Philosophical Society* (Philadelphia: American Philosophical Society, 1955), pp.435—39. —作者注

程时，他经常会与我们打赌，说在书中找到这个方程之前他将把它推导出来，结果他总是获胜。从他到罗马大学来以后，据我所知他看过的惟一论著是韦尔(Hermann Weyl)的《群论和量子力学》。

在“费米学派”中培养一个年轻物理学家的可能速度，简直难以令人置信。当然，一系列的成功是由于在年轻人中激发巨大的热情而致，它们从来不是利用说教或“布道”的方法取得，而是在范例的雄辩中获得。只要在帕尼斯佩尔纳大道的研究所呆上一段时间，人们就会完全懂得物理学，我这儿说的“完全”决不是夸张。

费米不喜欢指定博士论文题目，或者一般说来，他不提出研究课题。他希望学生自己找到课题，或者从一位同事正在研究的前沿里得到一个课题。这其中的原因，如他后来告诉我的那样，是他很难从开创者那儿方便地得到足够简单的研究课题。他通常想到的一些让他个人感兴趣的问题，对学生却太难了。他对他的学生和同事友好而坦诚——从不无情但也不过分亲切。他和年轻的助手一起研究时，他常常解决了关键的困难，却慷慨地拒绝提到他的帮助，但他要求助手尽最大的努力。人们对他非常尊重，没有人敢在他面前提到小争吵或者嫉妒，这些事在一个合作的小组都是可能产生的。拉赛蒂十分慷慨地告诉别人他知道的实验技巧，以及借出他不再使用的仪器，但人们很难与他一起工作，这是因为他怪癖的性格和不正规的工作日程。

在所有这些参与冒险的人当中，建立了持续很长时间的深厚友谊。他们的年龄相差很小，费米和拉赛蒂是最年长的，在1927年是26岁，阿马尔迪最年轻，19岁。柯比诺很少出席下午的讲座，但他非常关心科学的研究和小组的福利，包括职业问题和年轻人与外界的关系。

物理学的另一个复兴正在佛罗伦萨发生，它在很多方面与罗马发生的情形十分相似。佩尔西柯是青年一代人中唯一的一位终生教授，他对这次复兴运动有强大和有益的影响。这群能干的年轻科学

家都是 20 来岁，会聚于佛罗伦萨，形成一个研究现代物理的物理学小组。其中最著名的有：布鲁诺·罗西(Bruno Rossi)，他在宇宙射线的研究中颇有名气；朱塞佩·奥奇亚里尼(Giuseppe Occhialini)，他是宇宙射线簇射和  $\pi$  介子的共同发现者；吉尔贝托·博纳迪尼(Gilberto Bernardini)，他后来成为欧洲核子研究中心物理部部长和比萨高等师范学院校长；朱利奥·拉卡，拉卡系数的发明人，后来担任耶路撒冷大学的校长。佛罗伦萨的物理学家多半自学成才，他们充满活力、有热情和原创性思想。佛罗伦萨和罗马小组之间关系亲密，他们经常相互访问和参加对方的讨论班。如果我在这儿详细描述佛罗伦萨小组杰出的历史，会使行文太冗长，而且会离正题太远，以后在与费米有直接关系时候，我才会提到这个小组。

发生在罗马和佛罗伦萨的事情，很快在意大利年轻的物理学家中传播，或者说激励了物理学家。一位早期经常访问罗马大学的物理学家是小金蒂勒(Giovanni Gentile, Jr.)，他刚从比萨高等师范学院毕业不久。1930 年，佩尔西柯从佛罗伦萨调到都灵，在他帮助之下那儿建立了另一个现代物理学中心。艾瑙迪(Renato Einaudi)是佩尔西柯推荐的第一位由都灵来到罗马的人，后来，威克(Gian Carlo Wick)跟随他做研究。威克在都灵获得博士学位，后来在哥廷根与玻恩以及在莱比锡与海森伯一起工作过，他在海森伯那儿遇到阿玛尔迪。阿玛尔迪试图把威克安排在罗马工作，但由于缺乏合适的职位把这计划推后了一年。1932 年，威克来到罗马大学，一直工作到被任命为巴勒莫大学的教授(这还得益于我的鼓动)。后来，有几个大学生在结束了两年的预备课程后，立即来到罗马大学，他们是从都灵来的弗比尼(Eugenio Fubini)、凡诺(Ugo Fano)，从博洛尼亚来的平切勒(Leo Pincherle)和从比萨来的庞特科沃(Bruno Pontecorvo)。这些转校来的学生，代表了一个更年轻的小组，几乎是第二代了。

到了 1929 年左右，情况已经十分清楚：我们在理论物理方面已经有相当水准，因此需要加强我们的实验活动。为了把新的实验技

术引进罗马，就必须让小组的成员到外国不同的实验室去工作，以便在当地学习这些技术。于是，拉赛蒂到美国帕萨迪纳的密立根实验室，在那儿他对拉曼效应作了重要研究；我到阿姆斯特丹的塞曼实验室，研究禁戒谱线(forbidden spectral lines)；阿玛尔迪到莱比锡的德拜实验室，研究液体的X射线衍射。开始，我们利用罗马没有的实验设备，完成我们在罗马已经开始的研究，后来，我们利用国外的实验室做全新领域的实验。在这第二个阶段，拉赛蒂在柏林威廉皇帝研究所迈特纳(Lise Meitner)的实验室里作放射性研究，我在汉堡的斯特恩实验室里作分子束研究。这个计划十分成功，如果没有这些在国外的实验研究的训练，以后就不可能迅速而有效地完成复杂的中子研究。即使我们在国外，我们仍然用信件与罗马保持密切的联系，到了假期我们就彼此讨论理论问题。在费米、马约拉纳、威克和其他一些人的论文中，可以看到这种信息交流的痕迹。在这一时期，费米只到国外作过一些短暂的访问。这时他逐渐习惯独自一人思考，因为剩下的人中只有马约拉纳能够与他在同一水平上谈话，但马约拉纳又很难接近。不过，到了30年代初，很多年轻的物理学家被罗马正在上升的声誉所吸引，或者被德国的政治状态所威胁，开始来到罗马。汉斯·贝特、乔治·普拉切克(George Placzek)、菲尼克斯·布洛赫(Felix Bloch)、鲁道夫·皮尔斯(Rudolf Peierls)、洛沙尔·诺德海姆(Lothar Nordheim)、弗里兹·伦敦(Fritz London)、爱德华·特勒(Edward Teller)、克里斯蒂安·梅勒(Christian Møller)、萨姆·高斯密特(Sam Goudsmit)和其他一些人常到罗马来呆一阵子，他们经常是到美国去的途中经过罗马。来自美国的学者尤金·芬伯格(Eugene Feenberg)曾访问过罗马，马约拉纳特别喜欢他；他们的相互吸引表现在两人面对面地坐在图书馆里，一言不发，因为他们之间没有相互懂得的语言可以交流。

较长时期的访问和这些人物的出现，使罗马的科学生命力大大加强。我们有机会看到德国科学界最优秀的代表人物，他们也由此学

习到费米的特殊长处。例如，贝特在罗马写出了著名论文“1和2电子系统”，这是他应《物理手册》之约而写的。我记得他站在一高桌子旁，没有参考书，一页又一页不间断地往下写，对以前作者的结果重新计算，以纠正错误。

贝特曾经对费米留给他的印象写道：

费米在理论物理方法上给我印象最深的是他方法的简单性。对每一个问题他都能分析最本质的地方，而不论这问题有多复杂。他剥去数学的复杂性和不必要的形式体系。用这种方法，他通常可以在半个小时内解决所涉及的根本物理问题，当然，这还是一个数学上的完全解，但在讨论结束并离开费米之后，你就会清楚地认识到如何得到数学解。

这种方法之所以给我留下特殊的印象，是因为我来自慕尼黑的索末菲学派，索末菲在着手进行他所有的工作时，都要得到完全的数学解。由于在索末菲学派中成长起来，所以我认为，正确的方法应该是先根据问题列出一个微分方程(多半是薛定谔方程)，然后利用你的数学技巧找到一个尽可能精确和优雅的解，接下去就讨论这个解。在讨论中，最后你会发现解的一些定性特征，这就表示理解了问题中的物理学。索末菲的方法对已经被大家了解的基本物理学领域中的许多问题十分有效，但它非常费力、非常艰难，通常要花几个月的时间你才能知道问题的答案。

看到费米完全不必这样艰难费力，给我留下了极深的印象。物理学变得清晰起来，只需要一个本质上的分析，和少数几个数量级上的估计。他的研究简捷有效……

费米是位很好的数学家。每当需要数学时，他总能精巧地运用数学，但是，他首先要弄清楚的是：这样做值不值得。他是一位用最少的努力和最少的数学工具而获得重要结果的大师。

用这种方式研究问题，他澄清了许许多多的问题，特别当年轻人还没有他那么多知识的时候，这种方式起了很大的作用。例如，他有关量子电动力学的表述比起海森伯和泡利原来的表述不知要简单多少，因此很容易被人理解。我对海森伯和泡利的文章有敬畏之感，因此只见树木不见森林。费米的表述显示的是森林，我们合写的有关相对论性碰撞理论的不同表述也是如此。费米关于中子扩散、(年)龄理论(age theory)的表述，对中子扩散的快速计算，哪怕是在十分复杂的情形下，都富有成效。仅从我自身的经历，我还可以轻而易举地举出更多这样的例子。<sup>[1]</sup>

应该特别提到的是普拉切克，他比别人呆在罗马的时间更长一些。他在罗马做实验，学习意大利文，并与我们小组的几位成员成为亲密的朋友。他像我们中的许多人一样参与过拉曼效应的研究，特别是氨气的拉曼效应。他与阿玛尔迪一起工作，得到了很好的氨气拉曼光谱，他使用的技术是拉赛蒂发明的。气体的拉曼光谱很难得到，需要用价格昂贵的石英灯作长时间的曝光，而这种石英灯的寿命又很短。有一次，一张有价值的底版从他手中脱落而跌碎(我还记得他那沮丧极了的样子)。像贝特一样，普拉切克在罗马写了一篇经典性的文章，这是为《放射学手册》写的“瑞利散射和拉曼效应”。在这篇文章里，他提出了分子对称性的新思想。普拉切克比大部分物理学家的兴趣更广泛，他懂很多种语言，读过许多文学作品，有广泛而又深厚的历史和政治知识。他是一个充满智慧的人，机智而诚笃，任何人向他求教，即使是物理学领域之外的内容，他都会尽力回答。1955年他过早地去世，让人们格外悲痛。<sup>[2]</sup>

[1] H.A.Bethe, private communication. ——作者注

[2] 参见 E.Amaldi, “Georges Placzek”, *Ricerca Scientifica* 26 (1956): 2038. ——作者注

帕尼斯佩尔纳大道的生活非常规律，有条不紊。每个人上午从9点工作到12点。当然，这个时间表是我们自己制定的，每个人都十分自觉地遵守它。晚餐后干什么不固定，星期日我们经常到罗马郊区作徒步旅行，或者到一个山里远足。在冬天就滑雪远征，夏天就到国外旅行和到阿尔卑斯山度假。在这期间最有意义的个人事件是费米与劳拉·卡庞(Laura Capon)在1928年7月19日结婚。劳拉在她写的《原子在我家中》一书中，对她与费米的相识、结婚和他们的家庭生活有生动的描述。他们有两个孩子：女儿勒娜(Nella Fermi)，1931年1月31日出生；儿子朱利奥(Giulio Fermi)，1936年2月16日出生。

1929年，墨索里尼任命费米为新成立不久的意大利科学院的院士。这种没有选举的任命有一个有趣的历史背景。1928年，柯比诺有公事到美国去了，正好这时林赛科学院举行选举。柯比诺希望费米能够当选为院士，因此留了一封提名费米的信给他的同事洛苏尔多，并请他在合适的时候宣读这封信。当柯比诺从美国回来的时候，费米没有被选为院士，当他问洛苏尔多时，后者回答说由于他心不在焉，把柯比诺的信忘了。事到如今，柯比诺毫无办法，不过我可以想到他一定感到非常恼火，并且渴望报复。机会很快就来了。

墨索里尼不相信林赛科学院，因为他觉得它的许多成员——至少是那些有影响和有名气的成员——敌视法西斯(这一点十分正确)。但他必须约束自己对它的忽视。于是他决心组建意大利科学院，并使它超过林赛科学院。他不能给他的科学院创造悠久的历史声誉，但他可以给科学院的成员以附加的丰富薪俸(比一个大学讲席给予的还多)和一身美丽的制服，还给予“阁下”的头衔和隆重的官方仪典——这些都是林赛科学院所没有的。在他的任命中，他尽可能地挑选那些职务显赫而又对法西斯表示友好的人。费米是他任命的唯一的一位物理学家。这个荣誉虽然与费米相配，但人们仍然感到意外，因为费米的声誉仍然只限于物理学中，而且按照传统，他还没有到享有

院士声誉的年龄。而且，费米在法西斯党里并没有政治声望，事实上，他应该属于无党派人士。其他一些人——如著名的洛苏尔多，才应该极有希望获得这个荣誉。费米的任命很可能是柯比诺促成的。作为一个参议员，柯比诺的影响不可忽视，虽然他不是一个法西斯党的党员，但他曾经是墨索里尼早期内阁成员之一。

费米非常高兴获得这一荣誉，虽然他没有什么虚荣心这个学术界共同的弱点。在以后的年月里，当他有了许多令人难以忘怀的荣誉称号、奖章和各国科学院院士头衔以后，在一次正式回答他参加过哪些组织的时候，他回答说：“我属于许多有名协会的成员，但它们的名称我忘了。”意大利科学院对费米的任命，无论怎么说，对意大利此后物理学的发展带来了好处，因为在科学院里物理学的代表无疑是资格最高的人，因此他成了有影响的人，即使这次任命没有经过选举。费米被任命为科学院院士以后，仍然较少行使政治影响，因为他不愿意把时间花在物理学以外的事务上，也不喜欢参与行政和政治事务。

科学院的院士改变了费米的经济状况。他可以辞去《意大利特里坎尼百科全书》和国家研究协会的职务，这两个职务是他到罗马以后接受的，主要目的是为改善经济状况。如像他从事的其他工作一样，费米对《百科全书》的工作非常尽责。他保证了所要求的时间，完成了所有希望他完成的编辑事务，他还为它写过一些值得他骄傲的条目。他写的关于统计力学的条目仍然是最优秀的代表，后来收入到《费米论文选》中。在国家研究协会里，他审查一些发明和一些研究建议时，也是全身心投入地去做。但只要条件允许，他就会放弃这些费时的工作。他把这些工作转交给年轻的同事去做，因为年轻人高兴找到一个挣钱的机会。对一个物理学家来说，那时除了极少数几个大学的任命以外，很难找到一个收入丰厚的职业。

费米被任命为科学院的院士，以及一些随之而来的虚张声势的宣传，使我们有了政府将大力资助科学的希望，我们也说服费米利用他

的威望促成这一目的的实现。他也作了一些例行的努力，想创造新的工作岗位和提高津贴；但是这些努力没有得到墨索里尼的赞成，他把这些建议放进备忘录里，随后就束之高阁。所有重要大学的任命权，仍然控制在那些老卫士们手中，只是到后来，年轻一代才在这些重要事务中占了优势。

费米第一次访问美国是1930年的夏天。拉赛蒂在1929年就去了帕萨迪纳，回罗马以后他给我们讲了无数加利福尼亚的奇事。我至今还记得他描述帕萨迪纳附近的柑橘树林和他攀登惠特尼山的情形，还有加州理工学院和伯克利漂亮姑娘完成的一些奇异的工作。很可能是拉赛蒂的热情影响了费米，所以，当密歇根大学邀请他在夏天的一个学期讲授理论物理时，他愉快地接受了邀请。他遇见了两位老朋友乌伦贝克和高斯密特，他们是电子自旋的发现者，在美国物理学家科尔比(Walter Colby)教授的鼓动下，他们从祖国荷兰到了美国的安阿伯。科尔比正在寻觅天才，以便在他所在的大学创建理论物理学研究席位。埃伦菲斯特也参加了这个暑期班，所以整个氛围让人感到惬意。费米讲授辐射的量子理论，并且非常漂亮地解释了一些非常新和非常困难的问题。

安阿伯的访问在科学上十分成功。对费米来说，度过这段空闲时间也十分愉快，于是他以后经常参加那儿的暑期学校，1933年和1935年又两度到那儿去。通过这些访问，他开始喜欢美国和重视那儿提供的机会。他被那里设备齐全的实验室、美国新一代物理学家对知识的渴求、以及学术界热情的接待所吸引。在机械方面擅长和实用而灵巧的小机械是美国的特色，它们在一定程度上补充了意大利讲究美的特色；美国人的政治生活和政治理念比法西斯优越得无法比拟。这些因素为他后来移民作好了思想上的准备，当时机成熟时，他的决定就是完成一个长期准备的计划，而不是一次紧急逃跑。

1933年我陪同他一起去美国，但我发觉我无法适应那儿夏天的潮湿和酷热。如果说我不能像费米那样努力工作，但我在一次游泳中

横跨水非常冷的一个湖时，却努力超过了他。在乡村我们有丰盛的午餐，我们也逐渐习惯了美国乡村的食物。后来，我们买了一辆汽车——“飞龟”，我们乘上它回到纽约，沿途没有任何技术上的困难。有一次在一个加油站，他证明自己有修车的专业技术，加油站老板立即要为他提供一份工作——而这时正是商业不景气的日子。

那些年科学上最重要的事件是量子力学的建立，意大利对此没有做出重要的贡献，至少在一些原理的建立上是如此。费米作过一些贡献，但都是应用上的。在他掌握新理论之前，他曾经独立地提出了量子力学统计。在他原始的论文中，我们可以追溯到在 1926 和 1931 年之间，他曾经努力澄清和吸收量子力学。<sup>[1]</sup> 薛定谔的论文激起了他巨大的热情(前面提到过，他最先理解了这一篇论文)，费米立即向他的朋友解释这一论文，后来又向柯比诺解释，柯比诺曾经有一段时间对薛定谔的论文持怀疑态度。狄拉克伟大的论文刚出现在《皇家学会会刊》上时，费米立即阅读了它并作了深入的思考。后来他在数学讨论班上讲了这个题目。在讨论班上一些年龄较大和不怎么具有物理实验背景知识的职业数学家，对普遍接受的量子力学诠释提出了一些很有见地的反对意见。在 1930 年的一次讨论中，卡斯特努沃教授提出了许多问题，这促使费米写出论文“量子力学因果性解释”。费米对那些不懂量子力学新发展的人没有多大的耐心，但对于像卡斯特努沃提出一些真正困难的态度，与对那些提出愚蠢问题人的态度(这些人很多)却大不相同。

费米不时埋怨，一些他以前曾经高度评价和赞赏的人——如柯比诺——却有时对量子力学和其诠释持怀疑态度，费米把这种怀疑归之于缺乏对量子力学的了解。反对量子力学的人主要是比费米年龄大的一些人，年轻的物理学家或者了解，或者相信了新的理论，而且在

[1] 参见 “The Adiabatic Principle and Kinetic Energy in the New Wave Mechanics” (FP 37); “Quantum Mechanics and the Magnetic Moment of Atoms” (FP 39); and “On the Mechanism of Emission in Wave Mechanics” (FP 42). ——作者注

任何情形下都学着使用它们，即使他们还没有完全懂得。<sup>[1]</sup>但是还必须说的是，在费米晚年的时候，他对量子力学流行的诠释是最终的解释，有些不太相信了。

按费米和拉赛蒂的观点(也是柯比诺的观点)，量子力学的到来是原子物理学完成的信号。有关原子的基本问题一旦解决，核或复杂结构的未来探索将会最终导致生物学世纪的到来。

这些思想引起了研究所研究计划的一个根本性改变。在罗马，我们实验的传统回到了光谱学研究，它源自于比萨普欠迪领导下的拉赛蒂。那时我们所有物理实验方面取得的成就都是光谱学课题，我们的设备也是光谱学方面的，而我们的知识主要是原子物理学领域的。卢瑟福和他的学派的研究与我们非常不同。因此，向核物理学的转变经过我们巨大的努力才得以实现。这不是一个一时的奇想，也不是为了赶时髦，而是一个深思熟虑的计划。为了这个计划，费米和他的朋友们经过充分的争论，争论有时甚至非常激烈。

1929年9月21日，在佛罗伦萨召开的意大利科学促进协会的一次会议上，柯比诺在雄辩的讲演中讲述了这些想法。<sup>[2]</sup>他的演讲题目是“实验物理学的新目的”。他把过去和现在的物理学研究分成三类：(1)发现全新的现象，例如伏打电池中的电流、X射线和放射性等；(2)现行理论的证实和应用；(3)材料和普适常数的精确测量。然后他对物理学这三方面的发展作了预言。在作预言时，他颠倒了顺序，先从精确测量讲起。他指出，精确测量大部分要在具有特殊装备的特殊实验室里完成。他强调了精确测量的重要性和利用纯净、意义明确的材料(如单晶金属)的重要性，他还强调了普适常数的价值。

[1] 参见 Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (New York: McGrawHill, 1966). ——作者注

[2] O. M. Corbino, “I nuovi compiti della fisica sperimentale”, *Atti Società Italiana Progresso delle Scienze* 18 (1929): 1, 157; also *L'Energia Elettrica*, October 1929, p.998. ——作者注

谈到理论预言的验证，他指出量子力学的前景——或者更精确地说是它的完备性，还指出为了今后所有的研究绝对有必要掌握量子力学。这部分演讲，稍带论战味道，他强调区分经典数学物理学(在意大利被广泛使用)和新的理论物理学，他特别提到费米的工作是后者的典范。然后他讨论了某些领域里理论和实验之间的相互作用，除了数学的错综复杂以外，该领域的理论应该适合于提出有确实根据的预言。对于理论预言研究的重要性，他给出了一个判断的标准，并将拉曼效应和戴维逊-革末实验作为例子进行了讨论。然后他讲道：

理论滞后于实验的一个领域是固体和液体中分子或原子的有序化。以前曾断言内聚力起源于电，而X射线分析证实原子团的位置在晶格上。但是，原子-电子系综物理常数的理论预言才刚刚开始被提出来，因此在这个领域里还有许多理论物理的事可以做。这种研究从实验的观点看，也还远没有做完……

固态物理学、液体以及高压或极低温或极高温度下的效应，对今天和未来都仍然是理论物理和实验物理充满希望的研究领域，而且还有非常重要的应用。

他最后才谈到第一类研究的对象：全新的发现。他指出，那时意大利研究的方式有时是在随意猜测的基础上，这妨碍了寻找新的现象。对此作了一些评论后，他说：

物理学伟大新发现唯一的可能性，只能在原子核的领域里，这儿有许多东西等待我们有效地修正。机会在这儿。这是未来物理学真正值得追求的目的。

柯比诺接着证明，粒子碰撞是达到这一目的唯一手段。他说：

唯一的手段仍然是人工发射抛体，类似放射性物体，但数量要更大，速度要更快。这要求放电管要有 10 兆电子伏的电势差。

阻碍这个伟大计划实现的仅仅是技术和财政上的困难，但这些困难在原则上不是不可克服的。这个研究对象不仅是在可观的数量上实现元素的人工嬗变，而且还要研究巨大的高能现象，这种现象在某些原子核蜕变和复合时产生。

注意，如我们上面所说，原子核由质子(或氢原子核)和电子组成。但是，在复合过程中，例如，4个质子形成氦核，复合物的质量却比组成复合物的4个质子的质量要小一些。<sup>[1]</sup>这个减少的质量称为质量亏损，按照相对论理论它应该伴以巨大能量的发射。这样，在4个质子组成氦核时，每形成1克氦就应该获得大约  $6.3 \times 10^{12}$  焦的能量，即大约是  $2 \times 10^6$  千瓦时的能量。当然，相反的现象，即把1克氦分解成氢，将需要利用相同数量的能量。在这些核物理学的现象中，其巨大的重要性是十分明显的，我们可以通过物质转化实现能量的转换，以及相反，其转换率是每1克物质相应于  $2.5 \times 10^7$  千瓦时的能量。

由此我们可以做出结论，虽然实验物理在目前的状况下还不可能作出巨大进步，但从事原子核研究仍有很大的可能性。这正是明天物理学要研究的领域。但是，加入到这个普遍的研究行列中去，既可以是现在的方向，也可以是更遥远未来的方向，实验物理学家必须作好准备和真正掌握理论物理已经给出的结果；与此同时，他们还应该具备更加高级的实验物理学手段。如果想从事实验物理学工作，却不具备当今理论物理学的知识和没有大型实验室设备，那就好像想获得现代战争的胜利却没有飞

[1] 在 1929 年，这些都是被人们认可的观点。中子是到 1932 年才发现的。——作者注

机大炮一样。

接下来柯比诺又谈到核物理可能发生什么事。与他的愿望相反，这个领域还非常荒芜。在这种情形下，他认为最好是发现新课题，而不要把钱和智慧花在没有希望的努力中。在演讲结束时他说：

这样，即使物理学将趋于饱和状况，研究它对其他学科（例如生物学）的应用，也需要我们拥有真正懂得所有现代物理源流的专家，他们可以使我们得到有巨大科学和实际价值的成果。如果能够把生物学家和物理学家的智慧结合起来，那就更好了，那比技巧的简单叠加强得多。

在同一天，柯比诺讲完了之后，费米接着作了题为“新物理理论的实验基础”的演讲，接下去是佩尔西柯的演讲“现代物理学的因果原理”，他希望意大利科学公众注意在物理学中已经发生的革命。这些演讲给听众的印象很深，并在科学家中引起了广泛的讨论，但反应并不都是令人高兴的。伽巴索教授提出的批评反响很大，他与柯比诺的意见完全不同，<sup>[1]</sup> 后来在几种专业杂志上还进行了友好的争论。在最后一次答复伽巴索的文章中，柯比诺在结束语中总结了这一分歧：

在限制了未来努力探索的领域之时，在劝阻了那些决心追赶上某些缺乏创造性的伟大新现象之时，在提倡更加认真研究现代理论以避免无用的探索之时，最后在唤起人们注意国外科学的研究以

[1] Antonio Garbasso, “Poche parole di un fisico agli elettrotecni” , L’Elettrotecnica 16 (1929): 717. ——作者注

小时计的速度和强度之时，我不应该因为损害我国物理研究的进步而受到谴责。<sup>[1]</sup>

实现柯比诺想法和改变研究所实验方向的第一步，是拉赛蒂在柏林的迈特纳研究所里呆了几个月，学习核技术。由于核自旋的发现，费米在 1930 和 1931 年一直研究光谱线的精细结构，这是一个在原子光谱和核物理之间很合适的过渡课题，而我们则把阅读的资料转向与核有关的方向上。阿玛尔迪在一个特别的讨论班里，专门系统地学习卢瑟福、查德威克和埃利斯(C.D.Ellis)的“放射性物质的辐射”，费米、拉赛蒂、马约拉纳和我都参加了，有时也有学生参加。阿玛尔迪和费米开始建立一个云室，作为获得实际技巧的一次训练。但是，仍然有人在积极地做老的原子和分子课题。

1931 年 10 月 11~18 日，意大利科学院组织了一次核物理会议，以帮助我们熟悉现代核物理的问题。<sup>[2]</sup> 大约有 45 位著名物理学家参加，但会议召开的不是时候，因为在这之后不久，不可思议地发现了中子、氘和正电子。核物理学发生了巨大的改变。

1932 年 7 月，另外一次核物理会议在巴黎召开，它是作为一次大型国际电学会议的一部分举办的。费米被邀请在会上对核物理现状作了一个报告，除了其他一些问题以外，在述评中他强调了以电子和质子为组分的核模型的困难，还提到了泡利的中微子假说。<sup>[3]</sup>

在接下来的冬天里，利用  $\alpha$  粒子碰撞铍和其他轻元素的实验得到了一些不容易解释的结果。这个实验最先是由沃尔特·玻特(Walther Bothe)和贝克尔(H Becker)在 1930 年左右设计的，后来爱伦娜·居里(Irène Curie)和她的丈夫弗里德里克·约里奥(Frédéric Joliot)用云室继

---

[1] O.M.Corbino, “A proposito di due discorsi sulla situazione della Fisica”, *L’Elettrotecnica* 16 (1929): 772. —作者注

[2] Reale Accademia d’Italia, *Fondazione A. Volta Convegno di Fisica Nucleare Roma 1932* (Rome: Accademia d’Italia, 1932). —作者注

[3] “The Present State of Nuclear Physics” (FP 72b). —作者注

续做这个实验。这个实验发现了一个穿透性很强的辐射，开始人们都认为它是 $\gamma$ 辐射，但是当这个“ $\gamma$ 射线”碰撞氢的时候，却辐射出高能质子。约里奥试图用与光子作用的康普顿效应来解释这个现象，但很难站得住脚。到1932年初，卡文迪什实验室的詹姆士·查德威克(James Chadwick)令人信服地做出了解释，他认为这种辐射中含有一种中性粒子，其质量接近质子，它被称为中子。查德威克证明中子的实验发表在费米做的会议报告之后。当玻特和约里奥的结果还没有确定结论的时候，罗马的埃托瑞·马约拉纳已经充分理解了约里奥观察到的质子反冲的意义，他用他那特有的调侃语气评论说：他们发现了“中性质子”，却没有认识到这一点。

此后，马约拉纳又接着提出了一个以中子和质子为组分的核模型，详细地分析了中子和质子之间的作用力，<sup>[1]</sup>还计算了几个轻核的结合能。当他把这项工作告诉费米和他的朋友们时，他们立即认识到它的重要性，费米还催促马约拉纳把这项研究结果发表出去，但是马约拉纳犹疑不定，他认为他的结果还远不完善。后来，费米又请求允许他在巴黎会议上报告马约拉纳的结果，并给予新思想以适当的荣誉，但马约拉纳说，只有当一位电气工程的老教授愿意在会上提出他的思想，他才能够答应。这个奇怪的建议真是异想天开，明显不可能被人接受，于是马约拉纳的思想在被其他物理学家独立发现以后很久，才为人所知。

在费米的报告中，人们可以觉察出他对电子-质子模型和对中子普遍的混乱感到不安。在讨论中，按照已出版的会议记录，沿着费米的思路，在他和波兰物理学家威尔滕斯坦(Wertenstein)之间有一次有趣的交谈。记录中写道：

威尔滕斯坦先生要求解释天然放射性物体在辐射时，伴有

[1] FP, 1: 488. ——作者注

$\beta$  射线的可能性和重建能量守恒的可能性。由于质量原因，他不相信这些射线会是中子。费米先生回答说，这些中子不是已经被发现的那一种，而是质量要轻一些的那一种。<sup>[1]</sup>

这些交谈证明，那些对 $\beta$  衰变感兴趣的物理学家早已知道中微子假设。事实上，泡利从 1930 年起就热衷于提出中微子，试图以此解决在  $\beta$  衰变中出现的困难，这种类型的衰变似乎违背了能量守恒。因为，一个核从一个确定的态开始，应该到达另一个确定的态，但是电子辐射的能量却是可以变化的。为了找到缺失的能量，设计过许多实验——例如，设想能量被 $\gamma$  射线带走等——但都没有成功。为了拯救在 $\beta$  衰变中似乎失败的能量守恒和其他基本守恒定律，泡利假定有一种粒子(中微子)带走了能量，但这种粒子实际上却无法观测到。他甚至写了一封信给 1930 年 12 月参加蒂宾根大学物理学家会议的物理学家，<sup>[2]</sup> 请他们侦测中微子。1931 年，在罗马会议期间，泡利和费米之间曾经讨论过中微子。

实际上，中微子这个术语还是在罗马会议上才进入物理学世界的。在这之前，两个中性粒子假说之间产生了混乱，一个是那时还没有发现的假说中的中子，另一个是在 $\beta$  衰变中重建能量守恒和动量守恒而假设的中性粒子。在一次非正式的谈话中费米提出“中微子”这个术语。在意大利文中，在名词后面附上 one 和 ino 意味着大和小。在意大利词条中，中子(neutrone)指的是大的中性粒子，而中微子(neutrino)指的是小的中性粒子。这个术语立即被罗马大学采用，此后又传到世界物理学共同体。

1932 年的巴黎会议之后，第七届索尔维会议于 1933 年 10 月 22~29 日在布鲁塞尔召开。布莱克特(P.M. Blackett)、玛丽·居里、路易

[1] FP, 1, 488. ——作者注

[2] 参见 C.S. Wu and S.A. Moszkowski, Beta Decay (New York: Interscience, 1966), p. 385. ——作者注

斯·德布罗意、狄拉克、埃利斯、费米、伽莫夫(G.Gamow)、海森伯、佩林(F.Perrin)、约里奥、居里-约里奥、劳伦斯(E.O.Lawrence)、迈特纳、泡利、卢瑟福和其他一些人出席了这次会议。这时，中子已经被发现，由质子和中子构成的核模型已经由于海森伯、伊万宁柯(D.Ivanenko)和马约拉纳的工作而建立起来。回旋加速器也开始正常地运转，氘成了相对普遍的物质，正电子理论也被发现。在科学事业中还很少见到像核物理这样，一个分支能在那个时候那样繁荣、发展迅速。这次会议之所以具有历史意义，一方面是由于讨论的主题，另一方面也因为参加会议的人物。

在布鲁塞尔会议上，虽然费米的角色只限于评论核力的问题，但他吸收了会议讨论中提出的许多思想。他再次听到为 $\beta$ 衰变提出的中微子假说，回到意大利以后，他一定继续在思考泡利的建议，因为仅在索尔维会议之后两个月，他就写出了有关 $\beta$ 衰变的基础性论文。

当泡利首次于1930年提出中微子假说时，人们还相信核里面有电子，泡利认为假说中的中性粒子是核的另一种成分，它很小却有确定的静止质量。费米曾经通过狄拉克辐射理论的应用而十分熟悉电磁辐射问题，但对于狄拉克-约尔丹-克莱因-维格纳算符的产生和消灭，却感到十分为难，他在第一篇关于辐射的量子理论的论文中，试图避开这个困难。但是，后来他彻底弄明白了这一问题。一旦他很好地掌握了其中的技巧，他就把 $\beta$ 衰变理论用作算符建立和消灭的绝好演练机会。

就这样，费米受电磁辐射发射一个类比的启发，写出了解释 $\beta$ 衰变的著名论文。费米的工作把泡利定性的假说转变为一个定量的、有伟大预言价值的详尽理论。利用引进的一种新类型的力——“弱相互作用”，费米靠一个特殊的哈密顿算符，可以计算衰变的能量和 $\beta$ 衰变平均寿命之间的关系、电子能谱中的能量分布以及其他许多问题。一个新的基本常数——费米常数——在弱相互作用中起的作用

类似于电子的电荷在电磁学中起的作用，费米从已有的实验数据中确定了这个常数。这篇论文包含了弱相互作用领域中所有的基本思想，对此后核物理和粒子物理学的发展具有根本的重要性。例如，中微子的思想以及粒子和场量子之间的关系，对汤川秀树(Hideki Yukawa)建立核力理论有重要的启发作用。<sup>[1]</sup> 费米在 1933 年末写出了论文，这篇论文以非凡的成功经受了时间的考验。事实上，除了宇称不守恒以外，即使到了今天，这个理论也只需作极少数的修改。的确，它并不很完善，但它的基本思想仍然很有生命力。著名的物理学家维格纳——他广为人知的研究风格与费米的很不相同——曾评论说：

这篇论文渗透着一种明显的质朴性，它引起了评论、综合和一篇广为人知的论述。这位作者认为这种明显的质朴性是费米喜好的特征，它不能代表费米写  $\beta$  衰变论文时候的知识状况。即使费米在论文中再加上大量抽象的材料，别人还是会认为极有价值。<sup>[2]</sup>

这是千真万确的，但是费米总是力争简单性。而他关于矢量相互作用不可思议的选择，也是正确的。因此，用不着讨论许多可能性，或者是洞见、或者是由于运气，总之他给出了正确的选择。

当 1933 年圣诞节在阿尔卑斯山度假时，费米向他的罗马朋友们报告了他的这个理论。那是一个傍晚，白天滑了一整天的雪。我们都坐在旅馆一间房子的床上，我到现在还记得当时的情形，我由于在冰雪上跌了几跤，受了一些伤。费米充分了解他完成的工作的重要

[1] Hideki Yukawa, “On the Interaction of Elementary Particles”, *Progress of Theoretical Physics* 17 (1935) : 48; 同时参见 H Yukawa and K Chihiro, “The Birth of the Meson Theory”, *American Journal of Physics* 18 (1950): 154. ——作者注

[2] Wigner, *Yearbook of the American Philosophical Society*, pp.435—39. ——作者注

性，并且说他将因为这篇论文而被人们记住，这是迄今为止他最好的论文。在论文完成之后他给《自然》杂志写了一封信，提交他的论文，但编辑拒绝刊登这篇文章，因为编辑认为论文包含一些推测的内容，而它们离物理现实太远，结果论文在意大利和德国《物理学杂志》上发表了。费米再没有在这个题目上发表过其他论文，只是在1950年为β衰变计算矩阵元，作为核壳层模型的一种应用。

费米的这项工作引起了人们的极大重视，直到法国的《法国科学院院刊》和英国的《自然》<sup>[1]</sup>宣布了爱伦娜·居里和约里奥令人震撼的论文后，人们的兴趣才发生了转移。爱伦娜·居里和约里奥用α粒子轰击硼或铝时，分别获得了新的氮和磷的放射性同位素，后者发射带正电的电子——即正电子。这是人工放射性的发现，为核物理学开辟了全新的领域。

这个发现给了我们一次开始做真正重要实验的机会。在这之前的两年里，拉赛蒂已经知道如何在铍上蒸馏钋以得到中子源。一些仪器(包括云室)都已经准备好了，有一些是实验室工厂自己做的，但大部分是从外面购进的；还有些盖革-米勒计数器也正在使用。所有这些费用都由意大利国家研究协会提供，每年2 000~3 000美元，在那时这是一笔相当大的数目。在调试这些设备时，费米和拉塞蒂也试着利用它们，例如γ射线摄谱仪，但在准备阶段没有完成什么有重要意义的工作。在爱伦娜·居里和约里奥的发现之后，费米突然想到用中子来产生人工放射性，而不用α粒子，因为α粒子带正电会受到靶核的正电荷的排斥。已有的中子源虽然很弱，但利用更大的截面作补偿，可以期望中子产生核反应。

1934年3月，费米建议拉赛蒂用中子来轰击轻元素，他们试图用这种方法观察到与居里和约里奥观察到的类似现象。3月底，他们

[1] Irène Joliot-Curie and Frédéric Joliot-Curie, “Un nouveau type de radioactivité”, Comptes Rendus 198 (1934): 254; and “Artificial Production of a New Type of Radioelements”, Nature, 133 (1934): 201. —作者注

用拉赛蒂的钋加铍的中子源照射了几种轻元素，但得到的是否定的结果，因为中子源太微弱了。接着，拉赛蒂到摩洛哥度假，费米一个人继续实验。为了取得成功，费米想把一个更强的中子源氯加铍代替钋加铍，氯之所以可以用来实验，是因为 $\alpha$ 和 $\gamma$ 辐射不会干扰一种缓发效应的观测。特拉巴齐教授有一个氯工厂，他把这种材料给了费米。他慷慨的帮助对中子研究工作的成果有决定性作用。中子研究在此后还延续了2~3年。氯加铍中子源的制备过程，是将一个小玻璃泡里装进铍粉，在空气中蒸馏，然后用氯代替空气。于是，中子源衰变成半衰期为3.82天的氯。当费米有了较强的中子源以后，他系统地轰击元素以便增加它们的原子序数。他从氢开始，接着是锂、铍、硼、碳、氮和氧，但是得到的都是负结果。最后，当他轰击氟元素时，他的盖革-米勒计数器几声计数告诉他：他获得了成功。他用的中子源是放射性活度为0.05居里的氯加铍，仍然十分微弱。盖革-米勒计数器很简陋，而检测仪器一点也不精致，但这些设备工作还正常并且被利用到了极致。在1934年3月25日给《科学》的一封信中，<sup>[1]</sup>他公布了他的第一个正结果。题目中的“*I*”<sup>[2]</sup>指出，费米期望这个研究题目还将有一个长系列的报导。事实上，先后共发表了10篇文章。

费米希望这项实验研究能尽快进行，因此他请阿玛尔迪和我帮助他。拉赛蒂仍然在摩洛哥度假，费米发电报请他尽快回来参与这项研究；与此同时，费米、阿玛尔迪和我在他还没来之前，尽最大努力工作。我们对工作作了如下的安排：大部分测量和计算由费米来做，阿玛尔迪照料电子线路（这是如今的称呼），而我则保证辐射物质（即中子源）和其他必需设备的安全。这种劳动分工并不那么严格，我

[1] Irène Joliot-Curie and Frédéric Joliot-Curie, “Un nouveau type de radioactivité,” Comptes Rendus 198 (1934): 254; and “Artificial Production of a New Type of Radioelements,” Nature, 133 (1934): 201. —作者注

[2] 论文题目是“由中子轰击产生的放射性，*I*”(Radioactivity Produced by Neutron Bombardment. *I*)，这儿的“*I*”，指第一篇论文。——译者注

们每一个人都随时待命，并以极高的速度进行工作。很快我们就明白，化学分离对这一研究是至关紧要的，于是我们要找一位能帮助我们的化学家。幸运的是我们找到了化学家奥斯卡·德阿古斯蒂诺(Oscar D'Agostino)，他曾经在特拉巴齐教授的实验室工作过。在我们开始中子研究的时候，他是巴黎居里夫人实验室的一个成员，在那儿他学习了放射性化学。当他回到罗马度复活节的假期时，他拜访了特拉巴齐教授，后者把他介绍给我们。我们向他介绍了我们正在进行的研究，费米请他加入我们的行列。我们以前彼此完全不认识，但我们很快成了好朋友，而德阿古斯蒂诺没有返回巴黎。拉赛蒂也很快从摩洛哥回来，加入进来。

由中子轰击产生人工放射性的重要性，对我们以及所有核物理学家是十分明显的。为了让同行们迅速知道我们的研究，我们每周给国家研究协会办的《科学研究》写一封短信，然后同行们得到到现在我们称之为复印件的东西，这些复印件当时寄给 40 位世界上最杰出和最活跃的核物理学家；两周以后这些信才出现在杂志上。在我们的这项研究开始仅一个月之后，卢瑟福勋爵写了一封信给费米：

亲爱的费米：

感谢你将最近有关中子轰击许多轻元素所获得的暂时放射性的实验告诉我。你的结果十分有趣，无疑，我们以后将会得到有关这些转换的具体机制的信息。现在还完全不清楚，在所有情形下，这些过程是不是像约里奥观测的情形一样简单。

我祝贺你成功地从理论物理学的圈子中逃了出来！你似乎找到了一个好的起跑线。你也许会感兴趣，因为狄拉克教授也正在做相同的实验。对理论物理学这似乎是一个好的兆头！

你诚挚的卢瑟福

于 1934 年 4 月 23 日

根据《科学研究》上的信件，对 1934 年春到初夏研究工作的发展顺序就可以一目了然。我们的第一步目的十分明显：辐照所有我们能弄到的物质。幸运的是，我们从意大利研究协会得到了一笔补助金，大约是 2 万里拉(约合 1 千美元)，我们可以完全根据自己的需要来支配这笔钱。我成了一个富有的人，带着这笔钱走访各家店铺，找到我们需要辐照的物质。我们付现金，避免了繁琐的手续，结果我们得到了很好的服务，没有其他额外开支。辐照元素的工作进行得有条不紊，中子的俘获伴以质子或  $\alpha$  粒子的发射——即( $n, p$ )或( $n, \alpha$ )反应——立即被化学分析证实。我们还发现有时放射性物质是靶元素的同位素。我们想如果中子的能量更大，则所得到的反应就会更有效率，只是到了 6 个月以后我们才知道我们大错而特错。

工作按照增加原子序数的设想往下进行，最后我们辐照钍和铀。由于我们得到的反应十分微弱，因此在辐照前，应该把铀中的 $\beta$  放射性产物除去，否则它们会掩盖我们得到的人工放射性。这是一件很乏味的工作，只允许我们在很短的一段时间里观察人工放射性，因为在提纯的铀中 $\beta$  放射性会自然增长，所以过了一小会儿，就会妨碍我们检测人工放射性。我们想，辐照铀应该产生铀后元素，就像我们在辐照铼、锇、铱和铂的情形一样。这种错误的判断在当时十分普遍，只是到 4 或 5 年以后，各国科学家独立的工作才证实，铀后元素的行为与铼、锇、铱和铂不一样，它形成了第二族稀土元素。<sup>[1]</sup> 我们接着证明，铀被中子辐照后，不产生任何原子序数介于铅和铀之间的元素，我们证明了这一点，而且实验也正确无误。但是，裂变的可能性逃过了我们的注意，虽然伊达·诺达克(Ida Noddack)曾特别吁请我们注意。<sup>[2]</sup> 她曾送给我们一篇文章，在这篇文章中她清楚地指

[1] 几年以后，玛利娅·梅耶在费米的鼓励下，用费米-托马斯统计方法计算了 5f 的轨道，如像费米曾经计算稀土元素的 4f 轨道一样(FP 47)。由此，她对阿贝尔森、麦克米兰和其他人给出的半经验理论，给出了一个理论基础。参见 M. Mayer, *Physical Review* 60 (1941): 184. ——作者注

[2] Ida Noddack, *Angewandte Chemie* 47 (1934): 653. ——作者注

出，我们的实验结果可以用重原子被撕裂成两个大致相等的部分来解释。我们自己也不清楚为什么会一叶障目。费米在很多年以后说，那时有关质量缺损的已有数据起了误导作用，似乎排除了分裂的可能性。无论如何，在1934年紧张的工作在暑假暂告一段落时，我们还是相信我们已经得到了铀后元素。

按照传统，在林赛科学院召集一次庄严的评议之后，该学年就结束了，意大利国王要参加这次会议，而且科学院中的一位资深院士会就一个课题作一次讲演。1934年的演讲人是柯比诺，他的演讲题目是“现代物理学的一些结果和展望”。<sup>[1]</sup>在演讲中他描述了他的研究所里有关中子研究的完成情形，他还提到了铀后元素。

铀的原子序数是92，这个元素特别令人注目。它在吸收了中子以后，似乎迅速发射了一个电子，然后变为在周期表中更高一位的元素，即变为原子序数为93的新元素。这个新元素也是放射性的，它继续蜕变，蜕变后的情形目前还不大清楚。门捷列夫的周期表预言了这个新的元素，因为它占据的位置，以及某些化学性质类似于锰和铼。事实上，把它从其他物质中分离出来的化学反应与预期的行为一致。显然，进一步的检验是必需的，其中许多检验已经完成，都得出满意的结果。但是，这个研究是如此的精密，这使得费米谨慎的保留是合理的，在正式宣布这个发现以前还需要作进一步实验。不论我对这事的看法是真是假，我将每天关注这一研究，我相信新元素的产生是确定无疑的。

这个没有取得费米同意的讲话，立即被意大利和国际报界抓住，并大肆宣传。费米感到很惊愕，我很少看见他的情绪如此不好。劳

[1] Corbino, *Conferenze e Discorsi*, p.51. ——作者注

拉·费米告诉我们，他晚上睡不着觉。<sup>[1]</sup>宣布一个未经绝对肯定的发现，与费米的意愿不相符合，柯比诺动机良好的热情引起费米的忧虑。他没有向柯比诺发火，但认为他的行为太草率。他公开与他商谈这个问题，后来他们两人尽一切可能让报纸的狂热冷却下来。铀后元素的问题仍然使费米感到不安，他对这一现象的解释持怀疑态度，坚决抵制取一个所谓铀后元素这种新名称的诱惑。他在诺贝尔演讲中对他当时解释这种现象最乐观的看法作了讲述，那时由于裂变的发现已经使得这个现象不再神秘了。

在 1934 年夏天完成的总结中子研究工作的论文，由卢瑟福勋爵转交给伦敦皇家学会。论文的手稿是在罗马完成的，由我和阿玛尔迪递交给卢瑟福勋爵，夏天我们曾到剑桥访问。卢瑟福勋爵立即十分认真地阅读了手稿，改正了一些英语用法的错误，然后把手稿递交给我。当我问能否尽快发表时，他回答说：“你以为我这个皇家学会的秘书长是干什么的？”不幸的是，我当时没有很好地理解卢瑟福讲的英文，因此不大懂他的话的意思。可能他的话十分幽默，因为他高兴地大笑起来。有一个问题对我们似乎非常重要，那就是产生一种靶同位素的反应到底是 $(n, \gamma)$ 还是 $(n, 2n)$ ，我们试图用交叉轰击来解决这个问题，别尔格(T.Bjerge)和韦斯科特(C.H Westcott)在剑桥也正做着相近的研究，阿玛尔迪和我加入了他们的行列。我们发现我们设想的是一个十分典型的 $(n, \gamma)$ 反应，这是一个重要而正确的发现，但我们在某些步骤上错了，而正是这些步骤才使我们得到正确的结论。

1934 年夏天，费米到南美作一次由意大利政府资助的学术旅行。在巴西的圣保罗他见到了意大利的物理学家瓦塔欣(Gleb Wataghin)和他在比萨的一位老同学——数学家凡塔皮埃(Luigi Fantappiè)，他在那儿担任意大利和巴西联合赞助的一个长期任职的教授。瓦塔欣和奥

[1] Laura Fermi, *Atoms in the Family*, p.92. ——作者注

奇亚里尼后来也成为这种教授。他们直到二次世界大战以后一直留在巴西，并且卓有成效地在巴西建立了一个重要的巴西学派。费米用意大利语作的报告在巴西、乌拉圭和阿根廷招来了大量的听众，公众对他的研究所表现出的热情让他既高兴又吃惊。在回国船上，他遇见了著名的音乐家雷斯皮吉(Ottorino Respighi)。他们成了好朋友，虽然他们对各自不同领域的成就很难交换想法，但还是作了长久的谈话：物理学家渴望学到音乐理论，但又希望能用物理术语来解释音乐；而音乐家又从他职业的、艺术的观点来看待音乐理论。费米对雷斯皮吉评价很高，在以后还经常提到他。

回到欧洲后，他在英国停留了一段时间，参加了一个国际物理学会议，并在会上报告了他在中子方面的研究。

早些时候，我和阿玛尔迪从剑桥回到罗马，想通过辐照被别尔格和韦斯科特用过的其他物质，以进一步证实我们关于 $(n, \alpha)$ 对 $(n, 2n)$ 反应的结论。我们认为已经发现了铝 $(n, \gamma)$ 反应的明显例子，我们立即把这一结果通知了费米，他这时还在伦敦。他在一次会议上提到了我们的实验。此后不久，我感冒了，有几天不能到实验室去，但阿玛尔迪重复了我们的实验，并且在辐照时发现了另一个衰变周期，这说明我们所谓的 $(n, \gamma)$ 反应根本没有发生。他急忙让费米知道了这个结果，费米十分恼火和难堪，因为他在会上公布了一个错误的结果。回到罗马以后，他责备我们明显的不小心。我们不仅仅是不愉快，而且感到迷惑，因为我们用不同的实验得出了矛盾的结果，却找不到错误在哪里。

在几周之内，这个秘密由于其他自相矛盾的事而更加让人迷惑，再后来才找到了原因。在这件事发生之前，另一个新手庞特科沃加入了我们的小组，他是比萨人，最近在罗马完成了他的博士论文。庞特科沃与拉赛蒂两家是世交，他转到罗马就是想在拉赛蒂手下继续他的学业，我们当时要求庞特科沃帮我们工作，此后他就参加了我们所有的研究工作。

1934~1935学年开始时，我们重新开始系统的辐照实验。总结性的文章发表在《皇家学会会刊》上。<sup>[1]</sup> 我们将不同元素感生的放射性活性定性地分为三类：强(s)、中(m)或弱(w)。但是，这种分类似乎并不令人满意，所以我们决定为能被活化的放射性活性建立一个定量的尺度，即使是纯任意性的。阿玛尔迪和庞特科沃(他被指定研究这个问题)开始研究易于得到可重复结果的辐照条件，用银感生的2.3分钟周期作为标准。他们立即遇到了困难，因为获得的放射性强度不可预知地依赖于辐照的条件。木桌子上放摄谱仪时似乎有一种惊人的特性：银放在木桌上被辐照时，它的放射性活性比放在大理石桌上强得多，而这两张桌子放在同一间屋子里。这种现象后来被解释为：中子源放在木桌上辐射出的中子，比放在大理石桌子上辐射的中子速度要慢。

为了解释这个秘密，我们做了系统的观察。根据资料记载(现在在比萨档案中收藏)，这次观察开始于1934年10月18日。系列测量的第一步是由阿玛尔迪主持的，在一个小小的铅盒内、外做测量，铅盒壁厚5厘米。测量显示：在盒外，随着离开源的距离增加放射性活性大大减少；在盒内，却没有这种现象发生。

第二天作了相似的测量，试图解释铅的作用，还把关注的焦点放在测量铅的吸收和散射上。下一步是准备用一个铅做的楔子，放在中子源和探测器之间，想法是比较一下由一块大的铅砖引起的衰减效应。这是一个比较散射和吸收截面的标准方法。这个楔子几天后准备好了，但费米突然决定首先用轻元素过滤器来试一试。

在作出这个决定以后好多年，费米在一次与天文物理学家钱德拉赛卡(S.Chandrasekhar)的谈话中谈到了物理学中发现的过程：

我要告诉你我是如何做出也许是我平生最重要的发现。那

---

[1] “Artificial Radioactivity Produced by Neutron Bombardment” (FP 98). ——作者注

时我们正非常努力作中子感生放射性的研究，但我们得到的结果毫无意义。有一天，当我走进实验室的时候，我突然想到应该考查一下把一块铅放在入射中子前面会有什么效应。与我通常的习惯不一样，我煞费苦心地用机械加工一块铅。显然，我对某种事情有些不满意，我尽力找一切借口推迟把铅放在预定的位子上。最后我终于勉强地准备把铅放在预定的位子上，同时自言自语地说：“不，我并不想把铅放在这儿，我想放的是一块石蜡。”就这样，没有事先的预兆，也没有事先有意识的推理过程，我立即取来一些剩余的石蜡，放在本应放置铅的地方。<sup>[1]</sup>

在事过多年之后，很难准确回忆起当时发生了什么，但 10 月 22 日第一次用石蜡做实验则是毫无疑问的。做实验的时候正值考试时期，我们中的一些人在这栋楼房别的地方，但佩尔西柯和布鲁诺·罗西正“多管闲事”地插手我们的工作。大约到了正午，我们都被召集起来看石蜡奇妙的过滤效应。开始，我以为计数器出了毛病，因为这么强的放射性活性是以前从来没有出现过的，但它很快说明这种强的放射性活性起因于石蜡对(产生放射性的)辐射过滤的结果。我们又用其他物质作过滤器，但发现只有石蜡可以产生强大的效应。然后我们回家吃中饭和照例午睡，但我们仍然对我们的观测十分迷惑不解。下午 3 点左右，我们回到实验室，这时费米对过滤中子的奇怪行为有了解释。他假设，中子在弹性碰撞后会降低速度，由于速度减慢，因此辐照时变得更有效率——这与我们期望的想法相反。这天下午我们都在思考，还重复最近一些让我们感到不解的实验，并用降低速度的假说来解释。过了半个小时，我们对铝作不同的辐照得到不同的结果做出了解释：慢中子由( $n, \gamma$ )反应产生一种放射性活性，快中子通过( $n, 2n$ )反应产生另一种活性。这使我和阿玛尔迪感到

[1] FP, 2: 927. ——作者注

如释重负，因为它解释了一个难解之谜，而且表明伦敦会议的记录不必进行修改。费米进一步猜测，中子可能会被减速到能量相当于热运动的能量，大约是 0.03 电子伏。这一天，费米还设计了一个实验（当时没有成功）检验他的假说，方法是在热介质而不是在冷介质中减速中子，然后观察它们不同的行为。这一天晚上，在阿玛尔迪家里，我们给《科学发现》写了一封短信。费米口授，我来写。他站在我的旁边，拉赛蒂、阿玛尔迪和庞特科沃在室内激动地走来走去，同时不断作出评论。我们是如此大声喧闹，以致当我们离开时，佣人不好意思地问阿玛尔迪的妻子，她的客人是不是喝多了酒？（阿玛尔迪一年前结了婚。）阿玛尔迪的妻子吉娜丝特拉（Ginestra Amaldi）当时在《科学发现》杂志社工作，第二上午她把记录递给了杂志的编辑。现将这封信翻译如下：

### 含氢物质对中子产生放射性的影响

在用银做中子感生放射性实验的时候，我们注意到放射性活性的强度有下述反常表现：一块几厘米厚的石蜡放进中子源和银之间时，放射性活性会增加而不是减小。在完成这一实验之后，我们可以断定在用大块石蜡将中子源包围起来时，靶的放射性活性的强度增加几十到几百倍，增加的倍数与石蜡的几何形状有关。

在做了这些观测之后，我们试图断定——目前还只是总结——发生这种现象的环境因素。迄今为止，我们可以断定的是以下几点：

- a. 没有铍的镭源不产生这种效应——环境因素对中子有影响，对  $\gamma$  射线没有；
- b. 用水代替石蜡可以得到强度相近的效应。我们估计很可能是这种效应决定于氢原子的出现，因为含有氧但不含有氢的物质如  $\text{NaNO}_3$  不能使放射性活性增加，至少活性保持在相同数量级；
- c. 用银元素观察到的效应，并非用所有其他元素都会发现。

我们已经观测到，到目前为止，硅、锌和硫的放射性活性没有显示明显的增加，而有水在周边时铜、银和碘的放射性活性大为增加。

这些不多的例子似乎显出对含氢物质敏感的元素所遵循的规则，它们在被轰击时由于起始元素的同位素引起了放射性活性。

铝的案例特别值得一提。在水里，它得到一种放射性活性，其周期稍短于3分钟，相当于<sup>28</sup>Al，它可以从辐照过的硅里提取出来。这种放射性活性在正常条件下非常微弱，当与同种元素被激发的其他放射性活性相比较时，它几乎立刻就消失掉了。相似地，锌和铜也生成相同放射性活性的产物，\*（铜的放射性同位素），在正常情形下得到数量级相同的放射性活性，但是在水里，铜显示的效应比锌大多了。

这些事实的一种可能解释似乎是，中子在与氢核反复碰撞时迅速失去了它的能量。似乎可信的理由是由于能量降低，中子-质子碰撞截面反而增加，人们可以期望在经过一些碰撞后中子运动的速度有些像气体扩散中分子的速度，最后达到相当于热运动的能量。用这种思路，我们可以用类似的方法解释中子源在水中或用石蜡环绕情形下出现的现象。这种方法的要点是处处依赖于源的强度、扩散过程的几何条件以及由于氢或其他核出现时中子可能的俘获过程。

这不排斥下述观点：这种观点对于解释李(D.E.Lea)观察到的效应十分重要。\*\*

所有这些现象的探索还在继续。

E·费米，E·阿玛尔迪，B·庞特科沃，F·拉塞蒂和E·塞格雷，罗马大学物理研究所。1934年10月22日—XII。[1]

\* T. Bjerge and C.H. Westcott, Nature, 134(1934): 286.

\*\* D. E. Lea, Nature, 133 (1934) 24.

[1] 论文的日期是按法西斯的规定：XII代表法西斯时代的第12年。——作者注

氢效应的发现向人们提出了大量的问题，也使我们要重新安排我们所有的研究计划。首先，我们要测量许多物质的水效系数：在特定条件下我们要在水中浸多少才能增加放射性活性。测量证实， $(n, \gamma)$ 反应是唯一对含氢物质敏感的反应。11月份的早期，我们证实行中子减速是对这种现象的正确解释，然后我们的注意才转向研究如何减速中子，而不是辐照后产生的物质。而且，我们想弄明白，在热水或冷水里减速会不会改变中子的特性。我们相信中子可以有效地热化。但开始我们不能证实有任何温度效应。虽然如此，我们继续实验。最后英国的穆恩(P.B.Moon)和蒂尔曼(J.R.Tillman)证实了热效应，我们急忙重复了他们的实验。我们很快发现某些物质：例如镉——强烈地吸收中子，我们还大致上测量了产生这个效应的截面。我们探测中子被俘获时发射的  $\gamma$  射线，开始大致测量在某种含氢物质中慢中子的密度，并把这密度作为一个离开源的距离的函数。最后，我们试图用与非含氢物质碰撞减慢中子速度，由此发现了一些非弹性碰撞的效应，用它可以解释我们原来用铅室包围源和探测器时观察到的效应。所有这些研究，在1934年12月都得到了有意义的结果，这时距发现慢中子有6个星期。

我在这些研究中做了一段时间，试图再创英雄开拓时期的精神。

慢中子发现后不久，柯比诺立即想到这项成就可能有重要的实际应用，应该取得一项专利。我们立刻照办，于1935年10月25日获得专利，意大利专利号324458。这项专利涉及生产放射性物质过程，特别是用中子轰击时；它还涉及利用反复碰撞中慢化中子获得的增强效应。因为慢中子是核反应堆运转的重要因素，因此这个专利对核电生产至为重要；对快中子和慢中子的军事应用也很重要。这个原来是意大利的专利，随着时间的逝去以及技术上合法的缘由，又分为许多细的分支，并且扩展到其他国家。专利的发明者是费米、阿玛尔迪、庞特科沃、拉赛蒂和我。但我们同意，如果因此获利，德阿古斯蒂诺和特拉巴齐将得到相等的一份。

欧洲政治形势的持续恶化，使我们试图将我们的专利权转到美国一家公司。我们和朋友贾尼尼接触，他曾经在罗马学习物理，后来移民到美国，在美国银行工作。他接受了我们的委托，我们与他达成一项协议，他根据这个协议持有专利，并与它的发明者共享相同的一份利益。向其他国家扩展时，我们根据协议给艾恩德霍芬(Eindhoven)<sup>[1]</sup>的飞利浦公司一份佣金。我们试图努力引起美国公司(例如通用电器公司)对核物理实际应用可能性的兴趣，尽管我们以费米作为专利代表的专家，却完全失败了——这是一个相对较小的飞利浦公司和美国工业巨人之间在远见上明显的对照。费米作为代表的无效，不是因为他和美国商人之间商业观点的不同(那时我这么认为)，而是因为工业大亨们完全不懂得核物理这一新领域的实际潜力，这一领域在那时还是刚刚起步。著名的美国投资银行家刘易斯·斯特劳斯(Lewis L. Strauss)迟至1938年还不能使他个人和商业上的朋友对核应用感兴趣，他后来成为原子能委员会(Atomic Energy Commission)的主席。他的努力成了闹剧，他说，因为“那时公司的高层认为核能是‘科幻小说迷们’感兴趣的东西”。<sup>[2]</sup>当裂变发现以后，原子能发展起来了，我们的专利成了这项研究最基本的东西，因此价格昂贵，特别是在那些知道这个秘密而后又在美国发展的人来说，这价格更是极其昂贵。

由于明显的理由，在战时不宜于与政府谈商业交易。当问题涉及一个对国家安全有极重要关系的计划时，实际上不可能而且也不愿意提出任何专利上的要求。战争结束以后，在美国国会辩论原子能法案时，有很长一段时间还不能确定。辩论的内容除了其他事情以外，还特别讨论了由于政府占用了私人专利权而进行赔偿的事。由于这个发明主要是费米得到的，因此专利事务就主要由他做出决定。

[1] 荷兰南部北布拉班特省的一个城市。——译者注

[2] Lewis L. Strauss, *Men and Decisions* (Garden City, N.Y.: Doubleday, 1962), p.165. ——作者注

战争结束后，当政府在原子能事务中的角色还没有确定期间，美国政府在与费米谈判时十分苛刻，费米可能宣称如果他感到其他发明者没有受惠的话，他将放弃他的权利。政府的律师们用各种可能的理由减少和延迟赔偿。除了其他一些理由外，他们提出的一个理由是费米当时是原子能委员会总顾问委员会的一个成员。虽然这个高级顾问部门的成员没有薪水，只作技术指导，但律师们坚决认为这儿有一个利益上的冲突，并且由此可以认为，不论是费米还是其他发明者都不能为他们的专利权要求任何赔偿。这件事让费米十分烦恼。对于在哥伦比亚大学工作时得到的专利权，他与政府签约时十分慷慨，这些专利他本可要求价值不菲的赔偿(他很可能获得了赔偿)。但现在扯皮的专利是 1934 年在意大利做的，而且是由一个小组做出的，他只是其中的一员，再说这件事与原子能委员会或任何其他后续组织无关。法律的偏狭让他感到厌恶。

在和政府的律师们打交道的时候，这些律师最感兴趣的似乎是推迟做出任何结论，让诉讼慢慢进行。这件诉讼由于庞特科沃(发明者中的一个)神秘地消失而更趋复杂。他后来又出现了，原来他在 1950 年 9 月到苏联去了。专利的受托人贾尼尼曾经向美国行政法院(United States Court of Claims)要求 1 千万美元的赔偿(虽然这个总数对发明者们似乎太大)，后来丧失了信心，撤回了起诉。最后在 1953 年夏天达成了一个处理意见，根据这一意见，政府付给大约 40 万美元的“应得赔偿”。在支付了诉讼费用以后，每位发明者都得一份报酬，大约是 2.4 万美元，费米也得到同样的一份。

1934 年慢中子的发现，等于大幅度增强了源的强度，它允许我们看到或再考察仅仅几个月前由于强度太弱而无法研究的现象。首先，我们研究用的是硼的( $n, \alpha$ )反应。接着，更系统地研究铀，但没有取得多大进展。

另外一个不成功的努力，是 1935 年 1 月和 2 月试图解释由钍和铀感生的许多新出现的放射性活性，钍和铀已经被我们和其他一些小组

分离出来。我们试图解释所有由于铀后元素而出现的放射性活性以及它们可能的衰变产物。我们认为，除了 $\beta$ 发射体以外，应该还有 $\alpha$ 发射体。于是我们开始辐照铀和钍(的氧化物)的金属箔。辐照后立即把它们放到电离室的小窗口前，电离室还与一个线性放大器相连。由于我们没有观察到任何新出现的 $\alpha$ 放射性活性，所以我们认为这种 $\alpha$ 放射性活性对我们的仪器装置来说，其半衰期太短，大约只有1秒钟的几分之一，以致无法测出。于是我们把铀就放在电离室前面，然后用一个石蜡包围着的中子源辐照铀。我们认为，如果 $\alpha$ 粒子发射体有一个短的半衰期，它们(按照盖革-努塔尔定律，Geiger-Nuttal Law)放射出的粒子的半衰期应该比铀和钍发射的长一些。因为这一理由，我们在实验时总是用铝箔覆盖着铀和钍，它相当于5或6厘米的空气，由此得到的结果是否定的。正是这层铝箔，使我们看不到裂变出现时有特色的、强烈的电离脉冲，但是，即使我们观察到了这种脉冲，也不敢说我们是否能够正确地解释它。

我们在给皇家学会的第二篇总结中，谈到了我们研究的主要结果，它写于1935年2月，<sup>[1]</sup>其中包含中子物理学大部分重要思想和事实的种子。这时，费米在中子慢化过程的理论上取得了重要的进展，但是核物理存在严重的困难，这是因为在散射和俘获截面之间还缺乏关联，在有些情形下俘获截面非常大，例如镉就是如此。费米曾几次试图解释这种现象，但它的机制要等到玻尔关于复合核的研究完成以后，才能够弄清楚。另一方面，散射长度的概念和共振的可能性已经常常出现在费米的思想里。散射长度的概念以及它的典型图解，是费米在1934年为解释光谱系极限附近的光谱线压致频移而提出来的，这种频移是阿玛尔迪和我发现的。<sup>[2]</sup>让我们非常惊讶的

[1] “Artificial Radioactivity Produced by Neutron Bombardment. II” (FP 107). ——作者注

[2] “On the Pressure Shift of Lines High in Spectral Series” (FP 95). ——作者注

是，费米有一种神奇的洞察力，可以在看似无关的现象中找到类似性，他竟然把光谱线的压致频移理论转变成与中子物理学有关的理论。他还对中子在含氢介质中的行为作了许多计算，这种计算方法现在被称为蒙特卡罗法(Monte Carlo method)，即他细致地追踪一个中子在它反复碰撞过程中的命运，用概率(蒙特卡罗)法决定每次碰撞的参数。在跟踪了许多中子以后，他就可以对这些结果作一个统计的研究。他那时没有谈到这种方法，虽然他 1935 年就用到这种方法。很多年以后，费米在洛斯阿拉莫斯亲自告诉我时，我才知道这个方法。1935 年春天，我们设计了一个力学实验，利用它我们可以用一个轮子的周长来计算中子的速度。在费米去安阿伯暑期学校的前几天，我们开始使用飞快转动的轮子，但直到他收拾好行李和准备上船了，我们才终于得到统计的结果。这是我记得在罗马工作时唯一一次“紧急情况”，虽然完成的时刻颇有点戏剧性，但这次研究十分精深，毫不草率。

当 1935 年暑假我们离开学校时，我们的心情像前一年一样不好。政治状况，尤其是准备对埃塞俄比亚开战和欧洲形势的恶化，已经严重影响到了我们的研究。我对变化知道得十分清楚，并和费米谈到这一情况，他对我说，我应该到研究所图书馆的大桌上去寻找答案。我到图书馆去了，发现桌子上有一本世界地图。这本地图由于频繁地被人查询，以至于当我随意打开它的时候，它自然地显示出埃塞俄比亚的地图。1935 年秋天，危机已经到了一触即发的地步。费米从密歇根回来以后，小组已经解散了。拉赛蒂到哥伦比亚大学去了，并决定再在那儿呆上一阵子。我已经被任命为巴勒莫的物理教授和实验室主任，并且已经搬过去了；庞特科沃很快就离开意大利到法国去了；德阿古斯蒂诺在另一个地方谋到了一个职位。意大利的氛围由于国家备战和国联的强制制裁而日趋恶化。

1936 年，与费米一起在罗马工作的阿玛尔迪曾描述那年发生的事件：

1935年暑假以后，费米和我发觉只有我们两个人留在罗马……我把注意力转向别尔格和韦斯科特以及穆恩和蒂尔曼的结果上，他们曾经观察过慢化中子被稍有不同的元素的吸收情况，吸收决定于用来做探测器的元素。这一事实不能用现在的中子吸收理论来解释。这个理论预言，(所有的核)俘获截面与中子速度成反比。由这种能量的依存关系可以明显地得出结论：这么大的能量间隔完全可以覆盖整个慢中子的能量范围。

我们以比过去更充沛的精力投入工作，似乎希望用更紧张的工作来补偿小组人员的损失。

我们曾经拟定一个系统的挑战计划，我们对此曾开玩笑总结说：要采用所有可能的方法，用92种元素作探测器，测量出所有92种元素的吸收系数。我们还开玩笑地加了一句：把所有元素2个对2个地组合起来之后，我们也可以把它们3个对3个地组合起来。我们的意思是，我们还将研究用不同方法过滤后中子的吸收特性。

实际上，在用7种探测器的所有可能组合，测量了11种不同元素的吸引系数后，我们相信英国两个研究小组的观察是正确的。一般说来，某些元素的吸收系数大于当这元素本身作为探测器时的情形，这一规则十分明显。我们开始仔细地研究银、铑和镉等特殊案例……

我和许多其他人一样，想对这种现象构造出一幅简单的图景，并认为在这种情形下这种设想应该引起关注。我试图用不同的能带来解释不同的中子群，但费米不愿意接受这种解释。他也相信这显然是最简单的假说，但他坚持认为，严格上说这种假设是不必要的，至少在当时不必要，因此把它引入我们的智力图像中是有害的。他坚持认为当前应该做的是，根据已经观察到的实验事实来进行推理。中子群性质的正确解释将会以数据的必然结果而出现。他惟恐一种先入之见的解释会影响我们对

我们面对的现象做出客观评价，而不论它看来如何可信。 [1]

费米的这种反应很特别，相同的态度出现在 1951 年费米的一次演讲中：

人们可以回到书上寻找方法(我怀疑有很多物理学家会这么做)，从那儿我们可以学到：我们必须取得实验数据、收集实验数据、组织实验数据、开始作一个有效假说、试着前后关联等，直到最后，一个模式活生生地跳出来，而我们只需把这个结果捡起来就行了。也许教科书中传统的科学方法是最好的引导，至少在没有更好的方法之前是这样。 [2]

我怀疑费米这么说恐怕毫无诚意。我相信，他经常有一个有效假说，但在彻底检验它之前他不会提到它。也许他曾经不相信和抵制他自己的科学保守性；他不愿意因为不够大胆而失去伟大的发现。他对海森伯早期关于量子力学的工作的反应、与裂变发现相关的一些事件，以及  $\beta$  射线理论的成功，一定使他懂得过度保守是一个陷阱。但同时，他又不愿鲁莽。

无论如何，费米和阿玛尔迪开始系统研究不同中子群的吸收特性，把它们用字母来分类，这样一是为了简单，二是为了避免望文生义。被镉强烈吸收的 C 群，被证明有真实的热能，他们获得的一个结果证实所有其他的群通过碰撞可以转变成 C 群。在这些实验的基础上，把中子群解释为共振吸收线的能量差异，并由玻尔复合核的理论作出解释。玻尔的思想和布赖特(G.Breit)和维格纳的研究，为共振的狭窄性以及中重核和重核的能级密度作出了解释。费米和阿玛尔

[1] FP, 1: 808. ——作者注

[2] “The Nucleus” (FP 247). ——作者注

迪利用了他们可以使用的方法，测量了共振的宽度和位置。这些方法中有一些非常聪明，深刻地影响了此后中子学的发展；还有，他们使用的技术比前一年有了很大的改进。电离室现在不与静电计相连，而与盖革-米勒计数器相连，由此可以将放射性测量的精度提高到百分之几。校正源以及为了简化测量的列线图和标准化程序为我们提供了一个精确和迅速的技术。

他们在一篇实验论文中对许多重要的测量作了总结，论文题目是“慢中子的吸收和扩散”，这篇文章由阿玛尔迪译成英文，在《物理评论》上发表了。与它相伴的理论论文“含氢物质里中子的运动”由费米完成，它对阿玛尔迪论文中讨论的一些实验给出了理论的基础，并且在很多方面为中子学奠定了基础。费米只用意大利文发表了这篇论文，他说想研究中子的人总会读到它的，所用不着自找麻烦地去翻译它。但几年之后，它还是被译为英文，这时在减速剂中的慢中子运动已经成为一项十分热闹的技术课题。

阿玛尔迪在这段时间里与费米接触很密切，他对1935~1936年发生的事件作了如下总结：

这一学年在疯狂工作和孤独的氛围中很快过去了，学年即将结束。拉赛蒂经常写信给我们介绍哥伦比亚大学发生的事情，哈尔班(Hans von Halban)和普赖斯威克(P.Preiswerk)不断给我们寄复印件，使我们了解哥本哈根的情形。从普拉切克的信中我们知道玻尔有关硼的 $1/v$ 吸收定律的研究，同时也知道普拉切克和弗里希(O.Frisch)的相关研究。通过这些通信从罗马传出一个笑话，就像船长的年龄可以由船的桅杆长度来决定一样，中子群的能量可以由中子群慢化后飞行的距离来决定。大约就是在这期间，费米用量 $\langle r^2 \rangle / 6$ 来表示术语“年龄”。开始的时候，“船长的年龄”用来表示一个群转变为较低能量的另一个群的一些实验……

我们以不可思议的顽强精神工作。我们总是上午 8 点开始测量，几乎不休息地一直工作到傍晚 6 点或 7 点，经常比这还要晚。所有测量都根据精确的时间安排，使所有的操作都只用最少的时间。这些操作根据需要每三四分钟重复一次，就这样持续几天我们才能在某一个特定点得到一个结果。解决了一个问题之后，我们立刻转向另一个问题，从不中断。当时意大利的总体形势越来越让人寒心，首先是埃塞俄比亚战役，接着是意大利加入西班牙内战，这时用“物理学作为苏麻液”<sup>[1]</sup>来形容我们工作的状况，实在是十分贴切。<sup>[2]</sup>

在阿尔多斯·赫胥黎(Aldous L. Huxley)<sup>[3]</sup>的小说《美丽的新世界》(Brave New World)中，2000 年的人服用以性激素为成分的苏麻丸以抵制失望。

102

以“物理学作为苏麻液”的想法很明显地为物理学家所熟悉，我看这种情形在纳粹统治德国的悲剧年代里得到广泛地应用。在一次竞争失败后我十分沮丧，费米向我推荐了这一方法。当俄罗斯物理学家卡皮查(P.L.Kapitza)被苏维埃当权者扣押，不准他在假期之后再回到英国剑桥的工作岗位上去时，卢瑟福勋爵写了一封著名的信给卡皮查，“苏麻液”在信中被作为药方。<sup>[4]</sup>把工作当作苏麻液并不是什么新鲜事，也肯定不只是特别针对物理学，它无疑是很有成效的。

1936 年重要研究的成功，与同时欧洲政治形势的日趋恶化成为鲜明的对比，我们都面临一个可怕的未来。新的旅行目的地指向美

[1] 苏麻液(soma)据说是一种令人致醉的植物液汁。——译者注

[2] FP, 1: 810. ——作者注

[3] 赫胥黎，英国小说家，评论家，是杰出生物学家托马斯·亨利·赫胥黎的孙子。作品有《加沙盲人》、《永恒的哲学》和《卢丹的魔鬼》等。——译者注

[4] Piotr L.Kapitza, “Recollections of Lord Rutherford”, Nature (London), 210 (1966): 780. Rutherford's letters are at p. 782. ——作者注

国，费米在夏季学期去了哥伦比亚大学讲热力学课，以后根据讲稿出版了一本薄薄的书，至今仍然广为流传。<sup>[1]</sup> 阿玛尔迪和我也访问了美国，秋天我们都回到了意大利。

在总的政治局势恶化中，完全沒有意料到的打击使得形势更加恶化。1937年1月23日，柯比諾教授由于肺炎在患病后不久就去世了，时年61岁，我们曾经期望在他的帮助和保护下，度过更多我们预见到的困难年月。人们自然地猜想费米将被任命为柯比諾的继任人，但是，洛苏爾多在略施巧计之后，成了罗马大学物理研究所新主任。这是一个费米在意大利的地位将会下降的预兆；更有甚者，这对罗马的后续研究也不是一个好的预兆。但实际上，在接着的两年中，洛苏爾多并没有施加多大影响。

费米写了一篇短文赞扬了柯比諾，其中特别强调柯比諾的科学的研究，文中也显示了他的感情和对柯比諾热情的个性和人格地充分理解。<sup>[2]</sup>

在此前不久，阿玛尔迪在选聘中获得了撒丁岛一所大学实验物理的席位，但是他没有去，现在，由于柯比諾去世，他在罗马大学获得这个席位。阿玛尔迪仅仅只有29岁，对这个年龄来说，这个任命非同一般，但是，对于意大利物理的前途来说，这是一个非常正确的选择和决定。也是在1937年，物理研究所从帕尼斯佩爾納大道的老楼搬到了新的大学城。新的地方非常宽敞，整个状况也比较好，但是搬家本身也引起了相当大的破坏作用，一个科学研究机构这么复杂的团体搬迁，这种破坏是可以预料的。

在搬动之前，阿尔马迪、费米和拉赛蒂开始建造一个考克饶夫和瓦尔顿式的加速器，它可以得到20万电子伏的氘核。虽然氘加铍中子源有稳定和几何尺寸小的优点，但它不可能与新出现的加速器

[1] E.Fermi, *Thermodynamics* (New York: Prentice Hall, 1937). ——作者注

[2] “Un Maestro: Orso Mario Corbino” (FP, 120). ——作者注

竞争。

由于所有的这些成功，对罗马大学物理研究所原有的精神来说，1934 年开始的中子研究工作有一种不利的附加影响：这项研究变得如此吸引人和耗费时间，以致彻底改变了小组人员的工作习惯。费米对学生和访问者不再给予更多的关注，除了当时感兴趣的领域外，他不再关注物理学其他方面的进展。没有时间从容地学习《物理杂志》上的文章，也没有时间与国外来的年轻物理学家讨论问题。前几年我们受益良好的讨论班和个人讲座也消失了。物理学研究的内容变得比以前越来越狭窄和功利主义。为了保持中子物理学研究的领先地位，我们必须尽可能快地完成大量的工作。（我们很少怀疑，这种工作方式将会在我们大部分科学生活中延续下去。）特别对于费米，随着时间的流逝，他的负担越来越重；工作的压力——或者可能仅仅是时间的流逝和他正在逐渐的成熟（他毕竟只有 30 岁）——似乎对他产生了另一种影响：他的个人关系越来越保守，更加沉默寡言。随着时间的流逝，他的孤立倾向更严重，他越来越反诸自身；后来在美国时，由于战争的要求这种倾向有增无减。尽管他很热情诚挚而且容易交流意见，但我相信费米从来不轻易信赖他内心最深处的一些思考，无论是科学的或其他什么思考，除了经过深思熟虑以外。

物理学界的另一个变化是德国同行的黯然失色。我们十分清楚这一点，因为我们经常到德国去，而且在德国科学家中有很多朋友。由于纳粹摧毁了德国的物理学，所以我们担心这个传染病会传播到欧洲的其他部分。我们的目光越来越多地盯着英国和美国。我们对英国的友谊关系，部分是由于卢瑟福以及他的学派在核物理学发展中所扮演的重要角色。美国似乎是未来之地，因为大洋隔断了欧洲的不幸、愚蠢和犯罪。于是，我们开始学习或改善我们的英语，费米还决定用英文发表他关于中子的论文，不再用德文。这种改变受到他的合作者们的鼓动和衷心同意，这些人对纳粹和他们的罪行深恶痛绝。我们对将在德国发生的事情十分清楚，虽然那时纳粹犯下的罪

行比即将发生的小得多。当然，这种事态并没有影响到我们与德国朋友的个人关系，他们中的大部分人是专制独裁的牺牲品，像我们一样痛恨纳粹。我们与哈恩(Otto Hahn)、迈特纳以及其他人保持着密切的联系，直到1936年我们仍然尽绵薄之力帮助我们的朋友。但是到1936年之后，在意大利几乎已经不可能做任何事情了。

为了解费米在意大利生活和工作时期的政治态度，我们应该记住他出生在一个中产阶级的公务员家庭里，他在意大利公立学校接受教育。意大利中学的教育提供的是一种文化的人文主义修饰，被现代意大利历史学家称为“文学文盲”(the illiteracy of the literates)。它本质上是一种肤浅的文学和对意大利历史的赞颂，认为罗马帝国是现代意大利的直系祖先，以及近来的复兴运动<sup>[1]</sup>被转变成国家主义的神话。费米还是一个孩子的时候就对此持批评态度，不相信学校讲的东西。但是，对一个封闭在思想狭隘的意大利的青年人，很难扩大他的视野和使他能足以理解世界上发生的事件和它们的意义。柯比诺几乎是他成长时期知道的唯一的一个有重要职务的人物。后来，他迅速吸收了他访问过的国家的文化。

当法西斯在1922年攫取了意大利政权的时候，大部分的中产阶级都支持法西斯，认为在经过一个时期的骚动后这是秩序恢复期的回归。更有甚者，法西斯还诉诸爱国和民族的情感。除支持法西斯的人以外，还有两类人：其中一些人，如沃尔泰拉教授，立即看出墨索里尼攫取政权在长期以后意味着什么；另一些人，如柯比诺，内心十分矛盾，他从没有参加法西斯党，但为墨索里尼早期联合内阁服务。

法西斯早期同情者遭受第一次严重的打击是(1924年)马泰奥蒂(G.Matteotti)<sup>[2]</sup>被无耻地谋杀以及由此产生的结果。这是一个转折

[1] 复兴运动是19世纪以统一意大利为目标的思想文化运动，使意大利终于从外国统治下解放出来，并于1861年建立了意大利王国。——译者注

[2] 马泰奥蒂(1885—1924.6.10)，意大利社会党领袖，他被谋杀后引起世界舆论的震惊，并动摇了墨索里尼的政权。——译者注

点，许多人因此改变了对法西斯政权的态度。费米从来不积极参与政治活动，虽然他对政治有一种智力上的兴趣。他自己的工作够他忙的，他根本没有时间从事其他活动。费米的性格特征是诚挚、正直和对什么都持一种保留态度的倾向，因此与法西斯主义夸大虚假的作风不相容。当他知道了法西斯政府许多邪恶事迹以后，他不再积极支持它；但另一方面，他也从来没有参加反法西斯的斗争。只要他能够保持他个人的正直，能够不受妨碍地做物理学研究，他就试图不理睬政府的狂妄行为，虽然他还在为政府工作。他不喜欢在政治问题上争论，也不愿意在他力所不及的事情上浪费自己的时间。

1929年他被任命为意大利科学院院士以后，他发觉自己自动成了法西斯权贵中的一员，但他尽可能避免担任公共职务，尽可能避免出席令人厌恶的、有许多政府官员参加的聚会。他决不会利用他的官方职位，更不会利用他的科学名声，为任何人谋取好处，当然也包括他自己。从一段轶事可以表明他的态度。1930年，当意大利皇太子结婚时，高级政府官员(包括费米)被邀请参加婚礼，并且赠送一个特殊的卡片作为入场卡。但费米决定留在实验室里工作。在去实验室的路上他要过一条街，但这条街被封锁了不能走人，街上站满了列队的士兵，警戒着行人。费米驾驶着他那辆破旧的小轿车，又没有穿上院士华丽的制服，但他把那张入场卡带在身上。当士兵拦住他的车不让通过时，他把入场卡递给一位军官看，说：“我是费米阁下的司机，我要去接他参加婚礼。您能让我通过警戒线吗？”军官让他通过了警戒线。那天，他在实验室里度过了一天。

1933年1月，希特勒夺取政权，这是欧洲事态的一个主要转折点。任何了解德国或与德国有接触的人都明白，可怕的事情正在发生。但有些人希望事态的发展会自己纠正错误，而另一些人则尽量不去看正在发生的事，因为它太可怕了，简直无法理解。还有很多人因为盲目的乐观失去了他们的生命。原来对希特勒不友好的墨索里尼，被德国事态的转变弄得惊恐不安，他正确地把希特勒视为一个

危险的人物，并在一段时间里希望有可能控制他。在奥地利不成功的暴动中和 1934 年夏谋杀陶尔斐斯总理(E.Dollfuss)<sup>[1]</sup>时，墨索里尼甚至让意大利的军队聚集在国界上作为示威行动，想威胁和阻止希特勒。后来，他陷入自己的虚夸、毫无准备的和误传的陷阱之中，发动了埃塞俄比亚战争。他以为法国和英国因为支持他反对希特勒，会对他发动的战争持默许或中立的态度，但他的策略失败了。最后，巧施计谋的结果是墨索里尼从开始还幻想自己是两个独裁者中更重要的一个，落到后来逐渐成为一个配角，再后来成了希特勒的仆从。<sup>[2]</sup>

1936 年 11 月，罗马-柏林“轴心国”的形成是走向这场灾难性堕落最关键、最大的第一步。1938 年 3 月，意大利默认德奥合并，也就是德国对奥地利的征服，说明这一堕落的过程几乎已经完成。墨索里尼和意大利政府在 4 年以前，曾经愿意和能够制止希特勒霸占奥地利的企图，但现在他们已经无力做任何事情了，他们只有把他们的软弱隐藏起来，对希特勒干的事表示赞同。

德奥合并以后，薛定谔离开了奥地利，他是奥地利的一位教授。他徒步逃离时除了一个软式背袋外什么都没有带。他来到罗马，立即找到费米，要他陪同一起去罗马教廷寻求庇护。这件事和其他一些每天发生的凶恶征兆，让继续留在罗马的物理学家们深为不安。

1938 年 5 月，希特勒作为官方客人亲自访问罗马，其场面甚为壮观。这种访问意味着什么，人人都可以猜到。诗人特里卢萨(Trilussa)写了一首犀利的讽刺短诗，迅速被口头传诵到全国各地，它反映了许多人的心情，特别是费米和他周围人的心情。小诗写道：

罗马如大理石般辉煌，  
灰泥和纸板把丑恶遮挡。

[1] 陶尔斐斯(1892~1934.7.25)，奥地利政治家，1932—1934 年任奥地利总理。——译者注

[2] 有关背景材料可参见：Denis Mack Smith, Italy: A Modern History(Ann Arbor, Mich.: University of Michigan Press, 1959)。——作者注

欢迎他的下一个主人，  
那位矮小的房屋油漆匠。 [1]

这首小诗说的是墨索里尼下令在希特勒经过的路边，粉刷修饰以遮掩沿途的贫民窟。

墨索里尼戏剧性地夸张“帝国”这个主题，把危险地占领埃塞俄比亚视为恢复罗马帝国的荣耀。这种想法对于能够冷静和诚实地做出判断的人，尤其是科学家来说，实在令人厌恶。法西斯政府开始公布一些奇怪的法律，例如要处罚未婚男子，指定讲话和穿衣的方式。意大利与一个走向犯罪道路的德国人的联盟，更是让人作呕。费米的感情表现在他对意大利辛辣的评论上，他说如果墨索里尼更疯狂，并且在威尼斯广场上用双手双脚走路，那意大利就有救了——他经常在阳台上这么讲。

108

意大利对意识形态进行控制的最终证明是反犹太人法律的宣布。这些法律对费米个人产生了影响，因为他的妻子是犹太人。意大利的反犹运动最初开始于 1938 年 7 月 14 日宣布的《种族宣言》，签署的人是政府的官员，也可能是墨索里尼自己。这个宣言力图为犹太人为什么要被视为外国人，以及为什么会被惩罚找到科学的理由。政府试图让这个臭名卓著的理论被有“科学家”名声的人接受和支持，但只有一些为政府溜须拍马的家伙在宣言上签了名，而且其中有一些人到了后来还拒绝承认在上面签过名。意大利的大学立场很坚定，墨索里尼仅仅找到 5 位教授愿意在这份文件上签字。有许多人保护和同情犹太人，很多公务员在发现他们的官方职责和个人良心之间有矛盾时，他们多半以他们的良心来主宰他们的行为。独裁政府对种族条令进行理论表述后，很快就颁布特殊的法律，它们都是从纳粹纽伦堡公告上抄来的。1938 年的法律没有影响到费米或他的两个

[1] 英文译者为 Muriel Kittel。——作者注

孩子，因为他们受过洗礼，被认为是雅利安人，但他妻子的家庭受到了严重影响，而且还不知道这个法律会给她带来什么。危险来得并不很快，但种族法律如此严重地违背了他对公正的认识，并说明意大利的生活基础已经非常恶化，因此他决定离开意大利。<sup>[1]</sup>

前几年他曾经接到过国外几所大学的邀请函——例如，苏黎士大学在1928年曾请他去主持由于薛定谔离开而空出的教席，还有普林斯顿高级研究所以及其他几所美国大学都给他提供过教席。在现在这种恶劣形势下，他认真地考虑要离开意大利了。费米自己曾很希望到美国去，但他的学生和朋友们极力劝阻，他的妻子又不愿意离开罗马。在仔细权衡了自己对家庭、朋友和学生的责任以后，他决定留下来。但是，现在的情况已经不同于以前，已经不能再犹疑了。他写信给以前接触过的4所美国大学，告诉他们以前妨碍他接受邀请的原因不再存在。他接到他们迅速地回复，他决定接受哥伦比亚大学的职位。

1938年秋天，在哥本哈根召开的一次物理学会议上，玻尔秘密地告诉费米，在诺贝尔奖候选人名单上他的呼声最高。告知这样的秘密是一件非同寻常的事，玻尔这样做是想知道授奖会不会给费米带来难堪。因为出现过这样的事例：统治者强迫得奖人放弃获奖的机会，或进行其他干扰。因此瑞典科学院要小心行事。提名费米获奖本身不会让人感到意外，但它却使得费米有机会调整他的移民计划。他打算直接从斯德哥尔摩到纽约，不再回意大利。这样可以避免可能的报复，例如拒绝为家庭成员发护照，以及依据法律冻结奖金，等等。

他把将要去哥伦比亚大学访问的事告诉大家，由于他以前经常到美国大学去，当局可能会认为他的出行是例行公事，他们应该一般不会

[1] 有关背景材料可参见：Renzo DeFelice, *Storia degli Ebrei Italiani sotto il Fascismo* (Turin: G.Einaudi, 1961). ——作者注

太关注这件事。他从哥伦比亚大学那儿得到一个“公开”邀请，时间为7个月；这个时间正好是移民签证所需的时间(不是旅游签证)，这是他从1924年移民法令4D款中得知的，该款可以允许教授在移民限额之外获得移民签证。

费米一旦做出决定，就不会再犹豫不决。他把这事告诉了几个亲密的朋友(阿玛尔迪和拉赛蒂等人，我当时已经在伯克利)，说他将长期移民国外，但没有告诉他们具体的打算。阿玛尔迪的妻子吉娜丝特拉特别痛苦，她认为移民是不合适的，并且认为这种做法似乎是在困难情形中的一种开小差的行为。埃多阿多·阿玛尔迪为罗马小组的解体深感痛惜，也了解移民是不可避免的。

1938年11月10日，费米被告知获得诺贝尔物理学奖。很快这一消息就被公开宣布了，法西斯报纸通常对国家的荣誉决不会漠不关心，但这次却以引人注目的轻视方式公布了这一消息，法西斯显然决定不声张这件事。这不奇怪，激进的法西斯报纸曾经攻击费米“把物理研究所变为犹太会堂”，而且报纸在公布他获奖消息时，那一版醒目地公布了第二批种族法律。

1938年12月6日，费米全家——费米、劳拉和两个孩子及一个仆人——乘火车离开罗马。阿玛尔迪和拉赛蒂到车站送行。每一个人都明白，这次分离意味着他们生活中值得回忆的时期结束了。

罗马小组实际上被无法控制的力量打散了。我在1938年7月已经到美国访问，当我辞去了巴勒莫大学的工作以后，留在了伯克利。费米1938年12月离开意大利。1939年夏天，拉赛蒂移民到加拿大，阿玛尔迪也到美国来寻找一个职位，虽然他的妻子不愿意离开意大利。他为自己的家庭申请了护照，但还没有等到它批下来，他一个人就到美国寻找机会。但是，在他找到一个合适的职位以前，德国人侵了波兰，他家庭的护照被拒签了，于是他在1939年10月回到意大利。在美国期间，他与我在伯克利、与费米在新泽西的安阿伯和列奥尼娅(Leonia)呆了一段时间。

当阿玛尔迪回到他罗马的工作岗位以后，他必须面对沉重的和不可预料的责任。战争期间意大利物理学的历史已经超出了本书的范围，当时首要的任务，是维持意大利物理学在费米十几年时间获得的杰出的国际地位。这个任务移交到了阿玛尔迪手上，他出色地完成了这个任务。这也显示了费米对意大利物理学影响之深。

在斯德哥尔摩，费米参加了1938年12月10日流光溢彩的传统颁奖仪式，从国王古斯塔夫五世手中领到了奖金。瑞典科学院的普雷叶(H. Pleijel)教授致词，他在结尾中(用意大利语)说：

瑞典皇家科学院决定授予您1938年诺贝尔物理学奖，以表彰你在整个元素领域中发现了新放射性物质，表彰您在研究慢中子选择能力的过程中的发现。

我们向您表示祝贺。您出色的研究使人们对原子结构有了新的认识，同时为进一步研究原子开辟了新的前景，我们由衷地钦佩您。现在，请您接受国王陛下授予的诺贝尔奖。

费米按照传统对他获奖的工作做了一个演讲(诺贝尔演讲——一个半通俗的、对整个罗马有关中子研究工作的描述——见附录二)。他的发言是在核裂变发现之前讲的，因此含有93号和94号元素的名称“ausonium”和“hesperium”<sup>[1]</sup>。核裂变发现于1938年12月10日和讲稿印出来的时间之间，在该讲稿正式印出来后的一个脚注中提到了这一点。众所周知，核裂变的发现需要对铀的感生放射性研究工作进行一次重新的评价。偶尔听见有人说，费米是唯一一个由于虚幻的发现而获得诺贝尔奖的人，即他获奖是由于假定发现了铀后元素。从费米的演讲中可以看出，事情并非如此。

当瑞典正进行诺贝尔奖的庆祝活动时，一个伟大的发现正在德国

---

[1] 即现在的镎(Np)和钚(Pu)。——译者注

出现。奥托·哈恩和弗里兹·斯特拉斯曼(F. Strassmann)正在不容置疑地得到结论：在中子辐照铀的产物中出现了放射性钡。他们于1938年12月22日将论文送给《自然科学》。<sup>[1]</sup>这是德国科学许多年来最后一个伟大的成就，也是黑夜来临之际落日的最后一道余辉。

弗里希和迈特纳在知道哈恩的发现以后，几乎立即猜出，在中子辐照铀产生的各种同位素中出现了钡，这意味着分裂，即铀核被撕裂成两大块碎片。几天之后，这种解释即被观察证实，观察发现了裂片产生的巨大电离脉冲，这些结果于1939年1月15日发表。<sup>[2]</sup>

在这些发现还没有正式发表以前，有关它的消息却在谈话、信件和电报中传播。这些消息在知道此事的人中间产生了巨大的情感冲动，但费米在欧洲最后几天的日子里对此却一无所知。在瑞典庆典过后，费米在哥本哈根呆了几天，并受到玻尔和他全家的热情接待。

1938年12月24日，他在南安普顿登上“法兰克尼亚号”海轮。

112

1939年1月2日，费米一家在纽约上岸，费米转身对他的妻子说：“我们已经创立了费米家族的美国支系了。”<sup>[3]</sup>(我可以想像他的笑容。)哥伦比亚大学物理系主任佩格拉姆(G.B.Pegram)和贾尼尼在码头上迎接他们。

[1] Otto Hahn and Fritz Strassmann, “über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetallen”, *Naturwissenschaften* 27 (1939): 711. ——作者注

[2] 参见 L.A.Turner, “Nuclear fission”, *Reviews of Modern Physics* 12 (1940) : 1; O. Frisch, “The Interest Is Focusing on the Atomic Nucleus”, in Niels Bohr, ed. S.Rozental (New York: John Wiley & Sons, 1967), p. 137; and Otto Hahn, *Vom Radiothor zur Uranspaltung: Eine wissenschaftliche Selbstbiographie* (Braunschweig: V.Vieweg, 1962). ——作者注

[3] Laura Fermi, *Atoms in the Family*, p.139. ——作者注

## 第四章

# 原子弹的诞生

113

1939年，费米正处于他事业的中点，也处于即将卷入一些事件的边缘，这些事件的历史意义将超过任何其他事件，而这是他前些年所预料不到的。因此十分重要的是，我们应该尽力描述他的视野和他对这些事件的典型反应方式。下面写的是一个主观上的分析，仅仅表达了我的印象，不过它也许有助于了解费米的行为。

中产阶级那种严肃、勤劳和有规律的生活方式从小就影响着费米，并在他身上留下了深深的烙印。他的生活——除了最重要的科学——完全依照一个有效率的、忠实的公务员方式安排。当他还十分年轻时，他对正发生的事件还没有宽广的视野，他第一次接触更宽广的世界以及后来接触社会或政治问题主要是通过柯比诺。在意大利最后的几年里，费米在教育部担任几个高级咨询职位，还任工业公司的顾问，他总是非常尽责。他接受这些事务，主要是觉得这是他应尽的职责，当然也不排除想增加一些收入的考虑。当柯比诺死

后，一个大公司的董事会空出了一个位子，这个位子可以由他来担任。这是一个在商界获得重要职位的机会，但他礼貌地拒绝了这个机会，原因很简单，他对此毫无兴趣。

费米憎恶争斗，特别是那些结果不确定的争斗。他常说，一个人应该避免毫无缘由的行事，堂·吉诃德不是他心目中的英雄。他非常公平、谨慎，在所有事情上不偏不倚，总是尽量考虑别人的意见，避免偏袒，有时甚至让人感到有些虚伪。虽然他热爱公正、合理，但他似乎不愿意为抽象的原因而动感情。他小心地避免纠缠在不具体和不能确定的事务上，因为它们不可能提供一个令人满意的结

果。当他面临完全无法控制的、超越他个人能力的力量时，他就会撤退，或者远离那个问题，或者避免在个人事务上卷进去。由于严格地服从纪律和习惯留有余地，他很少评论他不喜欢的个人或行为。（因此，尽管我非常了解他和经常见到他，但从来不知道他对某些重要政治事件或个人的看法。）

费米信赖简单的一些原理，然后在这一基础上利用他那非同一般的分析能力。他充分了解自己有非同一般的智慧，在我的印象中，他有时会仔细思考他在科学上的地位和他在科学史上的位置。有时候他觉得自己超越了当前事件短暂的喧闹和激动。他思考的是永恒。

在科学事务上他比较保守。他痛恨超过自己能力的允诺，痛恨从一个实验和计算中得出超过实际的结论。他总是小心找出他的结果中可能出现的错误，他常常半开玩笑地提到“崇拜小心的假说”，这是为含糊赞扬一位没有什么成就的意大利物理学家而创造的一个词条。所有这些证明费米倾向于作有保留的陈述，他的科学论文也可以证明这一点。在裂变发现之前不能解释铀后元素真实性质这件事，给他带来的痛苦最大，没有任何其他事件可与之相比。下面的轶事可以说明，由于他未能成功地解决这个问题，他是多么铭记于心。战后有一天，费米和他的一些同事正在研究芝加哥大学核科学

研究所的建筑草图。在这个图上，大门进口处有一个模糊的人形浮雕，当他们审视这个人像的意义时，费米立即插话说，那可能是“一个没有发现裂变的科学家”。<sup>[1]</sup>

由于费米极不愿意犯错误，而错误有时又是不可避免的，所以他宁可因为保守而犯错误。在他的思想深处，他会做出一些大胆的假说，但在没有彻底证实以前决不会公开。同样地，在他没有确定的把握之前，他从不给任何人允诺或希望。

他的兴趣除了物理学以外十分有限。他从不培养对音乐的爱好（他只能用两个指头弹奏钢琴），对艺术也很少有兴趣。他对历史还比较精通，有时看阿尔多斯·赫胥黎、威尔斯(H.G.Wells)和其他作家的科幻小说，这些小说在20年代和30年代初十分流行，而且经常是拉塞蒂建议他看的。这些阅读使他熟悉了英语，也使他的观点倾向于宗教不可知论和起源于费边主义的自由主义。他并不是毫无批判地接受它们——事实上，他经常把它们与理想主义和半法西斯主义的信条对比，并对后两者予以相同的批判。他是从意大利的氛围中吸取半法西斯主义的，并从诸如哲学家乔万尼·金蒂勒(Giovanni Gentile)这些人那儿知道的。他们是他在为《意大利百科全书》工作时认识的。在美国时，他几乎正处在政治中心。他曾说他是共和党员，但我确信，如果他认为民主党有一个好一些的候选人，他就会毫不犹豫地投民主党的票。生活在一群主要倾向于自由主义观点的年轻科学家中间，他常常强调他的保守主义以刺激讨论，让他们分析他们信念的基础，一般来说，他避免“自炫博学”的样子，但经常利用他独创性的思想和分析能力，在每一个他思考过的问题上形成一个独立的见解。

费米不支持大的计划，但他对任何与他讨论有关科学事务的人灌输巨大的激情。从技术人员到高层管理人员，每一个人都会从他的

[1] S. K. Allison, “Enrico Fermi 1901—1954”, National Academy of Sciences, United States of America, *Biographical Memoirs*, 30 (1957): 125.—作者注

能力和科学判断中迅速获得巨大的自信。最重要的是，当他身边的合作者与他一起工作时，他们通常会发现自己超越了从前。他总是煞费苦心地指导他们，就正研究的问题举办特别的讲座。我常常想，他好像是一位极好的乐队指挥，通过向他的音乐家解释演奏和技巧最好的地方来鼓励他们，最终乐队获得了无与伦比的演奏效果。

另一个对费米的成功不可缺少的重要组成部分是他非同一般的体力。从技巧意义上说他不是一个运动员，虽然他打网球、游泳、滑雪、到山里徒步远行、钓鱼，但所有这些运动他没有一项精通。他没有专门学习它们，也没有想到要改善他的技巧，但是他的耐力非同寻常。有时他还可以战胜技术熟练的对手，方法很简单，那就是把他们累垮。在纽约潮热的夏天最热的时间，他会向年轻的物理学家提出挑战，到酷热的太阳下去打网球，玩了一个多小时后，他会批评他们缺乏精力。在科学研究工作中，他的精力也同样旺盛。例如，他会心无旁骛地连续几个小时进行繁难的计算，有时候他利用早晨5~7点作这种计算，然后，再去从事日常正规而紧张的工作。

到纽约以后，费米在哥伦比亚大学附近的王冠饭店住了几周，然后搬进了大学附近的一所公寓。最后，他们在新泽西的列奥尼亚镇买了一栋房子，在这个小镇里安家的还有化学家哈诺德·尤利(Harold Urey)和其他几位教授。

一旦在美国定居下来，费米就加倍努力以改善他的英语口语能力和彻底了解美国文化。这些努力开始于前几次的访问。有一个夏天在安阿伯，为了改进他的r发音，他用几个小时与一位坚韧、和善的年轻物理学家反复地说“Rear Admiral Byrd wrote a report concerning his travels in the southern part of the earth”。他的英语发音颇有进步，但是他的意大利口音仍然很重，他对这一点很敏感。他有目的地研究现代美国文献，阅读连环画，<sup>[1]</sup>但他从没有想到学习打棒球(劳拉·

[1] Strauss, Men and Decisions, p.240.——作者注

费米还说，他尽力逃避花园里的劳动)。在成人移民者中，我还没有见到一个像他那样热心美国化的人。1944年7月，他成了美国公民，是同期移民中被最早批准的。

费米在哥伦比亚大学结交了几个职业上和个人的朋友。其中物理系主任佩格拉姆是最重要的一位。1876年，佩格拉姆出生于北卡罗来那，曾在三一学院学习，这所学校后来改名为杜克大学，1903年他在哥伦比亚大学获得哲学博士学位。他还到剑桥大学和柏林大学做过博士后，然后回到哥伦比亚大学，此后他一直在这儿工作并取得卓越的业绩。佩格拉姆在美国物理学会的组建方面起了一定的作用。他是一个慈善和真正的绅士，熟悉他的人都会受到他的激励而增长自信心。对于许多个人以及哥伦比亚大学和美国政府来说，他都是一个值得信任的顾问。他曾亲自从事核物理学研究。1923年，美国成立了一个委员会，代表美国人民把1克镭送给居里夫人，佩格拉姆作为科学家中的一员被选入这个委员会。在认识费米、拉赛蒂、阿玛尔迪和我之后，他对人类和政治问题表示了深刻的理解，他的态度、观点、善良和随时准备帮助别人的行为，引起费米极大的兴趣。甚至在有一段时期里，佩格拉姆用一种不引人注目的、机巧的方式，帮助费米熟悉美国，费米十分感激这种帮助。哥伦比亚大学物理系在佩格拉姆的领导下发展得非常迅速，在了解现代物理学发展的重要性之后，他下决心让物理系具有世界领先水平。其中分子束的研究工作在拉比(I.I.Rabi, 受佩格拉姆保护)的指导下，已经获得了国际声誉，而最近他们又进入了中子领域。邓宁(J.R.Dunning)、米切尓(D.P.Mitchell)和佩格拉姆从事这项工作，并取得了有意义的结果。其中邓宁是一位年轻的物理学家，非常精通电子学和仪器。除了这些同事以外，还有几个研究生和纽约其他研究所的人员在哥伦比亚大学作研究工作。化学系的尤利在重氢研究上颇有名气(他是一位非常有活力的人，任何问题都会引起他的兴趣)。尤利的专长是物理化学和同位素分离——很快就会有巨大实用价值的课题。在哥伦比亚大

学，费米立即以旺盛的精力开始颇有成效的讲课。值得一提的是，除了规定的课程以外，他还开设了一门特殊的课程——地球物理学，这是他喜爱的课题之一。在这门课程中，他用一种简单和直截了当的方式，通过深刻的物理知识解释许多地球物理学复杂事实的本质。但是，虽然他是一位杰出的教师，研究活动对他来说仍然是更重要的。

费米到纽约后不久，就得知了核裂变发现的消息。1月16日，玻尔到达美国并去了普林斯顿，在一次报告中他宣布了核裂变的发现和对它的解释。年轻的物理学家威利斯·兰姆(Willis Lamb)出席了这次会议，他把这一消息告诉了费米，兰姆在不久之后因为研究氢原子能级的“兰姆移位”而出名。这是费米知道裂变消息的一种说法，<sup>[1]</sup>赫伯特·L·安德森(Herbert L. Anderson)对此有不同的看法，<sup>[2]</sup>那时安德森是邓宁教授的一名研究生。他认为事情经过是这样的：1月25日，安德森和邓宁正在利用一个电离室和一台示波器观察裂变产生的脉冲，就像弗里希几天前在哥本哈根曾经做过的一样。第二天，玻尔和费米参加在华盛顿举办的一个理论物理学会议。费米在电报中被告知了哥伦比亚大学的实验，因此他和玻尔讨论了核裂变的唯象理论。

如果铀核被撕裂成两大块碎片，每一块碎片所具有的中子，将比原子序数相同的稳定核所具有的中子多一些。由此碎片就会通过中子瞬间蒸发，或相继的β放射把多余的中子清理出去。(事实上两种现象都发生了。)中子的瞬间发射可以引起邻近的铀原子进一步分裂，如果有足够的次级中子和四周有足够的铀，那么链式反应就会发生。

这些想法非常简单，很多物理学家都独立想到了，但是怎样才能把这些定性的猜测转变为确定的事实呢？链式反应会造成什么样可能的技术后果呢？

[1] 参见 FP 269. ——作者注

[2] FP, 2: 1. ——作者注

有一个人敏锐地察觉到核物理学的潜在应用价值，他命中注定要在核物理学的发展中担任一个重要角色。他是匈牙利的物理学家西拉德(Leo Szilard),<sup>[1]</sup>当时住在纽约。他曾经是普朗克很少的几个学生之一，他在柏林完成热力学信息理论的博士论文，这篇论文为新的研究开辟了一条大道。当德国被纳粹统治之后，他到了英国，在英国他在核物理尤其是中子方面进行了研究。他差一点就发现了慢中子，但他在核物理学其他方面作出了重要的贡献，例如分离放射性物质的西拉德-查尔默斯方法等。他喜欢一个人完全自由地研究，不习惯也不愿意使自己去适应大学的例行公事和时间表。除了物理学，他还非常喜欢生物学、经济学和政治学。他聪明异常，还有坚强的政治信念，他总是紧跟世界形势，并决定尽可能地影响它们。他总是让自己有一种神秘兮兮的样子，并且喜欢会见科学界以外的名人，特别是商人和政治家。在美国，这对一个外国人来说是不容易做到的，更何况美国在1939年是一个奉行孤立主义政策的国家。核物理学提供的可能应用，在西拉德看来既重要又迫在眼前，但这不容易让美国人理解。这也是由于他过于放任自己，把这一切描述得像是幻想中的方案一样，虽然这些方案经常比“务实的人”想到的可能性更接近现实。西拉德得到过许多专利，大约在1934年，他申请了一个专利，内容是一种由许多物质组成的奇怪的化合物，其中有一些有放射性，它们混合在一起是为了产生中子和次级反应。我不相信这个专利有什么特别的价值，然而它显示了他的机智、对实际应用的兴趣和对原子能未来的信心。西拉德住在王冠饭店，虽然他在哥伦比亚大学并没有一个正式职位，但他经常拜访那儿的物理学家。他与其他匈牙利移民科学家如冯·诺依曼(John von Neumann)、<sup>[2]</sup>维格纳和

[1] 参见 Leo Szilard, “Reminiscences”, *Perspectives in American History* 2(1968): 94.—作者注

[2] 参见 S.Ulam, “John von Neumann”, *Bulletin of the American Mathematical Society*, 64 (1958): 1; and S.Ulam, H.W.Kuhn, A.W.Tucker, and C.E.Shannon, “John von Neumann 1903—1957”, *Perspectives in American History*, 2 (1968): 235.—作者注

特勒是朋友，后者与西拉德年龄相当，还有相似的背景。他们中的一些人在匈牙利是同学，在美国又是当时政治上最活跃的外国科学家。除了这些科学家，西拉德还认识科学家圈子外的许多人，其中包括刘易斯·斯特劳斯。所有这些人在原子能的发展中都起过重要的作用。

1939年初的几个月，世界各地许多实验室都在重复和改进核裂变实验。次级中子被找到了，缓发中子也被发现了。但由于进展速度的问题，这些研究还没有达到高度量化的地步，这是可以预料到的。其他各国也在进行链式反应的研究，如法国的哈尔班、约里奥和科瓦茨基(L.N.Kowarski)，美国的费米、西拉德和其他一些人，还有其他国家研究小组都独自开展了这种研究。但是，在这些小组之间没有重要的信息交换，其中部分原因是自检查制度引起。西拉德和费米在个性、工作习惯、对生活的看法和几乎所有问题上，都完全不同；他们对于对方都有很高的评价，但几乎不能在一起做同样的实验。他们相互通报各自的工作，但只在一个实验上进行过合作。参与哥伦比亚大学研究的安德森描述了费米与西拉德不同的个性，他写道：

西拉德在完成一项实验时不会求助于费米。他不愿意干那些分派给他的实验工作，无论是在准备时期还是测量时期。他雇了一个助手来做我们要求他做的事。这个名叫克瑞威尔(S.E. Krewer)的助手十分能干，所以我们对此也不能埋怨；但是，他的实验方案不适应费米完成合作实验的想法。所有的工作分配得大致相等，每一个人愿意和能够完成分配给他的那一份工作。费米永远旺盛的精力和卓越的能力总是使他尽可能做更多的事，所以其他一些人如果拖延工作，就会形成鲜明的对照。<sup>[1]</sup>

[1] FP, 2, 11.—作者注

我主要讲一下费米小组的工作。那时还没有封锁消息，哥伦比亚大学和普林斯顿，以及美国其他少数一些大学的科学家还能彼此交流信息，这些大学正在研究与核分裂有关的一些问题。费米和他的合作者安德森、布思(E.T.Booth)、邓宁、格拉索耶(N.G.Glasoe)和斯莱克(F.G.Slack)立即集中力量工作，以获得次级中子的定量信息。

1954年1月30日，在哥伦比亚大学麦克米兰剧院召开的美国物理学会上，费米在他最后的一次演讲中，描述了他在哥伦比亚大学的研究，这次演讲是非正式的，也没有作记录。

费米的报告提供了大量技术和历史的信息，特别是它表明费米在哥伦比亚大学时期提出了大部分新思想。用石墨作减速剂而不用氢这种最明显的物质材料，同时由佩格拉姆、西拉德、费米和普拉切克等人独立地提出。<sup>[1]</sup> 费米还发明了一种技术，用大块物质来中和共振吸收的影响。杂质的效应也弄清楚了，同时也找到了用指数实验测量它们的方法。在前两年，还完成了反应堆物理学的几个关键改进。战争过后，“中子反应堆”的基本性专利也得到了承认，并付给了费米和各个合作者的专利所得。他们与政府签署了无偿转让这些专利的文件。<sup>[2]</sup>

对费米来说，使用通常的铀-石墨方法是十分自然的，他不会选用同位素分离法建造反应堆。大范围使用分离同位素的方法存在许多严重的问题，那时，费米认为这些问题似乎是不可克服的。他自信在天然铀-石墨的方法中，他可以掌握中子物理学，并弄清楚其中最细微的细节。如果完全可能，他一定会有效地利用最后一个可利

[1] 在一封1943年8月31日写给A.H.康普顿的信中，费米这样说过。——作者注

[2] 其中有些专利号为：Fermi-Szilard, neutronic reactor, pat.2, 708, 656; Fermi-Anderson, testing materials in neutronic reactor, pat.2, 768, 134; Fermi, exponential pile, pat.2, 780, 595; Fermi-Zinn, neutronic reactor shield, pat.2, 807, 727; Fermi-Leverett, chain reacting system, pat.2, 837, 477; Fermi-Szilard, air-cooled neutron reactor, pat.2, 836, 554; Fermi-Leverett, method of sustaining a neutronic chain reacting system, pat.2, 813, 070; Fermi-Szilard, neutronic reactor, pat.2, 807, 581; Fermi-Zinn, neutronic reactor, pat.2, 852, 461; Fermi, neutronic reactor, pat.2, 931, 762.——作者注

用的中子，建造一个反应堆。

费米 1954 年的讲话明显地揭示了为什么他是反应堆建造的中心人物，至少在开始时是这样。因为无可怀疑的是，他是健在的最伟大的中子研究专家，是一位少有的天才，能把实验和理论结合起来，这完全适合任务紧迫的研究工作。还有，他的个性能够吸引合作者；最后，他有无穷的精力和耐久的体力。费米对中子行为的直觉认识，类似一个专家对无线电电路的认识。他不用进行计算就可以预言中子扩散实验的结果，他的猜测几乎总是非常接近真实情形。不过，他时常计算可以预料的结果，并把实验的结果与他近似、简单的理论相比较。这样，他积累了非常丰富的数据，他把它们保存起来并一丝不苟地将它们分类、有序化，在需要时随时可以利用。他把这些文档称为“宝库”，它的确是数据、数字和公式的宝库，随时可以启用。随着时间的流逝，用一个大信封已经不能将这宝库容下，需要一两个放卷宗的小匣子。由于他对中子有别人不具有的经验，所以获得了永不失败的预言者的名声。在早期兴建大型反应堆时，当反应堆的工程师们为核数据的缺乏而感到为难时，他们会向费米求助。费米坚持认为他爱莫能助，因为他们通常需要的数字是一种核截面，还没有测量，因而也不能预言。有一个工程师说，在这一点上，通常可以不理睬他的声明，只要慢慢背诵一系列数字同时紧紧盯着他的眼睛，当他的眼睛不自觉的闪亮一下时，那就是正确的数字。

美国早期从事释放原子能工作的物理学家大多是从欧洲来的，这是为什么呢？原因之一是在 1939~1940 年，改进雷达成了美国主要科学家管理人员的头等大事。<sup>[1]</sup>几年来，一直从事雷达研究的麻省理工学院林肯实验室在吸收科学家时，只是到后来才重视研究核能释放

[1] 参见 Arthur H.Compton, *Atomic Quest* (New York: Oxford University Press, 1956), p.36. ——作者注

的人。的确，为了战争的目的，雷达似乎可以立即起作用，因此对它的重视超过了原子核；不过话又说回来，即使是后来成为原子计划倡议者的那些人，他们的计划看起来简直就像是空中楼阁。因此，原子计划就留在了那些未能被麻省理工学院实验室雷达中心聘用者的手上，这些人没有被雇用是因为他们是外国人，或者由于其他一些原因。康普顿(A.H.Compton)在讨论这个问题时说，欧洲科学家对纳粹的危险比美国科学家更警觉，因此当德国在制造任何有决定性作用的武器方面领先时，他们就焦虑不安。他还补充说，美国科学家熟知美国科学和政府之间的关系，因此较依赖私人关系为原子研究寻找基金，而不是寻求联邦政府的帮助。最后他说，事实上，“罗斯福总统于 1939 年任命的铀咨询委员会(Advisory Committee on Uranium)，实际上延缓了而不是加速了美国铀研究的发展”。<sup>[1]</sup>

为了解费米在铀计划历史中的地位，有些背景知识不可不知，我将少而精地提到它们。对此有兴趣的读者可以在官方文件中找到更完整的资料。<sup>[2]</sup>

对原子能的含意总是十分敏感的利奥·西拉德，立即对核裂变作为一种能源的巨大实用价值(甚至可能是一种爆炸物)有了相当的认识，在通过实验对此进行明确之前，1939年1月25日他就提请刘易斯·斯特劳斯注意这一点；后来他就此事的进展一直与斯特劳斯通信联系。<sup>[3]</sup>费米和佩格拉姆则不同，他们认为政府会对此有所警觉。3月16日，佩格拉姆写了一封信给海军将军胡珀(Hooper)，他是海军作战部的首席技术助理，在信中佩格拉姆说，他和费米将会高兴地告知

[1] Compton, *Atomic Quest*, p.28.—作者注

[2] 1945 年以前的美国原子能计划，在以下几本书中有很精彩的描述：Henry De Wolf Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1945); 同时参见 R.G. Hewlett and E.O. Anderson, Jr., *The New World 1939—1946* (University Park, Pa.: Pennsylvania State University Press, 1962); G.Hewlett and F.Duncan, *Atomic Shield*, 1946—1951 (Pennsylvania State University Press, 1969). Also Margaret Gowing, *Britain and Atomic Energy* (London: St. Martin's Press, 1964); David Irving, *The Virus House* (London: William Kimber, 1967).—作者注

[3] Strauss, *Men and Decisions*, p.172.—作者注

他，可能会出现一种新的爆破物。我们将这封遣词造句十分谨慎的信的部分内容附在下面。

亲爱的先生：

……哥伦比亚大学物理实验室的实验已经表明，使化学元素铀释放出它巨大能量的条件是可能找到的，这意味着有可能利用铀作为一种爆炸物，它每磅(约 0.454 千克)释放出来的能量将是现在任何已知爆炸物的 100 万倍。我个人认为这种可能性并不很大，但是，我的同事和我都认为，对这种很小的可能性也不能不给予关注，因此我在电话中……今天早晨主要是安排一个渠道，以便将我们的实验结果在必要的时候告知美国海军的一些负责人。

—  
124

费米教授，还有西拉德博士、津恩博士(Dr.Zinn)、安德森先生以及其他一些人，一直在我们实验室就这个问题进行研究，今天中午费米将去华盛顿，晚上在哲学学会上作报告，明天将在华盛顿逗留。他将会给您的办公室去电话，如果您愿意见他，他可以高兴地告知您有关这个课题当前的知识情况。

费米教授……是哥伦比亚大学的教授，获得过诺贝尔奖。在核物理学领域里还没有人能超过费米教授。

费米教授来到美国不久，他准备长期留在这个国家，并在合适的时候成为美国公民。

您忠实的乔治·B·佩格拉姆，物理学教授

1939 年 3 月 16 日

第四章 原子弹的诞生

由于这封信和两天后几次电话的作用，3月18日，费米到海军部给一些人(包括几位海军技术专家和两位非军方科学家)作报告，由海军上校斯库勒(G.L.Schuyler，后来成为海军军械部部长)写的记录可知，费米作了一个很好的报告，描述了将发生的事情，但他用词相当

保守。尽管如此，费米的讲述被他们了解和接受了，海军研究实验室的一位年轻物理学家罗斯·古恩(Ross Gunn)听了费米的报告后，印象很深，于是写了一个报告给他的主管鲍恩将军(Bowen)，将军后来拨了1500美元资助这项研究。虽然数量很小，但其情可亲。

哥伦比亚大学的各个研究小组在大学一般性的支持下，继续他们的研究，安德森、西拉德和费米在一篇论文中讲述了他们的主要发现，<sup>[1]</sup>即将铀放进一个装满硫酸锰溶液的容器里，由中子源引发的放射性会增加。这是一个很关键的实验，因为它表明，产生的中子比铀吸收的中子更多，这是链式反应的一个必需条件。安德森在评价这项研究时说：

当我们试图推导出发射的快中子与被铀吸收的热中子的比值时，我们发现由于铀的共振吸收，有许多应该校正的地方。我们在讨论这一发现时，有一段时间不知道该怎么办。后来，费米请求单独呆20分钟。对他来说20分钟足够对此效应做出粗略的估计，这被恰当地记录在论文中。他没有向西拉德也没有向我说明，他是如何做出这个估计的，可能是因为他了不起的直觉。在这种事情上，费米从不犯大错。这个插曲正确地指出共振吸收的重要性，并提供了如何减小由于共振吸收引起的损失(把铀结成大块)。十分清楚的是，氢吸收的热中子太多，因此用水在链式反应中来减速中子是不可行的。<sup>[2]</sup>

1939年夏天，费米要到他喜欢的安阿伯去作 $\mu$ 介子的理论研究，这是一个远离核裂变的研究课题。这时，西拉德由于没有能力

[1] “Neutron Production and Absorption in Uranium” (FP 132). 同时参见“Production of Neutrons in Uranium Bombarded by Neutrons” (FP 130) and “Simple Capture of Neutrons by Uranium” (FP 131). ——作者注

[2] FP, 2: 11. ——作者注

获得对核的链式反应计划的支持已经不耐烦了，他决定直接接近美国总统。为此，他第一步应该找到一个合适的联系通道和一个能引人注意的科学权威。接近罗斯福总统的中介人是亚历山大·萨克斯(Alexander Sachs)，他是一位经济学家，在勒曼公司工作，而科学权威则没有谁能胜过阿尔伯特·爱因斯坦，他是健在的最著名的科学家。维格纳和西拉德讨论了他们将提交给爱因斯坦的信，然后写了一封短信给在长岛别墅度假的爱因斯坦。这封信经过讨论之后由爱因斯坦签了名，然后请萨克斯转交给总统。信的全文如下：

总统先生：

我从费米和西拉德给我的信件里知道了他们最近的工作，这使我预料到在不久的将来，铀元素会成为一种新的重要能源。这种情况的某些方面似乎应该引起注意，如果必要的话，政府部门应该迅速行动起来。因此，我相信我有责任请您注意以下的事实和建议。

最近的4个月以来，通过法国约里奥的工作以及费米和西拉德在美国的工作，已经有可能在大量的铀中完成核的链式反应，因此会产生巨大的能量和大量像镭一样的新元素。现在看起来，这件事在不久的将来就能够做到。

这种新现象也可以用来制造炸弹，而且可以想像——虽然还无法肯定——由此可以制造一种极具威力的新型炸弹。只要一个这种类型的炸弹，用船运到一个港口使它爆炸，它就很有可能炸毁这个港口和周边的一些地区。但是，这种炸弹可能太重，以致无法用飞机运输。

美国的铀矿不多而且品位很低。加拿大和以前的捷克斯洛伐克有一些很好的铀矿，最重要的铀矿资源在比利时属下的刚果。

有鉴于此，您也许会认为，政府部门与那些在美国研究链式

反应的物理学家保持经常的接触是十分必要的。要做到这一点，一个可行的方法是您把这个任务委托给一个您信任的人，他也许可以作为非官方的人物来完成这一任务。他的任务可以有以下几点：

a. 接近政府各部门。经常把进展的情况告知他们，为政府行动提出建议，尤其应该注意保证美国铀矿供应的问题。

b. 加速实验研究。目前实验研究都在大学实验的预算限制内进行，包括资金。如果这项研究需要资金，可以和愿意为这一事业作出贡献的个人接触，或者也可以与具有必要设备的工业实验室合作来解决。

我了解到，德国实际上停止了出售已由他们接管的捷克斯洛伐克铀矿出产的铀。德国之所以要采取这种早期的行动，也许由以下事实可以得到解释：德国外交部部长的儿子冯·外扎克加入到柏林威廉皇帝研究所工作，这个研究正在重复美国有关铀的研究。

您诚实的爱因斯坦

1939年8月2日于长岛

这封信写成后不久，1939年9月1日，希特勒入侵波兰，第二次世界大战爆发。

直到10月11日，萨克斯才把这封信交给了罗斯福总统。会见总统时，在场的还有埃德温·沃森将军(General E. Watson)和两位军械专家。<sup>[1]</sup>在交换完意见以后，总统总结式地对萨克斯说：“亚力克斯，你所要说的是不让纳粹把我们炸掉。”<sup>[2]</sup>然后他转向沃森说：“需要

[1] 原文为“two ordnance experts”，这与其他书的记载不一致，例如 R.Rhodes 写的 *The Making of the Atomic Bomb* 一书第 313 页中，记载的是一位行政秘书(his own executive secretary)和一位武官(military aide)。——译者注

[2] Hewlett and Anderson, *The New World*, p.17.——作者注

行动起来。”罗斯福任命了一个铀委员会，其成员有：国家标准局的局长和代表政府的官方物理学家布里格斯(Lyman J. Briggs)；两位军械专家：胡佛(Hoover)海军中校和亚当森(Adamson)陆军中校；还有萨克斯自己。布里格斯又招募了几个人，其中包括匈牙利物理学家西拉德、维格纳和特勒。这个委员会从海军和陆军那儿得到 6 000 美元，还邀请了其他几位物理学家(包括费米)参加他们的会议，并及时向总统通报铀研究的进展状况。1940 年 6 月召开过一次会议，出席者有布里格斯、尤利、图夫(Merle A. Tuve)、维格纳、布赖特、费米、西拉德和佩格拉姆，委员会提出 14 万美元的开支，为进一步研究铀核的特性以及购买石墨和金属铀，后者的数量为估计链式反应所必须数量最低限的 1/5。

后来，由于欧洲事件所迫——希特勒的侵略从“虚假的”变成了现实——铀研究在美国得到了重视，并重新改组了铀委员会。美国卷入战争的可能性开始明显起来，如果不是所有美国公民都明白这一点，至少那些消息灵通的人是十分清楚的。

瓦尼瓦尔·布什(Vannevar Bush)是一位电机工程师和发明家，当时任卡内基学院院长，还曾经担任过美国航空咨询委员会(National Advisory Committee for Aeronautics, NACA)的主席，他在组织研究工作上颇有经验。布什是重新改组的主要倡议人，他与其他科学家和管理人员，包括麻省理工学院的物理学家 K·康普顿(Karl T. Compton)、哈佛大学校长和化学家科南特(James B. Conant)、美国科学院院长朱伊特(Frank B. Jewett)等人共同商讨了当时的形势，然后劝告罗斯福总统组织一个国防研究委员会(National Defense Research Committee, NDRC)，来鼓励国防研究活动，统一力量，帮助各种正在进展中的研究——总而言之，动员科学为战争服务。布什被任命为 NDRC 的主席，铀委员会由 NDRC 来管辖。

1940 年初秋，布什对铀委员会进行了改组。布里格斯仍然是主席；军事人员被去掉了；外国出生的科学家不再担任职务，这是为了

增强保密性；图夫、佩格拉姆、比姆斯(Jesse W. Beams)、吉恩和尤利被增补到委员会中。为了安全，布什对铀论文的发表作了严格限制，但这只是一个官样文章，因为保密是科学家自己提出来的；最初呼吁注意保密的是西拉德和布赖特。最重要的是，NDRC 提供了以前铀委员会曾经申请的基金。此后经历的历史十分复杂，包括不断的变化和组成数量众多的委员会，征召了大量美国科学家，科学家、军方和大的工业公司之间的相互关系……但最终还是制造出了原子弹，这段复杂的历史在其他书中或文件中都有详尽的记载。<sup>[1]</sup> 在本书中，我只有在讲到费米的活动时，才会简单地提到这一历史。

费米对组织问题毫无兴趣，他完全沉浸于完成链式反应的努力之中。他有时也参加会议，尽他最大的力量帮助行政部门，但他并不喜欢做这些事；当然，他对于自己在外国出生和是一个侨民这件事很敏感。他与政治活动积极参与者西拉德和维格纳保持很远的距离，集中主要精力从事技术研究。对美国行政负责人来说，他们明显地认为费米是技术上的关键人物；他们把他作为一个科学家来敬仰，并认为有必要把他引入他们的顾问委员会中。

1940 年春天，费米作为一个希契科克教授(Hitchcock Professor)，要到伯克利加州大学作几周的报告，我们从 1938 年分别到这时才第一次见面。勿需多言，我是多么高兴见到一个以前的亲密朋友。我那时也在作核裂变研究，我们见面后大部分时间谈的都是物理；由于自愿保密政策，除了公开出版物上能看见的内容以外，费米绝口不提哥伦比亚大学最近的进展。我们详细讨论他正在研究的课题： $\mu$  介子穿过物质的过程，甚至想做一个有关这个课题的实验，但是没有成功。费米在伯克利还见到了 E.O. 劳伦斯，<sup>[2]</sup> 但我怀疑他们是否就科学问题作过认真的交谈。60 英寸(152.4 厘米)加速器最近才开始运

[1] 见 p.145 注[1]。——作者注

[2] E·O·劳伦斯的一本简短传记见：L.W.Alvarez, National Academy of Sciences, United States of America, Biographical Memoirs, in press.——作者注

转，费米和我利用这个加速器，用  $\alpha$  粒子作为抛体使铀发生了核分裂。<sup>[1]</sup>

回到哥伦比亚以后，费米继续从事中子吸收的实验。利用纯石墨作减速剂，一般的铀作燃料，用精致的设备把铀成块地堆积起来，而不是把它与石墨均匀地混合在一起，这已经是获得链式反应(不需要同位素分离)有效的装置了。理论上的分析正在接近完成，它是意大利科学家关于中子在含氢物质中运动研究的一种扩展。到 1941 年春天，费米已经向他的合作者们讲解了链式反应理论的本质要点，包括著名的 4 因子公式  $k = \Sigma \eta pf$ ，它把再现因子  $k$  和快中子增殖因子  $\Sigma$  联系起来了； $\eta$  为中子发射数与俘获慢中子数之比， $p$  为共振逃避概率， $f$  则为中子被可分裂物质吸收的系数。

核科学中的许多标准命名都是这段时间被提出来的。例如，一个核反应堆被称为一个“堆”(pile)。我想，使用这个术语是起因于把一个核能源类比于伏打(Volta)用的意大利术语 pila，伏打用它来代表自己那种电能源的伟大发明。后来费米告诉我，他使用 pile 这个词的原因只是因为 pile 和 heap 是同义词，没有别的更复杂的原因。但让我惊讶的是，费米从来没有想过他的 pile 与伏的 pila 之间的关系。术语“靶恩”(barn)<sup>[2]</sup> 指的是  $10^{-24}$  平方厘米核截面单位，仅反映了截面的相对尺寸，但美国俚语“as big as a barn door”的意思是“非常之大”。这就是为什么一个谷仓(barn)的图案出现在一本横截面增大的论文汇编的封面上。<sup>[3]</sup>

NDRC 唯一的目的就是动员科学为战争服务，它对链式反应感兴趣的唯一原因是军事应用的可能性。制造出超级炸弹是至高无上的目的；为潜水艇提供核动力或其他用处，至多也只能是次级目的。

[1] “Fission of Uranium by Alpha Particles” (FP 135). ——作者注

[2] barn 在物理学中是核截面的单位，译为“靶恩”；但在美国一般用语中又有“谷仓”的意思。——译者注

[3] 这句话后面的原文有差错，略去未译。——译者注

那时已经清楚地知道，普通的铀不适合做炸弹；认为唯一可能做炸弹的是铀的稀有同位素铀 $^{235}\text{U}$ ，但分离铀 $^{235}$ 的过程对包括费米在内的多数物理学家，似乎都是难以逾越的难题。关于同位素，人们有一种几乎是教条主义的思想，认为除了用质谱仪，同位素实际上是不可分离的，特别是铀。它的质量与同位素的质量差异非常大，因此前景十分不乐观。但这种分离终于完成了，而且是大规模地分离。这得益于美国的科学和技术，尤其是得益于以下参与的个人和公司：个人有劳伦斯、尤利、邓宁、布斯和柯恩(K.Cohen)等，费米很少参加这项工程；工业公司有杜邦公司、联合碳化物公司和田纳西州的伊士曼公司等。

但是，还有另一种同位素分离的方法：如像哈恩和迈特纳所证明的那样，铀 $^{238}$ 可以俘获中子，变成一个半衰期约为23分钟的 $\beta$ 粒子发射者。这种放射性的产物应该是一种新元素，其原子序数为93，质量为239。1940年夏天，麦克米伦(E.M.McMillan)和埃布尔森(P.H.Abelson)在伯克利对这种物质作了鉴定，这是人们发现的第一个铀后元素，后来称之为镎(Np)。 $^{239}\text{Np}$ 经 $\beta$ 辐射衰变后得到一个半衰期为2.3天的94号元素同位素，质量为239，后来称为钚(Pu)。钚核在受到慢中子轰击时，很可能会发生核裂变。这个假说是基于结合能的分类学研究和有关铀的同位素知识：铀的同位素质量是奇数235时，在慢中子作用下产生核分裂；而质量为偶数的 $^{238}\text{U}$ 则只有在快中子轰击时才产生核分裂。如果链式反应在天然铀中可以完成，那么相当数量的 $^{239}\text{Pu}$ 就会在反应堆中形成，由此可被化学分离。这种过程虽然非常困难，但却可以避免分离同位素，并且可以获得一种制造原子弹的新材料。可以说这些想法曾经很不确定，几个不同的研究小组都有过这种想法，但在战时保密制度情形下，他们不能公布和传播。

1940年12月，<sup>[1]</sup>我在新泽西费米的家中拜访了费米，这次他至

[1] In FP, 1: XXVII and FP, 2: 1081; 文中1939年应为1940年。——作者注

少愿意部分与我讨论他当时的工作。很显然，如果<sup>239</sup>Pu的半衰期足够长，使得分离和聚集得以实现，并在慢中子作用下产生核分裂，那么它将是一种核炸弹。天然铀的受控链式反应将由此获得新的重要性，因为它将是一种核炸弹的材料来源。

我们沿着哈德孙河在寒冷的空气中走了好长一段路，河面上漂浮着冰块，我们长时间地讨论这个题目。伯克利辐射实验室新建的60英寸(152.4厘米)回旋加速器中有一个强大的中子源，因此可能会制出足够的<sup>239</sup>Pu，并由此可以研究它的特性。我很快要回到伯克利去，而且我们有所需要的技术经验，因此费米请我从事这个研究。在连珠炮似的提出许多必要的问题以后，我说要与实验室主任劳伦斯讨论这个计划。幸运的是，劳伦斯这时也在纽约，于是我们在1940年12月16日安排了在哥伦比亚大学的一次会见，费米、劳伦斯、佩格拉姆和我讨论了辐射的许多细节。我回到伯克利后，试图于1941年初开始工作，但我一个人无法胜任这一项工作。我请两位朋友帮忙，他们是西博格(Glenn T.Seaborg)和肯尼迪(Joseph W.Kennedy)，以前我和他们一起作过放射化学方面的多项研究。事实上，西博格和肯尼迪已经作过用氘轰击铀的实验，得到过镎和钚的同位素产物，不过在那时，我们还不知道从镎分离钚的化学方法。<sup>[1]</sup>重要的是我们想测量同位素<sup>239</sup>Pu的裂变截面，因为如果真的成功实现这种反应堆的话，这种同位素在反应堆里将非常丰富。因此，我们集中力量用中子轰击铀的办法，得到镎239的样品。我们制备了这样一个样品，考察它的裂变，而且得到了肯定的结果；但是样品不适合于定量测量裂变截面，因为分离出的镎与几毫克的载体一起析出，因而我们的样品太厚了。但是，肯尼迪、西博格和沃尔(A.Wahl)提出了一种分离镎和钚的

[1] 这句话的原文是：“chemically separating neptunium from Plutonium”，这儿出现了错误，从前面有关部分可以看出，应该是从镎分离钚，而不是如原文写的“从钚分离镎”。本书作者在他写的另一本书“A Mind Always in Mind”的165页的一句话可以证明这个错误：“Kennedy, Seaborg, and Whal continued developing the chemistry of Plutonium and its separation from neptunium, ...”。这儿写的是“从镎分离钚”——译者注

化学方法，我们的样品变薄了，可以做定量研究。利用与<sup>235</sup>U进行直接比较的方法，我们测量了两个同位素的慢中子裂变截面比。几个月以后，我用快中子作了类似的测量。我们的研究证明，钚239是一种核爆炸物，因此现在有两种制造原子弹的方法了：分离铀的同位素，或利用核反应堆(如果这种设备能够完成)大量制备钚239。我不能把这个结果告知费米，因为我们都是外国人，没有勇气直接通信。后来，这个实验由西博格秘密地在信中告诉了布里格斯，于是费米也知道了。<sup>[1]</sup>

1941年春天，有迹象表明美国重要的物理学家开始对原子能有了更大的兴趣。前欧洲人——现在大部分是移民——的声音越来越受到重视了。A·康普顿和劳伦斯，再加上以前提到的一些人，开始比较关注原子能，而且开始为研究的进展太慢而担心。他们具有组织计划的天才和行政管理的经验，对经费、人力需要尺度有一种更现实的观点。与英国科学家交换信息，也十分有助于铀计划的实施。1941年5月，劳伦斯在给美国科学院的一份报告中，描述了利用94号元素可以制造出反应堆和炸弹的可能性。<sup>[2]</sup>对铀研究兴趣的增加，以及认识到一个包括科学院、NDRC和其他一些机构的组织已经不适应当时的新形势了，这些因素刺激布什重新改组机构，以消除缺陷。他说服罗斯福总统建立科学研究与发展办公室(Office of Scientific Research and Development, OSRD)。1941年6月28日，总统颁布了一个行政命令，OSRD由此成立。OSRD容易接近总统，它本身成为一个中心，动员国家科学资源和把它们用到国防事务上。布什是OSRD的主任。科南特代替布什成为NDRC的主席，而铀委员会成为OSRD的第一分部，即S1。

1941年12月初，刚好在日本袭击珍珠港和美国参战以前，技术

[1] Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes*, par. 4.24.—作者注

[2] Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes*, par. 4.25.—作者注

情况是这样的：还没有实现链式反应，也没有分离出可观的<sup>235</sup>U，仅仅制备了极少量的钚 239。但是，对这些物质的核性质已有了很好的了解，而且对大规模生产它们的工程技术问题已经作了研究；更有甚者，原子弹的临界尺寸已经肯定在实际可行的范围之内。不过，前一年心理上的变化或许是最重要的。在史密斯报告(Smyth report) [1] 中有这样的话：“可能维格纳、西拉德和费米已经不像 1940 年那样坚信制造原子弹是可能的，但其他许多人却逐渐熟悉了这种想法和它的可能后果。英国和德国都残酷地陷入了战争，显然也都认为这种研究值得进行。”到 1941 年底，在这种变化了的氛围中，美国决定不惜一切努力和资金开展这一研究，这在几个月以前还是荒谬而不可想像的事。

1941 年 11 月，美国科学院的一个特别审查委员会召开了会议，会议上将原子弹制造的种种情形向 NDRC 作了详细介绍；这次会议的召开是做出上述决定的重要一步。在会议之前，A·康普顿在哥伦比亚大学拜会了费米，收集了有关核炸弹可行性的第一手信息。康普顿在一定程度上不大信任“最近来的移民者”，但费米的解释十分清晰而且正说到要点上。康普顿可以跟上他的计算，后来还能自己重新心算它们。当时机到来时，他对它们表示完全赞同。

决心全力以赴地研制原子弹的决定是 1941 年 12 月 6 日宣布的，那是珍珠港事件发生的头一天，接着立即改组了铀计划的行政组织。

1941 年 12 月铀计划的改组中，A·康普顿全面负责链式反应和建造反应堆的科学的研究，这些措施立即直接影响到费米。1942 年 1 月的中旬，芝加哥大学物理教授康普顿决定把所有的研究和研究人员（包括哥伦比亚大学的研究小组）都集中到芝加哥大学，置于他的领导之下，组建一个大的组织，取名为冶金实验室(Metallurgical Laboratory)。

费米小组不是一下子就都到芝加哥的，而是分阶段进行的。费

[1] Smyth, Atomic Energy for Military Purposes, par. 4.51.—作者注

米小组的一部分立即迁到了芝加哥，直接在费米和安德森的领导下，开始在大学校园里建造一个大一点的反应堆。但费米没有立即搬到芝加哥大学住下。在冬天和春天的部分时间里，他往来于芝加哥和纽约。在哥伦比亚大学，他继续从事确定中子在物质中吸收和增多的原创性实验，主要由津恩领导；直到这个实验完成以后，他才把家搬到芝加哥大学。芝加哥的实验称为“中间反应堆”，因为它是哥伦比亚大学实验(只用相对少量的材料做实验)和最后的反应堆(已经达到临界状态)之间的一步。

费米接受把反应堆的研究迁到芝加哥的决定，但并不热心于这一决定，他与他哥伦比亚小组的人 [安德森、费尔德(B.Feld)、马歇尔(John Marshall)、韦尔(G.L.Weil)和津恩]相处得很好，而且他的工作很符合他的兴趣。它涉及理论和实验的结合，而这最适合他的能力，而且他可以充分了解和控制这种结合的尺度，还可以亲自影响它们。在芝加哥，情形就不一样了，冶金实验室成了一个大的机构，它所包含的不仅仅是反应堆的研究，还有化学、冶金、工程、保健物理学以及其他各种研究，在这个大机构里，小小的哥伦比亚小组有消失的危险。

但是尽管他有强烈的个人嗜好，他还是必须“改变他的工作方式”。他得参加越来越多的会议、作报告、对技术问题提出意见、巧妙地指导工程师(他们从没有接触过这种全新的问题)。以前在哥伦比亚大学可以自己完成必需的实验，现在变为他要求合作者为他做一些测量。虽然他总是设法亲自分析数据，但使他感到遗憾的是能用在实验室的时间太少了。有一次他告诉我，他觉得他是在“用电话”做物理研究。

还有一个原因也使他早期不愿到芝加哥。在日本偷袭珍珠港以后，接着美国宣布对意大利开战，他也由此被划归敌侨，受到了若干限制。例如他的活动范围缩小了，没有特别的许可他不能离开纽约，而这时他恰好要经常去芝加哥。任何人都不能请求免去这种限

制，因为你所需要的解释是如此的秘密，不可能让负责管理敌侨的当局知道。当部队介入研究工作后，棘手的问题就出现了，一方面很难把安全规则实施到费米这样明显的敌侨身上，另一方面把费米这样的人排除在研究之外肯定是鲁莽可笑的。按常识，在深入了解安全问题后有可能找到一个可行的解决办法，在必要时还可以冒险。但是，罗斯福总统在1942年哥伦布节(10月12日)宣布，意大利人不再被视为敌侨。同时，在前一年冬天，费米得到永久的许可，可以在纽约和芝加哥之间自由来往(但不包括其他地方)。

对于这些困难，费米温和的愤怒是无济于事的，战时的紧迫需要不允许用个人的喜好和感情来妨碍工作。温斯顿·丘吉尔爵士对战时的形势有一个很好的判断，他说英国、美国和苏联的联盟“将会确定无疑地取得最终的胜利，除非这个联盟在超级外力作用下被粉碎，或者某种全新的战争武器出现在德国人手中，”<sup>[1]</sup>大联盟(Grand Alliance)科学家的责任就是要防止这种灾难发生。

1942年5月，费米小组全部从哥伦比亚大学迁到了芝加哥大学，费米也在芝加哥安顿下来，不久他的全家都来到芝加哥。他们当时还以为这种搬迁只是暂时的，但是战后他们永久留在了芝加哥。

迁到芝加哥免除了费米旅行的困难，但他又面临其他安全规则的烦扰：在芝加哥，从他的邮件的外观可以很容易看出它们被检查过。他对此十分反感，认为这侵犯了他的隐私权，背叛了对他的信任，而这种信任是在他正进行的工作中应该必须具有的。他向当局提出抗议，他们开始否认有这件事情，后来又承认了，并且说这是一场误会，是一些低级雇员犯的错误。他们保证立即停止对他的邮件检查。但几天之后，费米在他的邮箱中发现一张卡片，显然是由于错误而误投，这张卡片说明，邮局把他所有的邮件在投递之前送到安全

[1] Winston S. Churchill, *The Second World War*, vol.4, *The Hinge of Fate* (London: Cassel, 1951), p.3. ——作者注

部门检查。这次他真的发怒了，他再次来到有关当局，抗议他们不遵守诺言。这位与他谈话的可怜官员可能是被费米的愤怒吓得心惊胆颤，竟胡乱地想让费米相信，中途拦截他的信件是外国间谍干的事情。他很高兴费米告知此事，他将严肃调查此事，说不定会出现一个危险的敌方代理人。这种解释如此可笑和滑稽，费米也忍不住大笑起来。不过，这种事情总算终止了。

当芝加哥大学在重组冶金实验室的时候，劳伦斯领导下的伯克利小组正从事一项初始性和工厂实验性的研究，研究铀同位素的大规模电磁场分离。1942年夏天，另一个伯克利小组在奥本海默(J.Robert Oppenheimer)的领导下，开始研究快速反应的明确可能性和一种炸弹的可行性。行政管理方面也有了一些变化：1942年5月，OSRD-S1被一个执行委员会代替，其成员有科南特(主席)、布里格斯、A·康普顿、劳伦斯、默弗里(E.V.Murphree)、尤利，还有温策尔(H.T.Wenzel)和斯图尔特(I.Stewart)，前者是技术顾问，后者是秘书。这个精简了的执行委员会的责任是：(1)报告每种同位素分离方法在下8个月中的规划和预算；(2)对规划中的哪些部分应该继续提出建议；(3)对规划中的哪些部分应该取消提出建议。<sup>[1]</sup>

当工作进行到1942年最初几个月时，有一个问题被尖锐地提出来并引起了争论：原子武器真的具有决定性作用吗？这个问题的答案意味着对全力以赴、不惜一切地努力是否有价值作出判断。3月和6月，布什向总统报告工作的进度。6月的报告有四个主要观点：(1)已经很清楚的是，几千克的<sup>239</sup>Pu或<sup>235</sup>U就可以发生爆炸，其威力相当于几千吨通常的高级炸药。而且，可以控制炸弹的引爆。(2)已经很清楚的是，有四种可行的办法制备裂变材料：<sup>235</sup>U的电磁分离，<sup>235</sup>U的扩散分离，离心法分离<sup>235</sup>U，以及用一种链式反应生产<sup>239</sup>Pu。不能确定四种方法中的哪一种更优越。(3)已经很清楚的是，可以设

[1] Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes*, par. 5.19. ——作者注

计和建起相当规模的生产工厂。(4)只要具备足够的资金和优先性，整个行动可以很快开始而不贻误军机。<sup>[1]</sup>这些结论先被科南特、劳伦斯、尤利、康普顿、穆弗里和斯泰尔将军(General Styer，他是 G·马歇尔将军的代表)看过和提出过意见，然后才转交给总统。总统同意了。这个报告要求的拨款约为 1 亿美元。

应该记住的是，那时分离的同位素还仅仅只有极其微量的样品，链式反应还没有实现，而有关炸弹本身的研究还仅仅是刚刚入门。在正常环境下，可能是需要 10 年时间才能完成的事，但由于战争的紧迫需要逼得这些领导人物去冒险，这些冒险在正常情况下一定会被认为是发疯了。这些决定需要大规模的工业投入，在战时经济紧张的情形下优先权的问题极难解决，如删除从实验室实验到工厂许多传统步骤和程序等，而且所有这些还都必须在绝对保密的情形下去完成。令人惊讶的是这些目的居然都达到了。对个人交往的限制非常严格，他们经常发现自己处于他们自己的学术情感和理智信念与他们所作的决定之间的尖锐矛盾之中。科学家不习惯于军事纪律和工业道德标准，以环境为由让他们接受严格的要求是十分困难的。但是，有一个共同的力量激励着他们，那就是痛恨希特勒及其所作所为。

1942 年夏，军队应召负责铀计划。早在 1941 年末，布什就和总统讨论过军方直接介入的合理性。把紧急的巨大任务交给军队(而不是 OSRD)的可能性，也曾经在(1942 年)3 月报告中提到过，6 月报告中再次提到。行动立即开始，组成了曼哈顿区工程特种兵部队。经过一些过渡性的安排后，1942 年 9 月 17 日，格罗夫斯准将被任命为曼哈顿区的司令。<sup>[2]</sup>格罗夫斯是一位在建筑方面有相当经验的上校，临时授予他准将军衔以负责一个他几天以前还完全不知道的工程。虽

[1] Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes*, par. 5.21.——作者注

[2] 参见 Leslie R. Groves, *Now It Can Be Told* (New York: Harper & Brothers, 1962).——作者注

然如此，这个选择还是很令人满意的。

格罗夫斯将军虽然不是一个知识分子，但他十分聪明、精力充沛，很有决断能力，上任后他十分努力。他没有与科学家打交道的经验，他称科学家为“昂贵的狂人”，这是他被任命几个月后在洛斯阿拉莫斯作的态度很好的演讲中所说的。但他很快就学会如何对待科学家了——信任他们，并知道如何为最高的目的而获得他们的合作。他十分熟悉建筑工作、工业问题、生产计划、财政事务等，他对工业界也十分了解。他知道如何组织和协调一个非常复杂的企业，给不同的实验室分配特殊的任务，授予必要的权力。这样，他为这个计划带来了现实的、实用的观点，弥补了科学家的缺点，科学家对这类事务一般都没有经验。和科学家不同的是，他不会被新的远景所迷惑，而在计划实施过程中这种迷惑经常会出现；他不会带感情地卷入技术选择中去，而这些选择往往是他不十分了解的。但他经常关注最后的结果，尽可能早地得到一种有决定性作用的武器。

作为一个军人，格罗夫斯将军有自己的偏见，正像科学家也有偏见一样，但他非常敏锐，能认识自己的局限性，虽然他并没有经常明确地承认这一点。而且，他有一种天才的幽默感，能使人摆脱沉重的负担。由于他具有正直、勇敢和敢于负责的品格，在危机时刻他常常是一种力量的源泉。格罗夫斯很快就十分尊重费米，这种尊重基于对费米行为的客观观察。这两个人相处得很好，虽然他们的脾气、智力特征和背景完全不同。

格罗夫斯将军选了两个能干的军官作为他的助手，他们是法雷尔将军(General T.Farrer)和尼科尔斯上校(Colonel K.D.Nichols)。于是他自己可以分出身来致力于生产和工业问题，这些他都掌握得很好。他的甜言蜜语、威吓以及爱国主义的呼吁，使得这个巨大的工业公司进入了计划轨道，并在公司和科学家之间建立起良好的工作关系。格罗夫斯灵巧而有说服力地解决了这些相互关系的难题，使成员之间可

以亲密地合作，并平息争端、协调矛盾、对不同的单位用不同的观点和需要做出解释。

当他开始负责这个计划时，最迫切的任务之一就是为正在扩展的工作建设工厂。他很快在芝加哥附近的阿尔贡森林找到一个地方，安置冶金实验室急剧增多的部门，在田纳西橡树岭还有一个更大的地方。紧接着在新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯和华盛顿州的汉福德又找到了新的地方。1942年早秋，建设迅速开始了。

费米在军队服务时没有什么值得回忆的事情。他和其他几位计划中的关键人物每人配备了一个保镖——穿便服的带有武器的军事保安人员。费米的保镖是应征入伍的约翰·鲍迪诺(John Baudino)，他是一位意大利裔的伊利诺斯州的律师。他的任务是紧跟费米，保护他的安全。开始鲍迪诺因为费米高贵的身份而有些不自在，但由于他很机灵，不久就和费米相处得非常好，与费米的朋友也相处愉快，后来还与费米成了亲密的朋友。鲍迪诺非常忠于职守，也善于利用他的闲暇时间，在实验室完成一些非物理学的事务，例如建议科学家如何填好他们的所得税报表等。

在这个计划改组和扩大的时间里，冶金实验室研究链式反应的小组取得了很大的进展。1945年在美国哲学学会上，费米在一篇论文中简单明确地介绍了在芝加哥完成的工作。<sup>[1]</sup> H·安德森则详细介绍了反应堆日常完成的工作。<sup>[2]</sup>

1942年秋天，完成链式反应研究中的两个巨大障碍即将解决。足够的纯石墨、纯净铀和氧化铀正不断运到物理学家手中。在夏天完成的检测证明，有足够的这两种物质，铀-石墨的天然反应堆将可以运行。我们可以根据冶金实验室的一些报告，来描述这一研究的进展情况。<sup>[3]</sup> 正如这些报告中所说，为了得到更好的材料和制造可以

---

[1] “The Development of the First Chain Reacting Pile” (FP 223), 全文见附录4。——作者注

[2] FP, 2: 268.——作者注

[3] FP, 1: 60-80.——作者注

得到更高生产率的格架，其中所作的努力对有悟性的人来说非常具有戏剧性。

10月，铀和石墨已经足够了，于是开始建造一个不只是简单为了指数实验的原子反应堆，而是要建造一个具体实用的反应堆，但首先石墨必须进行机器加工，铀也必须制成合适的球状块。到这个月的中旬，200吨的石墨加工完毕。那时已经很清楚，在一两个月之内，临界尺寸的堆可以建成，自持式反应也可以得到。物理学家们曾经计划把石墨堆建在阿尔贡，原来计划于10月20日完工，但一次劳工罢工延误了完成的日期。于是费米向康普顿建议，反应堆可以建在芝加哥大学橄榄球场西看台下面的网球场上。这意味着这个实验将在芝加哥市中心来完成。按费米的意见，危险可以忽略不计。虽然康普顿和格罗夫斯将军有些担忧，他们还是决定让费米在大学校园里进行实验，同时等待阿尔贡建设计划的完成。反应堆的实际建造开始于10月，由津恩和安德森具体指导，费米进行监督。物理学家们分两班24小时不停地工作，一班由安德森领导，另一班由津恩领导。按照计划，这个反应堆的形状像一个旋转的椭圆，其极半径为309厘米，赤道半径为388厘米。大部分铀块放在中央区，以便有较好的利用率。铀的重量约为6吨。为了有效地利用这些最纯的燃料，必须尽可能地把它们放在中央地区，而且要小心地注意一些几何上的细节，因为它们都可以影响到再生因子。整个建筑由一个木架支撑。费米担心材料不够而不能达到临界状态，为了减少寄生中子被空气中的氮吸收，他下令用一个巨大的橡皮制的气球把整个反应堆罩起来。这个气球可以把空气抽空，因此空气的吸收就消除了。但事后证明，气球实际上没有必要。

11月16日，安德森和津恩开始按总体计划放置材料，但并没有一个详细的蓝图。反应堆每一层的铺设都要与费米讨论，他要经过仔细的计算，考虑材料的有效纯度。镉片钉在木棍上，然后让它们经过适当的槽缝，插进反应堆里，以控制反应堆里进行的反应，因为

镉可以强有力地吸收中子。镉片的作用好像是一个中子吸收剂，从而减小反应堆的活动能力。可移动的棒插在反应堆里，并用一把锁锁在它的位置上，钥匙由安德森和津恩保管，只有他们两人才能打开那把锁。当工程还在进行时，物理学家们先每天移动控制棒，通过观察宇宙射线的增多来测定反应堆的反应率，这时自发核裂变也常常会在反应堆里出现。负责仪器的威尔逊(Volney C. Wilson)来做这些测量。在观察点可以得到中子密度的数据，从而了解增加多少材料才达到临界尺寸，此时反应将成为发散的，即中子密度将随时间指数增长。到11月底，测量清楚地证实，反应堆增加到57层的时候可以达到临界状态。按安德森的计算，到12月1日或2日晚上反应堆就可以建成了。

费米要求安德森答应，夜间当他不在场时不要开始链式反应，安德森答应了，当铀层堆完以后，他没有向外拉镉控制棒。第二天，1942年12月2日早晨，最后测试的所有准备工作都已结束，第一次自持式链式反应的演示即将开始。

将近40个人到场，包括几乎所有参加反应堆研究、工作的科学家，还有几个观察人员。<sup>[1]</sup>费米设计了一个达到临界状态的程序，其控制的办法十分完善，他让控制棒一点一点地向外抽出来，每抽出一段距离都要测量一次反应堆的反应性。他可以用计算尺立即算出观测的结果，并为下一步拉出的距离发出命令。由此可以精确地知道每拉出一点儿后的情形，也能预计下一步的结果。还有一个紧急控制棒作为预备之用，只要一割断上面系着的绳子，棒就会由于自身重力而插进反应堆；除此之外，作为应急，有几位志愿者站在反应堆上，提着几桶镉盐溶液，当不幸的灾难出现时他们会把溶液倒在反应堆上。后来证实，这些额外的应急措施是不必要的。早晨开始实验，到吃午饭的时候反应堆还没有到达临界状态。性格决定人的行

[1] 参加演示的人员表，可以参见 FP, 2: 269. ——作者注

动，镇静的费米宣布午餐，休息一会儿。（他们在 1934 年 10 月 22 日发现，慢中子不受午餐的干涉。）下午开始工作不久，费米迅速使反应堆达到上午的工作状态，在预计的步骤以后，下午 2 点 20 分，反应堆达到了临界状态。

第一次测试运行了 28 分钟，功率不超过 0.5 瓦，使产生的放射性处于最低值。

当关闭了反应堆以后，维格纳拿出了一瓶基安蒂酒，这是他几个月以前买下的。在场的人中有康普顿和格林沃尔特(C.H Greenewalt)，后者是一位化学工程师，后来成了杜邦公司的总裁。格林沃尔特是芝加哥一个委员会的代表，杜邦公司因为参与制造钚而想加入这个委员会，但这只是一个正在讨论的重要事情。康普顿想让格林沃尔特亲眼看见反应堆的运转而留下深刻印象。这个目的达到了，格林沃尔特的确有了极深的印象。好多年过去以后，格林沃尔特说，<sup>[1]</sup> 在 12 月份的实验之前，杜邦公司对反应堆的前景已经看好，并决定接受政府要求进行提炼钚的工作。他还补充说，公司颇为自信，如果实验失败，第二次努力必定会成功。当反应堆进入临界状态以后，康普顿和格林沃尔特离开了现场，向考察委员会报告他们所见到的事情，然后给哈佛大学的科南特打了一个电话。“吉姆，”他说，“你一定很乐于知道，那位意大利的航海家刚刚登上了新大陆。”然后，因为他曾经告诉科南特的 S1 委员会说，临界状态还要过一会儿才能达到，所以他抱歉似地补充说：“大陆没有他估计的那么大，到达新大陆的时间比他预计的要早一些。”“是吗？”科南特问，“当地居民还友好吗？”“每一个人都安全和高兴地上了岸，”康普顿向他保证说。<sup>[2]</sup>

12 月 2 日的实验是核能发展的一个里程碑。现在，一块由亨

[1] 1967 年 12 月 2 日在芝加哥大学的一次讲话，纪念反应堆建成 25 周年。——作者注

[2] Compton, *Atomic Quest*, p.144.——作者注

利·穆尔(Henry Moore)雕刻的青铜匾挂在完成实验场所外面的墙上作为纪念。<sup>[1]</sup>但是，对费米来说，建造反应堆的真正胜利可能在这个月以前就获得了，那时他成功地建成了一个  $k > 1$  的格架，这与到达临界状态有同等的意义。1942年10月的一天，那时我在芝加哥做一个实验，费米把我一个人单独锁在一间屋子里，让我读几份他的工作报告。“你把它们读一读。”说完他就出去了。过了一两个小时他回来了，发现我鼓着双眼、默不作声。当然，我知道人们试图得到天然铀的链式反应，但关于这项研究进行到什么地步，我不十分清楚，虽然我自己的工作与钚的生产有关，因此也与核反应堆有关。我阅读的进展报告给我留下很深的印象，好像我已经可以看见临界反应堆了。

我提起这件事，是因为我确信对于费米来说，12月份的演示实验不会使费米感到震惊，感到震惊的是局外人。为了庆贺成功，在费米的家里举行了一个极简朴的舞会，他的合作者参加了庆贺(但是，没有让劳拉·费米知道庆贺的原因)。大家并没有因此中止日常工作，还有太多的问题等待人们去解决。

冶金实验室有一个工程学协会，主席是穆尔(T. V. Moore)，他指导实验室的钚生产反应堆的研究。在反应堆达到临界状态前几个月，费米被请来对今后工厂生产的一些技术问题提出建议，诸如如何冷却动力反应堆(power reactors)这类复杂难解的问题。有三种冷却剂可以挑选：氦气、水和液态铋，每一种都有各自的优点和缺点。决定权由实验室的一个决策委员会来决定，最后选择了水作冷却剂。这些问题在科学家中引起了激烈的反应，但是这些问题不能用计算来解决，因为它们可以生出许多复杂的分支，可以有许多不同的办法来判断。费米处理这类问题都是亲自计算或估计适合于分析的每一件事

[1] 匾上写的是：“1942年12月2日，人类在此实现了第一次自持链式反应，由此开始了受控核能的释放。”1957年西看台被拆除，在原址上建了一个“核能”雕塑，现在它是第一个自持链式反应发生地的标志。——译者注

情。他经常是理智和客观(不管他内心曾有什么样的直觉)地对待问题，加上他在技术上和个人的威望，总能使激动的争论平缓下去。在试图解决如屏蔽动力反应堆(保证反应堆的热平衡)一类的问题时，他显示出了第一流工程师的天才。在他想尽快得到实际技术结果时，他经常用同物理学家使用的一般方法大不相同的方法。他知道快速答案的价值，即使它是近似的和不完善的。在有些情形下，他提出的新的、人们未料到的方法，得出了非常精确的结果，而这些方法现在已经成为反应堆技术中的常规方法了。

无论在什么情形下，物理学总是费米最感兴趣的，他曾试图将 MED 的研究和它在战争中的应用，尽可能地与纯研究调和起来。第一个反应堆进入临界状态后，立即成为一个神奇的物理学仪器。在适当运转的情形下，反应堆很像一个非常稳定和强大的中子放大器，可以用来精确测量截面，而截面是一个实际应用的中心问题，在理论上也有相当价值。1943 年 1 月，在达到临界状态仅几周之后，费米、安德森和津恩以及他们各自的助手，已经开始测量商用石墨和其他材料的杂质，方法是利用它们对反应堆反应率的影响。2 月，在阿尔贡实验室建造了第二个反应堆，它的建立是为了回答许多新技术中预期的问题，这些问题的解决，使得杜邦公司可以在华盛顿的汉福德建造一个大的生产型反应堆。阿尔贡的反应堆的功率在 100 千瓦级上，比第一个反应堆的功率大 10 万倍。

费米现在有了另外一个正式的合作者，是年轻的伍兹(Leona Woods)，她后来嫁给了物理学家约翰·马歇尔(John Marshall)，再后来又嫁给了化学家利比(W.Libby)。费米到了芝加哥以后，她成为费米小组中的一员，现在他们的合作更紧密了。虽然她像男人一样精力充沛和穿着简朴，但她长得很漂亮，给实验室过分严峻的气氛带来一份女性的温馨。

1943 年和 1944 年，费米、津恩、马歇尔和其他一些人利用阿尔贡反应堆做了许多实验，但结果保密，直到战后才出版。这项研究

成为一个大而精致的物理分支的起始点，在这个分支里，中子被应用于许许多多的问题之中。这件事清楚地说明费米的见解很有宽度，在前中子时期就显出他的这一特征。费米又促使中子物理学能有效地应用到固体物理学中，这实在是一种理想的奖赏啊！在这项工作的理论部分中，费米系统地使用了散射长度的概念，这个概念是 10 年以前为了解释阿玛尔迪和我发现的一个光谱效应，在一个完全不同的领域里提出来的。

在 1943 年 6 月的研究中，费米小组引入了一种被称为热柱(thermal column)的装置，它由纯净石墨制成，作为一种过滤器，它只让慢中子通过。<sup>[1]</sup> 利用这种装置的帮助，人们可以利用一个多晶介质形成的衍射，获得具有一个德布罗意波长(比介质晶格常数大一点)的中子。这将允许亚热中子强束流通过。1944 年 1 月，这个小组制造出一种速度选择器，<sup>[2]</sup> 同年他们还观察到中子的折射和反射。<sup>[3]</sup> 这些应用尽管聪明灵巧，看起来费米对它们也很有兴趣，却没有成为费米终生感兴趣的研究对象。他有意限制自己，只打开通道，然后让其他人详细探索新发现的领域。

除了在阿尔贡的实验工作以外(这些工作也可能让费米感到愉快)，他还要完成 MED 的许多技术-行政责任。他(和维格纳以及其他科学家一样)发现自己在建筑大反应堆上与杜邦公司的意见不一致。费米和格林沃尔特在技术-行政事务上意见并不完全一致，在 1943 年矛盾十分严重。虽然双方对于对方都有很高的评价，并且最终两人之间产生了十分真挚的友谊，例如在后几年中格林沃尔特在财政上大力支持费米。这时正是一个很关键的时刻，因为芝加哥冶金实验室的科学家有很充分的理由担心，未来的原子能研究会与政治和社会发

[1] “Production of Low Energy Neutrons by Filtering through Graphite” (FP 191). ——作者注

[2] “A Thermal Neutron Velocity Selector and Its Application to the Measurement of the Cross Section of Boron” (FP 200). ——作者注

[3] “Reflection of Neutrons on Mirrors” (FP 220). ——作者注

生牵连。实验室里意见严重分歧，还有与格罗夫斯将军的诸多矛盾，以及年轻科学家对 MED 整个领导的不信任。费米这时扮演什么角色没有记录可查，他不像詹姆士·夫兰克、西拉德和其他比较年轻的科学家那样爱自由发表意见，有迹象表明很可能费米采取“物理学好比是苏麻液”的态度。<sup>[1]</sup>

1943 年，解决一个新的和主要问题变得非常迫切。如果  $^{235}\text{U}$  或  $^{239}\text{Pu}$  都足够用，怎么才能制成一个炸弹呢？总体的想法十分简单：只需将可裂变物质迅速集中起来，使其达到临界状态的质量，此后中子增多，最后发生爆炸。集中可裂变物质的方法，以及其他许多重要问题的答案，都远非那么清楚。要想制成这样一种武器，需要天才的创造力。原先由冶金实验室赞助的各大学进行的各种研究得到的一些基本核数据，对设计这种武器是很必要的。

乔治·布赖特和罗伯特·奥本海默开始的时候曾经负责这项工作，由各个实验室的(主要是理论物理学家)组成的一个物理学家小组负责研制，这项工作以适度的速度进展着。到 1942 年夏天，人们明白必须扩大这项研究的规模，一个为组装武器这一特殊目的而设立的新实验室已经准备就绪。在选择这样一个实验室地址上，安全和保密是一件至关紧要的事情。格罗夫斯将军、奥本海默和其他一些人开始审查可能的位置。在作了实地考察后，1942 年 11 月，把地址确定在新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯，那儿以前有一所为儿童设立的小型寄宿学校。洛斯阿拉莫斯学校在一个海拔 2 225 米高地的边缘，它的后面是高高的火山，长满松林，还有一大片草地；它的前面是高地陡峭的边缘，高地下面是里奥格兰德峡谷的平地。除了沿河有肥沃的狭长田地和点缀着印第安人的村落以外，几乎荒无人烟。跨过峡谷，桑格雷-德克里斯托山脉和特鲁查斯峰阻断了视野。除了学校和少数几间可爱的木石建筑物以外，高地上没有其他建筑物和居民，一

[1] Hewlett and Anderson, *The New World*, p.204. ——作者注

一条原始的小路通向外边。已有的一些建筑对实验室的紧急任务十分重要。整个环境被封闭着，这恰恰是最有价值的。最近的城市是新墨西哥州的圣菲，在东南方56千米处。被深深的峡谷切得陡峭笔挺的高地，很快就被各种特殊的实验室占满了。主要的实验室和一些新的建筑很快就在高地靠近学校旁边建起来了。

奥本海默对这个地区十分熟悉，他以前夏天常常在同一地区的一个农场度过，这儿的风景非同一般地美丽。这种美深深地感染了许多科学家，由于偏好和对大自然长期习惯性的敏感，他们能够欣赏洛斯阿拉莫斯美丽的乡村环境。大山的景色、天空不断变幻的云，从早春到晚秋盛开的鲜花，在小道上兴致盎然的步行或到小溪旁钓鱼，到山坡上滑雪，或搜寻矿床以及印第安人留下的废墟；还有许多其他吸引人的东西，它们都是洛斯阿拉莫斯最了不起的资源，而且这儿有一群关键性人物正支撑着一个伟大的尝试。人们经常在一段紧张时期之后感到精疲力竭，但户外景色却永远是唤起力量再生的源泉。

格罗夫斯将军在与几位重要物理学家商讨之后，任命奥本海默为新的洛斯阿拉莫斯实验室主任。<sup>[1]</sup>当时，奥本海默是伯克利加利福尼亚大学的理论物理学教授，也是加州理工学院的教授。他是首先将量子力学引入美国的物理学家之一，并且奠定了一个繁荣的理论物理学派的基础，该学派的成员后来有许多都成为美国第一流的理论物理学家。除了物理学以外，他对许多课题都有兴趣，例如梵文和哲学；他对政治也有兴趣，在战前他追随一条明显左派的路线。在他周围的人中，他有很高的威望和很大的权势，但对远离他的人来说，

[1] 关于奥本海默有价值的自传见：In the Matter of J. R. Oppenheimer, Transcript of a Hearing before Personnel Security Board, Washington, April 24, 1954, through May 6, 1954 (Washington, D.C.: Government Printing Office, 1954), p.26—57。他的传记还可见：R. Serber, V.F. Weisskopf, A.Pais, and G.T. Seaborg, Oppenheimer (New York: Charles Scribner's Sons, 1969) and Denise Royal, The Story of Robert Oppenheimer (New York: St.Martin 1969).——作者注

由于不被他的人性魔力所迷，有时觉得他浅薄和势利眼、谄上骄下。他常常常用非常抽象的术语来表述物理学，至少我这么认为，这种表述与我熟悉的费米风格很不相同，费米总是让物理学变得简单明快和直截了当。我记得费米的一个评论，那是在他访问伯克利作希契科克讲座演讲时说的。在出席为奥本海默的学生举办的讨论班(讲费米的 $\beta$ 射线理论)以后，费米见到了我，说：“埃米里奥，看来我正在生锈和老了。我完全不明白奥本海默的学生提出的高深理论。我在讨论班上由于不能理解他们而感到沮丧。只有最后一句话让我感到振奋；这句话是：‘这就是费米的 $\beta$ 衰变理论。’”

作为洛斯阿拉莫斯实验室的主任，奥本海默干得非常出色。他对一些技术细节知道得十分清楚，而且他很快就有了必不可少的行政工作经验。他可能是我遇到的思维最敏捷的人，他有惊人的记忆力，对任何问题总能滔滔不绝地说出一大套来。除了他光彩的和不可否认的成就以外，奥本海默也有一些严重的缺点，这些缺点部分起因于极端的敌意，后来他成了这种敌意不公正的牺牲品、受害者。他十分明白自己智力卓越的特征，他有时会傲慢自大，并由此刺伤了非常敏感的科学同事们；更有甚者，他的行为有时不很恰当。在若干年以后，这些都结下了恶果，我在下面还会简要的提及。战后，授予他功勋奖章(Medal of Merit)，1964年，为了补偿他在1954年忠诚审查中经受的可怕的严酷考验，他被授予费米奖，这可以看做是对他的杰出领导才能的公开承认。

1943年，在迈出重要的第一步时，奥本海默在洛斯阿拉莫斯学校召集了一次科学家会议，这些科学家被列在未来实验室成员之中，为即将开展的紧迫计划作前期准备。大约有30人出席了会议。正式会议在学校的教室举行，接着是生机勃勃的讨论。讨论主要在高地四周美丽而荒凉的环境中散步时进行。科学家在学校的宿舍里睡觉。罗伯特·西尔伯(Robert Serber)写了一个报告，把要解决的问题列了出来，它可以作为一个入门读物，给新加入的科学家看。这个

报告现在已经解密。<sup>[1]</sup> 实验室很快接纳了最有价值的一部分人，他们是全世界最活跃和最精明的核物理学家。这群人的平均年龄很低，大约是 32 岁，几位最重要的人已经十分出名，但也才刚过 40 岁，还有好几位在日后出名的人才只 20 岁多一点。奥本海默那年 32 岁。许多认识的老朋友在这种非常的情形下再次见面，像费米、康登(E.U. Condon)、拉比、贝特、巴彻尔(R.F.Bacher)、威廉姆斯(John Williams)、曼利(John Manley)、罗伯特·威尔逊(Robert R. Wilson)和其他一些人，老朋友之间彼此都十分信任。

开始时，把要解决的问题交给各位专家，在接下来的讨论中，我们对研究课题做出重要决定——包括哪些课题优先进行和工程技术问题的研究方法，这些工程技术问题对核物理学家来说也是全新的。我们在这儿不过多涉及行政管理问题，但对一项大家强烈反对的事还是要提一下：把科学家置于军事纪律下，这个建议受到强烈反对而从未被实施。我们期望这个计划能在短一些的时间内完成，最重要的是希望出现的情况比实际要简单一些；我们试图猜测多长时间可以完成任务，战争还能持续多久。作为一个顾问，费米在确定要解决的问题和形成一个计划上有很大的作用。

春天的会议以后，许多参加会议的人(包括费米)回到他们原来工作的地方准备设备，以及吸收洛斯阿拉莫斯需要的新成员。大部分人很快就回到高地并安顿下来，但由于费米的工作主要在芝加哥，他还要在橡树岭和汉福德之间跑来跑去。直到 1944 年 8 月，他才全力以赴地加入到洛斯阿拉莫斯工程之中。高地简易建筑以最快速度被建造起来，到 1943 年仲夏，洛斯阿拉莫斯实验室开始正式运作起来。从汉福德运来了一台回旋加速器和几台线性加速器，以及伊利诺伊大学和威斯康星大学制造的首批核实验室设备。每天都有物理学家、

[1] R.Serber, “The Los Alamos Primer”，洛斯阿拉莫斯未公开的报告，现在已经解密。——作者注

化学家和冶金专家报到，新建筑物一旦建好就迅速被占用。公用设施也投入了使用，四户一栋的木结构公寓已经完工，各单位的地址也确定下来；一座职员配备齐全、有出色儿科和妇科的医院也被建起来了。

由于这个社区有许多儿童，学校就显得十分重要。科学家的妻子和聘请的少数几位专业教师，组成了适合各种年龄儿童的高质量的教学人员。跟着教授来到洛斯阿拉莫斯的一些大学生和军方派遣的特别工程支队成员，在这儿接受了一种实际的科学教育，即使在最好的研究所也不容易得到这种教育。有时，他们有机会参加一些讲座，这些讲座的主题都是实验室感兴趣的。费米是对年轻科学家实施教育计划的主要讲课人，他来到洛斯阿拉莫斯后不久，就作了很多课题的讲座。他的演讲吸引了很多人，有时实验室的全体人员都会去听。1945年秋天的闲暇之时，费米开设了一门中子物理学的定期课程，后来，按照这种模式又开设了许多核工程课程。<sup>[1]</sup>

实验室在行政上分为几个部：理论物理学部，化学和冶金学部，实验物理学部等。这些部下面又设几个小组，由小组领导人负责。各部领导人组成一个管理委员会，委员会定期开会，并帮助建立规章制度和做出重要决定。后来，奥本海默任命了几位助理，协助他工作。1943~1946年，组织机构不断改变，但总的格局并没有变化。小组领导和各部的领导在年龄、经验和科学地位上彼此相差很大，但一般来说大家都明白，如果一位年龄较大、经验较丰富的科学家在行政上置于一位年轻人的领导之下，并不意味在专业上受到轻视。战争的紧急情况决定了种种安排，并消除了大部分职位上的难题。

开始，实验室主要是测量同位素<sup>235</sup>U和<sup>239</sup>Pu核的特性，这些材料由 MED 的其他部分提供。这些数据对设计一个炸弹(特别是估计临界质量的大小)是必不可少的。这时，我得到了一个小小的实验室来

[1] “A Course on Neutron Physics” (FP 222). ——作者注

测量自发核裂变，这是我此前和此后都没有做过的工作。我的实验室是一个小木屋，在距洛斯阿拉莫斯几千米外一个与世隔绝的地方，木屋里放置一个测距仪。只有一条可以走吉普车的小路到达木屋，小路两旁缀满紫色和黄色的紫菀，旁边还有一条峡谷，它的谷壁像印第安人的雕刻品一样让人瞩目。在这条小路上，我有一次发现了一条很大的响尾蛇。小屋位于一个小树林里，周围是巨大的阔叶树林，浓荫遮日、风景如画，简直是梦中最美丽的住所。费米也非常喜欢这个地方，曾几次拜访我们。

与此同时，还要测定材料的核特性，有一些人则在研究聚集临界质量以产生爆炸的方法。开始，负责这项研究的科学家设计了一个相当简单的程序，即利用枪的发射把材料聚到一起。后来，在发现了<sup>240</sup>Pu(在核反应堆中制造<sup>239</sup>Pu的必然伴生物)的高自发裂变率之后，找到更好的聚集材料方法就更加必要了。后来，尼德迈耶(Seth Neddermeyer)提出内向爆破法，这一方法又由冯·诺依曼和其他人进行分析后做了改进。完整的炸弹测试是实验室战时最终的任务。

洛斯阿拉莫斯的理论部在汉斯·贝特的领导之下非常有活力。这个部还有西尔伯、特勒、韦斯科夫(V. P. Weisskopf)、弗兰德斯(D. Flanders)，还有一些“青少年”，如罗伯特·费曼(Robert Feynman)和乔弗里·丘(Geoffrey Chew)等人。这个小组利用掌握的核数据，试着计算出所有实验室需要的信息。他们还接受了一个不太紧急的研究任务，就是聚变“超级炸弹”或“特级品”。很显然，这种炸弹至少在最近好多年里不会有有效的军事使用价值，因此不急于作更多的努力。这项研究的理论部分不仅仅涉及核问题，而且还涉及非常高级的流体动力学的问题，英国应用数学家泰勒爵士(Sir Geoffrey Taylor)和冯·诺依曼对此提供了无可比拟的专门知识。理论核物理学家对这个领域不大熟悉，但很快就学到了有关这个课题的许多知识。

洛斯阿拉莫斯的科学家需要对整体计划的方方面面(包括生产计划)有所了解；但这种需要又同信息分隔的政策矛盾。按这一政策，

每位科学家只限于知道自己急需知道的信息。这种政策在军事当局的心目中是安全的支柱之一，但他们也承认这种政策与技术上的需要是不相容的，因而仅对洛斯阿拉莫斯有某种程度上的放松。可以在图书馆得到其他部门的报告，从 MED 其他各部转到洛斯阿拉莫斯的科学家，又给高地带来了许多口头信息。

为了获得信息而付出的代价是限制了个人的自由，这对我们来说还是闻所未闻的事情。从一开始，实验室周围就树起了警戒围墙，只有领导人员可以进入，第二道围墙则把整个社区围住了，控制着进口和出口。而且，洛斯阿拉莫斯非常封闭，到圣菲以外的地方旅行，必须要有特殊许可才行。邮件要经过检查，这些规章制度让科学家的妻子们特别不舒服。那些常年驻守遥远边塞的军人家属十分习惯这种情形，但对科学家和他们的妻子来说，这绝对是新鲜事。结果之一是这儿的居民对官阶和声望产生了强烈的敏感。社会地位问题在洛斯阿拉莫斯早期迅速蔓延，开始看来似乎是不足挂齿的小问题，后来却成为一个重要的问题。这里的每栋公寓有 4 套房间，有一些位置的公寓装修得质量较好，所以不同的位置就与社会地位有了关系。一些学校老建筑物与其他公寓建筑式样不同，位于一条绰号为“浴池路”的街道上，正如绰号所说，寓所里有浴池，而不像新公寓里简单的淋浴。这些房子住的都是一些最高级的领导人物。当费米全家 1944 年 8 月来到洛斯阿拉莫斯时，根据劳拉的建议，他们在镇上选了一套房间，这些房间是给声望较低的人住的，他们的做法促使人们克服与住房有关的愚蠢的势利行为，并产生了有益的效果。

洛斯阿拉莫斯与世隔绝，这使家庭生活迈向了积极的社会生活：有很多宴会；很多人第一次玩扑克牌和参加广场舞会；特勒演奏他带到公寓里的大钢琴；还有些人演奏低音大喇叭；等等。费米热情地参加了这些活动。

尼尔斯·玻尔和他的儿子阿格(Aage Bohr)访问洛斯阿拉莫斯，使人们对欧洲未来的事态感到忧郁。玻尔来的时候取了一个假名，当

然我们许多人一眼就认出他来了。有一天晚上，在安全官员在场的情况下，玻尔在奥本海默的房间里向几位欧洲的科学家谈到丹麦的情况，以及他如何乘一艘敞舱船逃离丹麦。<sup>[1]</sup>对于在一个纳粹占领国发生的情形，我们许多人是还第一次亲耳听到。虽然那时丹麦的情形还是相对可以忍受的，玻尔还不知道纳粹更可怕的暴行，但他的讲述仍然使我们感到沮丧和忧心重重，我们更加决心尽早制出炸弹。

费米在洛斯阿拉莫斯生活得十分愉快。工作很有趣，而且可以提供一次给战争带来胜利结局的机会；同伴们都跃跃欲试、很有信心。他又可以在美丽的环境中长途远足和滑雪探险，这些活动使他非常开心。费米在洛斯阿拉莫斯作访问者期间，他的保镖鲍迪诺总是跟随着他，星期天远足以及其他体育活动也照跟不误。但是，鲍迪诺不习惯长途远足。劳拉·费米告诉了我们一个插曲，可以明确说明这一状况。有一个星期天，由于汽油配给的原因，我们很难弄到一辆汽车把我们运到邻近的一个地方，我们要从那儿开始远足。费米可征用实验室的一辆车，但他对这样做有一些顾忌。当过律师的鲍迪诺解决了这个问题。他说：“你可能没有权利使用一辆公车，但我有公事在身——我是你的保镖，而且我不能走这么远的距离，因此，我必须开一辆公车。”

在洛斯阿拉莫斯，可能受许多热心钓鱼的物理学家的影响，费米也开始钓鱼，但他钓鱼的方式很特别。他的钓具与其他人钓鳟鱼的钓具完全不同，他还提出了一些关于鱼的行为的理论。当他的理论得不到实验支持时，他显得十分固执。如果在科学上他也这样固执的话，那就毁了他。

在作访问顾问(来洛斯阿拉莫斯之前)和后来长期居住洛斯阿拉莫斯期间，费米似乎成了一个贤哲，任何物理学家遇到麻烦都可以找

[1] Aage Bohr, “The War Years”, in Niels Bohr, ed. S. Rozental (Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1967), p.191.—作者注

他，而且多半会颇有收获而去。向他提出的问题是各种各样的，没有什么限制。我记得有一次我听到他与冯·诺依曼一起讨论流体力学的问题，他们有时在费米办公室的黑板上举行竞赛，看谁能更快地解决正在研究的问题。冯·诺依曼具有无可匹敌的、闪电般迅速分析的技巧，所以他常常获胜。有一次，我打断了这种比赛，因为我们小组的一位一流电子专家在线路问题上遇到了一个非常困难的全新问题，这个问题急需解决。我和我的朋友沮丧地走进费米的办公室。大约用了20分钟，费米设计了一个可以解决我们难题的线路，但却要用一种具有某种特殊性质的管子，没有人知道有没有这种管子。我们去查一本管子手册，找到了这种管子。这个设备最后被迅速制作成功，工作起来十分令人满意。另外一件事是奥本海默让布鲁诺·罗西和我准备一份报告，讲述在某一量级核爆炸的预期效果。这种题目在那时还非常新颖，我们作了许多努力试图估计或猜测答案。费米偶然经过我们的办公室，我们问了他一些问题。他很快就把整个事情弄明白了，我们的报告也因此做出来了，后来实验证明我们估计非常精确，至少涉及的物理效果是这样的。

冯·诺依曼是实验室的另一位贤哲。一位有名的物理学家和我为一个与积分有关的问题奋斗了一下午，却毫无进展。这时我们从开着的门看到冯·诺依曼正沿着走廊朝我们办公室走来，我们问冯·诺依曼：“您能帮我们解决这个积分问题吗？”困扰我们的那个积分写在黑板上，他走到门口，看了一眼黑板，立即给出了答案。我们完全惊呆了，根本不知道他是怎么解决的。我相信，相似的例子至少可以找到一打。

这两位贤哲十分友好且相互敬仰，对计算机共同的兴趣使他们的友谊更加巩固。费米经常采用数字计算，他立即看出由快速电子计算机提供计算的可能性。他花了很多小时学习并练习使用它们。当然，众所周知，发展计算机的关键人物是冯·诺依曼。

1944年夏天，当费米成了高地的永久居民后，奥本海默想给他一

一个官衔，让他担任实验室主任助理，并创建一个新部门——F部，由费米直接管辖。F部的职责是研究不适合其他部门研究的工作，下辖4个小组：一个组由爱德华·特勒领导，主要研究氢弹；一个组由英国物理学家布赖彻(Egon Bretscher)领导，负责氢弹计划的实验工作；一个组由金(L.D.P. King)领导，负责建造一个均匀核反应堆；还有(最后)一个小组由安德森领导，研究其他各种各样的问题。对实验室的每一个人提出一般性建议，从很多方面来说是费米最重要的职责，但费米完全不满足这种角色。他想亲自负责一项计划，于是他就特别关注均匀核反应堆的建造。

这种反应堆的关键部分由 $^{235}\text{U}$ 盐溶液(普通水)组成，溶液被置于一个直径为0.3米的球状容器中。因此这是一种很小的反应堆，但却能得到相当高的中子密度。反应堆的第一次运转在非常低的功率下完成，经过一系列实验以后，将功率提高到了5千瓦。只要有可能，费米就常常到欧米伽场区(Omega site，在靠近洛斯阿拉莫斯主要高地附近的一个峡谷里)去，反应堆就建在那儿。他会一连几小时在那儿做实验或计算。沸水反应堆小组有一个活泼而强壮的姑娘叫琼·欣顿(Joan Hinton)，是泰勒爵士的一个亲戚。琼后来成为费米的一个助手，帮他校准中子探测仪，这种探测仪用于原子弹的测试。战后她到了中国，和一位传教士结了婚，后来一直住在中国。<sup>[1]</sup>

除费米之外，芝加哥冶金实验室在洛斯阿拉莫斯的重要领导人物还有萨谬尔·阿里森。阿里森早期曾进行X射线领域的研究，很多物理学家都是从A·康普顿和阿里森写的书<sup>[2]</sup>来了解这个课题的。1930年，康普顿把他带到芝加哥大学，后来他研究核物理学，在战争

[1] 这儿提到的琼·欣顿到中国后，取了一个中国名字叫韩春，一直在农场工作。  
——译者注

[2] H.A.Compton and S.K.Allison, *X-rays in Theory and Experiment* (New York: Van Nostrand, 1935)。阿里森有一次开玩笑地对费米说，费米的博士论文(我们知道它是论述X射线的)由于没有引用康普顿和阿里森的书，所以写得不怎么样；费米立即回答说这仅仅证明那本书写得不全。——作者注

时期成了康普顿的得力助手。当他不再担任冶金实验室的职务后，他成为洛斯阿拉莫斯实验室的主任助理。阿里森是一个很沉着的人，有高度的原则性，绝对正直，还相当幽默。这种品格使他在处理困难的个人问题时，是一位理想的平息争论、解决争端的人。因为每一个人都相信他，所以当人们失去理智、过于激动时，他可以让双方恢复理智、平静下来，而且他总能倾听别人的意见。他和费米很快成了好朋友，彼此完全了解和信任，在战后，阿里森很可能是费米最相信的人。

阿里森很多有名的名言，以及他的幽默和与之结合的高度责任感说明了他的个性。这些名言都成了美国物理学民间传说中的固定文本，反映了他在战争时期的经历。他把一位常年生活在大学环境里的科学家比作一条大洋里的鱼，“在 1940~1946 年这段伟大的巨变时期里，他们由于狂怒的风暴而改变了方向，对气压的变化毫无办法、无力应付；后来因为有了氧气供应，他们学习到了许许多多的东西，同样，也忘却了很多东西。”

1944 年 9 月 13 日，在经过巨大努力之后，第一个生产型反应堆在华盛顿的汉福德准备开始运转，这是个水冷型的天然铀反应堆，利用石墨作减速剂。这个反应堆由杜邦公司在芝加哥物理学家和威尔明顿一家公司的工程师合作设计的基础上制造的，合作中也曾出现严重的分歧。当这个反应堆在准备装置燃料时，杜邦公司请费米来到现场以防备意外事故的发生。在芝加哥第一个反应堆成功之后，费米曾经来到田纳西州的克林顿，有一个中等能量的中子反应堆在这儿开始运转，这个反应堆为核研究生产以克计的裂变元素。现在，第一个大型生产设备开工时，康普顿说：我们应该请我们的“主持人”到现场来。

为什么康普顿认为费米是他的“主持人”呢？这可能源自于阿里森讲的一个故事。有一次，费米与康普顿、阿里森乘火车去汉福德钚工厂（康普顿和费米在战时不可以乘飞机，因为格罗夫斯将军不

希望他们有危险，而阿里森则谦虚地说他不过“陪伴他们”而已。)乘火车需要很多时间，而且旅途又单调无聊，火车出发后不久，康普顿说：“恩里克，当我在安第斯山脉研究宇宙射线的行程中，我注意到，在很高的纬度上时，我的钟走得不准。我仔细考虑过这个问题，最后得到一个满意的答案。我想就这个问题听听您的意见。”阿里森想，这一下可以打发旅途单调无聊的时间了，他可以舒服自在地听他们随之而来的激烈争论。费米找到一张纸和一支铅笔，从口袋里抽出他的计算尺。几分钟后，他写出一个数学公式，表明钟的摆轮带动的空气必然会增加摆轮的转动惯量，由此使摆轮运动减慢。他对这种效应作了估算并得出一个数字，这个数字与康普顿记忆中的差额完全符合。阿里森说，他永远不会忘记康普顿脸上惊讶的表情。

汉福德反应堆装载燃料花了几天的时间，然后按计划在 9 月 27 日开始运转，只是第二天其反应率降低了，几个小时后恢复到正常的功率。因为反应率降低了几个小时，我们要找到其神秘的原因，大家奋战了几个小时。但反应堆好像只是为了休息了一下，接着又开始工作。因为观察到反应率是时间的一个函数，费米和惠勒(A.L. Wheeler)各自很快猜测出，这种效应产生的原因是由于一种核裂变产物污染了反应堆。在进一步的研究之后，一致认定罪魁祸首是<sup>135</sup>Xe(氙 135)。这种同位素具有一个  $3.5 \times 10^6$  靶的热中子俘获截面，半衰期为 9.4 小时。<sup>135</sup>Xe 是吴健雄和我在早期研究核裂变时发现的，但不知道它是如此可怕的一个中子吸收者。几天之内，大家了解了这种物理现象，而且幸运的是，杜邦公司的工程师在他们的预防计划里想到了这种可能性，补充了比物理学家的计算更多的燃料。他们这种浪费和昂贵的预防措施并没有什么正当的理由，但却节省了时间。在这次偶然事件中，费米和格林沃尔特在一起焦急地工作了几个小时，观察反应率不断的变化。费米很敬佩格林沃尔特在理解现象时的判断能力，这弥补了他相当差劲的数学能力。汉福德危机解决以

后，费米立即回到洛斯阿拉莫斯，另一场危机正在这儿形成。

我的小组发现， $^{240}\text{Pu}$  的高速率自发裂变说明，除非找到一种新的炸弹组装方法，否则反应堆生产 $^{239}\text{Pu}$  对于制造炸弹将没有价值。在一个反应堆里， $^{239}\text{Pu}$  俘获中子产生 $^{240}\text{Pu}$ ，这是不可避免的。由于 $^{240}\text{Pu}$  的高速自发核裂变，会发生预先引爆，那么对于用枪击组合临界质量的办法来说，临界质量必然产额偏低。这是一个严重的挑战，威胁着 MED 半数的研制工作。科南特在和奥本海默、费米开了一次会后说：“上帝啊，一切都白干啦！”<sup>[1]</sup>

后来由于发明了“爆聚法”，才从这个危急的僵局中挽救了这个计划。在美国海军帕森斯上校(Captain Parsons)的领导下，又组建一个特别的部，最先想出爆聚法的尼德迈耶小组成为这个部的一部分。但研制工作并没有像所需要的那样进行得迅速和顺利。因此，奥本海默转而向基斯塔科夫斯基(G. B. Kistiakowsky)求助，后者是哈佛大学的一位化学教授，奥本海默授权他在洛斯阿拉莫斯附近的一个高地建造一个新的工地，以试验爆聚法。这个部还招进了一些军械专家。爆聚法的测试由罗西和汉斯·斯陶布完成，他们发明了一种技术，测量爆炸时产生的压力。到 1944 年年底，危机过去了，利用反应堆产生的钚制造炸弹的技术也没有问题了。

但是，不管作多少部分测试，都不能替代一个完整武器的最终测试。这个结论在经过一个月时间的讨论后，在这年的年底终于得到了明确。接着的问题就是完成这样一个整体的测试，并且为它取了一个代号：三一工程。

首先，要在阿拉莫戈多附近的沙漠中选择测试位置，要在这儿修建一些必不可少的设施。同时，在洛斯阿拉莫斯，几个物理小组合并成一个新的机构，开始研究测试的技术问题。班布里奇(K. T. Bainbridge)和威廉姆斯在阿拉莫戈多领导测试机构，并负责繁琐的后勤工作。

[1] Hewlett and Anderson, *The New World*, p.251.—作者注

其他几个物理小组得到阿拉莫戈多这个有力机构的支持，被安排进行三一工程测试所需的许多测量。费米的帮助再次显示出无可替代的价值。

就我所知，没有关于费米在测试中所做贡献的书面记录，现在要想详细地把这些再写出来，也诚非易事。但是，这正是费米显示他惊人能力的机会，只要涉及的对象涵盖物理学的各个方面时，他的英雄本色就会自然显现出来。三一工程所涉及的问题极其广泛，从流体力学到核物理、从光学到热力学、从地球物理学到核化学，无所不包。它们经常紧密相关，要解决一个问题就必须明白所有其他学科的问题。虽然这个测试的目的十分阴森冷酷和让人恐惧，但却是有史以来最伟大的物理学实验。费米全身心沉浸在他自己的任务之中。在测试时期里，他是了解整个阿拉莫戈多工程所有技术分支的极少数人中的一个(也许是唯一的一个)。

1945年5月7日，在阿拉莫戈多要进行一次初试，这是一次巨大的普通爆炸。这样做的原因主要是校正仪器，进行一次实地实践。真正的测试只能是一次完成，不能重复。如果失败，那将无可挽救。

在5月的测试中，许多物理学家都来到了沙漠，正在这时传来了德国投降的消息，欧洲战争结束了。几位欧洲物理学家的反应是：

“我们的努力太迟了。”对他们中间的许多人来说，希特勒是魔鬼的化身，是最初提出制造原子弹的根本原因。现在，再用不着它来反对希特勒了，于是他们对此进行了重新思考。这些想法没有在正式讲话中表示出来，至少在洛斯阿拉莫斯没有，但是在私下里他们多次讨论过这个问题。

尽管如此，组合原子武器的努力，在春末夏初加速了。材料仍然源源不断从橡树岭和汉福德运来，化学家和冶金专家立即对它们进行加工处理。与此同时，三一工程的军事部分正在紧锣密鼓地进行：准备用来投放炸弹的飞机；训练空勤人员，选择轰炸目标。这一切都在洛斯阿拉莫斯军方指导下进行。对于这方面的任务，军方

用不着科学家帮忙，科学家主要忙于在阿拉莫戈多的最后测试。7月，许多物理学家搬到沙漠工地为最后测试做准备。要爆炸的原子弹含有钚239，测试时要将它放在一座钢塔的顶端，科学家要测量它在爆炸的一瞬间能量释放的各种形式：光、 $\gamma$ 射线、冲击波等。

我们住在临时工棚里，在准军事纪律下行动。费米参加了大部分的工作，他和安德森有一个特别的爆炸后研究计划：收集钢塔附近的沙和岩石；测量地面上发现的裂变产物。在沙漠里，白天热，而晚上比较凉快，偶尔出现很猛烈的雷阵雨。在这种陌生的环境里——蝎子和大毒蜥蜴到处都是，适应沙漠生长的植物看起来十分陌生——物理学家和他的助手铺设几千米的电缆，校正数不清的仪器设备，提出例行的程序，然后反复测试它们，而且经常是一个想法万一失败后，不能再次重复。这种条件对于一个实验物理学家来说是极不一般的。我们工作得非常努力——清晨时精力最好，当温度升高和太阳开始让人目眩时精力就差一些。到傍晚，我们非常疲倦地回到临时工棚的小屋里。我带着一本法国小说供闲暇时阅读，这是我几年前当兵时得到的经验，当我想重振精力时，就把自己的思想从当时的状况中抽出来，沉浸到另一个想像的世界中去。

7月15日，三一工程的测试一切准备就绪。那天晚上沙漠上下了一阵巨大的雷阵雨。我已经睡了，忽然被一阵不可思议的、非常奇怪的喧闹声吵醒。当这喧闹声还在继续时，我和阿里森带着手电筒走出小棚，我们惊讶地发现在一个有水的洞里，几百只青蛙正在做爱。很晚我们才回去睡觉，而且还感到担心，不知道这种天气会不会阻碍我们的测试。为了这次测试，我们精疲力竭地工作了好多年，而且它的结果事关重大。奥本海默、格罗夫斯将军和许多其他领导人物都在预先设计好的观察点就位了，格罗夫斯将军曾经描述过试爆前一天晚上他和奥本海默的活动。<sup>[1]</sup>我后来又睡了，我想，费米

[1] Groves, Now It Can Be Told, p.293.—作者注

也睡了。我们睡得正香时，格罗夫斯将军和奥本海默决定进行测试。我们都已被叫醒，然后进入预设的位置。离放炸弹的塔最近的位置是离塔 6 千米的庇护所。费米和我在最近的另一个设施里，离塔 9 千米，这儿不需要特别的庇护，但为了小心起见，我们躺在地上，脚对着炸弹的方向。没有测试任务的观察者离得更远，大约离塔 20 千米。阿里森在离我们 5 千米远的庇护所里，为电脉冲倒计时，电脉冲将引爆炸弹。清晨 5 点 30 分，炸弹爆炸了。

最震撼人心的印象是一种压倒一切的明亮的光。我曾经在 4 月测试类似的条件下，看见过一次巨大的——100 吨炸药——正常的爆炸，我被那次的景观惊讶得目瞪口呆。而这一次，尽管我们戴着黑色的眼镜，但仍然看见整个天空在一瞬间被不可思议的亮光照亮。由于我们的眼睛适应了黑暗，即使突然出现的亮光与平时白天一样，对我们来说也会比平常亮得多。我们从测量得知，炸弹的瞬间闪光比太阳亮好多倍。几分之一秒的时间里，在我们所处的地方，我们每个人接受的光足以产生晒斑。爆炸时我在费米旁边，但我不记得我们之间讲了些什么话。在爆炸的一瞬间，我突然产生了一个念头：大气可能会被爆炸引燃，接着是世界末日来临，虽然我知道这是不可能的。安全的边界保证这种灾难不可能发生。有见识的科学家排除了任何合理的恐惧，但是，人们还是会经常出现错误。

费米站起来，向空中扔了一些小纸片，让它们落到地面。这是一个简单的实验，测量爆炸时释放的能量：在静止的空气中，纸片会落在他的脚边，但是当冲击波到达时(闪光后几秒钟)，纸片将在冲击波传播的方向上发生几厘米的位移。根据炸弹到我们所处位置的距离以及纸片由于冲击波在空中位移的距离，他可以计算出爆炸的能量。费米为此还预先准备了一个数字表，所以他可以利用这种简陋的方法立即算出释放的能量。这个小故事曾经多次被人讲过，但它如此逼真地表现了费米的特征，因此我不能把它略去。而且十分重要的是，他的答案与精致的正式测量非常相近。但是，后者是在研

究了记录后几天才得出的，而费米几秒钟后就得到了答案。紧接着，在第一道曙光中，我们看见了核爆炸引起的第一朵由沙尘和蒸汽形成的蘑菇云。

大约在爆炸后一个小时，费米穿上防护服，带着一个辐射计，爬进一个经过特别屏蔽的坦克里，小心地行驶到爆炸的地方，收集需要分析的裂变产物。他惊讶地发现，在爆炸点下方的沙都熔化成了玻璃。这一天其余的时间里，我们收集各种仪器的记录，以及做其他必需的工作。一直到傍晚，我们才乘车回到洛斯阿拉莫斯。我们中的许多人在过去的36个小时里只睡了一小会儿，因此非常疲倦，幸亏有士兵在这糟糕的路上为我们开车。在我的记忆中，费米乘车而让别人开车，这是很少有的事情。当我们回到洛斯阿拉莫斯家中的时候，已经是半夜了。

原子弹成功的爆炸超过了我们的预计，它释放的能量明显接近上限，比我们颇为疑虑的估计要高。我们十分满意，也非常骄傲。虽然发生在阿拉莫戈多的事情仍然被官方作为秘密没有公开，但这个区域不同地方的一些人曾经看见巨大的亮光，洛斯阿拉莫斯的每一个人都会联想到，一定有什么非同一般的事情在沙漠里发生了。这个事件的非官方照片严禁流传，但是我的小组里一个年轻技术人员杰克·艾比(Jack Aeby)拍了几张彩色照片，后来在洛斯阿拉莫斯冲洗出来。这些照片拍得非常好，比实验室摄影组拍的官方照片出现得早。我们把先于官方的照片拿给奥本海默看，结果因为违犯保安规定而惹出了麻烦。我相信，这照片最终到了杜鲁门总统手中，那时他正在波茨坦与丘吉尔和斯大林一起开会。

阿拉莫戈多炸弹的爆炸结束了MED计划的初始阶段：主要的技术目的已经达到，虽然太晚了，以致未能对欧洲前线起决定性的影响。但这一丰功伟绩将在一个很长的时期里，作为人类冒险的一个伟大里程碑，屹立在那儿。

由于它成功地结束了日本人的战争，更加提升了所有参加这项研

制工作的人所得到的满足和骄傲。但是，与此同时，这种成功也使一件极重要的事得到许多参加原子弹计划研制的人员的日益关注：原子能的释放会产生什么总的结果？为了人类的利益，人们应该如何控制这种巨大的潜能？

这些问题过去是，今天仍然是巨大的问题，它可以很容易变成噩梦。一旦某个人认为必须制造原子弹来对抗纳粹的威胁，而且只要存在必须按照紧张的时间表完成技术工作的压力，人们就会考虑亟待完成的任务，而把那些不太紧急的问题搁置起来。当然，也有人怀疑这种工作的后果，但这些考虑最终不会有什么结果。的确，成功的保险系数一直都不很大，如果重元素的核性质有一点点不同于人们的估计，就有可能制造不出原子弹。但是，现在我们必须面对一些复杂的问题，不是技术性质的，而是决定于我们的教育、传统、文化、经验以及其他广泛变化的因素。在科学事务中，有一种共同的语言和价值标准，但在道德和政治问题上就有不同的语言和价值标准了。家庭传统、早期印象和学校，常常是不自觉地但却强有力地决定了对主流意见的多种看法。例如，略带一种传教士热诚的意味、坚定的牺牲精神和一丝狭隘心态的新教传统，就足以引导和打动像A·康普顿这样的人；但对于像西拉德这样的人就不够了，对费米也不行。这是因为他们是一些不可知论的国际主义者，有几个国家广泛的经历，熟悉各种不同的文化和对欧洲政治切身感受的认识。要调和这些差异是十分困难的，因为它们是基于不可衡量的而且经常是不自觉的因素。更有甚者，在科学中有一个最高法庭：实验，但这对人类事务却不见效。基于科学能力的权威被限制在技术领域里，而在其他地方则不被承认，这当然是有道理的。在物理学上不同意爱因斯坦的意见将是十分鲁莽的，但在政治问题上就完全是另一回事了。对格罗夫斯将军来说事情很简单：“我们有一个十分清楚、不可能出错的特殊目的。虽然开始对能否达到这一目的有许多疑问，但对这一目的本身没有任何疑问。因此，那些领导者能够把他

们的全部行动联合起来而取得成功。”<sup>[1]</sup>当然，这种说法只不过是一位将军的一己之见，它肯定不能代表诸如尼尔斯·玻尔、詹姆士·法兰克和利奥·西拉德的观点。费米没有表述他的看法，他小心翼翼地对待安全规则，因而肯定会缄口不言。我的印象是：与西拉德相比，费米很少激进；但与康普顿、奥本海默和劳伦斯比起来，他又比较倾向自由主义。

大部分有思想的科学家从一开始参加核能研究工作，就十分担心它的应用，但把这种想法转变为语言和行动，那又是另外一回事了。人们不清楚的是：什么是应该和可以做的。政治上的思考方法、历史的探讨、问题和使用方法的不确定性等，都是科学家形成方针策略的严重障碍。科学家习惯于在微妙问题上用简单性方法思考问题，而解决一个问题对他们则有一种特有的意义。当他们对付政治和社会问题时，他们习惯依赖的许多工具都失效了，于是他们不知所措、若有所失。实际情况正是如此，当1944年5月玻尔和丘吉尔会面时，<sup>[2]</sup>他们之间很难有真正的对话。

第一次把这些问题表述出来的是芝加哥冶金实验室的成员们。1943年秋天，当工作压力减弱的时候，他们有较多的时间思考诸如实验室的未来，以及与核能释放有关的道德和政治后果之类的问题。特别是那些年轻的科学家，他们开始不安静起来：年龄和经验没有损害他们的敏感性，他们开始担心他们自己未来的不确定性，以及另一些更大的问题。实验室主任康普顿明白这些问题，也觉察到科学家的焦虑。格罗夫斯将军也被告知此事，布什任命理查德·托尔曼(Richard C. Tolman)担任一个委员会的主任，研究原子能的未来。托尔曼是加州理工学院一位受人尊敬的物理学家。在冶金实验室，康普顿任命杰弗里斯(Zay Jeffries)为一个类似委员会的主任，杰弗里斯是

[1] Groves, Now It Can Be Told, p.414.—作者注

[2] A. Bohr, "The War Years", p.191.—作者注

通用电器公司一位著名的冶金专家。这个委员会既有政治方面的任务，也有技术方面的任务。费米也在杰弗里斯的委员会里任职，该委员会发表了一个报告，题目是“核子学简介”。<sup>[1]</sup>随着时间的流逝，这个问题变得更加紧迫、更加深远和更加难于解决。西拉德、夫兰克、尤利和许多其他深入参与过这个讨论的人提出了行动路线，写了备忘录，还拜访了一些政治家——当然，所有这些都在安全许可范围之内。

费米也像任何其他人一样思考过未来，但是他认识到技术决定和政治选择之间的区别，前者他完全胜任有余，但对后者来说他是一个常人，明显知道自己也会犯许多错误。他的支撑点是他的分析能力，对自己智慧的自信以及自己的正直，但是他不喜欢对用他习惯的思维方法不能解决的问题做出判断。当面临这样的问题时，他宁愿不表示自己的意见，尤其不公开表示。有人批评过费米的这种态度，但这种态度是植根于知识上的诚实和谦逊，或者，至少是对自己局限性的一种完全公正的评价。但是，他从不回避他的责任，当人们有求于他时，他会坚持不懈、全心全意地工作，并用一种对待科学问题的相同方法来解决这些问题。对那些容易考虑情感的人来说，这种方法常常显得冷冰冰的，特别是对那些言行和个性热情洋溢的人(如西拉德和尤利)来说，更是如此。我有时想，费米相信，当喧闹和激动的时光被长久忘记以后，只有物理学可以保留它永久的价值。知道执政官马塞卢斯(Consul Marcellus)和锡拉库萨<sup>[2]</sup>的人很少，但每一个人都知道阿基米德。

当布什和科南特就主要政策问题与陆军部长史汀生(H Stimson)进行讨论时，罗斯福总统(在1944年9月18日)会见了丘吉尔，他们讨论

[1] Alice Kimball Smith, *A Peril and a Hope* (Chicago and London: University of Chicago Press, 1965), p.539.—作者注

[2] 马塞卢斯(约公元前268—公元前208年)，古罗马名将。锡拉库萨(Syracuse)，古希腊城市，又译叙拉古，公元前734年，科林斯人来此居住。它位于意大利西西里岛东海岸，在卡塔尼亚南53千米处。——译者注

了原子能、炸弹和在原子事务中的英美关系等问题。会见后不久，罗斯福总统把布什召进了白宫，但布什不知道总统与丘吉尔的会谈，当总统谈到 S1 计划时，他没有告诉布什他与丘吉尔谈了些什么或他们之间的谅解。在以后的几个月里，布什和科南特在数不清的、盘根错节的重要政策问题上花了许多精力。<sup>[1]</sup>其中有一些非常紧迫，但现在回忆起来似乎并不重要；还有一些需要做出的重大决定，产生了长期的重大影响。史汀生试图让这些问题引起总统的注意，但是这位部长工作太多，而且已经 77 岁了，再说罗斯福也太累了，仅仅只有几个月的生命。在阅读关于这个复杂时期的一份摘要时，人们可能由于匆忙而太轻易对一些人作出判断，这些人(按丘吉尔所说)“被一个问题所困扰，高贵的读者，你还一直没有被要求解答这个问题”。<sup>[2]</sup>

罗斯福总统的死使布什的建议不能被实施，这个建议是在曼哈顿计划即将完成时所要求采取的行动。副总统杜鲁门不知道这个计划，但在接任总统职务后立即被告知了大概情况，他在罗斯福总统去世 13 天之后(1945 年 4 月 25 日)，经陆军部长史汀生和格罗夫斯将军介绍知道了详细的情形。几天之后，总统任命了一个高级委员会，由布什、科南特、K·康普顿、海军副部长巴德(R. A. Bard)、助理国务卿克莱顿(W. L. Clayton)、总统特别代表伯恩斯(James F. Byrnes)和陆军部长史汀生组成，史汀生任主席。这个委员会全面负责“当不能再进行充分有效的保密时，向我们政府的行政和立法分支提出行动建议。”<sup>[3]</sup>这个委员会是一个“过渡委员会”，因为在很多情形下，要实现它的建议需要议会决定，而那时由于保密的形势需要，不能做到这一点。这个过渡委员会指定一个科学家小组在技术事务上提出意见；这个小组的成员包括康普顿、费米、劳伦斯和奥本海默。这个

[1] Hewlett and Anderson, *The New World*, ch.10. ——作者注

[2] Churchill, *The Hinge of Fate*, p.561. ——作者注

[3] Smith, *A Peril and a Hope*, p.34. ——作者注

小组的责任的确很重大，除了其他一些事务，它们要对日本使用原子武器的技术问题提出建议。

1945年5月31日，过渡委员会与科学家小组在华盛顿特区一起召开会议，史汀生致开幕词，他指出委员会要就战时暂时控制、公开宣布、立法以及战后组织等问题提出建议。他和马歇尔将军两人负责原子能军事方面的建议，这就是马歇尔将军出席会议的原因，让马歇尔将军知道科学家的一手意见十分重要。史汀生希望委员会明白，无论是他还是马歇尔只是在军事术语的狭窄意义上考虑这个计划。他们把这个计划看做是人和宇宙的一种新关系，他们承认必须控制原子武器，如果可能，还要使它能够保证和平，而不威胁人类文明。史汀生希望会议能关注未来，考虑武器和非军事方面的发展、研究、国际竞争以及控制。<sup>[1]</sup>接着，是持续一整天的广泛而诚挚的讨论。科学家对史汀生有很好的印象；对于马歇尔，费米后来对我说，马歇尔将军有敏锐的智力和引人注意的个性。7月1日，过渡委员会与商界领导人物会见，6日，史汀生向杜鲁门总统报告了当时研制的进展，并特别讨论了国际控制的问题。<sup>[2]</sup>

当科学家们回到他们的实验室以后，他们开始完成在华盛顿接受的任务。同时，他们获得许可向自己实验室的成员告知过渡委员会的存在，并且在科学团体中征求建议和意见。这样做是必需的，因为他们受到同事们的压力，特别在芝加哥，反感情绪很高而且有很多议论。很多建议来自科学家小组，其中最重要和意义深远的是7月11日由夫兰克和他的6个同事递交的一份报告，<sup>[3]</sup>这6个同事是休斯(D.J. Hughes)、尼克森(J.J. Nickson)、拉宾诺维奇(E. Rabinowitch)、西博格、斯特恩斯(J.C. Stearns)和西拉德。

7月15~16日，科学家小组周末在洛斯阿拉莫斯相聚，这是为了

[1] Smith, *A Peril and a Hope*, p.36.—作者注

[2] Hewlett and Anderson, *The New World*, p.356—60.—作者注

[3] Smith, *A Peril and a Hope*, p.560.—作者注

准备给过渡委员会的报告。这个报告有三个部分。第一部分建议联邦政府为了原子能应用的基础研究，每年应开支 1 亿美元；保密应该减低到最小限度；应该寻求国际合作。第二部分建议，在不久的将来，应将 MED 的权限扩展到战后——这项工作每年要花费 2 千万美元。

最困难的问题出现在第三部分，即回答史汀生的代表哈里森谈到对日本使用原子武器的问题。一次原子爆炸演示——不是一次大屠杀——将肯定使日本投降，这是最称心的事。但是，这样一个计划的可行性是值得怀疑的。1945 年 7 月，武器还没有试验过，可裂变材料仍然生产得很慢。如果演示失败，或者演示后日本拒绝投降，该怎么办？我们没有足够的材料再迅速制造一颗原子弹。

这 4 个人绞尽脑汁地思考，思考在一个荒凉的岛上，或者在一个不会引起大量生命死亡的环境中作一次演示的技术可行性。虽然我没有个人直接的信息(直到费米去世，科学家小组的活动仍然保密分级)，但我可以轻易地想像费米为应答这种挑战，会如何紧张地集中精力思考。由科学家小组交给过渡委员会的建议书的文本，仅仅在一种精确解释的意义上是有用的：<sup>[1]</sup>

你们问过我们对新武器的开始使用做出评估。这种使用，按我们的意见，必须能够满意地促进我们对国际关系的调整。同时，我们认识到我们对国家的责任是，在对日战争中利用这种武器拯救美国人的生命。

为了完成这一目标，我们建议在使用这种武器之前，不仅仅必须通知英国，还应该通知苏联、法国和中国，说明我们欢迎他们就新形势下如何改善国际关系、促进合作提出建议。

我们的科学家同事们在开始使用这种武器的问题上，意见并

[1] Smith, A Peril and a Hope, p.49. ——作者注

不一致。有人赞成作一次纯技术上的演示，有的人则同意军事上使用而导致敌人投降。主张纯技术演示的人希望，在法律上规定使用原子武器为非法。他们还担心，如果我们现在使用这种武器，那么将来在谈判时我们的意见会受到误解。另外一些人则强调，在即将到来的战争中使用这种军事武器，可以为拯救美国人的生命带来机会，并且相信这种武器的使用将会改善国际前景。在这方面，他们更关心的是防止战争，而不是消除这种特殊的武器。我们发现，我们自己比较接近后一种意见。我们可以指出，技术演示不可能结束战争；我们可以看到，除了直接的军事使用，我们别无可以接受的选择。

至于使用原子能的一般观点，十分明显，作为研究科学的人，我们没有独占的权利。的确，我们中的一些人在过去的几年里有机会深入思考过这些问题。但是，我们不要求在解决政治、社会和军事问题上有特别的资格，这些问题由于原子能时代的到来已经呈现在我们面前。

接下来的几周，我们或是以小组形式或是以个人活动，尽力设法影响政府使用这种炸弹的决定，其显著的特点是几乎是以绝望的活动进行的。例如西拉德试图直接与杜鲁门总统对话，但他只成功地见到J·伯恩斯，而且对他产生了严重的误解。最后，责任落到了总统身上，虽然他几乎完全依赖于史汀生的建议，但最后的决定还是由他来做。他的决定对或不对将会争论很长的时间，但事后的判断是很困难的。前面摘引的丘吉尔的话，用在这儿肯定非常合适。我发现，很难相信杜鲁门总统——或任何美国总统——面对可以预料的死伤人数，会下令进攻日本和禁止使用一种可能立即结束战争的决定性武器。在广岛扔下原子弹以后，在长崎扔原子弹是不是扔得太早则是另一个问题。

1945年夏天，费米面临的不仅仅是重大的决定和上面所说的一些

问题，而且还有与个人有关的重要决定。战争结束后，他得想到他个人复员的问题。他该干什么？到哪儿去？他对未来的工作预先考虑得很多。他对我说，战争结束以后，他还得完成他生命的三分之一的工作。有一次我们谈到，洛斯阿拉莫斯可能会变成一所大学，如果真是这样，费米说他会留下来。高地的物理学和智力环境、它的研究设施，以及教育大学生的前景，统统都吸引着他，但在原子能研究组织没确定的情形下，这个实验室的未来变得更加不确定了。费米决定回到一所大学里去工作。

## 第五章

# 芝加哥大学教授

战争结束以后，当科学家们等待遣散以及许多机构的未来还不确定的时候，芝加哥大学采取了措施，提出了一个很有前途的科学发展纲要。康普顿急切地想让他的大学放弃战争时期分派的大部分技术性军事项目，并建立3个研究所：核物理研究所、放射生物学研究所和金属研究所。<sup>[1]</sup>新机构的一个重要特性是要与3个研究所的成员有密切的关系，而且模仿战争时期的洛斯阿拉莫斯各实验室学科之间的合作。他的想法和希望得到其他有影响的同事们的支持。他向校长哈钦斯(R.M.Hutchins)和大学管理人员们谈自己的想法时，发现他们都支持他的计划。1945年秋天，这个计划取得重要的进展，大学与MED的几个主要科学界人物洽谈，试图将他们吸引到新的研究所来。费米、史密斯(Cyril S.Smith，洛斯阿拉莫斯首席冶金专家)和哈诺

[1] 这个研究所的早期情况可见下面的文章：Samuel K.Allison，“Institute for Nuclear Studies，《The University of Chicago》，《Scientific Monthly》65(1947)：482.——作者注

德·尤利分别接受了三个研究所关键职位的任命，虽然它们还在组建之中。费米拒绝担任核物理研究所的主任，因为他不愿意承担行政工作。他成功地劝说萨谬尔·阿里森担任这个工作，这使他摆脱了行政职责，同时确保研究所有了一位真正优秀的领导。阿里森有些过分谦逊，一本正经地形容他的工作是“照料、维持和姑息这些书生们”。在费米活着的时候，他和阿里森合作得非常好。关于这两位朋友之间的关系和特征以及费米对研究所的影响，阿里森在费米死后的追悼会上对此作了动人的描述：

我想表达核研究所全体同仁们对他的感情。实际上，这个研究所是费米的研究所，因为他是激励我们智力的杰出源泉。正是费米，参加了每一次讨论班，并以他那无与伦比的才华使得许多新的思想或发现得到确认。费米总是早上第一个到研究所，晚上最后一个离开，每天为研究所倾注了大量的脑力和体力。由于他的在场、他冷静的判断力以及我们对他的极其敬重，才使得整个研究所充溢着和谐一致以及紧密团结的气氛。我之所以担当起研究所的日常事务和管理职责，实在是因为费米人格的感召和催促。

我所说的都是客观的陈述，完全没有感情因素的激发。所有认识费米先生的人都会很快承认，他具有人类最不寻常的才智和能力。我们以前可能见到有人具有他的那种精力或简单性和诚挚，甚至见到过有人具有他那种辉煌的智力，但是有谁在一生活中见到过这么多的品质集中到一个人身上？<sup>[1]</sup>

费米接受了教授职务，于1945年6月1日开始生效，一年的薪俸

[1] Samuel K. Allison, “Enrico Fermi, 1901—1954”, Physics Today 8 (1955): 9.—作者注

为 15 000 美元。一个严格完全雇用条款把他从咨询、图书版税和其他类似活动中的所有可能收入都转归到大学。费米小心翼翼地记账，在他的文件中有许多到洛斯阿拉莫斯、华盛顿或其他地方旅行的费用分析，他以此来决定哪些可以报销，哪些不能报销。在他的一封信中，有一个对迂腐官僚作风的恰当评论：“尽管人们认为我掌握了数学技巧，这是事实，但我不能用适当的方法算清我最后一次到 Y 地旅行的费用。”当全雇佣政策变为可以自由选择以后，他愉快地抛弃了前者。他的薪俸也逐渐增多，到 1951 年已有 20 000 美元/年。研究所的规划者希望从私人财团获得财政资助，因此需要芝加哥主要商家的帮助和合作。费米准备参与到募捐活动中，以与自己在筹建中的研究所的永久职位相称，但他的同事们劝告他，尽可能少地考虑他本人十分清楚但却不可表示出来的愿望。

1945 年 9 月 1 日，当大学正式宣布新研究所成立时，阿里森作了一次演讲，演讲中他强烈地抨击了被夸大的保密需要，强调自由交换科学信息的必要性。他说，如果这一点被军方规则阻碍了，美国的研究人员将离开原子能研究领域，改行去研究“蝴蝶翅膀的颜色”。<sup>[1]</sup> 费米加了一句：“不是我们不愿为政府工作，而是我们不能为政府工作，除非研究是自由的和免除控制的，否则美国将丧失在科学竞争中的优势。”<sup>[2]</sup> 类似这样的一些讲话，由受人尊敬的一些重要人物，如以温和判断冷静著称的阿里森及非常沉默寡言和保守的费米讲出来，给新闻界留下很深的印象，格罗夫斯将军对此迅速做出反应。

格罗夫斯试图劝阻科学家不要再往下说。他透露风声说，国会将讨论一个与原子能有关的议案，公开讨论它可能会对议会通过这个议案有不好的影响。但这个议案几乎完全是由军方准备的，而科学家根本不知道其中的细节。这一事实立即引起了强烈的猜疑和反

[1] Smith, A Peril and a Hope, p.89.—作者注

[2] Hewlett and Anderson, The New World, p.422.—作者注

对，于是在立法过程中引起了长时期的激烈争论。科学家——尤其是芝加哥年轻的科学家——迅速组织起原子科学家联盟(Federation of Atomic Scientists, FAS)，以继续坚持他们的思想。这个组织立即扩大到橡树岭、洛斯阿拉莫斯，伯克利也有一部分人加入了联盟(这儿的劳伦斯对联盟不表同情)。联盟首先的任务是要教育公众(包括议会)，了解事情真相，然后保证平民控制原子能，如果可能的话，签署国际原子协议。反对者主要反映了军方的思想。也许双方的最终目的并没有什么不同，但是，反对者强调的是国防和安全。与科学家相比较，反对者更相信“原子秘密”的价值。

费米发现自己卷入到争论中了，但是，像以前一样，他很冷静地看待这场争论，从不十分激动。虽然他肯定不会敌视FAS，但没有参加这个组织，也没有支持《原子科学家公报》(Bulletin of the Atomic Scientists)。这份期刊代表了许多有政治倾向的科学家，它在使公众了解复杂的技术事务方面作了很多工作。在一封1945年9月14日写给哈钦斯校长的信中，费米表示了他的观点。这是费米极少数公开就政治问题表述看法中的一次，因此，我将它转载于下。哈钦斯曾经就原子能问题召开一次会议，邀请了约50位不同领域里的知名人物——其中有经济学家和从事政治事务的科学家：商业部长亨利·华莱士(Henry Wallace)、田纳西河流域管理局局长和未来的原子能委员会(Atomic Energy Commission)主席大卫·利连撒尔(David Lilienthal)、新泽西贝尔电话公司经理切斯特·巴纳德(Chester Barnard)。费米没有参加，但他送去了下面一封信：

我相信，下面的一些观点会得到普遍同意：

这种新式武器的摧毁力是如此之大，在战争中如果双方都有原子弹，而且都好战，那么即使是胜利者，他们的城市也会被夷为平地。

原子弹可以给突然进攻者以空前未有的好处。

防御和攻击之间的平衡极易变化，这支持上述第二点。也许最有效的防御措施是尽力分散我们的都市和产业中心。

我相信下面的几点也同样真实，虽然也许只有较少的人同意它们，至少在非科学界是如此：

这种工业发展方面的保密，仅仅能使一个有潜在竞争能力的国家的发展延缓几年而已。

保密在科学发展态势上不仅是一点小的影响，而且必然迅速阻碍这个国家核物理学的进步，其影响程度甚至可以使得我们很难了解世界其他地方在这个领域的新发现的价值。

由以上几点可以得到一个结论：这个国家必须在一个非常有限的时间里，制订一个面对新危险的政策，而且要尽快让这个政策运行。行动缓慢，希望事情会自己有一个满意的解决，或者半心半意地进行军力竞争，按我的看法都会导致致命的错误。

签署一个诚实的国际协议的可能性，将会带来活力和希望。这种协议可以证明是可能签署的。但我知道，这种看法只是这样一些人的热切希望，这些人曾对这种武器的研制作过贡献。在他们乐观的时候，他们表述了这样的观点：新的危险也许可以导致各国之间比此前可能想到的有更多的了解。

我之所以感到遗憾没能参加这次会议，其主要理由之一，是我失去机会聆听处理国际事务经验比我丰富的人的意见，和在有效控制措施保证下达成国际协议的可行性。

关于和平使用原子能的可能性，我谈几点看法。原子能在工业和科学上的应用将比物理学发展得更迅速，这是没有什么疑问的。一份国际协议的最大好处之一，是可以摆脱新发现在战争上利用的阴影，而允许工业和科学上应用的自由发展。

请接受由于未能参加这次会议给我带来的遗憾。<sup>[1]</sup>

[1] Smith, A Peril and a Hope, p.96. ——作者注

保密是最重要的问题之一。公众中有些人认为，应该不惜一切地保持一个原子弹“公式”的秘密。这样天真的人很少。但是另一个方面，真正了解保密政策带来的所有结果的人，也只是很少的一些人。1945年8月，政府在取得军事部门同意后，允许公开史密斯报告；这是一个很好的报告，主要是美国原子能方面成就的纪录，为形成一种有教养的公众舆论提供了必需的信息。它在结束的一段中写道：

由于军事保密的限制，因此没有机会在议会或公众中辩论这些问题。它们曾经被所有知情的科学家慎重考虑过和激烈争论过，所得到结论也曾经在最高当局获得通过。这些问题不是技术问题，它们是政治和社会问题，而它们的答案可能影响整个人类几代人。在思考这些问题时，作为美国的公民，一直思考这个计划的人非常关注人类的幸福。这是他们以及了解情况的负责任的高级政府官员的职责，要超越现在战争和武器的局限性，看到这些发现的意义，这是一种沉重的责任。在一个像我们这样的自由国家，这样的问题应该由人民辩论，应该由人民通过他们的代表来做出决定。这是为什么要公开这个报告的一个理由。这是一个半技术的报告，希望这个国家懂得科学的人利用它帮助他的同胞做出聪明的决定。这个国家的人民必须知道这些信息，如果他们想聪明地履行他们的责任的话。<sup>[1]</sup>

这个报告的目的阐述得十分清楚，虽然因保密要求引起的矛盾仍然存在而不得不作一些掩饰。

不可避免的是，这份报告报导了重要的和有价值的技术信息，描述了主要的发展路线和获得的主要成就。鉴于这些重要的政策决定

[1] Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes*, par.13.8.—作者注

在战争时期的确很难做出，所以人们不能否认史密斯报告具有高度的军事价值。因此它的公开就与保密政策不一致，虽说如此，陆军部还是指令格罗夫斯将军签名批准。在史密斯报告的前言中格罗夫斯写道：

原子弹的研制是美国许多研究小组联合努力的结果，其中的经历非常吸引人，但它又是一个庞大的企业高度技术化的历程。虽然，军事上的保密使得现在不能把这个经历全部讲出来。但是，我们没有理由在今天还不将原子弹计划行政管理中发生的事，以及基本的科学知识公之于众。H·史密斯教授的这份报告达到了这一目的。

所有现在可以公之于众的适当信息，只要不违背国家安全需要的，都包括在这份报告中。除此以外，无论个人还是组织，不必知道更多与计划直接或间接有关的信息。

格罗夫斯试图协调不可能协调的事情，而整个报告是一个困难的走钢丝表演。虽然它公布了，但陈腐的保密观念还是毒害了国际关系，使原子能的控制成为不可能，还造成了其他有害的结果。保密，在政治游戏中是一张暂时玩的但却很有用的纸牌，但玩得适当却十分困难。它阻碍了研究，在科学家中造成难堪的局面，偶尔还会使它为个人利益服务。费米对哈钦斯校长关于保密的陈述显然是正确的。

对原子能立法成了越来越紧迫的事情。1945年10月3日，杜鲁门总统在一封给国会的咨文中，为这个立法拟出了几条主要的原则。科罗拉多州的参议员约翰逊(E.C.Johnson)和肯特基州的代表安德鲁·梅(Andrew J.May)提出了一个议案，这个议案是由几位陆军部支持的专家拟出的，它给了军方在原子事务中一个突出的发言权。议案的发起人匆忙地举行了听证会，希望迅速通过这一议案，但是他们完全

预料错了，这个议案引起了科学家和一些政治家的强烈反对。令人想不到的是，奥本海默、费米和劳伦斯签名发了一封电报给陆军部的帕特森(Robert P.Patterson)，支持梅-约翰逊议案。<sup>[1]</sup>

我们全力支持国会通过这项立法议案，成立一个原子能委员会。我们从在这个领域里实际工作的人那里知道，推迟议案的通过，将会在效率、成就和精神上付出沉重的代价。我们相信，只要运用我们的智慧，就可以在提出的议案框架里安全、有效地操作，而且更好地符合国家利益。我们相信，这个问题的重要性和危险性将证明：由立法赋予委员会的广泛权力是正确的。我们认为，有必要让美国人民充分了解新技术状况的结论，但是，我们相信，提议中的法案将使这成为可能，因为他们的愿望和决定是负责任的和完全可以实现的。我们深信，在我们看来，这个法案是一项有充分根据和深思熟虑的成果。

179

J·奥本海默

E·费米

E·劳伦斯

这封表示赞成的电报并没有减弱其他科学家的反对，他们3人没有能够将他们在技术上受人尊重的领导意见和自信扩大到政治判断上。在重新开始的听证会上发生了激烈的论战，这场论战持续了几个月，直到这个法案被麦克马洪议案替代为止。这个新的议案强调非军人的控制，更能为原子科学家联盟所接受。1946年，联盟试图让费米和其他梅-约翰逊议案的支持者在麦克马洪议案上签名，但开始没有成功。费米用文字表述了他不赞成的理由。<sup>[2]</sup>他列出了10个

[1] Smith, A Peril and a Hope, p.142.—作者注

[2] Smith, A Peril and a Hope, p.383.—作者注

反对理由，其中包括：议案有妨碍原子发电的倾向；政府直接控制设施而不经过承包商；没有强调原子能在国家安全中的作用；以及军队没有足够控制纯军事应用的能力；等等。这些反对意见中的许多意见在准备立法时作了修正。在这个议案通过之前，国会就诸如原子能委员会的组成和权力、研究、可裂变材料的生产、安全、专利保障、与军方的协作，以及私营工业公司在原子能应用中的作用等进行了辩论。

所有这些结果都包含在 1946 年的原子能法案中。杜鲁门总统在 8 月 1 日签署了这一法案，它现在一直还是美国与原子能有关的基本法。这个法律为成立一个非军方的原子能委员会(Atomic Energy Commission, AEC)提供了保证，这个委员会由 5 个被总统任命并由参议院通过的委员组成。这个委员会有两个顾问部门：总顾问委员会(General Advisory Committee, GAC)，由科学家和工程师组成，为技术问题提出意见；军事联络委员会(Military Liaison Committee)，由军事部门的代表组成，他们为防御问题提出意见。政府的立法分支则通过原子能国会联合委员会(Joint Congressional Committee on Atomic Energy)发挥和实施它的影响。AEC 的首任主席是大卫·利连撒尔。GAC 的首任成员是奥本海默(主席)、科南特、杜布里奇(Lee Du Bridge, 加州理工学院的院长)、哈特莱·罗(Hartley Rowe, 联合果品公司的首席工程师)、胡德·沃欣顿(Hood Worthington)、C.S. 史密斯、西博格、拉比和费米，其中沃欣顿很快被贝尔实验主任巴克利(O.E.Buckley)替换。

费米从 1947 年 1 月 1 日到 1950 年 8 月 1 日任期满为止，一直在 GAC 任职。任期满了以后，他请求不要再任命他，因为这时出现了意大利的专利问题，一个与专利所有权相矛盾的建议使他感到愤怒。当他在 GAC 服务期间共召开了 21 次会议，他出席了其中的 18 次会议。因此，他每两个多月就要去华盛顿开上 2~4 天的会。但是，为开会做准备的时间就要长得多，尤其是对于像费米这样正直尽责的人。

我从西博格(现任 AEC 主席)那儿得到有关 GAC 在费米任职时运

作方式的信息，因此我得感谢他。GAC的主席奥本海默和这个委员会的其他一些成员，以及AEC的主席和这个委员会的其他一些成员，向GAC提出问题。这些问题的内容非常广泛，例如：

1. 涉及原子武器的政策；
2. 发展热核武器的政策；
3. 从反应堆经济学的角度来看， $^{235}\text{U}$ 、Pu 和  $^{233}\text{U}$  合适的生产率；
4. 示踪同位素合适的生产率；
5. 伯克利加速器的计划；
6. 氢弹的保密；
7. 同位素配置计划；
8. 原子武器的国际控制；
9. AEC 的承包关系；
10. 原子武器的保管；
11. 工程人员的训练；
12. 非保密的研究领域。

委员会主席奥本海默和约翰·曼内博士(GAC的兼任秘书)准备议程。曼内曾经在洛斯阿拉莫斯一个小组当过组长，他认识委员会里的大部分成员，他作为一个有才能的物理学家，以及他的机智和冷静的判断颇受大家的尊敬。在战前，他是伊利诺斯大学的一位物理学教授，很早就加入了铀计划，在战后，除了任西雅图华盛顿大学物理系系主任的一段时期以外，他仍然为该计划工作。会议记录没有保留下来。每次会议以后，通常在第二天由委员会主席写总结信函，送给AEC的主席。在有些讨论中，费米的意见起了主导作用。例如在最早期的会议中，他强调在洛斯阿拉莫斯保持一个强大的实验室的重要性，并且说这件事比发展民用发电的反应堆更为重要。他还强调试验现有核武器和加紧研究热核武器的重要性。他还强调建立一个高磁通量反应堆的重要性，并在几次会议上提出这一意见，直到这个意见被通过为止。

GAC有些成员建议，建立一个中心实验室或几个中心实验室，由AEC来操作，但费米坚持加强现在已有的实验室，尽管它们由于历史的原因，位置不太方便。他强烈主张裂变物质的生产要保持平衡——也就是说，在气体扩散工厂和钚反应堆之间要有一个适当的关系。他从最开始就主张，提高汉福德工厂钚的生产能力，设计和制造技术更现代化的生产型反应堆。

他坚决主张放射性同位素要销售到海外，并且建议在销售名单上加上氚——这时正是在分享核研究成果意见分歧十分尖锐的时候。早在1947年他就建议，在世界范围内建立网络，以测定和证实国外核武器试验产生的裂变产物碎片。这样的一个网络现在成为一种重要方法，使美国得知前苏联和后来其他国家的核爆炸。费米还让人们注意核武器运送问题的重要性。

费米在许多情况下一再强调技术信息解除保密的必要性，批评盲目迷信保密和这种迷信的荒谬之处。他还特别强调，必须在军事领域里降低足够地保密等级，允许负责任的军事人员正常的思考和计划。他觉得，关于核武器的威力有太多的错误信息，这使得了解它们的未来前景、它们的物理学维度，以及在一个广泛基础上对类似事务做出军事计划几乎是不可能的。在苏联宣布第一颗原子弹爆炸的阴影下，1949年10月29日提出了一个重要的问题，GAC被问到：在发展氢弹的问题上应该付出多大的努力。那时，氢弹的研究还刚开始，能否成功也还不知道。一个限期完成的计划将会分散普通原子武器制造的巨大力量，势必会削弱国家的军事态势，而且竭尽全力的政治后果也不会引起GAC的兴趣。他们反对限期完成的建议获得一致通过(西博格那天缺席)。费米和拉比对这个建议加上了一个少数人的报告：

这种武器的破坏性没有限制，这一事实是非常现实的，而且我们知道它的破坏性对人类整体是一个危险。无论从哪个角度

看，它绝对是一种可怕的事。为此，我们相信，重要的是，美国总统应该告诉美国公众和全世界人民，在基本的道德原则上，着手发展这样一种武器是错误的。<sup>[1]</sup>

AEC 按照 GAC 的建议作出了决定，但斯特劳斯委员和(后来)戈登·迪安(Gordon Dean)委员有不同意见。AEC 的决定遭到许多科学家和政治家的攻击，但也有很多人为它辩护。同意限期完成计划的人中最著名的人物有劳伦斯和特勒。一场激烈的争论(大部分是不公开的)使科学界发生了分裂，并留下了深深的伤痕。<sup>[2]</sup> 最终，在 1950 年 1 月 31 日，杜鲁门总统作出了决定，下令尽一切力量发展热核武器。技术上的困难层出不穷，许多最聪明的人，包括贝特、费米、特勒和冯·诺依曼等人，都必须做很复杂又很长的计算，以确定当时已有的一个制造热核武器的方案是否恰当。结果是否定的，这使许多物理学家松了一口气。但是，1951 年由斯坦·乌拉姆(Stan Ulam)和特勒的一个发现，又打开了制造热核炸弹的道路。<sup>[3]</sup>

战后年代顾问委员会的工作，是费米主要的公共职务。当他的任期结束以后，他十分高兴。他像以前一样努力而正直地工作，但人们感觉到在提建议或在决定国家政策的头等大事时，他并没有得到真正的愉快。他对待公职的态度是：他在本质上是一个科学家，不是一个干公务的人。

现在让我们离开政治和行政管理事务，像费米可能说过的那样，回到科学“更适合呼吸的空气中”(Più spirabil aure)(这是引用曼佐尼说过的话)。1945 年秋天，在洛斯阿拉莫斯的每一个人，都认真讨论了我们必须做出的一个科学上紧迫的决定。尽管核物理已经取得的巨

[1] In the Matter of J.R. Oppenheimer, p.79—80.—作者注

[2] 参见 J.Stefan Dupré and Sanford A.Lakoff, *Science and the Nation: Policy and Politics* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962), ch.8.—作者注

[3] Stan M.Ulam, “Thermonuclear Devices”, in *Perspectives in Modern Physics*, ed.R.E. Marshak(New York: Interscience, 1966), p.593ff.—作者注

大成功，并可能立即达到一种成熟的状态，但是费米却因此对它逐渐失去了兴趣。他回忆起大约 15 年前从原子物理学到核物理学的迅速变化，并借用(带有他那嘲弄的微笑)墨索里尼的一句口号“或者更新自己，或者灭亡”，法西斯党徒们常常把这句口号刷在意大利的建筑物上。费米是对的，但放弃他非常熟悉和非常成功的领域而进入一个前所未有的、工具和设施才刚刚为人所知的新领域，这需要坚忍不拔的毅力和慎重的思考。另外，借用邓南遮(Gabriele d'Annunzio)<sup>[1]</sup>的一句话：“要想超越，永远不会太迟；要想尝试未知，也永远不会太迟。”核物理学当然还有值得研究的，直到新的设备为亚核世界的基本粒子研究作好准备；但是，转变终究会到来的。现在正是恰当时机，为它的到来准备好所有已经知道的知识和建设必不可少的工具。

费米、阿里森和我沿着豆角峡谷向里奥格兰德走去时，沿途沙漠中生长着奇形怪状的仙人掌和矮松，途中我们讨论了这个问题。我不知道费米是否明白，这种研究可能立即需要几百兆电子伏的加速器。他对加速器很有兴趣，一直跟踪它的发展，但他的态度更像是一个建造加速器的人，而不像是一个使用者。物理学可以制造出一台加速器，但物理学不是加速器自身，这种观念更符合他的心愿。同样，他以极大的注意力研究和跟踪宇宙射线，当时这是唯一的重要高能粒子源。

1945 年 12 月 31 日，费米和他全家离开洛斯阿莫斯，回到了芝加哥。几个月以后，他们在 5327 大学大道上买了一栋 3 层楼的房子，这房子的房龄大约有 40 年了。大部分家具都是战前从意大利搬来的，其中有些古代不同时期的珍品。虽然美国室内装修杂志的编辑不一定会喜欢这些家具，但它与主人好客的个性和喜欢简单性的品味非常和谐。在地下室里，费米布置了一个小小的车间，有一些动力

[1] 邓南遮(1863—1938)，意大利诗人、小说家和政坛上的领袖人物。——译者注

和工具。他们的女儿勒娜上大学了，儿子朱利奥在芝加哥大学实验学校。

在芝加哥，费米发现了许多朋友：阿里森、史密斯、尤利，还有特勒，他成了新研究所的高级研究员，他们全家都住在费米隔壁；还有其他一些大学内外的朋友也都比邻而居。一些年轻人如赫尔伯特(Herbert)、琼·安德森(Jean Anderson)、约翰·马歇尔和列奥娜·马歇尔都成了费米的同事，还有许多研究生经常来拜访费米。费米喜欢年轻一代的伙伴，经常高兴地参加他们的游戏、方块舞和其他一些活动。他家的许多备用卧室常常被来访的人占用：老朋友、以前的学生。美国、意大利的同行在旅途中经过芝加哥时，也把这儿作为一个中转站。芝加哥大学同仁俱乐部——四边形俱乐部的午餐，也为同事和来访者提供了另一些有趣的谈话机会。费米又可以继续告知大家物理学将要发生些什么，尽管他没有时间读很多东西。交谈成了他获得信息的主要来源。研究所的低级研究人员〔如J·安德森、马歇尔夫妇、休格曼(Nathan Sugarman)、图克维奇(Anthony Turkevich)和其他几位〕以及几个博士后正处在他们精力的顶峰，充满了热情和兴趣，使得芝加哥大学颇有生气。那些从洛斯阿拉莫斯、冶金实验室和类似地方新来的研究生们代表着未来。我鼓励洛斯阿拉莫斯与我一个小组的年轻人欧文·张伯伦(Owen Chamberlain)和乔治·法韦尔(George Farwell)到芝加哥大学费米的手下完成他们的学业，同样，洛斯阿拉莫斯理论部的乔弗瑞·丘、戈德伯格(Marvin Goldberg)和哈诺德·阿戈(Harold Argo)也来到了新成立的研究所。这件事迅速传开了，于是一群非常优秀的学生云集芝加哥大学，他们至少部分是被费米的名声所吸引。这些人包括(还不够完全)：阿格纽、加温(R.L.Garwin)、拉扎鲁斯(David Lazarus)、莫里什(A.H.Morrish)、内格尔(D.E.Nagle)、赖茨(J.R.Reitz)、罗森布卢斯(M.N.Rosenbluth)、瑟洛夫(Walter Selove)、斯坦柏格(Jack Steinberger)、斯特海默(R.M.Sternheimer)、瓦肖(S.Warshaw)、瓦滕伯格、沃尔芬斯坦(Lincoln Wolfenstein)、罗森菲尔

德(A.H.Rosenfeld)、奥里尔(Jay Orear)、斯吕特(R.A.Schluter)、塔夫脱(H.D.Taft)和尤迪(G.B.Yodh)等人，从遥远的中国来了杨振宁和李政道。核物理研究所主要是一个研究机构，不授予学位，但费米也是大学的一个教授，有正式的教师职责。他在很多科目上正式授课，例如热力学、统计力学、核物理学、量子力学以及固体物理学。在准备这些课程时，他将长期教学和研究实验的成果提取精华、写成笔记，然后用到教学上。他的一些笔记——例如关于量子力学的——还不断地在改善(他死前不久最后一次的改写稿后来出版了，发行很广)。<sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup> 费米也非常热心地为一次著名的物理研究生综合考试编制考试卷子。<sup>[3]</sup> 每一位芝加哥大学的物理教授都为这次考试拟出了一些问题让学生笔答，这次考试花了几天的时间。这是一次很困难的考试，有一次费米微笑地说，他是同仁中唯一能回答全部问题的人。(在他的试卷中，我发现一些试题他曾经在私人宴会中解答过，每个问题的答案通常都只有一行文字。)而且，费米还准时出席和积极参加两个周会：研究所每周三非正式的讨论班，在会上研究所的全体人员简单报告最近的研究(费米常常自愿地讲他忽然想到的任何问题——从星系的磁场到洋流，或者  $\pi$  介子散射)；还有一个会是比较正式的理论讨论班，在温策尔的办公室举行，有预先指定的专题报告和一个指定起草报告的人。在后一种讨论班上，参加者要熟悉理论中的现代发展：量子电动力学、 $\pi$  介子理论等。

当特勒在芝加哥大学时，他经常与费米讨论，费米非常欣赏特勒非同一般的、丰富的原创性思想。费米常常把讨论迅速向前推移到特勒远没有研究的问题上——特勒有时没有机会享受抚育他自己创造

---

[1] E.Fermi, *Notes on Quantum Mechanics* (Chicago: University of Chicago Press, 1961). ——作者注

[2] 这本书有罗吉庭的中译本《量子力学》，西安交通大学出版社出版，1984年。——译者注

[3] A.J.Cronin, D.F.Greenberg, and V.L.Telegdi, *University of Chicago Graduate Problems in Physics: With Answers* (Reading, Mass.: Addison Wesley, 1967). ——作者注

成果的乐趣，虽然费米对他的贡献给予了充分的肯定。

对我来说，费米在芝加哥大学教研究生的方法，在很多方面似乎与早期在我们罗马小组时差不多。他最优秀的学生之一杨振宁曾经写道：

1945年11月，我由中国来到美国，决心拜费米或维格纳为师。但是我知道，战时的研究工作使他们离开了各自的大学。记得我到纽约后不久，有一天走了很长一段路来到普平楼，<sup>[1]</sup>登上8楼打听费米教授近期是否即将授课。遇见的几位秘书对此都一无所知。然后我到普林斯顿去，结果又令我大失所望，因为在下一年度维格纳要休假。但在普林斯顿，我从张文裕教授那里得到消息说，有可能在芝加哥大学建立一个新的研究所，而且费米会加入该所。我随即去芝加哥并到芝加哥大学注了册，但直到1946年1月，费米开始讲课，我亲眼见到了他，一颗心才放了下来。

众所周知，费米的讲课非常明白易懂。他的特点是：每个专题都从头讲起，举简单的例子并且尽可能避免“形式主义”（他常常开玩笑说，复杂的形式主义留给“主教们”去搞吧）。他推理简明，给人的印象是得来全不费功夫。但这种印象是错误的，他的简明是精心准备，反复推敲，权衡各种不同描述方式的利弊之后才得到的。1949年春天，费米讲授核物理学（后来由奥里尔、罗森菲尔德和斯吕特整理成书出版），有一次费米因为有事要离开芝加哥几天，让我代他讲授一堂课。他把一个小笔记本交给我，上面写满了他为每一节课认真准备的每一个细节。行前他和我一道将全部内容讨论了一遍，解释每一个讲法后面的推理过程。

[1] 普平楼是哥伦比亚大学物理系所在地。——译者注

费米习惯于每周对很少的几个研究生作一两次非正式的、没有什么准备的讲演。大家聚集在他的办公室，然后由他或某个学生提出一个专门的课题。接着费米就查阅他那些作了详尽索引的笔记本，找出关于该专题的笔记，随后给我们讲解。我还保存着 1946 年 10 月到 1947 年 7 月我参加他的晚间讲演时所作的笔记。照原顺序排列有以下题目：恒星的内部构造及其演变理论、白矮星的结构、伽莫夫-熊伯格(Gamow-Schönberg)关于超新星的构想(由于电子被核俘获而产生的中微子冷却)、黎曼几何、广义相对论与宇宙学、托马斯-费米模型(Thomas-Fermi model)、处于高温与高密度的物态、托马斯因子 2、中子被仲氢和正氢的散射、同步辐射、塞曼效应、电路噪声的“约翰逊效应”、玻色-爱因斯坦凝聚、多频系统与玻尔量子化条件、玻恩-英费尔德基本粒子理论、统计力学基础的概述、介子在物质中的减速、中子在物质中的减速等。这些讨论维持在初级水准，费米总是强调论题的本质与实用，所采取的方法通常不是分析性的，而是直观的和几何的。

这么多年来，费米一直就物理学的各个不同科目做着详细的笔记，从纯理论物理到纯实验物理，从三体问题的最佳坐标这样简单的问题到广义相对论如此深奥的科目，这一事实本身对我们所有人就是重要的一课。我们懂得了，这就是物理学；我们懂得了，物理学不应该是专家的学科，物理应该从平地垒起，一块砖一块砖地砌，一层一层地加高；我们懂得了，抽象化应该在仔细的基础工作之后，而决不是在它之前。从费米的这些演讲中我们还懂得了，他对使用台式计算机作简单的数字运算很感兴趣，没有厌恶这一类工作。

除了正式和非正式的课程以外，费米还将他的午餐时间几乎全部献给了研究生(起码在 1950 年之前是这样)。午餐时进行的谈话很自然地涉及各种内容。我们发现费米有一些保守，喜欢

独立思考。我们注意到他讨厌任何形式的做作。关于我们的研究工作，他有时会给一些概括性的忠告。我记得他曾经强调，一个年轻人应该将他的大部分时间用于解决简单的实际问题，而不是深奥的根本问题。<sup>[1]</sup>

这就是费米给予杨振宁的忠告，而且影响了他自己早期的学术活动。他们还例外地合写了一篇论文“介子是基本粒子吗？”，这篇文章肯定涉及到一些基本的和深奥的问题。在这篇文章中，他们提出了一种思想：介子也许是一个核子和一个反核子的紧密联合体。这种思想可能不是全新的，但作者们却想定量地发展它，并想从核力的性质来推断这种思想。这种早期不成熟的努力在核物理学上产生了一些影响，而且它的基本思想得到后来研究的某些证实。

费米不愿把自己限制在教高年级学生课程中，他认为初学者应该与正在进行研究的科学大师接触，这比只接触教书匠要好得多。他常常梦想能在一群开始学习直到学完的学生小组里，教所有的物理学课程(尽可能也教数学)。他没有机会实现这一梦想，但是，他在大班教过标准的初级物理学课程，他不仅投入巨大的热情，而且教得十分成功。十分可惜的是，就我所知这种讲课没留下记录或影片。

费米偶尔会讲到老了的时候他将做些什么。他说，最理想的计划是退休以后到美国东部一个小的常春藤学院教物理，并且写一本书，其中包含物理学中所有的难点，而这些难点常常被诸如“众所周知”这样的词语所掩盖过去。我认为，对这种设想他是很认真的，因为他开始收集一些十分重要的问题，甚至问过我，还把那些看似基本的但我却没有真正弄懂的问题匆匆记到笔记本上。这本书对物理学家一定会非常有用，还可能成为物理学中经久不衰的畅销书。不

[1] FP, 2: 673. 当我代替费米上某些课程的时候，我也有相似的体验。而且，费米在芝加哥大学非正式讨论班里所强调的科目，与罗马大学强调的有相当一部分是重叠的。费米认为这些科目对一个未来的物理学家来说，非常重要。——作者注

幸的是，他甚至没有时间开始写这本书。

回到芝加哥大学以后，费米可以重新随便进入阿尔贡实验室，他可以在这难得的机会中利用反应堆产生的强中子源。因为乘汽车从大学到阿尔贡实验室只需一个小时，因此费米可以在这两个地方正式工作。这有着双重的重要性，因为新成立的研究所既没有房屋又没有加速器。他充分利用阿尔贡实验室的设施继续做实验，这些实验都是战争时期研究工作的自然延续。在与列奥娜·马歇尔一起作了一系列的研究以后，他测试了相干和不相干的中子散射。在这些研究中，他充分利用了散射长度的概念和他在学生时代学到的一种固态物理学知识。在我看来，这些研究是费米作为一位实验物理学家的惊人典范。这还不是他最重要的工作，但就方法的简单性和经济性来说，无论在理论和实验上，或就真正的精致美来说，都堪称经典。他通过这些研究所开辟的新课题，在以后的年代里得到巨大的发展，现在已经成为科学上的独立分支。<sup>[1]</sup>

战后，核实验材料的巨大发展，允许对诸如同位素丰度、稳定性曲线、蜕变能(disintegration energies)、自旋和磁矩之类的专题进行系统的研究。费米对这些研究很有兴趣，经常与玛利娅·梅耶(Maria Mayer)谈到它们，梅耶在1948年积累和系统考查了这些实验材料。当她试图整理这些实验结果时，她发现在了一种核壳层模型的明显线索。在开始时，她发现在造成壳层闭合的“幻数”(magic numbers)上，理论与实验有不一致的地方。我们知道，是幻数使得闭合的壳层得以发现。有一天，当费米正要离开她的办公室时，他问道：“有没有自旋轨道耦合的任何迹象？”梅耶夫人与这些数据整日相伴一起，听到了费米的问话，她立即明白关键所在，毫不考虑地就回

[1] “Phase of Neutron Scattering” (FP 227); “Interference Phenomena of Slow Neutrons” (FP 228); “Phase of Scattering of Thermal Neutrons by Aluminum and Strontium” (FP 229); “Spin Dependence on Scattering of Slow Neutrons by Be, Al, and Bi” (FP 230); “On the Interaction between Neutrons and Electrons” (FP 234). ——作者注

答：“有，当然，这可以解释一切了。”梅耶夫人说费米开始有些怀疑，不过很快就不怀疑了。一周以后，他看到了解释的证据之后，他相信了，并且立即在他的核物理班上讲授壳层模型。<sup>[1]</sup>因为这一研究成果，詹森(H.D.Jensen，在德国独立得出同样的结论)和玛利娅·梅耶获得了1963年的诺贝尔物理学奖。

1947年6月8日，新研究所开始破土动工，它的位置在56、57街以及伊利斯和英格尔赛德大街之间的街区大学校园内。楼房一完工，费米就搬进他位于核研究所一楼的房间里，这个研究所位于主楼的南翼。他的办公室很大，也很暗，稀稀拉拉地放着一张黑板、一张金属桌子和不多的几个书架和文件柜。在桌子的一个抽屉里，他放着许多从不同商店买来的眼镜，它们的度数各不相同，这是因为他的眼睛已经严重地失去了适应调节的能力。1949年他曾对人解释说，他只能看清对角线为0.001弧度的字母(年轻人的分辨能力要高出好几倍)。他的补救方法十分简单：当他的眼睛需要重新调节度数时，他就从抽屉里拿起几个眼镜，选上一副在他需要的距离上能够读或看的眼镜。他的记忆力也明显降低了，他曾试图用一种他所谓的“人工记忆”方法，来弥补他不太明显的遗忘症。他在好几年里积聚这种“记忆”：选择有价值的抽印材料和从文献中挑选大量资料，以及许多他自己的计算，用清晰的手写体写在活页纸上。这些文件非常多，用相互参照的方法精致分类，最后放进文件柜里，还在一个笔记本上作好索引。如果他需要什么资料，例如，在一个锥状的空腔里电磁波的电场和磁场，或者在极端温度和压强下的物态方程，或者太阳系的数字资料，或者费曼在波科诺会议上讲了些什么，等等。他就可以查他的笔记本索引，然后在几秒钟里从他的文件柜里找到他所需要的信息，而且往往发现他所需要的信息正是他个人计算的。

[1] Maria Goeppert Mayer, “The Shell Model”, in *Les Prix Nobel en 1963* (Stockholm: Imprimerie Royale Norstedt and Söner, 1964), p.133ff.—作者注

在他办公室隔壁有他一间大的实验室，其中有许多工具、一个化学通风柜、几条凳子、一些设备和一张绘图桌子等。

这时，战后年代利用相稳定性原理建造的大型加速器开始运转。伯克利的 184 英寸(467.36 厘米)回旋加速器在 1946 年 11 月开始启用，1948 年用  $\alpha$  粒子轰击几种轻元素首次产生了人工介子。伯克利的同步加速器在 1949 年用光电效应产生了介子。其他一些小型的加速器(可以产生 200 兆电子伏的质子)开始在罗彻斯特大学和哥伦比亚大学运转。伯克利得到  $\pi$  介子的结果令人难忘： $\pi^{\circ}$  的发现，精确地确定了  $\pi$  介子的质量、与氢和氘的相互作用以及平均寿命的测量，这些都是初始运转时的主要成果。

芝加哥大学的物理学家非常急切地希望拥有他们自己的加速器，他们计划建造一个 170 英寸(431.8 厘米)、450 兆电子伏的同步回旋加速器，放在附属于研究所的加速器楼房里。但这个回旋加速器直到 1951 年春天，才产生第一个束流。在等待期间，费米不能做更多的实验研究，于是他利用这段时间作了关于粒子物理和其他相关课题的理论研究。

战后，洛克菲勒基金会和美国科学院立即主办了几次民间会议，讨论理论物理学最感兴趣的问题(这些会议可能模仿战前有历史意义的索尔维会议)。奥本海默于 1947 年 4 月担任普林斯顿高级研究所所长，他是会议积极的组织者之一。费米出席了第二次会议，这次会议于 1947 年 4 月 2~4 日在谢尔特岛举行，讨论量子力学的基础。

正是在这次会议上，兰姆第一次作了氢能级位移(现在称为兰姆移位)初始测试量的报告，还有，拉比提到了库施(P.Kusch)的实验，该实验指出电子磁矩的反常现象。会议之后，贝特立即(据说在回到伊萨卡的火车上)用质量重整化的方法，首次用计算解释了兰姆移位。费米认真地跟踪了这一研究，但没有加入。第三次会议于 1948 年 3 月 30 日到 4 月 1 日在波科诺的曼诺旅馆举行，在这次会上特别值得提到的是施温格(Julian Schwinger)讲述了他的电动力学的一些思想。

他的讲话持续了几个小时，在讲话中需要非凡的努力才能保持注意力，大物理学家一个又一个地被疲倦征服(或者是费米从他们的表情上这么想的)，只有费米和贝特一直听完施温格的报告。当费米告诉我这次忍耐力的测试时，他低声咯咯地笑起来。回到芝加哥以后，他努力掌握新的技巧，写了各种形式的电动力学笔记，内容极为广泛，包括许多应用。后来，他又把费曼的方法包括进去。

1947年，高能物理出现了一个重要的新成果：康维西(M.Conversi)、潘西尼(E.Pancini)和皮西奥尼(O.Piccioni)——战争期间他们在躲避德国人时，在意大利一个小地下室里工作——发表了他们的观察报告，描述了正、负介子(当时使用的词是 mesotrons)在铁或石墨中静止下来的不同表现。他们观察到，在碳里面，正、负介子都衰变并分别放射出电子和正电子，而在铁里面，负介子在衰变以前被俘获了。这个实验结果在发表之前费米就知道了。按照当时主流的看法是，负介子在它们蜕变之前很久就被碳俘获了，而这个实验指出，在他们所观察到的宇宙射线介子和汤川所预计的、与核力有关的粒子行为之间，存在着一种基本的差异。费米和特勒共同(而韦斯科夫则单独地)迅速掌握了这个实验结果的深远意义。1947年2月，这三位共同就这个课题写了一篇简短的文章，<sup>[1]</sup> 后来费米和特勒详细地分析了介子在固体物质中速度减慢的过程，以确信在他们的论证中没有瑕疵。<sup>[2]</sup> 这些困难在谢尔特岛会议上被提到过，马沙克 [如坂田(Sakata)和井上(T.Inoue)以前独立作过的那样] 假设介子有两种。后来发现了 $\pi$ 介子，还认识到 $\mu$ 介子是 $\pi$ 介子衰变的产物，这个困难很快就解决了。

宇宙射线的起源一直让费米感兴趣。他早在1939年就曾对阿玛尔迪谈过这个问题，并且表示过这样的想法：质子作为能均分的一种

[1] “The Decay of Negative Mesotrons in Matter” (FP 232). ——作者注

[2] “The Capture of Negative Mesotrons in Matter” (FP 233). ——作者注

趋势而加速。但是，十分明显的是还缺少某些环节。质子与谁碰撞？阿尔芬(Hannes Alfvén)在 1948 年访问芝加哥大学时曾经告知费米，有可能在我们的银河系存在广为分布的磁场。这是一个不可缺少的因素，它可以为费米原先的想法带来结果。费米于是假定，质子与含有磁场的广阔空间碰撞而加速，这种碰撞与物质客体相撞的作用一样，于是观察到的能量试图在一个质子和含有能量的广阔空间之间均分。虽然这不是加速宇宙射线最终和完善的理论，但费米提出的思想是正确的，而且影响了这个课题整个后继的发展。<sup>[1]</sup>

回到正常的科学生活以后，费米又恢复了离开大学度暑假的习惯。许多研究机构急切地希望他去拜访，差不多所有这些研究机构里都有他个人的朋友，所以剩下的唯一问题是在这些邀请中选择哪一些。他每年到洛斯阿拉莫斯去几个星期，尽管作为 GAC 的一个成员的职责不要求他作这样的拜访，但这些职责使拜访看来更合乎情理。在洛斯阿拉莫斯有他的许多朋友、吸引人的环境，还有当时最好的一种计算机，这些都吸引他来到新墨西哥州。他也去过西雅图的华盛顿大学(1947 年)，伯克利的加州大学(1948 年)和布鲁克海文国家实验室(1952 年)。在访问期间的许多正式和非正式的谈话，以及野餐、徒步旅行和社交聚会，对客人和主人双方都是一种鼓舞和启发，经常还会直接带来重要的科学成果。

让我吃惊的是，1953 年夏天费米在科罗拉多州的阿斯彭呆了一个星期，参加一个由 20 岁年轻商人提出的成人教育计划的讨论，这个计划由福特基金会发展教育基金的威尔逊(O.M.Wilson)主持。另一位物理学家李·杜布里奇也出席了这次讨论会，讨论会开得有声有色。他们主要集中于选择读物，其中包括美国历史文件、经典文学作品和社会科学，费米提了许多建议。令他十分惊讶的是他被看做是著名的哲学家，其他的人都非常尊敬地听他的意见，后来他对我说：“不

[1] “The Origin of Cosmic Radiation” (FP 237). ——作者注

知是什么原因，我似乎成了一个伟大的哲学家。”他边说边摇头，但这种体验不是第一次。他和他的妻子是芝加哥的一个出版集团的成员，常参加讨论诸如奥尔特加-加塞特(Ortega Gasset)<sup>[1]</sup>、马利丹(Jacques Maritain)<sup>[2]</sup>、蒂利希(Paul Tillich)<sup>[3]</sup>、怀特海(Whitehead)和伯特兰·罗素(Bertrand Russell)这些作者的作品，以及诸如西方和东方宗教、伦理学问题、古代人类学以及人的发展等专题。费米常常发表引人注目的意见，而且常常会主宰整个讨论。有时他开始时说：“我没有读这本书，但是……”(他不是唯一用这话作开场白的人。)有时候，就像他告诉我的那样，他会用意大利古老的办法——胜过反对者的大声喊叫而获得胜利。这些经历和自从到美国以后一直坚持读书(每天晚上睡觉前读一小会儿书)，使他比在罗马时有了更广泛和更深入的文化爱好。有时他对我暗示说，他常沉思于量子力学认识论方面的问题，有一次他对妻子说：“利用科学，人们可以解释除了他自己以外的一切。”这说明，像其他著名量子理论学家一样，他也必须思考自我意识的问题。<sup>[4]</sup>

1949年，费米回到欧洲，这是10年前离开后第一次回欧洲。巴塞尔大学要就高能物理学召开一次会议，紧接着在科摩要召开一次宇宙射线的会议。费米参加了这两个会议。参加科摩会议时他回到意大利，这是他自1938年以来第一次再踏上意大利的国土。许多意大利的朋友都在科摩：阿玛尔迪、博纳迪尼、庞特科沃、奥奇亚里尼、罗西、瓦塔欣，还有我；还有许多年轻的意大利物理学家是第一次见到费米。在巴塞尔，费米就宇宙射线的起源作了报告，在莱茵河游了1千米。在科摩，费米和庞特科沃打了网球，庞特科沃几乎总是冠军。看见费米顽强地与某个明显优胜于他的人竞赛并且失败，是

[1] 奥尔特加-加塞特(1883—1955)，西班牙哲学家。——译者注

[2] 马利丹(1882—1973)，法国天主教哲学家。——译者注

[3] 蒂利希(1886—1965)，德国神学家、哲学家。——译者注

[4] E.P.Wigner, *Symmetries and Reflections* (Bloomington, Ind.: Indiana University Press, 1967), p.171.——作者注

十分有趣的事。

在科摩会议之后，他应林赛科学院的邀请作了 9 次报告——6 次在罗马，3 次在米兰。<sup>[1]</sup> 在他离开意大利以后成长起来的新一代物理学家几乎把费米看成传奇中的人物。在报告中，他用一种简单但原创和深刻的形式，给他们带来了某些专题中的新近发展。这些内容都是最让人感兴趣的前沿课题：基本粒子、元素起源理论、中子-电子的相互作用、核的壳层、量子电动力学、中子、中子光学，以及狄拉克的磁单极子。听报告的人中有许多是战后一代的物理学家，其中有几个还是刚刚开始研究但后来却成为知名的科学家。年老可敬的卡斯特努沃教授是林赛科学院院长，在费米还没出生时他就是该学院院士，他主持了几个报告会。卡斯特努沃在费米求学时就知道他，对费米也十分友好，1938 年他被免去数学讲席和院士的职务，在纳粹统治时期几乎丧命。林赛科学院重新组建时(1939 年它被纳粹取消)，他被选为院长。他出席费米的报告会，是意大利科学再生的一个令人难忘的征兆。

回到芝加哥以后，费米继续系统地准备高能物理学实验。他知道已有理论知识的限制，但他决定尽可能地计算截面、半衰期等，把已知的因子(诸如那些从相空间推导出来的)从未知的矩阵元中分离出来。这样，在已知的基础上，他准备好了许多模式——可以说——它们将被即将要做的实验所填充。1950 年春天，在耶鲁大学席利曼讲座作的报告中，<sup>[2]</sup> 就有这一研究的踪迹。(费米有一次把这个发现与洛伦兹时代完成的工作相比较，即在量子力学发现之前就试图解释现象。)根据同样的思路，他在一些论文中提出一些高能事件的统计理论。<sup>[3]</sup> 他假定在一次碰撞中，强相互作用在某一体积里建立

[1] “Conference on Atomic Physics” (FP 240). ——作者注

[2] E Fermi, *Elementary Particles* (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1951). ——作者注

[3] “High Energy Nuclear Events” (FP 241). ——作者注

了统计上的平衡，由这一假说他推出了许多结论。这一研究在开始做实验计划时，作为一个定性的指导路线还是十分有用的。

1950年，纽约的罗彻斯特会议第一次集中精力讨论高能现象，这说明物理学家在这个课题上的兴趣正在不断高涨。出席会议的物理学家人数相对较少，这次会议主要的议题是宇宙射线。会议组织者罗伯特·马沙克设法把这次会议开成一个非常有价值和令人愉快的工作会议，结果会议取得了巨大成功。此后，会议每年举行一次，被邀请的参加人都是这个领域最有名气的研究人员。费米每年都参加这个会议，并经常在提出论文报告后加入到活跃的讨论中。会议的非正式氛围和年轻热情的会议参加者，激励着他尽职尽责。

1951年春季，芝加哥大学的回旋加速器终于产生了第一束束流，这个加速器是在安德森和约翰·马歇尔指导下建造的。费米非常关心建造的进展，他甚至亲手制作一个可运动的靶，后来非常有用；他还用自己发明和制造的一台模拟计算机计算束流及其运行轨道。为庆祝这台回旋加速器落成，芝加哥大学在1951年9月17~22日召开了一次核物理和基本粒子物理学的国际会议。会议结束后不久，正好是费米50岁寿辰，几个朋友想庆贺一下，但仅仅是几个亲密的朋友和同事在一起吃了一顿早餐。在会议上，芝加哥大学的物理学家报告了新回旋加速器上得到的第一批实验结果。

在生命的这个时期，费米重新成为一个实验物理学家，直到他去世的时候一直如此。他与H·安德森、隆德比(Arne Lundby)、马丁(R.L.Martin)、那格尔、尤迪以及其他一些同事和学生们合作，想解决 $\pi$ 介子与核子的相互作用，这是汤川强相互作用理论关键的一步。这是费米生命最后三年研究的主要课题。

这些年，在我们经常的聚会上——暑假期间在芝加哥、罗彻斯特或者其他什么地方——给我印象最深的是费米越来越觉得时不我待。我注意到，集中到眼前有利的研究和非同寻常地离开他主要的研究课题，这与他的性格完全不符。我偶尔还深深感到，他常常意

识到他给予人类的时间有限，由此决定尽自己最大力量尽快完成研究。我从来没有听他说，他不想浪费时间，但他的行动、他的表现和他所有的行为说明他决不浪费时间，以致使每一个与他讨论问题的人都小心谨慎，尽量不浪费他的时间。这三年，他研究的主要成果是实验证实了同位旋守恒和识别第一个 $\pi$ 介子-核子共振，其中一个的自旋为3/2、同位旋为3/2。凯斯·布吕克纳(Keith Brueckner)曾经提出过这种想法，并将它们写进一篇论文中。费米看到论文的抽印本后，他——按安德森的说法——立即在回旋加速器上做实验。他很快理解了这个思想的重要性。他离开实验室，到他的办公室里计算了20分钟左右，回到实验室时他就宣布， $\pi^+$ -质子弹性散射、 $\pi^-$ -质子电荷交换散射和 $\pi^-$ -质子弹性散射的截面比是9:2:1，这一预言立即被他的实验所证实。这是第一次发现 $\pi$ 介子-核子共振，<sup>[1]</sup>在高能领域里很多实验都相继做出来了，但费米没有在活着的时候见到它们。

那时刚开始使用的计算机非常适合于分析 $\pi$ 介子-核子散射实验，因为它们能完全利用实验数据，如果没有这样强有力地计算帮助，人力是无法完成的。费米设法在洛斯阿拉莫斯呆了一阵子，那儿的电子计算机十分有用，他和尼古拉斯·梅特拉波里斯(Nicholas Metropolis)联合提出的方法，现在成了相移分析的标准工具。

在他生命的最后两年，费米再次参加了公共事务。我不知道是什么理由竟说服了他当选为美国物理学学会副主席，也许是麦卡锡时代开始对科学造成威胁，提醒费米进入了推荐委员会，他也许觉得他应该担当一个职务。<sup>[2]</sup>学会主席的任期自动延续到1953年，除非这个职位突然出现意外情况，使得职位有争论(通常很少出现争议，而且还有许多礼仪)。

[1] “Total Cross Sections of Positive Pions in Hydrogen” (FP 250). ——作者注

[2] 参见 Dupré and Lakoff, *Science and the Nation*, 有关的背景知识，可见该书第7章。——作者注

艾森豪威尔新内阁商业部长虽然负责国家标准局，但并不了解后者的职能。标准局曾向邮政部报告说他们发现了一种电池的添加剂(AD-X2)，它的大量生产曾被不适当的要求过索赔。并且又被视作欺诈而不准邮寄。标准局认为这种处理有错误，要求邮政部取消这种禁令。但是，商业部长在政治压力之下，驳回了标准局的报告，说：“市场的判断”比科学测试更重要。这个不聪明的陈述和标准局局长阿兰·阿斯廷(Allen V.Astin)的免职曾轰动一时。美国科学院和美国物理学会干预了这场争吵，后来商业部长撤回了对阿斯廷的免职令。下面的美国物理学会理事会声明，陈述了理事会和费米的意见：

理事会的忧虑曾经部分被阿斯廷博士暂时的复职和威克斯(Weeks)部长的声明所解除，部长在声明中声称，他原先的行动并不隐含对阿斯廷博士和标准局科学的正直有任何非难。但是，对已经造成的伤害还必须做更多的解释工作，基本的原则必须要弄清楚。

科学家的责任是用公开陈述目标的方法来探索科学和技术问题，不能因为政治的或其他的压力而隐瞒他的结论。科学的进步依赖这个原则，我们从来不怀疑标准局的工作受这种精神的指导。理事会强调应该发表一个权威性的声明，使这一原则成为政府机构中科学家的道德准则，任何遵守这一原则的科学家不得受到处罚。我们相信，这样的一个声明将会更加解除由阿斯廷事件引起的不安。<sup>[1]</sup>

后来在1953年8月，商业部长在了解他愚蠢的错误后，永久性地

[1] 事件的详细情形见：Physics Today, May 1953, pp.20—26; 同上, June 1953, p.20. Samuel A.Laurence, The Inter — University Case Program No. 68: The Battery Additive Controversy(University, Ala.: University of Alabama Press, 1962). —作者注

恢复了阿斯廷的职务，与此同时，邮政局对 AD-X2 的禁令撤销了。

阿斯廷事件刚刚平息，一件更严重的事件发生了，费米又参与了这次事件，而且它的结果在他生命的最后几周中一直让他烦恼。1953 年 11 月，国会、行政部门和美国公众似乎都被安全问题所困扰。博登(W.L.Borden)，以前原子能联合委员会总部执行理事，曾写过一封信给美国联邦调查局局长埃德加·胡佛(Edgar Hoover)，信中除了其他一些事情以外，关于罗伯特·奥本海默在 1932~1942 年曾经是苏联间谍一事陈述了他的意见：“很可能不是。”这些指控没有见报，但胡佛把这封信给艾森豪威尔总统看了，后者曾经与海军上将刘易斯·斯特劳斯商议过这件事。斯特劳斯是新委任的 AEC 主席，他还宣布 AEC 将按照已经生效的新规章考查奥本海默的安全许可证。在这种考查结果出来之前，一堵“看不见的墙”使奥本海默不能接近机密信息。

所有这些在科学共同体内引起了巨大的惊骇，并立即明显分成赞成和反对两派。奥本海默在公众中曾经是非常知名的人物，他的功绩曾经得到政府和广大公众的认可。在高级职位上干了十多年后突然被宣布是不能信任的人，肯定会让人们一时无法接受。这件让人目瞪口呆的事情起因很复杂，只是现在突然加剧了。当时的氛围，使大家对于涉及安全的事情产生一种病态的敏感，苏联在原子武器上取得的进步更刺激了这种恐惧。不幸的是，私人间的怨恨和个人的嫉妒也掺和了进来。人们提到了法国的德雷福斯事件。<sup>[1]</sup> 奥本海默请求重新考查剥夺他的安全许可证的命令，于是在 AEC 的公共安全部举行了一次听证会，其成员包括戈登·格雷(Gordon Gray)、埃文斯(Ward Evans)和托马斯·摩根(Thomas Morgan)，时间是 1954 年 4 月 12 日至 5 月 6 日。大约有 40 个证人，其中有几位是著名的科学家，他

[1] 德雷福斯事件(Dreyfus affair)，是指法国军官德雷福斯(Alfred, Dreyfus, 1839—1935，犹太人)因为军方错误的判断，被认为是德国间谍而于 1898 年判终身监禁，到 1906 年才得以洗冤恢复名誉。——译者注

们都宣了誓。证言都因为保密而没有公开，但在几个月后这个保密决定又取消了，992页的副本出版了。<sup>[1]</sup>这本书一直很吸引人，虽然读起来会常常让人感到困扰。人们可以看到一些著名的科学家被热情冲昏了头，忘记了什么是正义和公平的起码要求；而有些证人显示出了巨大的人格力量、诚实和智慧，还有一些人则显著地表现出人类的弱点。

费米的证言在1954年4月20日做出的，相对比较简短，他抱怨他的讲话时间被缩短了（也许为了给另一个证人更多时间）。如果费米有原来给定的更多时间，如果律师们的问题合适，他将会强调奥本海默做出的贡献。他的证言说得很到位，清晰而不含糊，如人们对费米所预期的那样确实无误。这显示他明晰的智力、正直的性格和公正的思想。按照他的思路，奥本海默的安全许可证决不会被宣告无效。奥本海默在战争期间作出的杰出贡献，在战后他提出的忠告，都是经过认真研究，并且非常诚恳。如果他不提出忠告，或者他的忠告被认为错了，这些事实对否定他的忠诚都没有任何意义。奥本海默的过去曾经被审查过，并且在以前或任职洛斯阿拉莫斯主任期间都被认为可以通过，那么，在没有新的事实时就不应该就此再提出什么问题来。

三人组成的安全部以2票对1票决定按艾森豪威尔指令的阐释，奥本海默在安全问题上是一个危险人物，这是因为他在1949年反对制造热核武器的计划并导致该计划失败，还由于他对这个工程缺乏热情。在不同的意见中，化学家埃文斯（三人安全部中的一员）说：一位顾问曾经最公正地忠告说，他看不到有任何证据能表明奥本海默曾经在总统下命令制造这种炸弹后阻止命令的执行。这种不同的意见与

[1] In the Matter of J. R. Oppenheimer, Transcript of a Hearing before Personnel Security Board, Washington, April 12 through May 6, 1954 (Washington, D. C. Government Printing Office, 1954). 费米的证言见394~398页；背景知识还可见J.S.Dupré and S.A.Lakoff, Science and the Nation. ——作者注

费米的想法很接近。安全部的决定被委员们以 4 票对 1 票通过——史密斯不同意——但其根据不同：委员们的决定不是基于奥本海默关于氢弹的建议，而是基于一些事件使他们认为奥本海默表现出来的性格上的弱点，还有，他结交了一些不能信任的人。

所有这些让费米感到悲哀。他反对在争论中引起的狂热，认为这种狂热将妨碍对事件做出公正的判断，这种狂热还会给科学共同体带来有害的离间作用。在医院最后见到他的几次中，有一次他说（这时他已经知道他活不了多久），他要直率地告诉一位朋友，他认为这位朋友的证词是不道德的。他略带嘲讽地微笑说：“对一个临死的人来说，还有什么能比拯救一个灵魂更高尚的呢？”他对整个事件的看法，反映在一次与报纸的谈话中，这次谈话是在医院进行的，但后来在《时代》杂志上发表时编辑作了许多处理。

1953 年，费米完成了  $\pi$  介子-核子散射的最后一个实验，那年夏季他到洛斯阿拉莫斯去分析这些实验数据。1953~1954 年，他写了几篇有关宇宙射线起源、 $\pi$  介子的多重生产和一个计算机的单纯应用（涉及一个非线性振动问题的理论实验）的理论论文。<sup>[1]</sup>与此同时，在罗彻斯特、伯克利和芝加哥，已开始进行高能散射中质子极化的实验。

1954 年 2 月，我拜访费米时在芝加哥住了几天，我向他介绍了伯克利近来关于质子极化的实验结果。我们在 1953 年 11 月讨论过这个问题，那时罗彻斯特的一个小组得到了极化，但芝加哥的小组却观察不到。我告诉后者，以我们的实验观之，他们得到负结果的原因似乎是散射的角度选择不当。2 月份在伯克利，我们有了更好的实验结果，有定量的测量，费米急于想知道是否会出现自旋-轨道耦合，这一点对壳层模型至关紧要，它还可以解释高能散射中的极化。在

---

[1] “Galactic Magnetic Fields and the Origin of Cosmic Radiation” (FP 265); “Multiple Production of Pions in Pion-Nucleon Collisions” (FP 263); “Studies of Nonlinear Problems” (FP 266). ——作者注

我拜访他的时候，他在办公室的黑板上计算这个效应，从上午 10 点一直工作到下午。他首先利用玻恩近似从一个不正确的问题开始，它给出了一个零结果，但他迅速作了纠正，然后的演算进行得很迅速，后来我加了一些注释，并在很少改动的情况下形成了论文“高能质子被核散射的极化”。费米喜欢论据和结果的简单性，夏天在意大利时他就这一研究作了报告。这是我最后一次见到他用老的风格解决一个问题，罗马时期我对此是十分熟悉的。可能这是他最后一次发表有原创性的研究，几个月以后，他病倒了。

1954 年夏天，费米又一次去了欧洲。他就  $\pi$  介子和核子问题准备了一个很出色的课程，在意大利物理学会的暑期学校讲授，地点在蒙拉斯特罗镇(Villa Monastero)，在科摩湖的瓦伦拉(Varenna)。<sup>[1]</sup> 他还访问了在沙莫尼附近胡歇斯(Houches)的法国暑斯学校，并在那儿作了报告。但他的健康越来越糟，一种隐蔽的疾病袭击了他，尽管怎么检查也无法确诊。他试图以巨大的意志力恢复他的日常生活，包括山地远足和运动，但当他回到芝加哥时，他还是到比林斯医院作了一次彻底的检查。检查后发现胃部有严重的疾病，试探性手术证明胃部有恶性肿瘤，而且已经发生了转移，治疗已经毫无希望。<sup>[2]</sup>

我刚从南非旅行回家，立即接到萨谬尔·阿里森的电话，他用一种语无伦次的声音告诉我那天上午的手术和结论。我不知道费米一直有病，但从阿里森的声音里立即知道大事不好。我尽可能迅速地到了芝加哥，费米在医院里休息，他的妻子照料他，用胃管进食。他用一种特殊的方式(用停表数点滴)来计算输液的流量，好像通常完成物理实验一样研究一个与他自身无关的问题。他充分了解他的病情，用苏格拉底的平静谈论它。他谈论他的情况、家庭问题、奥本

[1] “Lectures on Pions and Nucleons” (FP 270).——作者注

[2] 在得知费米病了以后，斯特劳斯委员向艾森豪威尔总统建议，根据原子能法案的一个条款，给费米颁发一项奖。总统迅速和恰到好处地在费米去世前，给了他一个 25 000 美元的奖。后来，这个奖被称为费米奖，除了奖金还有一个奖章，每年发一次。——作者注

海默事件、科学和人类的未来。他还谈到如果疾病给他留下足够的时间，他在科学方面要做的最后一件事，就是把核物理学写成教材。事实上，后来他回家休息时，他曾试着在写。一张未写完的稿纸——这个教材中的一个表——是他最后写下来的东西。<sup>[1]</sup> 直到最后，他保留了一种几乎是超人的勇气、性格的力量和思维的明晰。

1954年11月29日费米去世了，恰好是他生日后的两个月，他被葬在芝加哥。

费米在现代科学中占有什么样的地位，这是很难评价的。他离我们太近，再加上他是我的朋友和老师，这就更难做出评价。费米最伟大的成就按年代排列是：费米统计的发现、 $\beta$ 射线理论、开始于罗马和在链式反应达到顶点的中子实验研究。

费米统计(独立于狄拉克的发现)是现代金属理论和原子以及核统计模型的关键，也是许多物理学理论的基础。泡利原理是这个领域里基本的发现。

随着时间的流逝， $\beta$ 射线理论的重要性日益增加。它对于将场论引入基本粒子物理起了重要影响，在矢量相互作用上它也被证明很有远见。这可能是费米最伟大的理论贡献。

中子的研究包含慢中子的基本发现和登峰造极地完成链式反应，这是人类历史的一个里程碑。

我在这儿略去了费米的其他科学成就，这些其他的成就将足够使次要的物理学家成名。

费米对意大利物理学的影响怎么都不会估计过高。费米是使意大利物理学从落后的地位迅速走到世界重要位置上的奠基人。他对美国的影响虽然很大，但却不是无与伦比的。

费米不应该与麦克斯韦和爱因斯坦相比较，他们属于另一类物理

---

[1] J.奥里尔、A.H.罗森菲尔德和R.A.斯克鲁特(费米的三个学生)在费米去世以后将费米的笔记编成一本书；还有一本没有由费米审阅的书是《核物理学》(Nuclear Physics, Chicago: University of Chicago Press, 1949). ——作者注

学家，从我们有利的地位来看，把他们与现代的科学家相比较是困难的。

无论如何，费米为科学竭尽了全力，他是我们时代最后一位在理论和实验两方面都达到最高顶峰的物理学家，而且他研究的领域支配了整个物理学。

---

## 附录

### 附录一

# 给恩里克·佩尔西柯的信

---

206

下面这些信都是费米写给恩里克·佩尔西柯的，经佩尔西柯教授许可，转载于此，由塞格雷翻译。1926年以后，这两个好朋友便很少定期通信，之后就没有信件来往了。

附录一  
给恩里克·佩尔西柯的信

---

亲爱的恩里克：

大约一个星期前在拉底斯玻里(Ladispoli)，我结束了我在那里的游泳季节。很高兴接到你友好的邀请函。我星期一(10日)上午6点30分离开罗马，坐第一班车到弗拉斯卡蒂。我之所以没有在星期六来，是因为可能没有时间把我的到来通知你。

我每天都去伊曼纽勒图书馆(Vittorio Emanuele Library)，几天前我

拜访了埃瑞迪亚(Eredia)教授，<sup>[1]</sup>本想去校正气压计，<sup>[2]</sup>但是后来我没有做校正工作，因为教授劝告我说，只要取7~8个读数和观察到的气压值作比较，就可以得到一个更准确的平均气压值。我希望你一定要仔细学习拿破仑时代的历史。<sup>[3]</sup>

非常感谢，我和我母亲向你及你的家人致以最真诚的祝福。

恩里克·费米

1917年9月7日于罗马

亲爱的恩里克：

我告诉过你这次我要去皮亚琴察，但是现在得推迟2个星期才能去。我很抱歉你一来我就要走。我正在读乔尔森的论文，读得很快，我想大概三四周后就会读完。这种学习让我很高兴。因为它加深了我已有的物理观念，并且让我知道了很多以前完全不知道的知识。有了这些基础，我希望在比萨的竞赛中获胜的概率会大一些。如果到时希望兑现了，“ghe pensarum”（“我们会想起它”）。<sup>[4]</sup>

祝你的父母一切都好，友好的握手。

你忠诚的朋友恩里克·费米

1918年8月18日于罗马

亲爱的朋友：

我渐渐适应了周围的新环境。我必须承认——新生活开始的几天我有点绝望。然而一切都过去了，我也完全重新获得了自我控制

[1] 埃瑞迪亚教授曾经在中学教过费米的物理。他以前担任过计量局的局长，该局位于意大利最大的国家图书馆之一的伊曼纽勒图书馆旁边。可能埃瑞迪亚教授认识到费米的天才，所以很高兴帮助费米。——作者注

[2] 这种气压计类似通常的水银气压计，但是用的是水而不是水银；而且其上端的真空被一管子置换，这个管子中含有饱和水汽的空气。这样，如果仔细测量，可以用它来测量水柱的高度和温度。这种气压计太简陋了。这两个年轻人提出一个公式，可以从温度和水柱的高度推出气压。——作者注

[3] 这是高等学校考试的内容。——作者注

[4] 方言：“we will think about it.”——作者注

的能力。让我经常听到你的消息吧——这总是非常受欢迎的。我的地址是：恩里克·费米，高等师范学校，比萨。你的研究进行得如何？地球磁场的水平部分怎么样？<sup>[1]</sup> 我要去听微积分讲座，就此停笔。

给予你的父母最好的祝福，亲切地握手。

你忠诚的朋友恩里克·费米

1918年12月9日于比萨

最亲爱的朋友：

我终于成功地弄清楚了环形电路的秘密。正如我所猜测的一样，这是一个共振现象。依据电路几何学，利用适当的波长，环形电路会出现共振。这个现象很有趣，因为不像一般的共振器，我的电路完全没有电容。也许某一天，我会用实验来检验我的理论推断。这实验应该不会太难，但是在做这个实验以前，为了把它们成批发表出来，我会对所有同类的电路做一个很长系列的研究。如果用我喜欢的方法完成这项实验，我想会花一年的时间。

你还记不记得上次我们见面时我告诉你，我想把折射率的变化当作波长的函数来研究，然而没有完成就放弃了。现在，我想把这些研究协调一下，它们都基于相同的原理，在充分组织、协调以后，可以得到一件完整的工作。这是非常值得研究的，因为在用数学处理这些问题时，每个人都会遇到相同的麻烦。因此，它们需要一个统一的方法。我建议你在物质动能方面做些研究。（与此相关的是，你对我提到的布朗运动，在胶体溶液中用超显微镜可以观察到。）当你有时间的时候，试着解决这个问题。变量  $x$ 、 $y$  和它们的函数  $\zeta$ 、 $\eta$  被看成两个平面上的笛卡儿坐标。在第一个平面上的一条直线对

[1] 地球磁场的参照标准是在家里用磁强计作的一个测量。他们发现  $h = 0.2216$  高斯，错误估计在  $\pm 0.03$ ；正确值为 0.23。——作者注

应于第二个平面上的一条直线。这要求在第一个平面内的任意两条直线相交的角度，与另一个平面的两条对应直线相交的角度相等。用这种方法，你可以做一次关于偏导的小练习，你在这方面不很熟悉。如果遇到相当困难的问题，请告诉我。

同时，为了不浪费时间，我正在读彭加勒的《涡流理论》。那真的是一本相当有趣的流体动力学的书，很多重要的知识都写到了。例如，为了解释物质构造而介绍通常假想的流体。好了，我最好什么都不再说了，不然，我的话就太多了。

作为消遣，我又重新学习了阿姆斯勒的求积仪。当仪器中的笔沿着开放曲线运动时，我可以解决那众所周知的小轮子一共转了多少圈的问题。如果你还记得，当曲线封闭时所得的数字与面积成正比。当笔描绘出的一个内部包含仪器固定点的封闭曲线时，这样的问题我也解决了。如果你有时间，可以尝试研究这个问题。从运动学的观点来看，它很有指导意义。多解决一些理论力学的问题，所得到的经验将对你提高数学知识大有裨益。目前，你可以顺便看一看阿佩尔的书，在他的书里你可以发现许多你想问的问题。

现在，我的课程没有丝毫压力，手头上又有很多书，所以我正准备慢慢扩大数学物理和纯数学的知识。因为研究得越深，我就越发现它们都是我十分需要的。另外，这两者是融会贯通的，在物理书上学到的数学知识肯定比在纯粹的数学书中还要多。如果你能了解这一点，那么，看一看泊松的理论力学著作会对你大有帮助。虽然这著作有些过时了，但仍然很了不起，你从中可以学到很多有用的东西。

在比萨，令我们愉快的是这儿被高气压圈控制，很冷。作为补偿，天气十分好。原谅我给你写了一封科学内容太多的信。

向你的母亲问好，握手。

你的朋友恩里克·费米

1919年2月12日于比萨

亲爱的恩里克：

我对于音乐看法的改变，请你不要抱太大的希望说服我，也不要问太多有关我的事情。

至于你的圆形台球桌问题，<sup>[1]</sup>我在仓促考虑之后，认为它像一个4次方程式。我不能肯定，但是无论怎么说，这个问题等价于一个给定了焦点和一条圆切线的椭圆曲线。

我听说你投入到偏微分方程的研究中。如果你有时间，我建议你去翻翻泊松的《力学》中的一章(其中关于连续系统动力学的这一节)，在这一节里他解释了一种方法，在以前我也向你提到过这种方法。虽然在很多情况下，它不能给出完满的答案，至少它允许人们测出微小振动的周期——在大多数情况下，它有很重要的实用价值。

至于我们的暑假活动，我仍然想测出水的毛细常数，我正在努力找到使这种测量变得相当容易的方法。在众多的方法中，我想测量一滴水的振动周期。从实验的观点来看，这个实验应该不很困难。我记得穆兰尼(Murani)写的书中曾描述过这种类型的实验；<sup>[2]</sup>但是在理论方面却有困难，而且相当严重。如果我的实验成功了，我想这个方法会给人满意的结果。同时，我正在积极地用我仍保存的那些非常混乱的、不多的笔记，来重组我的物理概念——这个计划比较容易完成。我几乎读完了阿佩尔的书，尤其是运动的一般定理和哈密尔顿-拉格朗日-雅可比方程式的结果。很遗憾，在图书馆没有找到这部著作的第三部分，那是关于连续系统的动力学。无论如何，我们将有充分的时间面谈所有这部分内容，因为我希望不超过这月底我就会到达罗马。

代问伯父、伯母好，最真诚的祝福。

挚爱你的恩里克·费米  
1919年6月8日于比萨

[1] 佩尔西柯曾经提出这个问题：在一个圆形台球桌上，用一个反弹的球去击中另一个放在任意地方的球。——作者注

[2] 这是一个频闪法的说明。没有提到决定表面张力的应用。——作者注

亲爱的恩里克：

最终我决定学习化学，包括理论的和非理论的。目前，我正在学习能斯特(W.H.Nerst)的《理论化学》(共 760 页)的理论知识，而对于非理论部分，我暂时学习奥斯特瓦尔德的《无机化学基础》(共 818 页)。讲座暂时还比较轻松，一个星期 8 小时。因此，我每天增加 6 小时学习化学，还做一些物理实验，每天学习内容都有变化。以这个速度，我希望在冬季结束时可以使我在心爱的化学上松一口气，能够在很长一段时间不再考虑它。这之后，我将为那些研究而忙碌，<sup>[1]</sup> 最后我应该着手考虑博士论文的题目。你现在在做什么呢？你决定攻下哪门课程呢？普朗克的《热力学》读完了没有？

今年，在诸多事务中，我将致力于出版我的演讲笔记，这事看来还很走俏，有三个新手和我竞争，不幸他们都面临破产了。事情怎么发展还得走着瞧。这个课程笔记是关于物理实验的(力学、热学和光学)，我口述，另一个年轻人认真地记录并打印出来。收入我们平分。如果我有时间我就不会这样。我将用物理实验室的材料和设备，尽力做出一架精密天平(我想其灵敏度至少为 1 毫克)。在圣诞节前我将开始工作，我想在星期天(20 日)开始。

这样，我们不久就有机会在罗马再次见面。问候伯父、伯母，祝你好。

挚爱你的恩里克·费米

1919 年 12 月 11 日于比萨

我匆忙地给你写两句话，仅仅让你感觉到我的存在。再过几天，当我利用 2 月 12~18 日的狂欢节假期回罗马时，我们就有机会见面了。

我的学习进展不错，因为我几乎拼命吞食无机化学，并决定跟班

[1] 可能指他于 1919 年 2 月 12 日信中所说的研究。——作者注

学习有机化学。一星期只有 4 个小时的有机化学课，我希望这就足够了。

于是，多的时间我开始学习战争时期物理学的新进展，并且发现新观点不太。在物理系，我渐渐成为最有影响力的权威人士。事实上，就这几天里，我将举办关于量子理论的讲座(有几位著名的专家要出席)。关于量子力学，我总是一个伟大的“传教士”，尤其擅长精细结构现象、巴尔莫系列多重光谱线，以及类似的课题；我对在电场作用下氢光谱线的分裂，即所谓的斯塔克-洛苏尔多效应也有涉足。所有的上述现象都有一个不完整的解释，但是这些解释与麦克斯韦的电动力学和其他实验不相符合。然而，用量子理论，可以定量地计算出十分满意的结果。

好了，就此停笔，向你的全家问好，祝你一切都好。

恩里克·费米

212

1920 年 1 月 30 日于比萨

亲爱的恩里克：

我从家里的信得知，今年您正打算来拉底斯玻里。听到这消息我非常高兴，因为这样，我们就有时间又在一起了。我最近很忙，一方面，我必须在实验室里测量出电感系数和电容的比率。因为我犯了个微小的错误，一个十分微小的误差(仅仅是  $10^{-18}$  这么微小的数量级)，<sup>[1]</sup> 我还没有成功地适应环境，于是，又多花了一个星期才得出了 3 个有意义的数据，但我还不能保证是否正确。真是失之毫厘、谬以千里啊。另一方面，我有个想法与去年复活节向你提到的类似。我想找出光谱线的宽度和它们振荡阻尼系数的联系。(我最终发现了这个关系，我准备与实验比较一下。)至少可以说，我的理论在解释一些现象的特性时，似乎与瑞利勋爵的旧理论不一致，瑞利

[1] 原文为  $10^{18}$ ，但从上下文来看似乎应该是  $10^{-18}$ 。——译者注

勋爵的谱线宽度理论归因于多普勒效应和两个分子之间的碰撞。

前段时间你和我谈到近期的一个实验，有人发现一种由引力场产生的斯塔克效应。我没有找到报刊参考资料，如果你寄给我，我将十分感激。我几乎放弃了我的博士论文中关于气体中光电效应的想法。我应该从事晶体中 X 射线衍射的有趣现象，这不是不可能的——尤其我希望可以轻易地把它们同统计学结合起来。因为，我相信在 X 射线中，它与一般光的波动理论的差异应该更容易显现出来。

衷心问候你和你的父母。

恩里克·费米

1920 年 5 月 30 日于比萨

我亲爱的朋友：

我在比萨已经有 20 多天了，并且开始了从事伦琴晶体学的研究。第一步就是要保护自己和合作伙伴免受 X 射线的辐射。

这一步我已经达到了，我把 X 射线管封在一个大约 3 毫米厚的铅盒子里。从感应线圈到管子，拉一条高压线，这不是件容易的工作。我必须把绳子的几个部分用玻璃管保护起来，以避免高压线与铅盒之间发生火花。

我利用一个巨大的感应线圈，它可以产生 40 厘米长的火花，还有一个电解质开关(每秒中断 500 次)。然后我试着拍出一些劳厄照片。我先是用  $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}(001)$ ，又用  $\text{SiO}_2(2\ 120)$ ，最后用  $\text{CaF}_2(111)$ 。前两种物质我只得到了未偏转的射线；用  $\text{CaF}_2$  我得到了两张图片，每幅都得到如传真电报上所示的图。

很不寻常的是，我预期得到单度量系统的全面对称(holohedral class of the monometric system)，可是却没有得到。以后，我会继续研究这种反常。

我想知道你的学习情况，我为你的博士论文想了一个题目：“形成一个作为温度和压强函数的离子分子数的研究”。我想通过作迁

移率-气压曲线图，从非常低的气压到你想要研究的气压，标明每一个转折点，这个问题就解决了。

祝你一切都好，代我向你的父母问候。

费米

1920年11月29日比萨

亲爱的恩里克：

从你23日的来信中，我知道你得到赐福的愉快事件。<sup>[1]</sup>画的旁边有说明——我不知道你是否能够明白其中意义，因为真正的艺术作品总是很难被人理解——如果我在罗马，就会做出如图所示的动作。<sup>[2]</sup>至于《新发现》，我将关注《物理学年鉴》的总结。和以往一样，它们没有多大意义。我只关注那些言之有物的摘要，而不在意那些多少像学究式的练习，而这些东西充斥在科学期刊中。

214

我正在学习高等分析(微分几何和微分方程理论)和高等力学(解析动力学和一般天体力学方法)。我的论文进展很慢。几乎是停滞不前。<sup>[3]</sup>一旦我有时间，我将给你写一篇长长的信。

我把我的科学论文复印件和这封信一起寄给你。

衷心祝福你，祝伯父、伯母身体健康。

恩里克·费米

1921年11月24日于比萨

亲爱的恩里克：

前几天我收到你20日的来信。为了获得最近的完整信息，我非常非常感谢那次有趣的聚会。<sup>[4]</sup>我的行为就像一个讲演者、相对论学

[1] 祝贺佩尔西柯获得博士学位。——作者注

[2] 画上画的是两手相握，表示握手致贺。——作者注

[3] 这是一个关于海军船长的玩笑：船长的船进入了水雷区，船长下令：“前进，慢一点，几乎后退。”(“Forward, slowly, almost backwards”)——作者注

[4] 费米自己。——作者注

者和物理学家。在第一次活动中，如像你可能听说的那样，我还没有像杀人者那样玷污我的良心。哲学家们对我一定非常生气，用他们自己的话说是因为“既然相对论的基础不仅只有物理学的还有逻辑的，因此让人们知道有这种逻辑得到的结果，想必是恰当的”。但是，“Wer ‘fregier’ sich darum”（“谁在乎这些”）：<sup>[1]</sup>除非他们向我暗示。他们不会恐吓我。

作为一个相对论者，我作出了最大的努力来解开 4/3 的事。主要的困难是它们很难理解，部分原因是事情本来不容易懂，另一部分原因为我表述得太简洁。但是他们渐渐开始了解那是什么了。

按照已经做出的决定，我应该把这项研究作为研究报告在《林赛科学院会报》、《新发现》和《物理学年鉴》上发表。

普欠迪出于政治因素的考虑，不希望我在林赛科学院会报上发表以前，将稿件寄给《物理学年鉴》。也许这是应该注意的。

作为物理学家，我的行动准则是静观其变，什么也不做，因为我认为玻尔兹曼统计毕竟不绝对排除这种可能性：即我的博士论文可以通过热运动来完成——虽然这种可能性十分渺茫。不管怎样，我肯定会在安定下来以后立即全身心地投入到我的论文中。我计划在复活节左右完成实验部分。就让我们寄希望于热运动吧。

至于鞋钉，我想最好从比特兰(Bitteland)订购。同时，我让父母尽可能帮助你。我觉得你最好订购更小一些的钉子，因为我的鞋底都是小号钉子钉的。

关于用栅极来捕捉离子，我从来没有听说过有人用这种方法。我个人认为它可以得到令人满意的结果。<sup>[2]</sup>关于气体实验，无论怎么说，对我似乎都极为困难。至少可以说，我有点惧怕。

这几天我十分忙，忙着写关于相对论的讲演稿，它有可能会在

[1] “Who cares?” ——作者注

[2] 佩尔西柯曾经想利用平行导线的栅极(交变电压为V<sub>1</sub>和V<sub>2</sub>)来研究电离气体的性质。 ——作者注

《科学》上发表。如果真的发表了，我想告诉你，我不是因为觉得这种文章可以推动科学发展而投稿，仅仅是为了纯粹的实际原因。顺便提一下，我还没有完全决定是否发表，因为，我有点害怕哲学家们会怒发冲冠，并把我推向毫无结果的论战中。我们看吧，这绝对会发生。

除此之外，我每星期天骑车郊游已成了传统节目。通常我和 SAP<sup>[1]</sup> 女生部的女孩子一同骑车去，偶尔我会和 AP 的一些人远征，<sup>[2]</sup> 这样只是为了打破每天单调枯燥的生活。

衷心祝愿你和你的全家快乐。再说一次，十分感谢。

此外，我的意见是必须应用哈密顿原理。

恩里克·费米

1922年1月25日于比萨

216

亲爱的恩里克：

从你13日的来信中，我完全了解到你父亲身体的情形。虽然我已经从我家里听到一些消息，但是你可以想像，你的来信给我带来多大的悲痛。让我们期待X射线治疗能起到好的效果，希望病情不要恶化。

我一直十分忙，部分是因为我的博士论文，它现在成了头号麻烦。

它基本上包括以下几个部分：导言，介绍要研究问题的历史和重温现状；理论部分，包括对非常薄的弯曲晶体反射分辨率的研究，以及有关X射线反射时热运动效应的完整研究；实验部分，“根据洛克伊尔(Lockyer)的意见”，用弯曲的云母片反射的方法，得到一个阴极的照片图像。

[1] Società antiprossimo：骚扰邻居的反邻居“协会”。——作者注

[2] Anti prossimo：反邻居。——作者注

你也看到了，这个方案不值得一提，但好在我的论文快接近尾声。在复活节之前，一定可以完成，就只剩下抄写的工作了。除了这项工作，我又读了《量子理论研究》。到目前为止，我看懂了从玻尔的理论观点推出的黑体公式。如果不是几乎难于克服的、极端复杂的计算要求，我应该学得更多。这个研究的基本思想是把原子和与它耦合的电磁场作为一个单一的系统，并把这个系统作为一个整体的静态轨道计算出来。最大的计划就是消除玻尔理论所有不完善的部分。然而由于我上面提到的计算困难，我估计可能没办法完成这研究。至于给《新发现》的摘要，由于采纳了如此荒唐的量热标准，我几乎完全丧失了对它们的兴趣。

你做得很好，从令人讨厌的 C.F.<sup>[1]</sup> 那里解脱出来。如果我从他那得到任何一点暗示他还想找你的麻烦，我便会阻止他。我会尽力找出你为什么没有收到《新发现》的原因。

关于广义相对论中的电磁波问题，我不能再给你开参考书的单子了。就我所知，已经研究过的这种类型的唯一问题，是在公制下给出先验的波的传播(太阳附近光线偏转)。我建议你趁早和勒维-契维塔谈谈这个问题，以免浪费更多的时间。从他那儿你可以得到你想要的所有信息。

再过几小时，我将起程到山里去旅行。如果你在星期二之前看到我父母，请不要告诉他们这件事情。这样，他们就不会担心我会成为辽阔宇宙中某些奇异曲率坠落的牺牲品了。

再次表达我最热诚的希望——希望你的父亲身体健康。

恩里克·费米

1922年3月18日于比萨

出发之前我忘了寄这封信，现在我回来了。旅行很愉快，宇宙

[1] 一个学生。——作者注

的曲率并没有找我的麻烦。

再次祝你好运。

1922年3月20日

亲爱的恩里克：

从你20日的来信和梯尔里那儿我才得知你的消息。你知道，梯尔里已经是波尔伐尼编外讲师的一名成员了。我已经收到你的论文“论在慢运动中……”的复印件，谢谢你。我一收到我的两页论文“论一种差异……”，就会立即给你寄去论文的复印件。我希望这不会让你等太久。我也把这篇文章寄给了《物理学杂志》，他们告诉我会尽快发表。

我抄完了我的博士论文。其中有一节是X射线的通论，我以后将把它发表在《新发现》上；还有两节是晶体反射特性的理论；最后一节是实验，通过弯曲晶体的反射得到X射线图像。

关于高等师范学校的博士论文，发生了下面的事件。如我可能在信中写过的一样，这论文由两个概率定理构成，这两个定理都要处理许多数的总和（每个量的统计分布都给出了），还有这些结果的应用。几天前，我发现这两个定理中的一个不是新的。其结果是，我不知道是否要扩展另一个定理，把它单独提出来，或是放弃这个为7月开会而完成的论文计划。课题材料的缺乏只是小事，更麻烦的是，把这么愚蠢的研究当论文题目，还要扩展它的范围以便与研究相适应，我不得不加进大量蒸馏水。你非常了解，我不喜欢这样。以后再说。

在最近一期《哲学杂志》上，我看到了唯一值得注意的科学文章。有人证明如果用 $\alpha$ 粒子轰击原子后，原子里产生一种类似放射性物质的不稳定性，那么产物的衰变周期一定极其短暂。

我希望马上可以见到你。致以最好的祝福，向你母亲问好。经

常给我写信。

恩里克·费米

1922年5月25日于比萨

亲爱的恩里克：

这么急切地麻烦你，实在对不起，但是我实在不知找谁来帮忙。你知道在我的高等师范学校的学位论文中，我解决了下面的问题：

考虑一颗彗星，它的轨道和木星的轨道相交。每次当彗星临近木星时，彗星会大幅度偏离轨道，偏到某个角度后，彗星的轨道变成了双曲线，而后彗星消失在宇宙中。似乎很明显的是，我们可以证明经过一段足够长的时间，如果各种均差都有效的话，彗星的轨道肯定会变成双曲线。我在一个给定的时间里，计算出这种情况发生的概率，但在这种概率事件发生之前，彗星有可能与木星相撞而毁灭。

你可以看一下乌齐奥(Ouzau?)<sup>[1]</sup>的书目索引，证实一下这个问题有人研究过没有？如果方便的话，请你尽快查阅，因为我的论文将决定于你的答案。<sup>[2]</sup>你可以把答案给阿米利尼(Armelini)，<sup>[3]</sup>他下星期二将会在比萨。

万分感谢，原谅我麻烦了你。致以衷心祝福，并向伯母问候。

恩里克·费米

1922年6月2日于比萨

亲爱的恩里克：

非常感谢你迅速帮助我解决了彗星的问题。我已经查了梯瑟兰德(Tisserand)的书，没有找到任何有关我研究的特殊问题的资料。由于阿米利尼的建议，我曾请你查找乌齐奥写的关于天体力学的论著，

[1] 胡齐奥(J.C.Houzeau)写的论文；这个问题以前没有处理过。——作者注

[2] 这是上封信中提到过的为高等师范学校准备的单独的学位论文。——作者注

[3] 一位比萨大学的天文学家。——作者注

其中包括各种实际问题，但我知道的仅仅同你一样多。不管怎样，我的论文已经完成了，只要阿米利尼的回答让人满意，我就投出去。我的论文现在写完了，我将在两三天内交上去。后天我们将结束所有的课程，再也不用谈论它们。我将要通过高等分析(微分几何学)的考试，这真是极其令人讨厌的事。这里面研究的问题只有唯一的一个选择标准，那就是乏味。除此以外，在物理实验室还有考试，交一幅徒手制图(我偷看了我要画的图的密封文件)。也许，仅仅为了好玩，我也要参加高等数学的考试。

我们可以看到，当莫斯(Mohs)制定出经验硬度计量标准以后，科学仍然没有发展。其实他可以选择以下事物作为计量标准：黄晶、刚玉、金刚石，以及为获得数学和物理混合学位的女候选人的智慧等。

### 第一场：现实生活的场景

220

我假装成教授的模样。6个年轻的女孩，除了一两个奇丑无比、十分吓人外，其余的还不错。她们用一种可疑的眼神审视一个测微螺旋杆。一个深奥的问题出现了：把分数 $1\ 000/200$ 简化到最简单的项。

我：请吧，女士们。请把 $1\ 000/200$ 约分到最简形式。（这些女孩，好像串通好了一样，<sup>[1]</sup>都保持沉默，尴尬地笑着。）

第一个女孩：喔……

第二个女孩：正是……

第三、第四个：是的……

我：你们的意思是你们连分数化简都不会？（我鼓励第一个女孩）你不错，试一试。

第一个女孩脸羞怯得红了。

[1] 意大利谚语：“谁保持沉默就表示谁同意。”——作者注

第二个女孩：(受到突然的启发后，她那不吸引人的面孔变得美丽了)把分子、分母除以不为 0 的数。

我：(隐藏着不满)除以什么数？

女孩们惊恐不安地面面相觑。

我：除以它们最大的公……

女孩们：(用最肯定的口气)……因子。

为了宽待读者，我不准备再讨论最大公因子的问题——或找出主要公因子除以分子、分母。如果读者有兴趣，我可以告诉研究的结果： $1\ 000/200 = 5/1 = 5$

正如你所看到的，这太糟糕了。而且那些人在未来的几年里要负责教数学(更糟糕的是，还要教物理)。

我的论文讨论会将在 7 月 3 日或 4 日开始。

再次感谢你，最好的祝福送给你。记住向伯母问好。

恩里克·费米

1922 年 6 月 8 日于比萨

亲爱的恩里克：

昨天，我收到了你 25 日的来信，你带着颇为嘲笑的样子评论安蒂格兰诺(Antignano)和它节奏缓慢的居民们。另一方面，我们非常喜欢多纳托(S.Donato)。那是一个十分幽静可爱的地方。有我们住的房子(以前是个女修道院)、一个已经废弃的小教堂和一个小木屋，里面住着牧师和他的十个孩子。<sup>[1]</sup>从这儿到另一个居民住的地方大概需要半小时路程。我们的同伴虽然长期受到宗教信仰的压抑而痛苦，但是与我们很合得来，相处愉快。因此，我们度过了一周十分愉快的日子。当我们离开这儿回到热衷于竞争的罗马时，不禁心情

[1] Pastore，意思当然是“牧师”和“牧羊人”的意思。——作者注

沉重。

谈到竞争(赞美上帝)，上个星期六，我到部里去，带着我全部沉重的档案文件，包括了不止一、二、三、四、五、六、七、八、九、十，而足足有十一篇发表了的文章，其中有一篇是我在多纳托编造出来的。它们根据广义相对论处理了弹性体的行为。但是我得到了一些奇怪的答案，我想和你谈谈这件事。顺便说一声，我想你最近会回到罗马的。

因为前段时间，我给拉赛蒂寄了张明信片，内容是众所周知的计划，<sup>[1]</sup>但是他没有回信，所以今天我又给他儿子写，希望直接到达他手上。因为现在是做出明确计划的时候了。同时，我要开始修理我的自行车，使它不再出任何毛病。这将是个相当大的工程。但是我想我有所有的材料，可以把这件事情干得很漂亮。

我不认为一两个月后就会知晓竞争的结果，因为委员会在九月底以前不开会，委员会的绅士们一点也不希望享受罗马的酷热。无论如何，我要和一些大人物或者其他一些人保持联系，这样可以尽快得到消息，因为我的下一个决定依赖于这次评审的结果。<sup>[2]</sup>

我们衷心祝福你和伯母，希望早日见到你。

恩里克·费米

1922年8月8日于罗马

亲爱的朋友：

大约一星期前，我回到了第三故乡。我的柏林、德累斯顿和莱比锡之旅非常有趣和愉快。尤其是在柏林，我见到了玛丽亚，<sup>[3]</sup>她一直陪伴我。

现在，我又回到我的研究中。我正试着把绝热原理推广到任意

[1] 建议与拉赛蒂和佩尔西柯一起乘自行车旅行到乌姆比利亚。——作者注

[2] 为国外留学设置的竞争，费米获胜。——作者注

[3] 费米的姐姐。——作者注

力学体系中。这项研究似乎可以得到很好的结果。

我想你在罗马一定像以往一样拼命工作，这样对你健康不利。  
照顾好自己！

我希望到目前为止，好天气能让你继续研究反射层。我们这儿至少有阳光，天气与 52 度的纬度不相称。

致以衷心问候和最好的祝福，虽然晚了一点。向伯母问好。

恩里克·费米

1923 年 3 月 31 日于哥廷根

亲爱的恩里克：

卡拉拉<sup>[1]</sup>刚才写信告诉我，比萨大学要公开招聘一个高等力学的职位。

因为将有一些具有 20 多年经验的申请者，所以我获胜的机会很小，但无论如何我还是想试试——至少我有 3 篇很重要的文章就要发表了，它们可以看作是与高等力学有关的文章。我希望能够及时收到发表我文章的刊物。

顺便说一声，我请你帮我打听一下——我的两三篇文章能否在林赛发表，大约一共 30 页。我给你写信，不光是要告诉你我的计划，还要请你帮我到处吹一下风。这样你可以听到人们是否认为我参加竞争这一举动太疯狂。

衷心祝福你和研究所的朋友们。代我向伯母问好。

恩里克·费米

1923 年 4 月 24 日于哥廷根

亲爱的恩里克：

收到你的来信，接着又准时收到护照。非常感谢。

[1] 比萨的一个同学和朋友，后来是佛罗伦萨大学的物理教授。——作者注

因为我有一些事情必须问你，我几天都等着你的信。

1 RaC 里  $\alpha$  粒子的射程。

2 氧气和氮气的 K、L 能级。

你可以在卢瑟福的书中找到第一点的有关信息；关于第二点，用外推法至少可以推断，在 1923 年出版的《物理学杂志》中可以在玻尔和科斯特(Coster)写的文章中找到。除此之外，我还需要氮气的电离电位。

原谅我给你添麻烦了，先谢谢你了。请告诉特拉巴齐，到目前为止还没有人对我们以前住过的房子感兴趣。<sup>[1]</sup>

我们在这里心情十分愉悦，这地方不像我们想像的那么差。

每个人都要向你问好，我们都希望你在广阔的海滩上得到更多的乐趣。

温馨的祝福送给你和伯母。

恩里克·费米

1924 年 7 月 26 日

于摩耶纳(Moena)(多洛米蒂山)

亲爱的恩里克：

经过漫长和枯燥的路程，我终于在昨天到达了目的地——总算没有出事。

因为我耳后长了一个脓包，所以要推迟几天离开。由于它不能自己消失，所以不得不把它切除。

如果你有机会去弥涅耳瓦，<sup>[2]</sup> 请帮我问一下我编外讲师的事情。你收到亲切的付费通知没有？<sup>[3]</sup> 我还没有听到任何有关这方面的消

---

[1] 费米的母亲不久前去世，他和他的姐姐搬到罗马的另一个区域。特拉巴齐是一位物理学家。——作者注

[2] 弥涅耳瓦(Minerva)在罗马神话中司智慧、工艺和战争的女神，即希腊神话中的雅典娜(Athena)；这儿指的是罗马公共教育部。——译者注

[3] 编外讲师评审的费用由候选人自己付，在评审之前付清。——作者注

息。你可能知道，佛罗伦萨大学的工作现在已经确定。我11月份将去那儿。

我今天去了物理实验室，因为他们那儿实行了英国的星期六休息制度，所以我只能见到克罗姆林(C.A.Crommelin)。<sup>[1]</sup>

下星期一大学就要上课了。

衷心祝福你和伯母一切顺利。

恩里克·费米

1924年9月13日于莱顿

亲爱的恩里克：

我收到了你16日的来信。总的来说，如果事先不知道竞赛的规则，这里的人都不怎么愿意报名参加了。因此我认为系里现在举办竞赛实际上是不可能的，按照金蒂勒的法令(Gentile's laws)，新规则在5月31日以前上报，到明年才能生效。这里每个人都相信新的竞赛规则近日随时都会公布，也有一种说法是最迟5月31日会公布。我个人认为不可能。不管怎样，我劝你努力打听到新规则的内容，这样你不仅可以有把握地去准备，而且越早知道规则，成功的希望越大。

你的目的是竞选罗马大学的理论物理学席位，这比竞赛重要得多，你应该把精力放在前者上。倘若你名列第二，如果规则允许，他们会任命你到这里来。他们通常是这样行事的。

听从特里柯密的忠告吧，在这儿我想没有必要再陈述一遍——暂时——你不要倾向于接受简单的“指派职位”。特里柯密的观点是：危险就在于，如果大学没有为来年找到一个暂时的解决办法，系里有可能决定调动某人来填补这个空缺的席位。这对你和佛罗伦萨大学都是最坏的结果。自然，一到5月31日我可能就会告诉他们你

[1] 莱顿大学低温实验室的一位著名教授。——作者注

不愿意接受任命。因为到那时，他们就来不及调动人了。

至于理论物理竞赛。我从勒维-契维塔那儿听说，20天前罗马大学物理系已经向他问过这件事。然而，我持怀疑态度，公告的发布已经推迟了，只有像以前一样，等待新规则。一旦我们听到什么确定的消息，我会立刻告诉你。

拉赛蒂和我已经完成了交变场效应的研究。几天后，我们就把研究报告寄给林赛。在误差范围内(误差很大)，这个结果完全证实了经典理论力学的预言——但是要进行一点修改，这是因为我们必须选择的拉莫尔进动要比普通的大 $3/2$ 倍，如2536谱线的反常塞曼效应指出的那样。我们也会把文章在《物理学杂志》上发表。

下个月回罗马呆两个星期的梦想不大可能了，因为在下月初课程结束和7月中旬左右开始的考试之间，我有一个长的休假时间。从现在起，我想特里柯密大约可以在罗马呆10天左右的时间。我请他到物理实验室去拜访你。

问候你和伯母。代我向柯比诺教授和罗马所有的物理学家问好。

恩里克·费米

1925年5月22日于佛罗伦萨

亲爱的恩里克：

我还没到罗马来，我有可能来不成了，至少目前来不成。因为，可以说，我成了职业病的牺牲品。完全出乎意料的是，我被推举到国家高等院校考试委员会，<sup>[1]</sup>更不幸的是我直到最后才知道，这样便不能找替代人了。因此，我要在7月份一整个月忍受130场考试的折磨，所以如果我真的能来也只能在罗马待两三天。关于你得到

[1] 文科考试(maturità classica)，这是建立不久的一项综合考试。所有的高等学校毕业生都必须参加。通过这一考试是大学承认学历的先决条件。——作者注

佛罗伦萨大学职位的可能性，到目前为止，几乎每个人都赞成。如果你在罗马竞争中得到第二名，任命你到这儿来是明智之举(职位名称不再是数学物理，改成了理论物理)。这项计划唯一的危险在于，新规则可能不允许竞争者挑选不同地方的教授职位，只能指定一个地方。但是这儿也有不同的传言说，如果在罗马大学竞赛的人不能为佛罗伦萨大学录用，那么系里有可能在这儿展开竞争。不管怎样，只有得到更确定的消息才能做决定。

你无疑是去剑桥了。我劝你努力找一个年轻漂亮的、有许多英镑的女继承人。尽可能不要过分损害你的脸部肌肉，以免不能把“嘴收缩起来”说话。<sup>[1]</sup>

我希望收到这封信时你还在罗马，如果真是这样，请代我向每个人问好。

恩里克·费米

1925年6月2日于佛罗伦萨

227

亲爱的恩里克：

这不是我的错，直到现在我的精神一直恍恍惚惚的，大脑一直处于昏昏然的状态，不能连贯地表达我的想法。我希望现在思想能集中到把信写得让你读懂。我开始写了。

首先，告诉你这个暑假的简要记事。整个7月份我一直在佛罗伦萨成为国家考试的牺牲品。如你所知，8月份我和通常的同伴一起在维脱(S. Vito)度过。我们玩得很愉快，但是没有什么事情值得一提。

9月初，我姐姐和我去维诺纳瑟(Caprino Veronese)拜访特里维桑·科勒利娅(Trevisan Cornelia)。<sup>[2]</sup>然后到维亚雷焦，在恩里克

[1] 意思是用英语讲话。意大利人有一种印象，英国人讲话时要收缩双唇或口里面含有一个土豆，并且觉得这种声音不像人讲话的声音。——作者注

[2] 勒维-契维塔的嫂子。——作者注

(Enriques) 家中呆了几天，随后我到了罗马，一直住到现在。我打算星期六去玻珠罗(Pozzuolo)住几天，擦干拉塞蒂的汽车。到10月初为了国家考试回佛罗伦萨，重新开始屠杀。

我不知道你听说过这件事没有——我姐姐成功地调到罗马翁贝托中学(Ginnasio Umberto)了。<sup>[1]</sup>

同样不能确定的是，我是否能来罗马(至少是今年)，因为今年大学很有可能没有职位了。目前的问题是：主张变革的金蒂勒希望保留竞争体制；吉梅利神父(Father Gemelli)<sup>[2]</sup>认为，委员会可以建议感兴趣的系组成一个三人小组自由选择体制；齐宁匈勒(Cirincione)<sup>[3]</sup>和他的大多数大学教授同事都同意原来的旧体制。这三股力量都请求弗德勒(Fedele)部长<sup>[4]</sup>来通过决议。不幸的是，他们的矢量和为零，结果问题依然没有解决。如果国家考试持续时间再长一点，今年自然而然就再没有时间举行竞争了。整个事情都让人烦恼，但是人们对此完全无能为力。

在已经过去的暑假里，我不得不中断所有的科学工作。直到现在我才能使自己跟上时代，读了一些当前的书刊。在我的印象中，除了海森伯完成的光谱项动物学<sup>[5]</sup>这一形式上的结果是一个新的进步以外，在这几个月没有太多的进步。就我的欣赏力来说，他们开始夸大他们的倾向而放弃了解事物。现在我要以理论和实践的观点，来研究合适强度的电场或磁场中出现的新光谱线问题。这可能是一个非常值得研究的富矿，我感觉它还没有被更深地开采。我觉得下面的实验比较容易做：当光谱线被放进已知电场或磁场中时，测量它在亚稳态下平均寿命随强度变化的函数。

[1] 费米和他的姐姐读过的中学。——作者注

[2] 米兰天主教大学的校长。——作者注

[3] 眼科学教授，在科学政策上颇有影响力。——作者注

[4] 教育部长。——作者注

[5] 光谱项动物学(the zoology of spectroscopic terms)是一种开玩笑的说法，意思是说当时光谱学的分类研究有些像动物学的分类研究。——译者注

我急切地想知道你对剑桥人的印象，我也想知道你在那儿认识了谁。我收到了你的明信片，上面有你的签名，还有一个签名我认不出来，看起来好像是奥恩斯坦(Ornstein)的，但是我不确定。<sup>[1]</sup>当你再写信给我时，请告诉我那是谁的签名。

我们都衷心祝福你。

恩里克·费米

1925年9月23日于罗马

亲爱的恩里克：

这儿有一些新闻：著名的和从未充分受到赞扬的(大学职位竞争)规则出笼了。基本如下：部长把竞争的公告发表在《公共教育公报》和官方报纸上。在公布后的两个月内，竞争者出示他们的资格证明，然后由5个人组成委员会来审理。根据竞争者的成绩，最多选出3名候选人。这3个人中，系里或者选中第一名，立刻任命；或许会选中第二名、第三名——但是在这种情况下，在任命还没有定下来之前，那些人为了名誉，要么谢绝，要么已经有一个职位，要么是被其他系挖走了。

这委员会中有一个成员是部长任命的，还有两个是别的系指派的，剩下的两个成员是对竞争有兴趣的系选出来的。当要求开展竞争的系指派的人确定以后，其他的系可以利用这个3人小组。

除一般规则以外，补充了一些临时规则。基本上，它们把新职位保留的时间延长到1926年2月1日，并把提交申请的时间从两个月压缩到一个月。还有，我相信，今年他们只会通过那些早在5月31日就请求职位的竞争者。

下面我们来把理论付诸实践，我们推断，理论物理学职位的角逐一定是在罗马大学里展开，如果佛罗伦萨大学情愿，那么他们一定是

[1] 是奥恩斯坦的，他是乌特勒支(Utrecht)大学的一位物理学家。——作者注

任命第一名后面的第二名。 我还相信推选委员会将由下面一些人组成：

柯比诺(或勒维-契维塔或沃尔泰拉)

伽巴索 [1]

坎顿(或马约拉纳) [2]

索米廉那 [3]

马吉 [4]

这样的组成差不多是必然的，因为参与竞争的系，只允许有一个人。 竞争者有可能是——除了你和我——还有庞特里摩利、波尔伐尼、斯布拉纳(F.Sbrana) [5] 和卡雷利(A.Carrelli)， [6] 可能还有一些不重要的人。 一旦我得到了竞争通知，我马上通知你。 现在我在准备要提出的文件。

昨天我回到佛罗伦萨，今天开始了国家考试。 如我告诉你的那样，牺牲者们正在压榨他们没有智慧的脑汁，去证明意大利的爱国者为什么以及怎样在 1848 ~ 1858 年偏向东方的萨伏依王室(House of Savoy)? [7]

美好的祝福。

恩里克·费米

1925 年 10 月 1 日于佛罗伦萨

亲爱的恩里克：

有一则很不好的消息：理论物理学职位的竞争推迟了。 原因

[1] 佛罗伦萨大学的实验物理教授，也是该市的市长。 ——作者注

[2] 分别是那不勒斯大学和博洛尼亚大学的实验物理教授。 ——作者注

[3] 图林大学的数学物理教授。 ——作者注

[4] 比萨大学的理论力学教授。 ——作者注

[5] 原先是一位数学物理学家。 ——作者注

[6] 从那不勒斯来的，后来他在那儿成了一位实验物理学家。 ——作者注

[7] 萨伏依王室是欧洲历史上的王朝，1861 ~ 1946 年统治意大利。 1831 年意大利爱国者发动第一次独立战争，原本因革命而于 1821 年逊位的萨伏依王室的依曼纽二世，在施展外交伎俩后，促成了意大利的统一，形成了以萨伏依王室为首的意大利王国。 ——译者注

是：去年5月，当系里要求开展竞争时，大学法的细则中还没有明确提到理论物理学的课程，要想在细则中引入新的课程，就要在11月提交到上面的议会。如果像人们希望的，他们马上接受了提案，竞争便有希望及时展开，否则，只有推迟到明年。让我们期待最好的结局吧。现在，其他一些职位的竞争也开展起来，唯一让我们感兴趣的是卡利亚里大学的数学物理职位。因为罗马大学的职位竞争不保险，所以，我计划参加这个竞争。虽然这些岛屿的景色一点也不吸引我，但我认为有把双管手枪是明智的。而且，我觉得你最好也参加。

一旦有更多的消息——希望它们比今天的消息好，我会通知你。

衷心祝福

恩里克·费米

1925年10月15日于佛罗伦萨

亲爱的恩里克：

这里的科学系已经开始进行理论物理学职位的竞争，但附有一个规定，如果罗马大学竞争到这职位，那么我们学校就不能再设。这样，我们至少可以确定，获得一两个申请应该没有问题。

我希望你以最快的速度回答下面的问题。

- 1 罗马大学科学系是否申请这个竞争的职位？什么时候申请的？
- 2 倘若他们现在还没有申请，那么他们准备什么时候申请？
- 3 修改大学细则设立理论物理席位，是哪一天申报的？

最后一点十分重要，因为法令规定，如果没有人在1926年1月31日前申请，那么细则的修改在5年后才能提出。

等待似乎还没有出来的太阳，我让电子自旋。

请问候柯比诺教授、特拉巴齐、洛苏尔多、勒娜(摩塔娜)、德梯沃利(De Tivoli)和其他不记得名字的人。祝福你。

恩里克·费米

1926年5月17日于佛罗伦萨—阿翠堤

附：我希望你以最快的速度回信。

亲爱的恩里克：

首先，祝贺你获得塞拉奖(Sella prize),<sup>[1]</sup> 尽管祝贺太迟了。现在，让我们进入正题！我听说罗马大学那边，已经选出柯比诺和伽巴索作为系里的代表进入理论物理委员会。我相信几天后，一些系还会有选举，提名非罗马成员的人。除非有相反的建议，我将利用我小小的影响，让坎顿和马约拉纳被选上，因为我肯定不想让去年竞争的那两个数学家被选进委员会，这两个人已经被写进了我的黑名单。我希望柯比诺教授在这件事上的观点，能按上述想法及时起作用。

你假期准备做什么？我还没有任何打算。

佛罗伦萨的全体朋友们向所有的罗马朋友们问好。

恩里克·费米

1926年6月29日于佛罗伦萨-阿翠堤

我希望几天后有可能开始关于阳光的斯塔克效应实验。<sup>[2]</sup>

亲爱的恩里克：

昨天晚上我到了佛罗伦萨，这样我懒散的暑假结束了。如你所知，我先在克里斯蒂那(S. Cristina)那儿，之后和拉赛蒂一起。我们到埃达梅洛(Adamello)山区旅行。部分步行，部分乘车。最后，我搭车回到佛罗伦萨。我会在这儿停留几天，我总是天真地希望晴朗的天气允许我完成现在很受重视的光的斯塔克效应实验。这之后，我打算先去博洛尼亚参加科学协会会议。但我听说会议推迟了。如果是这样，我就直接去罗马。不管怎样，10月初我要在罗马。顺便问一

[1] 塞拉奖是每年颁发给年轻物理学家的一个小奖，由林赛科学院颁发。——作者注

[2] 这一想法是利用战后剩余物质的探照灯，把阳光会聚后射到一个放电管上，然后观察太阳光电场引起的斯塔克效应。——作者注

下，当你回信时，请你告诉我会议推迟的消息有多大的真实性，这样我才能行之有据。

我希望你能去部长那儿，找出理论物理竞争者人数和人名。我想你也许已经知道委员会人名。但是我还是告诉你，他们是：柯比诺、伽巴索、坎顿、马约拉纳和勒维-契维塔。这最后一个人，我不明白，尽管他属于罗马大学科学系，但是怎么会被任命到委员会里去了？<sup>[1]</sup> 我有点担心这会引起一些麻烦，但是我们希望它不会。当然，我不会成为反对的人。

9月底或10月初，拉赛蒂打算来罗马，他可能会拜见柯比诺。因此，我想知道那个时候，柯比诺是否在罗马。

祝福你和伯母。

恩里克·费米

1926年9月7日于佛罗伦萨-阿翠堤

233

---

[1] 这次任命实际上是不合规则的，可能会使竞争无效。经过一番犹豫之后，费米和佩尔西柯向勒维-契维塔指出了这一点，后来由马吉代替了勒维-契维塔。——作者注

## 附录二

# 诺贝尔奖演讲<sup>[1]</sup>

234

虽然比起令人满意地定义化学元素的概念，化学元素相互间的转变问题要更古老些，但是大家知道，一直到 19 年以前，由于已故的卢瑟福勋爵创造了核轰击的方法，解决元素转变的问题才迈出了最重要的第一步。卢瑟福曾用一些例子说明，快速  $\alpha$  粒子在轰击轻元素的核时，被轰击的核会发生嬗变： $\alpha$  粒子被俘获留在核内，并放出一个不同的粒子，在多数情况下是放出一个质子。过程结束后得到的核与原来的不同，差别通常表现在电荷和相对原子质量两个方面。

从同位素分析得知，作为嬗变产物而留下的核有时候与一个稳定的核一样，但是一般情况并非如此。新产生的核不同于所有的“天然”核，原因是新产生的核不稳定，它们会进一步衰变，我们用平均

[1] 这个报告(FP 128)于 1938 年 12 月 10 日在斯德哥尔摩接受诺贝尔物理学奖时所作，经诺贝尔基金会允许，摘自 Les Prix Nobel en 1938 (Stockholm: Imprimerie Royale Norstedt and S:ner, 1939), pp.1—8. ——作者注

寿命来表示这个特性，即在衰变时放出一个电子(正的或负的)，直到最后达到稳定的形式所用的时间。在第一次实际上的瞬时嬗变之后，过一段时间才会有电子发射，这就是所谓的人工放射性，这是约里奥和爱伦娜-居里在1933年末发现的。

这两位科学家用钋源发射出的 $\alpha$ 粒子轰击硼、镁和铝，作出了人工放射性的第一批例证，他们获得了氮、硅和磷三种放射性同位素；他们用化学分离法，从被轰击物质的大量未变原子中，成功地分离出放射性物质。

## 中子轰击

在这些发现之后不久，人们发现产生人工放射性似乎不一定非用 $\alpha$ 粒子来轰击。从这一观点出发，我决定用中子来研究轰击的效果。

与 $\alpha$ 粒子相比，中子有明显的缺点，可供利用的中子源所发射的中子数比较少。实际上，中子是作为核反应的产物而放出的，中子的产额很少有超过 $10^{-4}$ 的。然而下面这个事实弥补了它的缺点：中子不带电，它们不需要克服核周围库仑场形成的势垒，所以能够到达原子中核所在的地方。此外，中子实际上与电子没有相互作用，所以它们的射程很长，与其他核碰撞的机会相应地要比 $\alpha$ 粒子或质子轰击时多。实际上，中子已被认为是产生核嬗变的有效工具。

在我的这些实验中使用的中子源，是把铍粉末和氯装在一个小玻璃球中，氯的数量是 $8 \times 10^{-4}$ 居里，所以这个中子源每秒大约放出 $2 \times 10^7$ 个中子。这个数字当然比加速器或高压管给出的中子数量小很多，然而它的尺寸小、稳定性高而且非常简单，这些优点有时成了氯+铍中子源有用的特点。

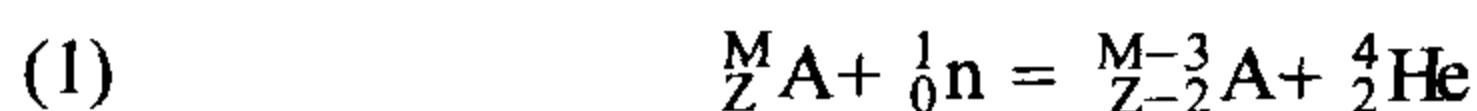
## 用中子产生核反应

由于作了第一批实验，我可以证明大多数被试验的元素在中子轰

击下具有了放射性。放射性随着时间的衰减，在某些情况下对应于一个单个的平均寿命，而在另一些情况下对应于几条指数衰减曲线的叠加。

我在阿玛尔迪、德阿古斯蒂诺、庞特科沃、拉赛蒂和塞格雷等几位同事的帮助下，对整个周期表中元素的性质作了系统研究。在多数情况下也作了化学分析，这是为了确证放射性化学元素的存在。对于寿命短的物质，必须在1分钟时间内迅速完成这种分析。

用中子产生放射性的初步测定结果可归纳如下：在研究的63个元素中，有37个很容易探测到放射性，放射性元素的百分率与元素的相对原子质量没有明显的依赖关系。根据化学分析和其他资料，主要是根据同位素分布，可进一步确证有下面三种类型的核反应产生人工放射性：



这里 ${}_Z^M A$ 是元素符号，原子序数是Z，质量数是M，n是中子的符号。

(1)和(2)两类反应主要发生在轻元素中，第(3)类反应常发生在重元素中。在许多情况下，在一个元素中可以同时发现三种过程。例如，中子轰击只有一种同位素 ${}^{27} Al$ 的铝，将会产生三种放射性产物： ${}^{24} Na$ ，半衰期为15小时，第(1)类过程； ${}^{27} Mg$ ，半衰期为10分钟，第(2)类过程； ${}^{28} Al$ ，半衰期为2~3秒，第(3)类过程。

如前所述，重元素通常只按第(3)类过程发生反应，因此，如果不是因为有某些下面将要讨论的复杂因素，以及原来的元素有一种以上的稳定同位素的话，它们的放射性就会是指数衰减的。天然放射性元素钍和铀被中子激发，是这种性质的一个惊人的例外。为了研究这些元素，首先要尽可能彻底地从放射 $\beta$ 粒子的子物质中提纯这些元素。提纯后，钍和铀只自发地放射 $\alpha$ 粒子，用吸收办法可以直接

把它们和由中子引起的  $\beta$  放射性区分开。

用中子轰击时，这两种元素都显示出很强的感生放射性。两者的感生放射性衰变曲线表明，产生的某些放射性物质具有不同的平均寿命。1934年春以来，我们就试图用化学方法来分离这些放射性的载体，结果表明，铀的某些放射性载体既不是铀的同位素，也不是比铀轻的、直到序数为 86 的那些元素的同位素。我们的结论是，这些载体是原子序数大于 92 的某些元素。在罗马，我们常把 93 和 94 号元素称为 Ausonium 和 Hesperium。<sup>[1]</sup>大家知道，哈恩和迈特纳非常仔细广泛地研究了铀的衰变产物，找到了直到原子序数为 96 的元素。<sup>[2]</sup>

这里需要注意，中子产生的人工放射性除了过程(1)、(2)、(3)之外，正如海恩(F.A.Heyn)首先指出的那样，能量足够高的中子也能按下述方式反应：原始的中子不停留在核中，而是从核中打出一个中子，结果得到一个新的核，它是原来核的同位素，相对原子质量小了一个单位。最后的效果同核光电效应(玻特)或用快氘核轰击的效果相同。对这种过程产生的放射性物质进行比较之后，得到的最重要结果是证明了存在同质异能核(isomeric nuclei)，这是玻特首先证明的。同质异能核类似于同质异能素(isomers) $UX_2$  和  $UZ$ ，它们是很久以前哈恩在研究铀系时确认的。得到充分证实的同质异能性的例子正在迅速增多，随着研究工作的进展，一个非常活跃的研究领域形成了。

## 慢 中 子

在某些异常情况下，激活强度作为距中子源距离的函数，明显地

[1] 即现在的镎(Np)和钚(Pu)。——译者注

[2] 哈恩和斯特拉斯曼从铀的裂变产物中发现了镧，是铀分裂成大致相等的两部分这一过程的结果，这就有必要重新检验超铀元素的全部问题，因为很可能这些元素当中有许多是铀的分裂产物。——译者注

决定于中子源周围的物质。对这些效应进行仔细研究后得出了意外的结果，即把中子源和待激活的物体放在大量石蜡中时，在某些情况下激活强度增大很多倍，甚至增大到 100 倍。水也会产生类似的效果。一般地说，含有高浓度氢的物质都有这种效应；不含氢的物质有时也表现出类似的性质，尽管很不明显。

这些结果可以说明如下：由于中子和质子的质量近似相等，所以快中子与静止的质子发生任何弹性碰撞时，都会引起有用的动能在质子和中子之间分配。可以证明，初始能量为  $10^6$  伏的中子与氢原子碰撞约 20 次之后，中子的能量已减少到接近于热运动所对应的数值。因此，中子源在大量石蜡或水内部发射高能中子时，很快就损失了大部分能量而变为“慢中子”。理论和实验都表明，某些类型的中子反应中，特别是类型(3)，慢中子反应的截面比快中子大得多，由此可以说明为什么在石蜡或水内用中子照射时有较大的激活强度。

238

还必须进一步指出，中子与石蜡中的氢原子作弹性碰撞的平均自由程，随能量的增加而有明显的减小。因此，经过三四次碰撞后，中子能量已经大为降低，扩散到石蜡外边去的概率在慢化过程结束之前，就已经变得很小了。

慢中子被某些原子俘获的截面很大，与此相对应，这些原子应当对慢中子有很强的吸收。我们系统地研究了这些吸收，发现不同元素在这方面的性质有很大的差别。慢中子的俘获截面没有明显的规律性，从  $10^{-24}$  平方厘米或更小，小到这个数值的千分之一。在讨论俘获截面与中子能量之间的关系之前，我们先来研究一下初始中子与质子碰撞后，它的能量减小到什么程度。

## 热 中 子

如果中子可以无止境地在石蜡内散射，它们的能量最后必然会达到无规则热运动的平均值。然而，在中子的能量达到这个最低限度

以前，它们可能会由于扩散而逃逸出石蜡或被某些原子核俘获。如果中子能量达到热运动值，我们可以预料，慢中子的激活强度将与石蜡的温度有关。

在发现慢中子以后不久，我们就曾试图找出激活强度与温度之间的关系，但是由于精确度不够，我们没有成功。数月后，穆恩和蒂尔曼在伦敦证明了激活强度对温度的依赖关系，正像他们说明的那样，当使中子减速的石蜡从室温冷却到液态空气的温度时，几个探测器的激活明显地增加了。这个实验明确地说明，有很大比例的中子实际上达到了热运动的能量；另一个结论是，散射过程必定在石蜡内持续了比较长的时间。

为了能够直接测量这个时间的数量级，我和我的同事们作了一个实验。中子源固定在一个旋转的小轮边缘上，两个相同的探测器也放在这个边缘上，它们到中子源的距离相等；以旋转方向而言，一个在前，一个在后，轮子在一块大石蜡的裂缝中高速旋转。我们发现，当轮子静止时，两个探测器的激活强度相同，轮子在激活期间旋转时，中子源后面的那个探测器的激活强度比前面的那个大得多。由这个实验得出的结论说，中子停留在石蜡内的时问是  $10^{-4}$  秒数量级。

在不同的实验室用不同的设备进行了另一些机械测量，例如，邓宁、芬克(G.Fink)、米切尔、佩格拉姆和塞格雷在纽约建造了一个机械选速器，直接测量证明，大量散射到石蜡块外部的中子，它们的速度实际上与热运动的速度相当。

中子的能量减小到与热运动相当的数值后，它们继续散射，平均能量不再变化。阿玛尔迪和我对这种散射过程的研究表明，热中子在石蜡或水中的散射，在俘获之前可以达到 100 次的数量级。但是，因为热中子在石蜡中的平均自由程很短(大约 0.3 厘米)，所以在散射过程中，热中子的总位移很小(2~3 厘米的数量级)。当中子被俘获后(一般是被一个质子俘获而产生一个氘核)，散射就告结束。俘

获概率的数量级可以计算，为此我们要假设，从自由中子状态变为中子被束缚于氘核的状态，是由于质子和中子的磁偶极矩所致。计算的结果和实验符合得很好。在这一过程中结合能是以  $\gamma$  射线的形式释放出的，这是李(Lea)首先发现的。

所有慢中子被任何一种核俘获的过程，通常都伴随着放出  $\gamma$  射线：核俘获中子后立刻处于高激发状态，在达到基态之前放出一个或几个  $\gamma$  量子。拉赛蒂和弗莱希曼(R.Fleischmann)曾研究过这一过程中放出的  $\gamma$  射线。

## 反常吸收

假设中子的能量与核内相邻能级之差相比较而言很小，理论讨论后得到的中子被俘获的概率是：俘获过程的截面应当与中子的速度成反比。这个结果与实验观察到的慢中子轰击效率高，在定性上是十分相符的；但另一方面，却不能解释吸收过程的一些特性，现在我们就来讨论这些特性。

如果中子的俘获概率与它的速度成反比，我们就可以预料，适当选择两个慢中子吸收体的厚度，使它们对一定能量的中子有相等的吸收，那么，作为慢中子吸收体的两种元素的行为应当完全相同。穆恩、蒂尔曼等科学家不久就发现：吸收遵循着更复杂的规律。他们指出，如果靠一定元素中感生的放射性活度来探测慢中子，那么该元素的吸收一般比较大。纽约的邓宁、佩格拉姆、拉赛蒂等人用直接的机械实验也证明，这个简单的反比定律是不成立的。

1935 年到 1936 年之间的冬季，阿玛尔迪和我对这些现象进行了系统研究。结果是，每个慢中子吸收体都有一个以上的特征吸收带，一般是能量小于 100 伏的情况。除了这个或这些吸收带以外，对于热能量的中子来说，吸收系数总是比较大。有些元素(特别是镉)的特征吸收带和热能量区的吸收重叠。因此，这种元素强烈地吸收

热中子，而对于高能中子来说，它几乎是“透明”的。因此，对于石蜡内部的中子源的复杂辐射，可以用镉箔滤掉热中子。

玻尔、布赖特和维格纳各自对上述反常现象提出了解释，他们认为，这是由于与复合核(compound nucleus，即被轰击核和中子构成的核)的虚能级(virtual energy level)发生了共振的结果。玻尔还进一步定性地解释说，在与慢中子能谱带相对应的 100 伏能量的间隔内，有很大可能至少存在一个这样的能级。然而，这个能带对应着复合核的数兆伏的激发能，它代表着中子的束缚能。玻尔指出，由于核(尤其是重核)是一个自由度很多的系统，因此相邻能级的间隔随激发能的增加而迅速减小。对这个间隔的计算表明，尽管对于低激发能来说间隔的数量级是  $10^5$  伏，然而对于数量级为 10 兆伏的高激发能来说，间隔却减小到小于 1 伏(对中等相对原子质量的元素而言)。看来下面的假设是合理的：在慢中子能带内含有一个(或多个)那样的能级，这就解释了经常观测到的反常吸收现象。

在结束我关于中子产生人工放射性的汇报之前，我要感谢所有对这项研究作出过贡献的人们。我特别感谢前面提到的我的合作者，感谢罗马国立公共卫生研究院，特别要感谢特拉巴齐教授，他提供了我们需用的全部氡源。意大利国家研究协会也提供了很多援助，我在此一并表示感谢。

### 附录三

## 最后一次报告<sup>[1]</sup>

本文是费米所作的最后一次报告。1954年1月30日星期日上午，在哥伦比亚大学麦克米兰剧院，费米向美国物理学会作了非正式的、没有文字记录的报告。他在前一天作了学会主席退职的报告。现在大家看的报告是根据录音记录的，未经任何编辑与加工。费米对他的印刷品非常苛求，这篇非正式的文稿一定会引起费米的不满。然而对于了解费米以及听过他演讲的人来说，这个非正式的录音可以使我们重温他的声音。本文是1954年物理学会年会上费米讲话中关于哥伦比亚大学的片断。

主席先生，佩格拉姆校长，其他工作人员，女士们，先生们：  
在哥伦比亚大学200周年校庆之际，我们都会很自然地回忆起这

---

[1] 这一讲话的原文(FP 269)和前言经许可选自 Physics Today 8(November 1955): 12—16。  
这次演讲的录音带和记录均由美国物理研究院(American Institute of Physics)保存。——作者注

所大学在早期实验和筹备原子能研究中起的关键作用。

我很幸运，至少能在这一研究进展的初期协助普平实验室工作。在意大利，我遇到了一些困难，我将永远感谢哥伦比亚大学在最适宜的时期为我在物理系提供一个职位。此外，正如我所说的，这使我得到了一个非常珍贵的机会，使我亲自经历将要提到的一系列事件。

事实上，在初来的第一个月，即 1939 年 1 月所发生的事我仍然记得很清楚。一开始我就在普平实验室工作，因为事情进展得很快。那一时期，玻尔在普林斯顿大学作了一个报告。我记得有一天下午，威利斯·兰姆从那里回来，非常兴奋地说起玻尔泄漏出一条爆炸性的新闻，这就是核裂变的发现。大家都知道，这是哈恩与斯特拉斯曼的研究成果，而其初期的解释则来自迈特纳与弗里希，那时他们两人在瑞典。

接着，就在这个月的后期，在华盛顿的卡内基研究所召开了一次会议，我与哥伦比亚大学的几个人都参加了。在会上，第一次非正式地讨论了新发现的裂变现象及它可能具有的重要性，还不大十分认真地猜测它有可能成为发电的能源。这只是一种猜测。如果裂变可以将核的结构彻底搞乱，有一些中子蒸发就不见得不可能。如果有些中子被蒸发了，那它们就有可能不止一个。比如说，为了便于讨论，蒸发了两个。果真如此，那每一个可能会引起裂变。由此人们当然会想到链式反应机器的制造。

这就是那次所讨论的内容之一。此外，会议还对释放核能的可能性掀起了一阵兴奋的浪潮。这时，包括普平实验室在内的许多实验室都像患了热症那样，竞相开始这一课题的实验研究。我记得就在我离开华盛顿的时候，我接到了邓宁的电报，说已经完成了一项实验，在实验中发现了核裂变的碎片。同时在美国大约有 6 个地方实现了同一个实验结果，在欧洲也有三四个实验室获得了同样的结果。事实上以前我几乎没有想到会这样。

就这样，在哥伦比亚开始了漫长而又艰巨的工作，目的是要进一

步证实过去提到的有关发射中子的模糊设想，并试图确定在裂变发生时，是否真有中子放射出来，如果有，到底有多少。事情很明显，在这种反应中，中子的数目极为重要，因为多一点点或少一点点，就有可能使情况完全不同，也就是链式反应是否可能实现。

在哥伦比亚，这一研究分成两组进行，一组是津恩和西拉德，另一组是安德森和我，我们用不同的方法独立进行研究，当然也不断地加强联系，不断地向对方报告自己的成果。与此同时，在法国以约里奥和哈尔班为首的一个研究小组也做着相同的工作。这3个小组得到了同一个结论——我认为约里奥可能比我们早几周——这就是，尽管定量的测量还非常不确定和不十分可靠，但是可以完全肯定有中子辐射，而且相当丰富。

244

与这一研究相关的严重事态是，保密习惯像瘟疫一样首先在我们当中传播开了。也许与人们一般有关保密的信念相反，保密习惯没有在大众之间蔓延，也没有在保安部门的工作人员之间蔓延，却在我们物理学工作者之间蔓延开了。对物理学工作者来说，这是一个相当怪诞的想法，对这种想法负主要责任的应该是西拉德。

我不知道在座的有多少人认识西拉德，毫无疑问，你们很多人都认识他，他是一个特别的人，特别聪明和才华横溢的人(笑声)，我认为这是一个毫不过分的说法(笑声)，看起来，至少给我的印象是他很喜欢做出令人惊异的事。

令许多物理学家吃惊的是，西拉德提议，鉴于当时(1939年初)战争已经迫近的形势，鉴于原子能的危险性，原子武器有可能成为纳粹征服世界的主要武器，因而物理学工作者有责任改变传统——这个传统把有意义的成果尽快刊登在《物理评论》或其他科学杂志上。西拉德认为，应该先把结果保留下来，先要弄清楚这些结果对我们是有潜在的危险还是有潜在的好处，然后再考虑发表的事情。

西拉德向许多人谈了这些想法，说服他们去参加某个组织——我不知道是否应该称它为保密协会。无论如何，应该联合在一起，在

一个相当有限的范围内私下里传播这些信息，而不去公开发表。他把这种想法也电告给法国的约里奥，但是他没有从约里奥那里得到满意的反应，而且约里奥还发表了自己的研究结果，这些结果与当时已经发表的结果多少相近。因此，在裂变中，中子以一定的丰度被发射出来，其数量级可能是1个、2个或3个，这已经是众所周知的事了。到那时，对大多数物理学家来说，完成链式反应的可能性几乎已经没有什么问题了。

在哥伦比亚，进行了一项更重要的研究，它与玻尔与惠勒提出的一个纯理论问题有关，即铀有两个同位素：大丰度的铀238与小丰度的铀235。在天然条件下，铀是两种同位素的混合。铀235占有0.7%，至少大部分热中子裂变是由它来完成。应当明确的是，在铀238中有偶数个中子，在铀235中有奇数个中子，按玻尔与惠勒对结合能的说法，似乎铀235更容易裂变。

很清楚，最重要的是实验事实。这项课题由在哥伦比亚大学的邓宁、布思以及尼尔(A.O.Nier)联合研究。尼尔负责质谱分析仪，以期得到微量的但尽可能多的铀235，而哥伦比亚大学的邓宁及布思则利用这些微量的铀235，研究它是否在裂变中具有比普通铀更大的截面。

现在已经是众所周知的事，即这个实验证实了玻尔和惠勒的理论预言，这说明任何试图建造一个发展核能的机器的关键是同位素铀235。这个结论在当时很重要，因为那时的认识没有现在那么明确。

制造一台链式反应机器的最基本条件是，每一次裂变是否都能产生一定数量的中子，而这些中子之中有一些又能引起再次裂变。如果一个初始的裂变反应都能产生一个以上的后继裂变，反应就能持续进行，否则将会终止。

如果选取纯同位素铀235，中子不可避免的损失必然很小，只要裂变中每次都能产生一个多余的中子，那么，堆起足够的铀就可以得到一个裂变反应的结构。但是，如果每克铀235掺杂140克铀238

时，竞争将会激烈起来，因为这种燃料的惰性(ballast)会随时准备抢走裂变中产生的并不富裕的中子。因此，为了能够产生链式反应就必须从更丰富的铀 238 中离析出同位素铀 235。

现在，我们的实验室的一大排瓶子中，都或多或少地有一些同位素，例如，铁 56、铀 235 或铀 238，虽然它们不像一般化学元素那样普遍，但只要对橡树岭实验室施加一点压力，那么也并不难找到(笑声)。然而在那时，分离出同位素几乎是一件不敢想像的事。氘是一个例外，在那时就已经可以得到氘了。在两种同位素中，氢 1 和氢 2 的质量比为 1 : 2，这个比值较大，但是铀的两个同位素质量比为 235 比 238，其差异是百分之一多一点。由于差异如此之小，所以离析出大量的铀 235 是一件非常困难的事。

—  
246

在早期，即 1939 年底，原子能问题面临两个亟待解决的难题。首先是需要分离大量的比如说几千克或几十千克甚至上百千克的铀 235。谁也不能确切地知道到底需要多少，只知道一个大概的数量级。在那时要分离出这么多铀 235 简直不可思议，然后还要用这种同位素来实现链式反应，完全排除更大数量的铀 238。另一种学术观点认为，也许应该把希望寄托在还需要多一点点的中子上，中子的数量恐怕还是太少。必须构思出更为精巧的设计方案，不分离同位素而使链式反应更有效地发生。解决这些问题恐怕超出了人们的能力。

我个人已经与中子打了多年的交道，特别是慢中子，所以我与第二个小组利用没有经过分离的铀，尽全力进行研究。在早期，开始研究如何分离铀同位素的有邓宁、布思，他们与尤利教授保持密切联系；与此同时，西拉德、津恩、安德森和我进行了另一个方向的工作，这件工作一开始就有大量的测试。

直到现在我也没能充分了解到，当时的测试条件为什么那么差。现在我却注意到，我目前作  $\pi$  介子的物理测量条件也非常差劲，可能是我们不会玩弄诡计。当然，我们那时所拥有的设备的功能比现

在差多了。现在实验中的中子源是核反应堆，比当时用镭-铍源或回旋加速器做中子实验要容易多了。那时对回旋加速器的控制和使用主要依靠加速器的几何性质，但我们更期望的是强度，而不是好的几何性质。

我们很快就得出结论，为了充分利用天然铀，我们必须应用慢中子，所以必须有减速剂，这种减速剂是水或其他物质。我们首先想到了水。它减速中子的效率很好，但是它吸收中子却多了一点，所以我们很快就不用水了。后来想到石墨可能比较好，它的减速作用比水差，但吸收中子的性能要小一些，因此可能更加适宜。

到了 1939 年秋天，当时爱因斯坦给罗斯福总统写了一封著名的信，谈到了当时物理学的状况，他向总统说明了这种情况意味着什么、酝酿着什么问题，他认为政府有义务关心和帮助物理学的发展。事实上，几个月之后，这种帮助的资金达到了 6 000 美元，用这笔钱我们购买了以当时胃口还不甚大的物理学家看来相当多的一批石墨(笑声)。

就这样，普平实验室的物理学家们像煤矿工人那样干了起来(笑声)。在晚上，当这些物理学家拖着疲惫的身体回家时，他们的妻子简直不知道发生了什么事。我们知道，那只不过是因为空气充满了烟尘罢了，但毕竟……(笑声)。

在那些日子里，我们试图研究石墨的吸收特性，因为这种材料也许不那么好。我们制作了一个石墨柱，它的边大约有 1.2 米，高 3 米。物理学中第一次有这样大的设备(它当然是一种设备啊)，我们可以爬到它的顶上去，而且必须爬到它的上面去。回旋加速器也有这么大，但无论如何，对我来说是第一次爬到我的设备上去，它太高了——我长得不高(笑声)。

我们把中子源放在了石墨的底部，研究这些中子首先是如何减速的，然后又如何在石墨中扩散。当然，如果石墨的吸收能力很强，它们不可能扩散得很高。实验证明，这种吸收实际上很小，中子很

容易就扩散到石墨柱的上端。进行了不少的数据分析之后，我们有可能首次测到石墨柱的吸收截面，这是利用石墨和天然铀能否完成链式反应的关键测量。

我不准备详述当时的实验细节。这种情况又持续了数年，非常艰难的工作往往连续几小时、几天甚至几个星期。我应该提到，我们早期的努力与普林斯顿有密切关系，普林斯顿大学的工作也很紧张。在那里的维格纳、克罗伊茨(Creutz)和鲍伯·威尔逊(Bob Wilson)一起在做着某些测量，而当时哥伦比亚大学还没有条件进行这些测量项目。

随着时间的推移，我们开始明确哪些测量是必须的，哪些测量又是必须十分精确的。我们用“ $\eta$ ”“ $f$ ”和“ $p$ ”3个字母表示3种量，我在这儿不准备向你们讲它们的定义，但在测量中，这3个量必须首先确定，以鉴别哪种测量可以完成，哪种不可能完成。事实上我们也许可以说，这3个量的乘积必须大于1。我们后来知道，最好的乘积是1.1。

如果把3个量都测出来了，而且它们的精确度均为百分之一，3个量的乘积有可能例如是 $1.08 \pm 0.03$ ，这个结果表明我们的实验可以继续进行；但是，如果乘积是 $0.95 \pm 0.03$ ，则说明实验结果并不理想，最好寻找其他方法。然而，如我所说，当时中子物理学的测量水平是低的， $\eta$ 、 $f$ 和 $p$ 分别的测量精度恐怕要分别加、减20%(笑声)，如果把这种结果按众所周知的统计规律相加，3个20%的误差将会得到35%的误差。所以，如果你得到的值是 $0.9 \pm 0.3$ ——你又能知道些什么呢？可能什么也不知道(笑声)。如果你得到的结果是 $1.1 \pm 0.3$ ——你仍然得不出任何结论，所以，这在当时确实是一件麻烦事。事实上，回过头来看看当时的工作，我们会发现，实验测量数据，比如说 $\eta$ ，它的误差确实有20%，有时还要更大。有时，实验误差也受物理学工作者气质的影响。一个乐观的物理学工作者，有时会不自觉地想把这些值测得高一些，而像我这样悲观的物理学工

作者却总是想把它们弄得低一些(笑声)。

无论如何，没有人真正地知道该如何做。因此我们决定另想办法，必须设计另一种实验，必须找到一个全面彻底的直接测量，测出3个量的乘积，这样减少测量次数以使误差下降，使我们能更接近真正的结果。

于是我们去找佩格拉姆校长，我们认为他是一位可以让这所大学出现奇迹的人。我们向他说，需要一所大房子。当时我们所说的大房子，意思是一间真正的大房子，可他却开玩笑地说，是不是连教堂那样大的地方做物理实验都不满意呢？不过我认为教堂那样的地方恐怕是再合适也不过了(笑声)。结果他找遍了校园，我们也跟着他一起走，来到了一条黑暗的走廊，在各种各样的热气管道之下，寻找着一个可以完成这个实验的场所。最后，终于在斯海默霍伦找到了一间大房子，当然不是教堂，但大小可以与教堂相比。

在那里，我们开始安装实验设备，这些设备比以前我们见到过的大多了。事实上，任何人现在看到这个设备恐怕要拿出放大镜，还得走近它才行(笑声)。不过当时的确很大。它是一个大的石墨砖结构，在石墨砖里到处放着铁制的立方罐，其中装的是铀的氧化物。

你们也许知道，石墨是黑色的，氧化物也是黑色的，搬运好多吨这些东西会使人变得非常黑。这个工作要求我们很棒，当然，我们应该很棒，我的意思是说，我们在善于动脑子方面很棒(笑声)。于是我们的校长又在环顾四周了。他说，这项工作恐怕超过了你们那点可怜的力气，但是哥伦比亚大学不是有一个橄榄球队吗(笑声)？那里恐怕起码有一打很结实的小伙子，让他们干上半个钟头，能把这些扛过整个学院，为什么不雇他们呢？

这可真是一个妙主意。指挥这些棒小伙子可真是一件愉快的事，他们提起23千克或45千克的罐装铀就像普通人提1千克或2千克东西那样容易，在传递这些罐子时，从罐中冒出各种颜色的烟，大部分是黑色，黑烟弄得乌烟瘴气，人就像腾云驾雾一样(笑声)。

被称为指数反应堆的反应堆越堆越高。这的确是一个指数反应堆，因为按当时的理论计算，结果中出现了一个指数函数——这并不令人奇怪。我们建好的实验结构，在设计上很便于整体实验，只关注反应堆的反应率，即再生因子是大于 1 还是小于 1，而不在乎详细的细节。后来测出的是 0.87，比 1 小 0.13，这不行。但是，那时我们有一个坚实的出发点：我们必须知道能不能够把 0.13 压缩得更小，或者，更合乎人意一点。我们有很多的事要做。首先马口铁罐会不会对实验有影响，铁能够带来有害影响，它能吸收中子，因此必须把它们换走。其次，是所使用材料的纯度，以铀样品来说，会不会由于我们这些物理学工作者化学分析的技术不佳，我们想发现杂质，也确实有杂质，但是我们不知道杂质是什么。不过给人的印象极深的是：它们看起来很大(笑声)。这些杂质会怎么样？显然，它们只会有害处，也许要为 0.13 负责。最后，就那时的标准来说，石墨应该是十分纯的，可是当时的工厂不可能关注和清除吸收中子的特殊杂质。尽管如此，我们还是取得了可喜的进展，特别是西拉德的贡献。在初期阶段，为组织高纯度材料的生产，他做出非常果断的判断并采取了强有力措施。现在，他的工作结果已经发展成一个比西拉德自己更强有力的组织，虽然必须有几个强壮的顾客才能与西拉德相比(笑声)。

后来，珍珠港事件发生了。那时我相信在这个事件的前几天，对铀的研究已经引起了广泛的关注。在全国几所大学里进行着与哥伦比亚大学类似的工作。为了组织这项研究，政府采取了决定性的措施，当然，珍珠港事件对此给了最终和决定性的推动。当时政府的高级会议决定，不分离同位素的链式反应研究统一在芝加哥进行。

就在这时，我离开了哥伦比亚大学，在纽约与芝加哥之间往返数月之后，最后留在芝加哥。从那时起，除了极少数的例外，哥伦比亚的研究集中在原子能计划中的同位素分离方面。

正如我所指出的，这项研究起始于 1940 年布思、邓宁和尤利的

研究。1939年和1940年在哥伦比亚大学重新组建大型实验室，是在尤利教授指挥下进行的。那里的研究取得巨大的成果，并很快扩展成大型研究实验室。这个实验室与联合碳化物公司合作，在橡树岭建造了若干分离的工厂，这就是原子能工程的三匹马之一。原子能工程的指挥者们在这三匹马上下了赌注。正如大家所看到的那样，在1945年的夏天，它们几乎同时到达了终点。谢谢大家(热烈鼓掌)。

## 附录四

# 关于链式反应堆的报告<sup>[1]</sup>

252

很多年以来人们就知道在原子核里储存有大量的能量，而且它的释放与能量守恒定律，或任何其他已被人们接受了的基本物理学定律并不矛盾。虽然这是已经被认识到的事实，但直到最近物理学家们一般都认为：没有发现某些新现象之前，大规模释放核能是不可能的。

这种多少有些否定的态度的起因是：在原则上只有两种释放核能的过程可以考虑。当两个核接近时，能够产生能量的不同核反应可以自动产生。在很多可能的例子中，最简单的例子也许是普通的

[1] 1945年11月16日到17日，费城美国哲学学会和美国科学院就原子能和它的应用举行了一个联合会议。这篇文章是11月17日费米在会上作的报告(FP 223)。其他报告人有：H.D.史密斯、尤利、维格纳、惠勒，讲述科学方面的问题；奥本海默谈原子武器；斯通(R.S. Stone)谈健康保护；威利茨(J.H. Willitz)、瓦伊纳(J. Viner)和康普顿谈社会、国际和人文主义方面的问题；肖特韦尔(J.T. Shotwell)和兰米尔(I. Langmuir)谈工业能源问题。

本文经允许，转载自 Proc. Am. Phil. Soc. 90 (1946): 20—24。——作者注

氢。当两个氢核相互接近时，就可能自动反应生成一个氘核，同时释放出一个电子。在这种过程中每一次反应释放的能量大约是 1.4 兆电子伏，相当于每 1 克释放  $6.7 \times 10^{10}$  焦的热量，或者说相当于等量煤燃烧时释放能量的 200 万倍。氢为什么不是核炸药的理由是：在一般条件下两个氢核绝对不会相互接近，这是因为两个核都带有正电而相互排斥。在理论上没有不让两个核走到一起的理由，在高温和高压下它们可以走到一起。但是，所需要的温度和压力都超过一般方法能达到的极限。实际上，温度高到核反应能够以可觉察的速率进行，在恒星内部，特别是太阳里，是十分普遍的；这些反应一般被认为是恒星辐射出的能量的主要来源。

第二个释放核能的可能模式是链式反应。大部分核蜕变粒子都会放射  $\alpha$  粒子、质子或中子，这些新粒子又可以产生新的反应。由此我们可以设想这种可能性：第一个反应发生时产生的这些粒子可能具有足够的放射性活度，平均可以再产生大于 1 的类似反应。当这种情形发生时，每一“代”加入反应的核的数目增加，一直增加到这个过程使原来材料的相当一部分“燃烧”起来。这种链式反应是否产生，决定于第一个过程发射的粒子而引起的新过程的数量，是大于还是小于 1。这个数量称为“再生因子”。

在 1939 年发现核裂变以前，所有已知过程的再生因子都远远的小于 1。核裂变过程开辟了一条新路。几乎在核裂变发现一宣布，人们就立即开始讨论一种可能性：当两个裂变中产生的碎片分离时，它们可能被激发得有如此之高的能量，使得中子可能从它们内部“蒸发”出去。这个猜想迅速被大西洋两岸的实验观测所证实。

1939 年春天，人们已经知道由 1 个中子与 1 个铀原子碰撞所引起的一次裂变，能够产生比 1 多的新中子，可能是 2 个或 3 个。这时，许多物理学家认为以铀裂变为基础的链式反应的可能性值得探索。

与此同时，人们在审视这种可能性时，既觉得它给人们带来希望，又给人们带来巨大的担心。早在 1939 年，人们就意识到一场毁

灭性战争正在逼近。人们有理由担心，如果这种新的科学发现首先被纳粹应用于实际，就会给他们军事上带来巨大的、潜在的实力。那时没有人知道这个工作那么艰巨。我们的文明之所以能够继续，很可能是由于发展原子弹所需要的工业力量，在战时除了美国之外没有其他国家拥有。那时的政治局势对科学家的行为有一种奇怪的影响。与他们的传统相反，他们自动建立了一种检查制度，在政府认识其重要性和强制性保密前很久，他们就把裂变方面的研究看成是机密的。

上述研究的继续进行，导致链式反应的研究进展。我想说明的是，1939年年底，在已有信息的基础上，有两条路线值得跟踪。一条路线是先从普通的铀中分离出稀有的同位素<sup>235</sup>U，只有它才能发生铀的慢中子核裂变。因为分离后消除了丰富的同位素<sup>238</sup>U对中子的寄生吸收，链式反应就可以很容易发生了。实际的困难当然是如何大规模分离同位素。

第二条路线是，我建议利用天然铀，本文就专门讨论这个问题。收集这种材料和用适当的方法产生链式反应，当然比用<sup>235</sup>U实现链式反应要棘手得多。的确，初始分裂产生的中子在使用时必须非常小心，尽管因为<sup>238</sup>U的寄生吸收会使中子减少，但必须保持中子有正的剩余。必须非常小心地在中子有用的吸收和寄生吸收之间保持有利的平衡。既然两种吸收的比率依赖于中子的能量，简洁地说，这个比率在低能时大一些，于是可以采取步骤从一开始就降低中子的能量，降到1兆电子伏，这一能量大致是热运动时的能量。达到这一目的一个简单过程以前就已经知道了。它基于一个明显的事實，即当一个快中子碰上一个原子而且反跳回来时，它会丧失一些能量并变为原子的反冲能。对轻原子来说这个效应比较大，因为它很容易反冲，与氢相撞时氢可以得到最大能量，但对于所有轻元素来说也有可观的效应。

因此，为了降低中子的速度，我们将用某种合适的轻元素物质，

把铀包围起来。最明显的选择是选用最轻的元素氢来降低中子的速度，通常用的是氢的化合物形式，如水或石蜡。进一步的研究表明，氢却并非最适合于这种目的。这是由于氢核有一种明显的趋向，即吸收中子并与之组成重氢核——氘。由于这一原因，当用氢来降低中子的速度时，一种新的寄生吸收出现了，它会将维持链式反应所必需的不多的正剩余中子吃光。

因此，为了降低中子的速度，我们应该考虑其他轻元素。但它们都不如氢那样有效，不过还是希望它们较低的吸收可能超过对缺点的补偿。1939年对许多轻元素的吸收性质了解得很少。仅仅在很少的几种情形下，可以在文献中发现不确定的上限。那时，最可取的选择是重水形式的氘、氦、铍或者石墨形式的碳。

1939~1940年，我们在哥伦比亚大学的小组研究这个问题，这个小组的成员有佩格拉姆、西拉德和安德森。我们的结论是石墨是最有希望的物质，开始的时候主要是由于这种物质很容易得到。到1940年的春季，用实验来研究石墨的性质开始于哥伦比亚大学，我们有几吨石墨供实验之用，它是通过铀委员会主席布里格斯博士供给我们的。那时集中力量研究了两个问题，并且都解决了。一个是测定石墨吸收中子的特性，另一个是研究它降低中子速度的效率。研究这两个问题的实验设备是制作一个1米厚的石墨方柱，将一个小小的由铍和氢组成的中子源放在柱体的轴心。中子源放射的中子在石墨柱体中散射，中子速度逐渐降低到热运动的能量。此后它们继续散射，直到它们或被吸收，或散射出柱体之外。对整个柱体内中子在空间的分布和能量分布，用对各种能量中子敏感的探测器绘制出来，其结果符合一个散射过程的数学理论。这些研究的结果使我们得到一种数学的计算方法，它可以相当精确地反映一个中子的生命过程，即从它被作为一个快中子发射出来的那一瞬间，到它最终被吸收的那一瞬间的整个经历。

与此同时开始了另一个研究，确定由天然铀发射出来的热中子被

天然铀吸收 1 个以后，还剩下的中子数。既然相当一部分被铀吸收的热中子是被 $^{238}\text{U}$ 俘获，并且不会引起核分裂，因此这个剩余数就很小，因此十分关键的是尽可能地避免寄生损失，得到一个正盈余结果，使链式反应成为可能。一个简单妙诀就是允许中子正在降低速度时，大大减少寄生损失的发生。不把铀均匀地放在整个石墨当中，而是用更好的方法是把铀制成块状，再按照某种适当的晶格位形(lattice configuration)放在石墨之中。这种办法使中子在它的速度降低到其能量特别易于吸收时，不大可能碰上铀。

在研究这种方法的效率时，由于普林斯顿小组的合作，大大加强了哥伦比亚小组的研究力量。1941 年春季，关于这种过程详细的数据已足够使我们形成一个相当清晰的图像，了解各种因素的重要意义后，也知道用最好的办法尽量减少不利的因素。

原则上我们可以最精确地测量各种能量中子，以及所有与之作用的原子的吸收和散射特性，在一个这种过程的数学理论中我们可以利用这些结果，仅仅根据计算，就可以准确地预言一个给定系统的行为会不会是链式反应。这个方案的实际可行性似乎没有太大的希望。我们现在知道，在石墨-铀系统中使链式反应成为可能的正剩余量，只有百分之几的可能。因为很多因素对吸收和生产中子的最终结果都起了作用，所以十分清楚的是，为了使一个预言成为可能就必须非常精确地知道每一个这样的因素。到 1941 年，测量方法的进展还很难使测量核性质的精确程度达到 10%，因此也不可能给出一个计算的基础，使我们确切地回答天然铀和石墨是否能够进行链式反应。

任何有确定尺寸的系统，总有些中子因扩散而逃出系统的表面。原则上说，由逃逸而损失的中子可以用增加系统尺寸的办法消除。1941 年，人们已经清楚，可以维持链式反应的中子数平衡，即使完全是正的，但由于它如此之小，要想消除中子逃逸而带来的大部分损失，系统的尺寸必须非常大。为了设计可行的方法，回答下面两个问题是十分紧要的：(1)一个按给定晶格将铀块分布在整个石墨中的

系统，其尺寸是不是无限地大；(2)假定前一个问题的答案是有确定的尺寸，那么达到链式反应所需的最小尺寸是多大？这最小尺寸通常称为反应堆的临界尺寸。如前所述，既然由测量值详细计算常数的方法不可靠，所以我们必须设计另外的方法，以便由它更直接地得到所需要的答案。

有一个蠢办法可以达到这个目的，那就是按给定结构建筑一个系统，然后不断扩大这个系统，直到链式反应开始发生，或者即使把系统做得非常巨大却仍然不发生链式反应。这个办法显然会耗费大量的材料和劳动。幸运的是，在研究中利用相对较小的结构样品，对上述两个问题可能得到相当准确的答案。第一个这种类型的实验，即所谓中间实验或指数实验，在1941夏秋在哥伦比亚大学开始。建立了一个晶格般的框架结构，使一些装有铀的氧化物的金属罐子分布在30吨石墨之中。最初的中子源插进这些物质的底部，然后对中子在整个物质中的分布作详尽的研究，并将它与理论的预期作了比较。

第一次实验的结果有些让人沮丧，因为它告诉我们，这样结构的一个系统即使尺寸做得无限大，中子仍然是负平衡，更精确一点说，每一代中子要损失13%。尽管结果是否定的，但我们并没有因此而放弃希望。的确，对第一个结构作了很大的改进之后，可以期望降低损失的百分率。

1942年早期，研究产生链式反应的小组与芝加哥大学的冶金实验室合并，由A·康普顿领导。1942年，在改进第一个实验结果的努力中，芝加哥做了20或30个指数实验。两个不同类型的改进特别吸引了我们。第一个是对晶格的尺寸有了更好的判断，另一个是使用更好的材料。在铀和石墨中的杂质会引起寄生吸收，这一吸收要为中子的损失负相当一部分的责任，因此需要清除铀和石墨中的杂质，使其达到很高的纯度。这个问题的解决，是组织大规模的、纯度达到前所未有的石墨和铀的生产(以吨计)。同时，开始积极关注金属铀的生产。到1941年为止，金属铀仅有很小的产量，而且其纯度常

常出现问题。大部分铀金属的生产都是极易自燃的粉末形式，在很多情形下它们与空气一接触就自动燃烧。这些自燃的特性仅仅在把这些粉末烧结成致密块状时才是有所减少。这些烧结的块状有些用在指数实验中，以获得有关含有金属铀系统的特征信息。在实验进行过程中，块状铀迅速燃烧，使我们触摸时感到烫手，于是我们担心在我们实验完成之前它们已经燃烧殆尽。

到 1942 年秋天，材料的生产情况逐渐得到改善。经过冶金实验室成员和几个工业公司的联合努力，生产的石墨越来越好。已经可以工业生产几乎是全纯的铀的氧化物，而且少量成型的铀金属也生产出来了。指数实验的结果相应得到改进，由此得到的结果表明，利用这些比较好的材料可以建成链式反应的装置。

第一个链式反应装置的实际兴建开始于 1942 年 10 月。它计划建成一个巨大球形晶格状结构，由木架支撑。这个球形物建在芝加哥大学校园的网球场上。由于我们对计划中的尺寸是否足够大还有一些疑惑，所以将这个球形物外面罩一个巨大的由纤维材料制成的气球，在需要时可抽出封闭气球内的空气，以避免大气中氮的寄生吸收。这种过分的小心后来被证明是不必要的。

用了一个月多一点的时间，这个设置就建好了。一大群物理学家(其中有津恩、H·安德森和 V·威尔逊)加入了建造行列。这时，链式反应条件的研究就日以继夜地开始了，主要是测量反应堆里中子密度的增强。有些中子在铀中可以极小量地自动产生，当系统达到临界尺寸时，这些中子的每一个在最终被吸收之前，在几代的时间里积累起来，数量增多。当反应堆的再生因子，比如说，达到 99%，平均在 100 代中积累起来一个中子。结果，当接近临界尺寸时，中子的密度在整个系统中不断增加，而在到达临界尺寸时中子又开始逸出。通过观察中子密度的上升，我们可以获得一种可靠的方法推导出临界尺寸。

在将要达到系统原计划的临界尺寸之前，系统内部中子密度的测

量指出，将很快达到临界尺寸。为了避免由于疏忽大意而在没有适当注意时达到临界尺寸，在反应堆的狭槽里插入长长的镉棒，可以防止因疏忽大意而出现的意外。镉是一种最强烈吸收中子的金属，当这些镉棒插入反应堆里时，它们强烈吸收中子可以使人们确信这时链式反应不可能发生。每天早晨，镉棒慢慢地、一个接一个地从反应堆里抽出来，从测量出的中子密度就可以估计我们离临界条件还有多远。

1942年12月2日早晨，一切数据表明反应堆已经非常接近临界条件了，系统没有发生临界反应仅仅是因为镉棒的吸收。全部镉棒抽出来了，只剩下一条镉棒还在小心地往外抽；后来，最后一条镉棒也逐渐抽出来了，大家心情紧张地望着镉棒和各种仪表。测量表明，只要把最后一条镉棒向外抽2.4米，系统就可以到达临界状态。事实上，当镉棒抽出2.1米的时候，中子密度升到很高的一个值，但过了几分钟以后又稳定在一个固定水平上。当命令再向外抽0.5米的时候，下达命令的人心情相当紧张，还夹杂着一丝惊恐。这样，镉棒都抽出来了，中子密度开始缓慢增加，但有一个增加的比率，一直增加到明显有中子逃逸。然后，将镉棒再插入反应堆里，中子密度迅速降低到很低的水平上。

这种模式的链式反应装置被证明十分容易控制。其反应的强度可以非常准确地调节到任何希望的水平上。所有的操作人员要做的事，就是观察指示反应强度的仪器和移动镉棒，强度有上升趋势时把棒插入，强度有下落趋势时就把棒抽出。操纵一个反应堆非常容易，就像驾驶汽车沿一条笔直的路上行驶一样容易，当卡车向左或向右偏移时，你只需操纵方向盘就行了。只需几个小时的练习，一个操纵的人就可以很容易地将反应强度保持在1%这样一个很小的恒定水平上。

第一个反应堆没有建造散热的装置，也没有提供任何防护装置以吸收核裂变产生的辐射。由于这些原因，这个反应堆只能在很低的

功率状态下(不超过 200 瓦)运转。但这个反应堆证明了两点：一是由石墨和铀构筑的系统可以发生链式反应；二是这种反应很容易控制。

把上述研究转化工业应用，还需要在科学和工程上作巨大的改进，还需要新的技术。通过所有参加冶金计划的人员和杜邦公司的联合努力，仅仅用了距首次反应堆实验性运转不到两年的时间，一个基本上根据相同原理建造的大工厂投入了生产，它是杜邦公司在汉福德建造的，可以产生巨大的能量和相对来说大量的新元素钚。

# 索引<sup>[1]</sup>

261

## A

- Abelson, Philip H (1913— ) 埃布尔森, 美国物理学家, 镉的发现者  
Adamson, Keith F. 亚当森, 美国军械专家  
Aeby Jack. 艾比, 美国技术人员  
Agnew, Harold M. 阿格纽, 美国物理学家  
Alfvén, Hannes(1908— ) 阿尔芬, 瑞典物理学家  
Allison, Samuel K (1900—1965) 阿里森, 美国物理学家  
Amaldi, Ginestra 吉娜丝特拉·阿玛尔迪, 埃多阿多·阿玛尔迪的妻子  
Amaldi, Edoardo (1908— ) 埃多阿多·阿玛尔迪, 意大利物理学家  
Amaldi, Ugo (1875—1957) 乌戈·阿玛尔迪, 意大利数学家, 埃多阿多·阿玛尔迪的父亲  
Amidei, Adolfo 阿米迪, 费米父亲的同事,  
Anderson, Herbert L.(1914— ) 安德森, 美国物理学家

索

引

[1] 译者对人物生卒年代等作了一些增补和修改。——译者注

Anderson, Jean(H.L.Anderson) 琼·安德森, 赫伯特·安德森的妻子  
Appell, P.(1855—1930) 阿佩尔, 法国数学家  
Argo, Harold V. 阿戈, 美国物理学家  
Ariosto, Lodovico (1474—1533) 阿里奥斯托, 意大利诗人  
Armellini, Giuseppe (1887—1955) 阿米利尼, 意大利天文学家  
Astin, Allen V. (1904— ) 阿斯廷, 曾任过美国标准局局长

## B

Bacher, Robert F. (1905— ) 巴彻尔, 美国物理学家  
Bainbridge, Kenneth T.(1904— ) 班布里奇, 美国物理学家  
Barbi, Michele (1867—1941) 巴比, 意大利语言学家  
Bard, Ralph A. 巴德, 曾任美国海军副部长  
Barnard, Chester I. 巴纳德  
Baudino, John 鲍迪诺, 费米的保镖  
Beams, Jesse W.(1898— ) 比姆斯, 美国物理学家  
Becker, H. 贝克尔, 德国物理学家  
Bergonzi, Giulia(1830— ) 吉妮娅·伯冈兹, 费米的祖母  
Bernardini, Gilberto (1906— ) 博纳迪尼, 意大利物理学家  
Bethe, Hans A.(1906— ) 贝特, 德国裔美国物理学家  
Betti, Enrico 贝蒂, 意大利数学家  
Bhabha, Homi J.(1909—1966) 巴巴, 印度物理学家  
Bianchi, Luigi(1856—1928) 比安奇, 意大利数学家  
Bjerge, T. 别尔格, 丹麦物理学家  
Blackett, Patrick M.(1897—1974) 布莱克特, 英国物理学家  
Blaserna Pietro(1836—1918) 布拉舍纳, 意大利议员, 物理学家  
Bloch, Felix(1905—1983) 布洛赫, 瑞士裔美国物理学家  
Bohr, Aage(1922— ) 阿格·玻尔, 丹麦物理学家, 尼尔斯·玻尔的儿子  
Bohr, Niels(1885—1962) 尼尔斯·玻尔, 丹麦物理学家  
Boltzmann, Ludwig(1844—1906) 玻尔兹曼, 奥地利物理学家  
Bompiani, Enrico(1889—1975) 邦皮阿尼, 意大利数学家  
Bonomi, Ivanoe(1873—1951) 博诺米, 意大利政治家  
Booth, Eugene T.(1912— ) 布思, 美国物理学家  
Borden, William L. 博登, 曾担任过原子能联合委员会执行主席  
Born, Max(1882—1970) 玻恩, 德国物理学家  
Bornstein, Landolt 伯恩斯坦, 费米用过他制定的物理数表

- Bothe, Walther(1891—1957) 玻特, 德国物理学家  
 Bowen, Harold G. 鲍恩, 美国海军将领  
 Bragg, Sir William L.(1890—1971) 布拉格, 英国物理学家  
 Breit, Gregory (1899— ) 布赖特, 美国物理学家  
 Bretscher, Egon (1901— ) 布赖彻, 瑞士裔英国物理学家  
 Briggs, Lyman J.(1874—1963) 布里格斯, 美国物理学家, 曾任美国标准局局长  
 Broglie de, Louis V.(1892—1987) 路易斯·德布罗意, 法国物理学家  
 Brueckner, Keith(1924— ) 布吕克纳, 美国物理学家  
 Buckley, Oliver E. 巴克利, 美国物理学家, 曾任贝尔实验室主任  
 Bush, Vannevar(1890—1974) 布什, 美国工程师和管理人员, 创办 NDRC  
 Byrd, Richard E.(1888—1957) 伯德, 美国将军和极地探险家  
 Byrnes, James F. 伯恩斯, 美国政治家

## C

- Cantone, Michele(1857—1932) 坎顿, 意大利物理学家  
 Caraffa, Andrea 卡拉法, 费米认真读过他的《物理数学初步》  
 Carducci, Giosu(1835—1907) 卡度西, 意大利诗人  
 Carrara, Nello(1899— ) 卡拉拉, 意大利物理学家  
 Carrelli, Antonio 卡雷利, 意大利物理学家  
 Castelnuovo, Guido(1865—1952) 卡斯特努沃, 意大利数学家  
 Cesalpino, Andrea(1519—1603) 切萨皮诺, 意大利解剖学家和生理学家  
 Cesàro, Ernesto(1859—1906) 色赛诺, 意大利数学家  
 Chadwick, Sir James(1891—1974) 查德威克, 英国物理学家  
 Chamberlain, Owen(1920— ) 张伯伦, 美国物理学家  
 Chandrasekhar, Subrahmanyan (1910—1995) 钱德拉塞卡, 印度裔美国理论天文学家  
 Chang, W.Y.(1910— ) 张文裕, 中国物理学家  
 Chew, Geoffrey(1924— ) 丘, 美国物理学家  
 Churchill, Sir Winston(1874—1965) 丘吉尔, 英国政治家  
 Chwolson, O.D. 乔尔森, 意大利物理学家  
 Ciccone, Anna 齐柯勒, 意大利物理学家  
 Clayton, W. L. 克莱顿, 曾任美国助理国务卿  
 Cockcroft, Sir John D.(1897—1967) 科克罗夫特, 英国物理学家和管理人员  
 Cohen, Karl 柯恩  
 Colby, W.F. 科尔比, 美国物理学家  
 Compton, Arthur H(1892—1962) 阿瑟·康普顿, 美国物理学家

- Compton, Karl T.(1887—1954) 卡尔·康普顿, 美国物理学家, 阿瑟·康普顿的哥哥  
 Conant, James B.(1893— ) 科南特, 美国化学家和教育家  
 Condon, E.U.(1902—1974) 康登, 美国物理学家  
 Conversi, Marcello(1917— ) 康维西, 意大利物理学家  
 Corbino, Epicarmo(1890— ) 埃皮卡莫·柯比诺, 意大利经济学家, 奥尔索·马里奥·柯比诺的弟弟  
 Corbino, Leone 莱昂尼·柯比诺, 奥尔索·马里奥·柯比诺的哥哥  
 Corbino, Lupo 卢帕·柯比诺, 奥尔索·马里奥·柯比诺的弟弟  
 Corbino, Orso Mario (1876—1937) 奥尔索·马里奥·柯比诺, 意大利物理学家, 曾任过公共教育部长  
 Corbino, Vincenzo 文森佐·柯比诺, 奥尔索·马里奥·柯比诺的父亲  
 Creutz, Edward C. 克罗伊茨, 美国物理学家  
 Crommelin, C. A. 克罗姆林, 荷兰物理学家  
 Curie, Marie(1867—1934) 玛丽·居里, 波兰裔法国物理学家

## D

264

- Dante Alighieri(1265—1321) 但丁, 意大利诗人  
 D'Agostino, Oscar 德阿古斯蒂诺, 意大利化学家  
 D'Ancona, Alessandro (1835—1914) 德安可纳, 文学史家  
 Dean, Gordon 迪安, AEC 委员  
 Debye, Peter J.(1884—1966) 德拜, 荷兰裔美国物理学家  
 De Tivoli, Arnoldo 德梯沃利, 意大利物理学家  
 Dini, Ulisse (1845—1918) 狄尼, 意大利数学家  
 Dirac, Paul A.M.(1902— ) 狄拉克, 英国物理学家  
 Dollfuss, Engelbert(1891—1934) 陶尔菲斯, 奥地利政治家, 曾任首相  
 Dreyfus, Alfred(1859—1935) 德雷福斯, 法国军官  
 Drude, Paul(1863—1906) 德鲁德, 德国物理学家  
 Du Bridge, Lee A.(1901— ) 杜布里奇, 曾任加州理工学院院长  
 Dunning, John Ray(1907— ) 邓宁, 美国物理学家

## E

- Ehrenfest, Paul(1880—1933) 埃伦菲斯特, 奥地利裔荷兰物理学家  
 Einaudi, Renato 艾瑙迪, 意大利数学家  
 Einstein, Albert (1879—1955) 爱因斯坦  
 Eisenhower, Dwight D.(1890—1969) 艾森豪威尔, 曾任美国总统

- Ellett, Alexander(1894— ) 埃利特, 美国物理学家  
 Ellis, C.D.(1895—1980) 埃利斯, 英国物理学家  
 Enriques, Federigo(1871—1946) 费德里戈·恩里柯, 意大利数学家  
 Enriques, Giovanni(1905— ) 乔万尼·恩里柯, 意大利工业家, 费德里戈·恩里柯的儿子  
 Eredia, Filippo 埃瑞迪亚, 意大利气象学家, 费米读高中时的老师  
 Evans, Ward V. 埃文斯, 美国化学家

## F

- Fallopio, Gabriello(1523—1562) 法洛皮奥, 意大利解剖学家  
 Fano, Ugo(1912— ) 凡诺, 意大利裔美国物理学家  
 Fantappiè, Luigi(1901—1956) 凡塔皮埃, 意大利数学家  
 Farrell, Thomas 法雷尔, 美国格罗夫斯将军的助手  
 Farwell, George 法韦尔, 美国物理学家  
 Fedele, Pietro 费德勒, 曾任意大利教育部长  
 Fedezoni, Giovanni 费德佐尼, 费米读高中时的老师  
 Feenberg, Eugene 芬伯格, 美国物理学家  
 Feld, Bernard T.(1911— ) 费尔德, 美国物理学家  
 Fermi, Alberto (1857—1924) 阿尔伯托·费米, 恩里克·费米的父亲  
 Fermi, Enrico(1901—1954) 恩里克·费米, 意大利物理学家  
 Fermi, Giulio(1900—1915) 朱里奥·费米, 恩里克·费米的哥哥  
 Fermi, Giulio(1936— ) 朱里奥·费米, 恩里克·费米的儿子  
 Fermi, Ida de Gattis(1871—1924) 艾达·德·格蒂斯·费米, 恩里克·费米的母亲  
 Fermi, Laura 劳拉·费米, 恩里克·费米的妻子  
 Fermi, Maria(1899—1964) 玛丽亚·费米, 恩里克·费米的姐姐  
 Fermi, Nella(1931— ) 勒娜·费米, 恩里克·费米的女儿  
 Fermi, Stefano(1818—1905) 斯蒂凡诺·费米, 恩里克·费米的祖父  
 Feynman, Robert P.(1918—1988) 费曼  
 Fink, G. 芬克, 美国物理学家  
 Flanders, Donald A. 弗兰德斯, 美国数学家  
 Fleischmann, Rudolph 弗莱希曼  
 Franck, James(1882—1964) 夫兰克, 德国裔美国物理学家  
 Frisch, Otto R.(1904—1979) 弗里希, 奥地利裔英国物理学家  
 Fubini, Eugenio 尤金尼奥·富比尼, 意大利裔美国物理学家  
 Fubini, Guido(1879—1943) 吉多·富比尼, 意大利数学家

## G

- Galeotti, Gino(1867—1921) 伽里奥蒂, 意大利病理学家, F·拉塞蒂的舅舅  
Galileo, Galilei(1564—1642) 伽里略, 意大利物理学家  
Gamow, George(1904—1968) 伽莫夫, 俄罗斯裔美国物理学家  
Garbasso, Antonio(1871—1933) 伽巴索, 意大利物理学家  
Garwin, Richard L.(1928— ) 加温, 美国物理学家  
Gemelli, Father Agostino 吉梅利神父, 意大利米兰天主教大学校长  
Gentile, Giovanni(1875—1944) 金蒂勒, 意大利哲学家  
Gentile, Giovanni, Jr.(1906—1942) 小金蒂勒, 意大利物理学家  
Giannini, G.M. 贾尼尼, 意大利—美国商人  
Giolitti, Giovanni(1842—1928) 焦利蒂, 意大利政治家  
Giorgi, Giovanni(1871—1950) 乔吉, 意大利电气工程师  
Giusti, Giuseppe(1809—1850) 朱斯蒂, 意大利诗人  
Glasoe, Norris G. 格拉索耶, 美国物理学家  
Goldberger, Marvin 戈德伯格, 美国物理学家  
Goudsmit, Sam(1902—1979) 高斯密特, 荷兰裔美国物理学家  
Gray, Gordon 格雷, AEC 公共安全部成员  
Greenewalt, Crawford H.(1902— ) 格林沃尔特, 美国化学工程师  
Groves, Leslie R.(1896— ) 格罗夫斯, 美国将军  
Guglielmo 古列尔摩, 意大利物理学家  
Gunn, Ross 古恩, 美国物理学家  
Gustav V, 古斯塔夫五世, 瑞典国王

## H

- Hahn, Otto (1879—1968) 哈恩, 德国物理化学家  
Halban, Hans von 哈尔班, 奥地利物理学家  
Hanle, Wilhelm (1901— ) 汉勒, 德国物理学家  
Harrison, George L. 哈里森, 美国军人  
Heisenberg, Werner (1901—1976) 海森伯, 德国物理学家  
Hinton, Joan 欣顿, 美国物理学家, 费米的助手, 即韩春  
Hitler, Adolf(1889—1945) 希特勒, 曾任德国总理  
Hooper, Admiral S.C. 胡珀, 美国海军将领  
Hoover, Commander Gilbert C. 胡佛, 美国海军中校  
Hoover, J.Edgar(1895—1972) 胡佛, 曾任美国联邦调查局局长

- Houzeau, J.C. 胡齐奥  
 Hughes, D.J. 休斯, 美国物理学家  
 Hutchins, Robert M.(1899— ) 哈钦斯, 曾任芝加哥大学校长  
 Huxley, Aldous L.(1894—1963) 赫胥黎, 英国小说家和评论家

## I

- Impresia, Rosaria (1858— ) 英普莉西娅, 奥尔索·马里奥·柯比诺的母亲  
 Inoue, T. 井上, 日本物理学家  
 Ivanenko, D.(1904— ) 伊凡宁柯, 俄罗斯物理学家

## J

- Jeffries, Zay 杰弗里斯, 美国冶金工程师  
 Jensen, Hans D.(1907—1973) 詹森, 德国物理学家  
 Jewett, Frank B. 朱伊特, 美国科学院院长  
 Johnson, Edwin C. 约翰逊, 美国科罗拉多州议员  
 Joliot, Frédéric(1900—1958) 约里奥, 法国物理学家  
 Joliot, Irène Curie(1897—1956) 约里奥, 爱伦娜·居里, 法国化学家  
 Jordan, Pascual J.(1902—1980) 约尔丹, 德国物理学家

267

## K

- Kapitza, Piotr L.(1894—1984) 卡皮查, 俄罗斯物理学家  
 Kennedy, Joseph W.(1916—1957) 肯尼迪, 美国化学家  
 King, Percival (1906— ) 金, 美国物理学家  
 Kistiakowski, George B.(1900— ) 基斯塔科夫斯基, 俄罗斯裔美国物理学家  
 Klein, Oscar(1894—1977) 克莱因, 瑞典物理学家  
 Kowarski, Lev N.(1907— ) 科瓦茨基, 俄罗斯裔法国物理学家  
 Krewer, S.E. 克瑞威尔, 美国物理学家  
 Kronig, R. de L.(1904— ) 克朗尼格, 荷兰物理学家  
 Kusch, Polykarp(1911—1993) 库施, 美国物理学家

## L

- Lamb, Willis E.(1913— ) 兰姆, 美国物理学家  
 Langmuir, Irving(1881—1957) 兰米尔, 美国化学家  
 Laska 拉斯卡  
 Lawrence, Ernest O.(1901—1958) 劳伦斯, 美国物理学家

索引

- Lazarus, David (1921— ) 拉扎鲁斯, 美国物理学家  
Lea, D.E. 李, 英国物理学家  
Lee, Tsung Dao(1926— ) 李政道, 中国裔美国物理学家  
Levi-Civita, Tullio(1873—1941) 勒维-契维塔, 意大利数学家  
Lilienthal, David E.(1899— ) 利连撒尔, AEC 委员  
London, Fritz(1900—1954) 伦敦, 德国裔美国物理学家  
Lorentz, Hendrik Antoon(1853—1928) 洛伦兹, 荷兰物理学家  
Lo Surdo, Antonino(1880—1949) 洛苏尔多, 意大利物理学家  
Lundby, Arne 隆德比, 美国物理学家

## M

- Macaluso, Damiano(1845—1932) 马卡卢索, 意大利物理学家  
Maggi, Gian Antonio(1856—1937) 马吉, 意大利数学家  
Majorana, Ettore(1906—1938) 埃托瑞·马约拉纳, 意大利物理学家, 奎利诺·马约拉纳的侄子  
Majorana, Quirino (1871—1957) 奎利诺·马约拉纳, 意大利物理学家  
Malpighi, Marcello(1628—1694) 马尔皮基, 意大利解剖学家  
Manley, John 曼利, 美国物理学家  
Manzoni, Alessandro (1785—1873) 曼佐尼, 意大利诗人  
Marcolongo, Roberto(1861—1943) 马科隆哥, 意大利数学家  
Marshak, Robert 马沙克, 美国物理学家  
Marshall, General George C. (1880—1959) 马歇尔, 美国将军  
Marshall, John (1925— ) 约翰·马歇尔, 美国物理学家  
Marshall, Leona Woods(1919— ) 列奥娜·马歇尔, 美国物理学家, 约翰·马歇尔的妻子  
Martin, Ronald L.(1922— ) 马丁, 美国物理学家  
Matteotti, Giacomo (1885—1924) 马泰奥蒂, 意大利政治家  
Maxwell, James Clark(1831—1879) 麦克斯韦, 英国物理学家  
Mayer, Maria Göppert(1906—1972) 梅耶, 德国裔美国物理学家  
May-Johnson bill 梅-约翰逊法案  
McCarthy, Senator Joseph (1908—1957) 麦卡锡, 美国议员  
McMillan, Edwin M.(1907—1991) 麦克米伦, 美国物理学家  
Meitner, Lise(1878—1968) 迈特纳, 德国物理学家  
Metropolis, Nicholas(1915— ) 梅特拉波里斯, 美国物理学家  
Millikan, Robert A(1868—1953) 密立根, 美国物理学家

- Mitchell, Dana P. 米切尔, 美国物理学家  
 Møller, Christian (1904—1980) 梅勒, 丹麦物理学家  
 Moon, P.B.(1907— ) 穆恩, 英国物理学家  
 Moore, Henry (1898— ) 亨利·穆尔, 英国雕刻家  
 Moore, Thomas V. 托马斯·穆尔, 美国工程师协会主席  
 Morgan, Thomas 摩根, AEC 公共安全部成员  
 Morrish, Allen H. 莫里什, 加拿大物理学家  
 Mortara, Nella 莫塔娜, 意大利物理学家  
 Mossotti, Ottaviano(1791—1863) 莫索蒂, 意大利物理学家  
 Murphree, Eger V. 默弗里, 美国物理学家  
 Mussolini, Benito(1883—1945) 墨索里尼, 意大利政治家

## N

- Nagle, Darragh E.(1919— ) 内格尔, 美国物理学家  
 Neddermeyer, Seth (1907— ) 尼德迈耶, 美国物理学家  
 Nernst, Walter H(1864—1941) 能斯特, 德国化学家  
 Neumann von, John(1903—1957) 冯·诺依曼, 匈牙利裔美国数学家  
 Nichols, Colonel Kenneth D. 尼科尔斯, 美军上校, 格罗夫斯的助手  
 Nickson, J.J. 尼克森, 美国科学家  
 Nier, Alfred O.(1911— ) 尼尔, 美国物理学家  
 Noddack, Ida 诺达克, 德国化学家  
 Nordheim, Lothar W.(1899— ) 诺德海姆, 德国裔美国物理学家

269

## O

- Occhialini, Giuseppe(1907— ) 奥奇亚里尼, 意大利物理学家  
 Oppenheimer, J.Robert(1904—1968) 奥本海默, 美国物理学家  
 Orear, Jay 奥里尔, 美国物理学家  
 Ornstein, L.S. 奥恩斯坦, 荷兰物理学家  
 Ostwald, Wilhelm(1853—1932) 奥斯特瓦尔德, 德国化学家

## P

- Pancini, Ettore 潘西尼, 意大利物理学家  
 Parsons, Admiral William S. 帕森斯, 美国海军上校, 在洛斯阿拉莫斯工作过  
 Patterson, Robert P. 帕特森, 美国陆军部长  
 Pauli, Wolfgang(1900—1958) 泡利, 奥地利裔瑞士物理学家

- Peano, Giuseppe(1888—1932) 皮亚诺, 意大利数学家  
Pegram, George B.(1876—1958) 佩格拉姆, 美国物理学家  
Peierls, Rudolf(1907— ) 皮尔斯, 德国裔英国物理学家  
Perrin, Francis(1901—1979) 佩林, 法国物理学家  
Persico, Enrico(1900—1969) 佩尔西柯, 意大利物理学家  
Piccioni, Oreste(1915— ) 皮西奥尼, 意大利裔美国物理学家  
Pierucci, Mariano 皮茹希, 意大利物理学家  
Pincherle, Leo 平切勒, 意大利裔英国物理学家  
Pittarelli, Giulio(1851—1934) 皮塔莱利, 意大利数学家  
Placzek, George(1905—1955) 普拉切克, 捷克裔美国物理学家  
Planck, Max(1885—1947) 普朗克, 德国物理学家  
Pleijel, H 普雷叶, 瑞典物理学家  
Poincaré, Henri (1854—1912) 彭加勒, 法国数学家  
Poisson, S.D.(1781—1840) 泊松, 法国数学家  
Polvani, Giovanni(1892—1970) 波尔伐尼, 意大利物理学家  
Pontecorvo, Bruno M.(1913— ) 庞特科沃, 意大利裔俄罗斯物理学家  
Pontremoli, Aldo 庞特里摩利, 意大利物理学家  
Preiswerk, Peter(1907—1972) 普赖斯威克, 瑞士物理学家  
Puccianti, Luigi(1875—1946) 普欠迪, 意大利物理学家

## R

- Rabi, I.I.(1898—1988) 拉比, 奥地利裔美国物理学家  
Rabinowitch, Eugene 拉宾诺维奇, 美国生物物理学家  
Racah, Giulio(1909—1965) 拉卡, 意大利裔以色列物理学家  
Rajna, Pio(1847—1930) 拉杰纳, 意大利语言学家  
Rasetti, Adele 阿德勒·拉塞蒂, 弗朗科·拉塞蒂的母亲  
Rasetti, Franco(1901— ) 弗朗科·拉塞蒂, 意大利物理学家和古生物学家  
Reitz, John R 赖茨, 美国物理学家  
Respighi, Ottorino(1879—1936) 雷斯皮吉, 意大利作曲家  
Ricci-Curbastro, Gregorio(1853—1925) 里奇-库巴斯托, 意大利数学家  
Richardson, O.W.(1879—1959) 理查森, 英国物理学家  
Riemann, Bernhard(1826—1866) 黎曼, 德国数学家  
Righi, Augusto(1850—1920) 里齐, 意大利物理学家  
Ronchi, Vasco 荣奇, 意大利光学家  
Roosevelt, Franklin D.(1882—1945) 罗斯福, 美国总统

Rosenbluth, Marshall N.(1927— ) 罗森布卢斯, 美国物理学家  
Rosenfeld, Arthur H. 罗森菲尔德, 美国物理学家  
Rossi, Bruno(1905— ) 罗西, 意大利裔美国物理学家  
Rowe, Hartley 罗, GAC 的成员  
Rutherford, Ernest (1871—1937) 卢瑟福, 英国物理学家

## S

Sachs, Alexander 萨克斯, 美国经济学家  
Sackur, Dtto 萨库尔, 德国物理化学家  
Sakata 坂田, 日本物理学家  
Sbrana, Francesco 斯布拉纳, 意大利数学物理学家  
Schluter, R.A. 斯吕特, 费米的学生  
Schrödinger, Erwin(1887—1961) 薛定谔, 奥地利物理学家  
Schuyler, G.L. 斯库勒, 美军上校  
Schwinger, Julian(1918—1994) 施温格, 美国物理学家  
Seaborg, Glenn T.(1912— ) 西博格, 美国化学家  
Segrè, milio G.(1905—1993) 塞格雷, 意大利裔美国物理学家  
Sella, Alfonso 塞拉, 意大利物理学家  
Selove, Walter 瑟洛夫, 美国物理学家  
Serber, Walter(1909— ) 西尔伯, 美国物理学家  
Severi, Francesco 塞维利, 意大利数学家  
Shotwell, J.T. 肖特韦尔  
Slack, Francis G. 斯莱克  
Smith, Cyril S.(1903— ) 史密斯, 英国裔美国冶金学家  
Smyth, Henry De Wolf (1898— ) 史密斯, 美国物理学家  
Somigliana, Carlo(1860—1955) 索米廉那, 意大利数学家  
Sommerfeld, Arnold(1868—1952) 索末菲, 德国物理学家  
Staub, Hans 斯托布, 瑞士物理学家  
Stearns, Joyce C. 斯特恩斯, 美国物理学家  
Steinberger, Jack(1921— ) 斯坦伯格, 美国物理学家  
Stern, Otto(1888—1969) 斯特恩, 德国裔美国物理学家  
Sternheimer, Rudolph M. 斯特海默, 美国物理学家  
Stewart, Irvin 斯图尔特  
Stimson, Henry L.(1867—1950) 史汀生, 曾任美国陆军部长  
Stone, R.S. 斯通, 美国科学家

Stracciati 斯特拉夏蒂，柯比诺读高中时的老师  
Strassmann, Fritz(1902—1980) 斯特拉斯曼，德国化学家  
Strauss, Lewis L. (1896— ) 斯特劳斯，美国银行家  
Styer, General 斯泰尔，美国将军  
Sugarman, Nathan 休格曼，美国化学家  
Szilard, Leo (1898—1964) 西拉德，匈牙利裔美国物理学家

## T

Taft, Horace D. 塔夫脱，美国物理学家  
Taylor, Sir Geoffrey (1886— ) 泰勒，英国应用数学家  
Teller, Edward (1908— ) 特勒，匈牙利裔美国物理学家  
Tetrode 蒂特罗迪，德国物理学家  
Thomson, J.J.(1856—1940) 汤姆逊，英国物理学家  
Tieri, Laureto 梯尔里，意大利物理学家  
Tillman, J.R. 蒂尔曼，英国物理学家  
Tolman, Richard C.(1881—1948) 托尔曼，美国物理学家  
Townsend, John Edward(1868—1957) 汤森，英国物理学家  
Trabacchi, Giulio Cesare, 特拉巴齐，意大利物理学家  
Trevisan, Cornelia 科勒利娅·特里维桑  
Tricomi, Francesco(1897— ) 特里柯密，意大利数学家  
Truman, Harry S.(1884—1972) 杜鲁门，美国总统  
Turkevich, Anthony 图克维奇，美国化学家  
Tuve, Merle A(1901—1982) 图夫，美国物理学家

## U

Uhlenbeck, George(1900—1974) 乌伦贝克，荷兰裔美国物理学家  
Ulam, Stanislaw M.(1909— ) 乌拉姆，波兰裔美国数学家  
Urey, Harold(1893—1981) 尤利，美国化学家

## V

Villari, Parquale(1826—1917) 维拉里，意大利历史学家  
Viner, Jacob 瓦伊纳，美国科学家  
Vitelli, Girolamo(1849—1935) 维特利，意大利语言学家  
Volta, Count Alessandro (1745—1827) 伏打，意大利物理学家  
Volterra, Vito(1860—1940) 沃尔泰拉，意大利数学家

## W

- Wahl, Arthur C. 沃尔, 美国化学家  
 Wallace, Henry A. 华莱士, 曾任美国商业部长  
 Warshaw, Stephen I. 瓦肖, 美国物理学家  
 Wataghin, Gleb 瓦塔欣, 俄罗斯裔意大利物理学家  
 Watson, General E.M. 沃森, 美国将军, 罗斯福的助手  
 Wattenberg, Albert P. 瓦滕伯格, 美国物理学家  
 Weil, George L. 韦尔, 美国物理学家  
 Weisskopf, Victor F.(1908— ) 韦斯科夫, 奥地利裔美国物理学家  
 Weizsöcker, C.F.(1912— ) 外扎克, 德国物理学家  
 Wentzel, Gregor (1898—1978) 温策尔, 德国裔美国物理学家  
 Wertenstein 威尔滕斯坦, 波兰物理学家  
 Westcott, C.H. 韦斯科特, 英国物理学家  
 Weyl, Hermann (1885—1955) 韦尔, 瑞士数学家  
 Wheeler, Archibald L.(1911— ) 惠勒, 美国物理学家  
 Wick, Gian Carlo (1909— ) 威克, 意大利裔美国物理学家  
 Wigner, Eugene P.(1902—1995) 维格纳, 匈牙利裔美国物理学家  
 Williams, E.J. 威廉姆斯, 英国物理学家  
 Williams, John H. 威廉姆斯, 加拿大裔美国物理学家  
 Willits, J.H. 威利茨  
 Wilson, Owen M. 欧文·威尔逊, 美国福特基金会成员  
 Wilson, Robert R.(1914— ) 罗伯特·威尔逊, 美国物理学家  
 Wilson, Volney C. 威尔逊, 美国物理学家  
 Wolfenstein, Lincoln 沃尔芬斯坦, 美国物理学家  
 Wood, Robert W.(1868—1955) 伍德, 美国物理学家  
 Woods, Marshall Leona, 伍兹, 见 Marshall, Leona Woods 条  
 Worthington, Hood 沃欣顿, GAC 成员  
 Wu, Chien Shiung (1913—1995) 吴健雄, 中国裔美国物理学家

273

## Y

- Yang, Chen Ning (1921— ) 杨振宁, 中国裔美国物理学家  
 Yodh, Gaurang B. 尤迪, 印度裔美国物理学家  
 Yukawa, Hideki(1907—1981) 汤川秀树, 日本物理学家

索引

Z

Zeeman, Pieter (1865—1943) 塞曼，荷兰物理学家

Zinn, Walter H(1906— ) 津恩，加拿大裔美国物理学家

## 译 后 记

费米教授是杨振宁教授的导师。

杨振宁教授曾经说：“费米是 20 世纪的一位大物理学家，他有很多特点。他是最后一位既做理论，又做实验，而且在两方面都有第一流贡献的大物理学家。”

对这样一位“两面手”物理大师，而且一生两度辉煌，先在罗马大学，而后在美国芝加哥大学创建闻名世界的费米学派的大师，我早有翻译一本他的传记的想法。正好我有一位老乡余永乐先生，在美国西雅图华盛顿大学攻读物理学博士学位，我就请他在美国为我找一本最好的费米传记。1998 年 2 月，他给我寄来了塞格雷教授写的“Enrico Fermi, Physicist”。余永乐先生果然不负我望，寄来了一本我们俩人都认为“最好的”费米传记。我如获至宝，这是因为作者塞格雷不仅是费米的同胞、学生和同事，而且塞格雷也获得过诺贝尔物理学奖(1959 年)。一位诺贝尔获奖者为另一位获奖者写传记，这

是很少见的。塞格雷写过几本科学史方面的书及他自己的传记，他们是：《从落体到无线电波——经典物理学家和他们的发现》(From Falling Bodies to Radio Waves—Classical Physicists and their Discoveries),

《从 X 射线到夸克——现代物理学家和他们的发现》(From X-Ray to Quarks—Modern Physicists and their Discoveries) 和《永远进取——埃米里奥·塞格雷自传》(A Mind Always in Motions)。这三本书都有中译本，而且极受读者的欢迎；其中第二本在国内我见到过两个版本。

我立即将塞格雷这本书的目录、前言等资料打印出来，寄到几个出版社联系出版事宜。我想：肯定会立即有出版社与我签订合同。哪知我的如意算盘打空了，几次联系都杳无音信，我简直不敢相信这一事实。于是这本传记闲置了三年，没有再理会它。但没想到时来运转，出版社自动找上门来。那是去年(2001 年)春夏之交，上海科学技术出版社的应韶荃先生到我家来玩。在闲聊之中，我突然想起了塞格雷的这本书，于是趁机把此书大吹一通。应先生睁大了眼睛：

“有这么好的书？一位诺贝尔获奖者为另一位获奖者写传记？真的？”“那还有假！”我立即把闲置了三年的这本书的英文版本拿给他看，又把杨振宁先生对费米高度评价的几篇文章找出来。应先生看了很高兴，告诉我他们正在筹划“诺贝尔奖科学得主丛书”，他当即答应：一旦谈妥了版权立即出版。

2002 年秋天，收获的季节到了：版权几经反复终于谈妥了，译稿也几乎同步完成。

有惊无险，这本书的译本终于出现在读者的面前。我相信读者看了以后，绝对会觉得这是一本很值得一看的书。我真的没有对应先生瞎吹。

还有一点小事。正在翻译这本书的时候，今年 7 月因为一不小心，使我本来就搭过桥的心脏又不舒服起来。我很有一点紧张。我一向遵守合同，总是在合同规定的交稿时间以前交稿。我惟恐因病不能及时译完，因此请武汉工业学院英语系二年级的学生杨渭帮我翻

译一部分。她利用暑假完成了我请她译的一部分，我应该感谢她的帮助。

感谢上苍，我的病也不像我开始想像的那样严重，于是这本书不但没有延期，还提前了两个多月交了稿。

我还应该感谢上海科学技术出版社和应韶荃、姚晨辉两位先生，不是他们的努力，尤其是与芝加哥大学出版社版权谈判中的努力，这本书的译本就不会出现在读者的面前。

在美国退休了的大哥杨建军回答了我很多的疑难问题，我当然不能忘记要对他表示最衷心的感谢。

虽然我尽力想把这本书译得让读者满意，但错误之处恐怕还是在所难免。我真诚地希望得到、并将虚心接受读者和专家们的批评。

杨建邺

于华中科技大学宁泊书斋

2002年10月4日