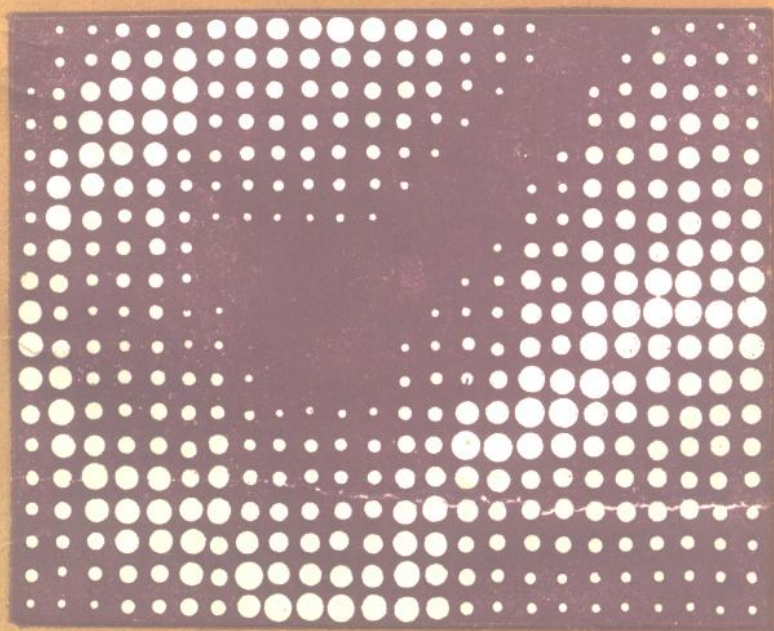


近代物理学史研究

(二)

王 福 山 主 编

JIN DAI WU LI XUE SHI YAN JIU



复 旦 大 学 出 版 社

53.04

4

王福山 主编

近代物理学史研究

二

复旦大学出版社

内 容 提 要

本书收集国内外学者在科学史研究,特别是物理学史研究中有
一定创见的论文计 13 篇,其中包括杨振宁的“场与对称性”,王福山的“第
二次世界大战期间德国的原子能工作”等。

每篇文章均以大量史实为背景,提出自己的新观点、新见解,对科
学技术发展史和思想史研究工作者有一定的参考价值。本书也适用于
大专院校物理类师生和中学物理教师教学和学习物理学参考。

2P92/38

近代物理学史研究

(二)

复旦大学出版社出版

新华书店上海发行所发行

复旦大学印刷厂印刷

字数 178 千 开本 850×1168 1/32 印张 6.625

1986 年 7 月第一版

1986 年 7 月第一次印刷

印数: 1—6,000

书号: 13253·028 定价: 1.85 元

前 言

1982 年上半年复旦大学物理系为高年级学生开设了以物理学史为主的“科学史和科学哲学”讲座,受到普遍欢迎,有许多单位和个人来信索取这次讲座的讲稿,这就使我们产生了编辑出版一本物理学史论文集的打算。这一年的 11 月份,中国科学技术史学会在北京召开了第一次物理学史讨论会,我校向会议提交了 11 篇论文。最后我们在复旦大学出版社的支持下,从这两部份内容中挑选了 14 篇文章,以书名《近代物理学史研究》,于 1983 年 9 月出版。这本书一经发行就很快脱销,许多读者来信,希望该书再版,并希望我们能继续编辑出版这样的论文集。我们与复旦大学出版社认真考虑了广大读者的意见后,决定把《近代物理学史研究》作为一种不定期的丛书持续编辑出版下去。现在第二辑又和读者见面了,第一辑亦将同时再版发行。我们打算这一丛书今后一年左右出一辑,内容以近代的物理学史研究的论文为主体,吸收一些古代物理学史特别是中国古代物理学史、以及与物理学有密切关系的其他学科的科学思想史方面的论文;并且为了活跃我国科学史方面的讨论,我们还将选编一些有关的资料和译稿。读者对象以大学物理系学生和大学、中学物理教师为主,兼顾其他对物理学的思想和历史有兴趣的读者。在第一、二两辑中所收集的文章,除了复旦大学的同志外,也有一部分是外单位的同志撰写的,我们打算今后逐步增加后者的比重,为此希望这一工作能够得到国内物理学家和科学史家的积极支持。

王福山

1984 年 10 月

目 录

✓ 场与对称性	杨振宁 (1)
尼尔斯·玻尔的魅力	
——纪念玻尔诞生一百周年	杨福家 (10)
爱因斯坦离开德国到美国定居的前前后后	
——纪念爱因斯坦逝世三十周年	金尚年 (17)
第二次世界大战期间德国的原子能工作	王福山 (26)
✓ 《墨经》物理学	吴 椿 (70)
✓ 物理光学发展近史	章志鸣 (89)
✓ 对普朗克常数认识的历史进程给我们的启示	倪光炯 (101)
✓ 普朗克公式理论基础的再探讨	田卫东 金尚年 (114)
✓ 质量概念的发展	胡素辉 金尚年 (137)
✓ 能量守恒定律的建立和发展	
.....	金尚年 胡小敏 曹霞芬 (155)
✓ 熵概念渊源初探	胡家琰 (174)
金字塔面面观	吴 椿 (194)
童年的爱因斯坦不是一个笨孩子	
——一个报导的转述	王福山 (202)

场与对称性

杨振宁

我想讨论二十世纪物理学中两个非常重要的概念,即场的概念和对称性的概念。

如果追溯场的概念,我们就得返回到十九世纪去。在1820年,奥斯特(Oersted)发现电流可以影响邻近的磁铁。他创造了“电磁学”这个名词,直到今天仍在用它来强调电与磁之间的深刻联系。他的发现引起了许多物理学家的注意,特别是安培(Ampere),开始对电流之间的作用力进行研究,由此导致了今天众所周知的安培定律。这个定律以及有关的现象又特别地由韦伯(Weber)编织为一种教学结构,他的想法跟一种相当自然的观点——“超距作用”的观点是相互联系的。紧接着安培的发现几年之后,迈克·法拉第(Michael Faraday)便开始了他的具有历史意义的电学实验研究。在大约二十年期间,法拉第发表了实验,也发表了他对这些实验结果所作的讨论。他把所发表的论文编成各节,相继的各节依次标明1,2,3,4,等等。在这一伟大系列的第一节中,我们读到:

“电的张力所具有的那种本领——使其周围处于一种相反的带电状态——已经用一个一般的术语“感应”表示出来了。”

我们从这段引文可以看出,法拉第是按照归纳法来研究电和磁的问题的。电荷在其周围介质中所

产生的效应使他深感兴趣。他的方法是从实验出发。在读法拉第论文时,我们可以看到他是如何努力于观察,如何试图去阐明这些观察结果,以及如何去表述那些概念以有助于解释实验结果和描写实验结果。作为这些努力的结果,他最终获得了力线的概念以及场的概念。跟法拉第同时代的一个人,廷德尔(Tyndall)就曾如下地谈到力线的观念在法拉第思想中的起源^[1]:

“铁屑在磁铁周围撒开后形成的线状排列启发了法拉第关于磁力线的想法。他谈论(并且用草图来说明)当磁力线分别穿过磁性物体或者反磁性物体时的弯曲,力线既有聚拢的情况,也有散开的情况。这些聚散的观念也都建立在他对铁屑的直接观察之上。他对这些力线苦思了如此之久,并如此一贯地把它们跟他对感应电流的实验联系起来,以致这种联系成为**不可分离的**,而没有它们他就不能思考。他写道‘我已经如此习惯于使用它们,尤其是在我最近的一些实验中,以致于我大概不知不觉地对它们有偏爱了,我不再是一个目光锐利的法官了。不过,我总还是致力于使实验成为理论和观念的试金石和调节器,但是无论是通过实验,或者是在原理上仔细反复地考察,我都没有发现使用力线概念有什么差错’”。

这一节是非常有趣的。它生动地展示了法拉第的研究方法,同时它也证明了法拉第作为一个物理学家的品格。

法拉第凭借着他的直觉观念以及他在实验现象中找到的那些正确的东西,最后便对力线作出了非常明确的陈述。在1851年,即在他开始其一系列实验的二十年之后,他写了一篇题为“论磁力线,它们的确定特征以及它们在磁铁内和空间中的分布”。下一年,即1852年,由于发现了力线间彼此排斥,法拉第进一步阐明了他的观念:顺着力线的方向上有吸引力,而各力线之间则相互排斥,于是场的伟大思想便在直观上成熟了。

下一步的发展围绕着麦克斯韦这个中心人物,他比法拉第小四十岁。当他还是一个二十来岁的年青人时,就已经体会到法拉第

论文中的概念是极为深刻的，他还感到应当赋予这些概念以明显的数学形式。他曾经将他想把法拉第思想变换为数学形式的想法写信告诉过法拉第，而在1857年，当他已经取得部分的结果时，他就把论文寄给了法拉第。法拉第读了之后，在1857年3月25日写回信给麦克斯韦^[2]：

“我亲爱的先生，我收到了你的论文，为此深表谢意。我不说我为你对力线所讲的话而冒昧地感谢你，因为我知道，你是为了追求哲学真理才做成这件事的。不过你一定料想得到，这是一件使我感到欣喜的工作，并且极大地激励我去继续思考。起初当我看到这种数学的力强加于这个课题上时，我几乎被吓坏了，尔后我惊异地看到这个课题居然能这么好地承受住它”。

历史没有留下麦克斯韦对法拉第这封信有什么反应的记录，但是他继续他的工作，并在该年迟些时候他又写了一封信给法拉第^[3]，信中集中讨论了法拉第想法中的核心主题：“在产生下述想法的人们中间，你是第一个人，这种想法认为：物体是通过**将其周围介质投入一种紧张状态而彼此超距作用的**”。“……您仿佛已经看见了那些力线绕过障碍物推动铅锤球使之指向导体，并且在晶体内部突然转向某些方向”。在这里我用黑体字的地方就是麦克斯韦关于法拉第观点正在取代**超距作用**概念这件事的明确表述。

紧张这个词，我想提醒你们，当然跟我们前面已经提到过的**张力和感应**是密切相关的。

麦克斯韦继续努力把这些观念表述为数学公式，又经过六年之后，他写了一篇论文，毫无疑问，这是十九世纪物理学中最伟大的一篇文献。它以“电磁场的动力学理论”为题发表于1865年。就我所知，麦克斯韦也是第一个明确使用**场**这个名词的人。

麦克斯韦也从数学上表述了**能量局域性**的概念。这就是说，对于带电的和带磁的物体，能量并非只存留在这些物体内部，而且也存留在物体周围的空间中。他在一篇论文里写道^[4]：

“一切能量，不论它以运动的形式存在，以弹性的形式存在，还

是以任何其它的形式存在，都是和机械能一样的。电磁现象中的能量就是机械能。剩下的问题仅仅是：它存留在什么地方呢？……按照我们的理论，能量存留在电磁场之内，存留在带电和带磁物体周围的空间中，就象它存留在那些物体本身的内部一样。”

凡是学过大学电磁学的人当然都能明白，麦克斯韦在这里谈到的正是：总能量等于

$$\frac{1}{8\pi} \int (E^2 + H^2) d^3x$$

麦克斯韦的论文并没有普遍地为人们所理解。当时围绕着下面两个问题继续争论不休：a) “他到底讲的什么意思？” b) “他是正确的吗？” 一直要等到 1905 年爱因斯坦发表了那篇伟大的论文之后，人们才理解了麦克斯韦方程组的真正含义。

麦克斯韦方程组的重要性无论怎样估计也不会过份。**麦克斯韦方程就是电磁论**。假如没有我们对麦克斯韦方程组的理解，那就不可能有今天这样的世界。直到今天，麦克斯韦方程组的深刻含义仍在继续探讨之中。

二十世纪物理学受到了场的观念的深远影响。我在表 1 中列举了迄今为止的一些重要进展。

表 1 二十世纪内场论的若干进展

1905	洛伦兹不变性
1915	广义相对论
1927	量子电动力学
1930	无限的(负能电子)海
1935	介子理论
1947—49	重正化
1948	路径积分
1954	非亚贝尔规范理论
1960—64	破缺对称性
1961—70	弱电理论

让我们现在转到下一个论题,即对称性。可以有把握地认为,自从文明伊始,对称性的概念就以某种形式存在于整个人类社会的语言之中了。很难设想有哪一个文明社会,居然会不对水池中受到扰动时由一点产生出来的美妙的圆形水波作一些描述,也很难设想一个文明社会居然会不对人体的匀称美作一些描述。

然而,以实质性的方式把对称性的概念引进物理学,则是相当迟的事情了。在十九世纪的七十和八十年代,比埃尔·居里(Pierre Curie)在讨论晶体的结构时,是最早明确地讨论对称性概念的人们中间的一个。当然,晶体具有对称性,这一点人人清楚;可是准确地说,对称性这个词对于晶体来说究竟意味着什么,这一点就不那么清楚了。事实上,数学家和物理学家们积了长达半个世纪的努力,才使大功告成。在1890年左右,经过俄国的费多洛夫(Fedorov)和德国的舍恩弗利斯(Schoenflies)的工作,沿着十分不同的路径,人们成功地构造了称之为空间群的概念。这个概念抓住了晶体对称性的实质。在二维空间,共有17个不同的空间群,而在三维空间,则有230个不同的空间群。每种晶体都属于其中一个空间群。它的许多物理性质均可由它所从属的空间群来确定。

物理学中对称性概念的下一步伟大进展是狭义相对论,以及洛伦兹群,这要归功于彭加勒、爱因斯坦和闵可夫斯基。在历史上,这是场和对称性概念的第一次深刻的结合。后来在1922年,洛伦兹曾如下地谈到这一进展^[5]:“我没有能够证明场方程组的普遍协变性,可是爱因斯坦成功地做到了。不仅如此,他还把方法倒了过来。他不是从已知的方程组出发去证明对它们来讲协变性是存在的,而是把协变性应当存在这一点作为假设提出来,并且用它来做演绎法以导出方程组应有的形式”。

从今天的观点看来,洛伦兹在这里说的正是一个最重要的进

展。爱因斯坦不是从实验上已证实了的麦克斯韦方程组出发，去追问这些方程组的对称性是什么，而是把局面扭转过来，从对称性出发去问方程组应当怎样。把原先的地位颠倒过来的这一崭新的程序，我曾称之为^[6]“**对称性支配相互作用**”。用了这种新的程序，对称性考虑便变成了**基本相互作用的原理**，而且事实上，它已经成为七十和八十年代基本物理学的占统治地位的主题了。

接着，广义相对论问世了。爱因斯坦在他晚年时曾经写道，在1907到1908年左右，他得出结论说，为了要建立引力——这在当时是除了电磁力之外仅有的另一种熟悉的自然力——理论，应当从一些非常普遍的对称性原理出发，再推导出引力方程来。爱因斯坦把这一思想与等价原理结合起来，探索了约八年之久，最后建立了广义相对论。

在导致人们广泛接受对称性支配相互作用这一原理的历史发展中，一个称为规范场的概念起了决定性的作用。这个观念是在1918年由本世纪一位伟大的数学家赫尔曼·魏尔 (Hermann Weyl) 首先提出的。魏尔想到，如果按照爱因斯坦，引力是一个几何概念，那末我们就需要另外一个几何概念与爱因斯坦的时空几何结合起来，才能在同一种描述中把电磁论也包括在内。魏尔新增加的几何概念是**定域标度改变**，其中他考虑了把通常的标度改变加以推广。通常我们如果改变标度，比方说，从米改到英尺，或者从美元改到日元，这是一种均匀的改变，你是在所有时空点上都按同一个比率作改变。可是魏尔主张一种标度改变，它本身从一个时空点到另一个时空点是可以变化的，这叫做定域标度改变。他论证说，物理理论不应当随这种定域标度改变而改变。魏尔称这一种物理理论对定域标度改变的无关性的概念为规范不变性。他把他的想法在一些论文和一些国际会议上都报告了，在1918年的一次这样的会议上，爱因斯坦表示了异议^[7]。魏尔的想法没有得到发展。

然而，故事并没有就此结束。在1925年，跟上述发展完全独

立的量子力学诞生了。两年之后，即 1925 年，福克 (Fock) 和伦敦 (F. London) 认识到，用了量子力学的话，魏尔的观念在事实上是正确的，只是在形式上要作一点微小的，然而却是重要的改变。这一点微小的改变就是在标度因子上插入一个 i (-1 的平方根)。于是标度因子便变为相位因子。换言之，自从福克和伦敦之后，人们认识到，在量子力学中，必须有某种类似于规范不变性的东西存在。只不过它不是标度，不是规范，而是一种**相位不变性**。

在 1927 年到 1954 年间，规范 (即相位) 不变性的观念已在技术上被用来检验那些电磁过程的计算是否与此种不变性相协调。然后到 1954 年，这一观念又被推广到更复杂的相位 (即李群的元素) 以作为一个原理来写下一些相互作用的形式，它们是麦克斯韦电磁学的推广。就这样，“非阿贝尔规范理论”发展起来了。

非阿贝尔规范理论跟另一个重要的观念——“对称性破缺”——结合在一起，形成了由温伯格 (Weinberg)、萨拉姆 (Salam) 和格拉肖 (Glashow) 在六十年代后期所发展的一个弱电相互作用模型。最近十年来，这个模型在描述弱相互作用方面已经取得了巨大的成功。1971 年，特·胡夫脱 (t' Hooft) 又证明了非阿贝尔规范理论是“可重正化的”。这些发展就导致了今天人们所普遍接受的这样一个信条：自然界所有的基本力都是由一些对称原理产生的，这也就是说：“对称性支配相互作用”。

当然人们会想到这样的问题：自然界为什么要选择对称性来作为她塑造各种力时的指南呢？对于这一点有没有更带根本性的理由呢？我们可以对这个问题展开哲学讨论。不过从技术性的观点看来，用对称性而不是别的东西来构造各种力，有一个具体而切实的好处，那就是大家都意识到的一个事实：**对称性对于可重正化性是有益的**。重正化是一个微妙的概念，而对称性在这中间明显地起了实质性的作用。我并不认为我们对于重正化或者对称性在理解上已经到尽头了。这些微妙的概念在将来无疑地还会进一步发展。对称性的概念在过去已经历了一系列演变。我和许多同事

们都相信，崭新的想法还可能会导致对称性概念沿着尚未开拓过的方向上继续衍生发展出去。

这些新观念将是些什么东西呢？它们会不会跟代数观念相联系，比如在物理学中引进四元数？或者会不会它们跟近十年来所发展的被称为超对称和超引力的观念相联系？它们将来自已有的数学，还是将来自尚待发展的数学呢？

一个多世纪以前，在物理学发展的一个完全不同的阶段上，麦克斯韦写了一篇关于法拉第的优美文章^[1]。我想为你们摘引其中的几段：“法拉第运用力线的观念把电磁感应现象整理得井井有条，这种方式本身就表明了他事实上已经是一位非常高明的数学家，未来的数学家们可以从他那里学到很有价值的、富有生命力的方法。

精密科学的进步有赖于合适的和精确的观念的发现和 发展。借助于这些观念，我们才可以形成对事实的一种思维表象，这种表象一方面必须足够普遍以能容纳任何一种特殊的情况；另一方面，它们又必须足够精确以保证我们可以应用数学推理的办法从它们进行正确的演绎论证。

从欧几里得的直线到法拉第的力线，这就是科学赖以进步的观念所显现的特征。通过自由地运用动力学的以及几何学的观念，我们可以期望继续往前推进。使用数学计算的目的是要把运用这些观念所得到的结果与我们实验中对有关的量所作的测量进行比较。电学现正处在这样的测量和计算都具有头等重要性的阶段上。

即使对于将从我们现正在收集的材料中发展起来的那门科学的名称，我们或许都是无知的……”

参 考 文 献

[1] J. Tyndall, Faraday as a Discoverer, Cromwell Co., New York, 1961, p. 152.

[2] L. Campbell and W. Garrett: Life of J. C. Maxwell, p. 200. Macmillan, New York, 1884.

[3] L. P. Williams, The Origins of Field Theory, p. 118. Random House, New York, 1966.

[4] J.C. Maxwell, Scientific Papers, V. 1, p. 564. Dover, New York, 1968.

[5] H. A. Lorentz, Problems of Modern Physics, Dover, New York, p. 87.

[6] Chen Ning Yang(杨振宁), Selected Papers 1945—1980 with Commentary, p. 563. New York, 1983.

[7] Chen Ning Yang(杨振宁), 即将发表于 Proceedings of the 1983 Tokyo Conference on the foundation of quantum mechanics.

[8] J. C. Maxwell, Scientific Papers, V. 2, No. 81, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1890.

(本文原文系英文, 吴子仪译, 倪光炯校)

丹麦是我出生的地方，是我的家乡。
这里就是我心里的世界开始的地方。

——安徒生

尼尔斯·玻尔的魅力

——纪念玻尔诞生一百周年

杨 福 家

一、引 言

尼尔斯·玻尔是本世纪与爱因斯坦齐名的物理学家。如果说，本世纪物理学的两大革命性发现之一的相对论，主要归功于爱因斯坦一个人，那末另一个发现——量子力学，却有不同特色，它是一代人集体努力的结果，而核心人物就是尼尔斯·玻尔。

玻尔的贡献不仅体现在科学上的非凡成就，而且特别可贵的是，还体现在造就人才方面的独创精神。他以自己崇高的威望、幽默好客、和蔼可亲的态度，吸引了一大批年青人，并把他们的聪明才智充分地发挥出来，融为一体。从而，形成了著名的哥本哈根学派，产生了在物理学界永放光芒的哥本哈根精神，创立了被世人誉为物理学界“圣地”的玻尔研究所。

为什么一个人口不到五百万的小国，在二十年代之后竟能与英、德一起成了当时物理学界的三大国际中心？不少人说，这是由于玻尔的魅力。这是什

么样的魅力,它又是怎样产生的呢?

二、玻尔的魅力

我们先来读一下,第一个把量子力学用于原子核现象的物理学家伽莫夫(G.Gamow)在自传中的一段话:

“我在返回列宁格勒途中,经过哥本哈根,决定住一个晚上,见我深为尊敬的尼尔斯·玻尔。在进入一家廉价的旅馆登记后,步行来到了研究所,遇见玻尔的秘书休兹女士。她说玻尔近来十分忙,我得等上几天才能见到他。我急了,告诉她,我回家前剩下的费用已只够在这里住一个晚上了。于是,当天下午我就在研究所的图书馆里见到了玻尔。他问起我工作情况,我就告诉他,我正在做放射性 α 衰变的量子理论;文章已经寄出,但是还没有发表。玻尔在详细了解后,立刻感到了兴趣,然后,并没有按常规要看一看我的学历证明,就说:‘我的秘书告诉我,你的钱已只够在这里住一个晚上了。如果我给你一笔奖学金,你愿不愿意在这里工作一年?’我立刻激动地回答:‘天那!当然啦,太感谢你了。’”

这样,伽莫夫就在研究所里工作了三年,成了研究所内最活跃、几乎不可缺少的一员。

※

※

※

玻尔邀请海森堡、泡利来到哥本哈根,则是发生在玻尔访问哥廷根之时。那时(1922年),还只是大学生的海森堡和毕业不久的泡利,都随其导师索末菲来听玻尔的演讲。玻尔虽因其伟大的三部曲(1913年发表)已在科学界享有盛名,但对年青大学生的提问却十分重视,邀请他们漫步讨论,肯定他们的正确性,检讨自己“说得不够小心”。并认为,“到哥廷根讲学的最大收获是第一次遇到了两位年青人,海森堡和泡利”。海森堡则说:“我真正的科学生涯是从那次与玻尔散步开始的”。

不久泡利和海森堡相继来到哥本哈根玻尔研究所。

海森堡抵达后没隔多久,这位诺贝尔物理学奖获得者就陪他旅行,两人背着小包,住小客栈,一边欣赏丹麦西兰岛的优美风光,

一边从政治、地理讨论到哲学、物理。

泡利来到研究所后，以尖锐地评论各种物理问题而给人留下了深刻的印象。虽然他有时用词挖苦、讽刺，有时态度粗暴，但是玻尔却能“认真地对待这种含蓄的批评，决不因受到挖苦而气馁”。（玻尔的知友罗森菲尔德语）不管大事小事，玻尔都要找泡利聊一聊。逐渐地、研究所内每个人都珍视泡利的批评，甚至在他离开哥本哈根之后，他的每次来信都被看作一件大事，在所内广为传阅。

无疑地，玻尔、海森堡、泡利之间的合作与友谊对量子力学的发展起了不可估量的作用，正是他们，形成了哥本哈根学派的核心。

※

※

※

1942年，世界上第一座原子反应堆建成，从此开始了大规模利用原子能的时代。发明原子反应堆的第二号人物，赫·安德森，出生的时候正是玻尔发表伟大三部曲的那一年。可是谁能想到，在1939年初，把这位年青的研究生引向原子核物理的正是尼尔斯·玻尔。

1938年哈恩与施特拉斯曼发现裂变现象不久，玻尔就与惠勒合作研究裂变理论。他们发现，天然铀中只是占千分之七的铀-235能在热中子下引起裂变。为了从实验上证实这一重要的结论，玻尔从普林斯顿赶到纽约哥伦比亚大学去找费米。但费米恰巧不在，而遇到了一位“纤细而恬静，还像个孩子刚要成年那么嫩弱的”（费米夫人语）青年人，赫·安德森。可是，这位世界闻名的大科学家却能耐心地、不厌其烦地向他解释新发现的裂变理论。玻尔的崇高威望和慈祥的态度立刻激起了安德森的巨大热情，他决心助费米一臂之力，使费米在终止了五年以后又开始了实验学家的生涯，在安德森所熟悉的回旋加速器上开始了实验工作。

※

※

※

与玻尔的会见是迷人的，难怪迈特纳，这位对裂变现象的解释作出杰出贡献的女教授，在会见玻尔四十多年之后仍津津有味地