

几位物理学家的故事

杨振宁

1986年5月26日至6月13日美国纽约州立大学石溪分校杨振宁教授应中国科学院的邀请来北京给中国科学技术大学研究生院及来自全国部分高等院校的研究生和教师讲授了题为“相位和近代物理”的课程。本文是中国科学技术大学研究生院物理教学部丁亦兵根据杨振宁教授在讲课期间所做的一次学术报告的录音整理而成的。此稿未经杨振宁教授过目,一切错误由整理人负责。(整理者 丁亦兵)

费米的故事

费米是二十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,而且在两个方面都有第一流贡献的大物理学家。认识费米的人普遍认为,他之所以能取得这么大的成就,是因为他的物理学是建立在稳固的基础上的。用英文讲是“*He has both of his feet on the ground*”,就是说,他总是双脚落地的。

我给大家举一个非常简单的例子。1925至1926年矩阵力学和波动力学建立,1927年海森堡的测不准原理又问世,这时质点的量子力学基础已经奠定了。但是,要计算一个电子从一个态跳到另一个态的跃迁几率,还要用对应原理,这是一个半路出家的办法。对此,有好几个人,其中最主要的是狄喇克,进行了初步的讨论,认为需要把电子的运动与电磁场结合在一起,把它们看成一个运动系统,然后对这个整个的系统进行量子化。这样,就形成了量子电动力学,所以大家公认狄喇克是量子电动力学的创始人。狄喇克的文章发表以后,泡利和海森伯对这个工作非常感兴趣,他们把这种场论大大地向前发展。我记得,我在芝加哥大学做研究生时,曾经花了很多时间来研究他们在那两年里所写的文章。这些文章都非常难懂,因为它们太形式化了。

在那个时候以前,费米没有参与过量子力学本身的奠基性的工作。他的关于统计力学的研究工作是在量子力学建立之前发表的。那时,他在意大利。那里的近代物理学当时不是最发展的,费米完全是独自做研究的。他看到了狄喇克的工作,也看到了泡利和海森伯的工作。他对这些工作不太满意。其中最重要的一点是,在这一理论中有一个叫做标量势的量 A_0 ,找不到它所对应的动量,这在当时引起了一些紊乱。费米讨论了这个问题,在1930年写了一篇文章,是用意大利文写的。1932年,在《现代物理评论》上用英文发表了。他的这篇文章非常直截了当、非常具体地奠定了量子电动力学的基础。不管当时狄喇克、泡利、海森伯写了多少篇文章,他们所做的东西都偏于形式化,所得的结果不具体、不清楚。然而,经过费米的工作,就变得非常具体、非常清楚了。当时一些从事这方面工作的人,比如乌仑贝克,就曾经对我讲过,说是在费米的文章出来以前,没有人懂量子电动力学,算来算去都是一些形式化的东西,对于具体的内容并没有理解。费米的文章出来以后,才真正地懂了。费米的这种扎扎实实、双脚着地的特点,正是他的基本成功之处。这一点不只是表现在刚才所讲的很复杂的量子电动力学上。从简单的到复杂的所有的问题,经过费米一处理,都变成非常清楚的了,使得你觉得中学生都可以懂。

正象在我的那篇“读书教学四十年”的文章

中所讲的,我在做学生时,受到费米的影响非常大.其中最重要的是我了解到物理不是形式化的东西.

1948年我在芝加哥大学得了博士学位之后,当了一年教员.1949年春天,奥本海默来演讲,当时在美国,奥本海默是众所周知的物理学家,因为他成功地主持了战时原子弹的研制工作.那时正是量子电动力学中重整化问题的研究处在高峰的时期.在芝加哥大学,费米和温采尔、泰勒等几位教授对这一问题非常感兴趣,但是他们还没有细致地做这方面的工作.奥本海默那时主持普林斯顿高等学术研究所,那里有很多年轻人(包括戴逊等)在做这一工作.听完奥本海默的演讲之后,我觉得我应该到那里去,于是我去找费米,也找了泰勒,请他们介绍我去高等学术研究所.他们两位很赞同,因为那里有很多年轻人,经常有很多新问题讨论.奥本海默回了信,接受我去高等研究所.这时,费米对我说,他很高兴我去那里,可是又说,那个地方不是久留之地,因为那个地方的工作象是一个修道院,是为培养传教士的.这种观点清楚地表示出了费米的物理学家的精神,它确实是我们做学生时平常与他接触所得到的最深刻的印象.

费米对于“什么是物理,什么不是物理”有一个很清楚的价值观念.他认为太多形式化的东西不是不可能出物理,只是出物理的可能性常常很小,因为它有闭门造车的危险.而跟实际接触的物理才是能够长期站得住脚的物理.我后来对于物理的价值观念是深深受到了费米的影响的.这里,我们不妨做一个比喻.物理学的发展,可以比作研究一张非常大的画.对这张画首先要有近距离的了解,因为它画得非常精细,你在每一个不同的地方都可以发现非常奥妙的结构.这个近距离的了解非常必要,如果没有这种了解,就不可能理解物理学的真正的精神.但是,如果一个人只做近距离的了解,他便不能得到最大的成就.把这许许多多近距离的了解加起来还不够,还需要有宏观的了解,为此就需要有能力走远了去看.这时,你会发

物理

现一个大的结构.对于一个物理学家,最希望他能做的是,既要大的结构有了解,又要对细致的结构有了解.只有把这两者结合起来,才能够真正吸取自然界物理现象基本规律的精髓,也才能真正有贡献.费米就是这样一个两方面都做到的人.

费米还认为,物理学发展的方向必须要从近距离的了解开始,才能得到大的规律.当然,也许有人要问,爱因斯坦发现广义相对论时,是不是用非常大的原则来做的呢?我想,回答是这样的.不错,他发现广义相对论是用大的原则来做的,表面上看起来,不是从具体开始的.不过,你如果再仔细地想一想,他取了哪些原则,他为什么抓住了那些原则,以及他怎样运用这些原则来写出广义相对论的,你就会了解,他的那些原则还是由他从近距离所看到的那些规律所归纳出来的.换句话说,爱因斯坦吸取的过程,仍然是从近距离变成远距离,然后从远距离得到规则再回到近距离来.

总而言之,我认为,一个完全只想从远距离的规律来向物理学进军的人是极难成功的,或者说,几乎是史无前例的.费米对这一点的认识最为清楚.你去听他的课也会有同样的感觉.他所讲的总是从实际现象开始,用最简单的方法描述出来.你仔细地琢磨就会发现,有时候有非常重要的大的规律在里面,而这个规律却永远不是他开始的地方.

因为费米对具体的事情懂得很多,对于大的规律又有很直觉的了解,所以有时候会发生一些很有意思的事情.这类事情在物理学里常常发生.我下面就要给大家讲一个故事.这个故事是在费米去世以后,钱德拉塞卡尔讲的.钱德拉塞卡尔是一位大天文物理学家,在三、四年前获得了诺贝尔奖金.五十年代初他与费米曾经在芝加哥大学合作过.他非常佩服费米.这个故事就是费米讲给他听的.

费米是在三十年代从一个纯粹的理论物理学家变成一个实验物理学家的.在那以前,我们大家所知道的他的几个最重要的工作都是纯理论的.最早,他曾研究黎曼几何,里面有一个

定理,现在还称做费米定理,那是一个纯粹几何学的定理。以后,他的最重要的贡献是费米-狄喇克统计,那是在1924年完成的。1930年左右,他用一个很简单的方法完全解决了当时困惑人们的原子超精细结构中的一个问题。与此同时,他还讨论了量子电动力学中库仑场如何处理的问题,从而使大家第一次真正懂得了量子电动力学是怎么一回事。他在1933年发表了非常重要的 β 衰变理论。他自己认为这是他一生中关于理论物理的所有工作中最重要的一项。这一点,我不大同意,等一会儿我们再讨论。

就在这个时候,他改变了方向,转向从事实验工作。他是第一个发现慢中子作用的人。大家知道,查德威克在1932年发现了中子。从那时起,很多人都来做中子的实验。费米和他的研究组的同事和学生 in 罗马也做这方面的实验。他们看到了一个非常稀奇的现象:他们希望用一个屏把中子流挡住,可是他们发现,当有的屏放上去以后,中子流反倒越强了。我们现在当然完全懂了,这是因为有的屏蔽物把中子变慢了,而慢中子穿透的能力更强,作用更大。他们在当时却觉得非常稀奇,屏蔽物放得越多,后面的中子好象越多。在五十年代,费米跟钱德拉塞卡尔说,他记得非常清楚,在他们没有弄懂这件事时,他们想再找一些新的屏来试一试。因为要吃午饭了,大家都走了。饭后,费米说,不知道是什么缘故,他作了一个完全是下意识的决定。他对大家说:“我们不要用重的物质做屏蔽,而用一个非常轻的物质试一试。”结果发现,后面的中子的效应大大增加了,这是因为一个轻的东西放上去以后,中子的速度更慢了,反应截面变得非常之大。对这现象,费米想了一个晚上之后,就完全弄懂了。

费米讲这个故事给钱德拉塞卡尔听,就是想指出,当时是一个他不知道的道理,促使他放一个轻的屏,在物理里这种事是常常发生的。我想,这与我们思考的过程有非常密切的关系。凭着费米自己的非常广、非常深的经验,他有些自己不能用逻辑讲清楚的推理。经过这种推理,

他下意识地感觉到,一个重的屏蔽与一个轻的屏蔽相比会有很重大的区别。达到这种直觉的下意识的推理,是所有理论物理和实验物理一个基本的环节。没有这个环节,不太容易做出真正最重要的贡献。产生这一环节的必要基础是要有广泛的经验。这种经验可能是理论的经验,对数学结构的经验,也可能是实验的经验。大家都知道,许许多多最最重要的工作,是先经过很多思考,后来在没有经过逻辑推演而得出来的新的想法之下产生出来的。

我特别要讲这个故事的道理,是因为中国的物理学教学中有一个倾向,即使人觉得物理就是逻辑。逻辑,没有问题是物理的一个部分,可是只有逻辑的物理是不会前进的。必须还要能够跳跃。这种跳跃当然不是随随便便的跳跃,而是要依据许许多多的不断延续下来的与实际的事物发生的联系。由这些联系出发才可以使一个人有胆量做出一些逻辑上还不能推演出来的这种跳跃。

我再举一个例。大家知道,在二十世纪初,最重要的物理学发现之一是放射性元素。它的最早的发现者就是贝克勒尔。贝克勒尔之所以能做出这一发现,是因为在此之前伦琴发现了X光。伦琴的X光可以随便给任何人看,可以照透一个人的手。在伦琴的第一篇文章里有一只手的象,那是他太太的手。当时人们还不懂X光到底是什么。有人认为,如果把磷光物质放在强光下照射,就会发出X光。贝克勒尔和彭加勒就是这么认为的。彭加勒是十九世纪末、二十世纪初的一位大数学家,他对于二十世纪的数学的影响是非常巨大的。他对物理学,特别是具体的物理现象非常感兴趣。有一种想法促使贝克勒尔要对这种现象进行实际的研究。他把一块铀放在太阳光下,照了几个小时,让它吸收了很多强光,然后用黑纸把它包起来,放在一张照相底片上。果然,照相底片感光了。他发表了一篇文章,说现在证明了铀在强光照射下发出X光。后来他还要继续做这个实验。不巧,巴黎那几天天天下雨,没有了强光,他只好把铀放在柜子里。可是,不知是什么缘故,他说

他又想到要来试一试,他把那些铀包了纸,同样做了一个实验,忽然发现照样有感光现象.于是他马上又发表了一篇文章,说这个理论是不存在的.这就是最初发现放射性元素的经过.对此,很多人曾议论过,认为他当初在一个下雨的天气里,还要去试一试,一定是有些灵感.他的一家,从曾祖、祖父一直到他,都对铀做了很多研究.所以,若说是灵感,那么这种灵感必定来源于他的丰富的实践和经验.他当时似乎是忽然灵机一动,而这个灵机一动是非常重要的.

中国古时候喜欢给一些学者、一些文人、一些诗人或一些画家做一些评论.有人觉得这种评论非常不恰当,因为这是些印象式的评论.不过,印象式的评论我认为不可完全厚非,因为,虽然印象式的批评确实不是完全能讲得清楚的,但是这种不是完全讲得清楚的东西,往往抓住了真正的精神.所以,我也来做-一个印象式的评论.费米给人的最重要的感觉是什么?他的物理是怎样的物理?我认为费米的物理可以说是“厚实”.

泰勒的故事

我在芝加哥大学念书时,对我有很多影响的另一位老师是泰勒.他比费米年轻六、七岁,是与费米同时在战后到芝加哥大学去做教授的.泰勒的物理与费米的物理有很相近的地方,也有不相近的地方.相近的地方是他的物理也是从现象出发的.他的基本兴趣反映在对物理现象的好奇心.他的见解非常之多,一天之内就有好多不同的见解.他有很多研究生.他常常是当第二个礼拜看到某个研究生时,就已经不记得上一个礼拜给这个研究生的题目是什么了.

泰勒与费米不同的地方是,费米讲出来的见解通常对的很多,而泰勒所讲出来的见解多半是不对的,这一点给了我一个非常深的印象.因为按照中国的传统,你要是对某个问题没有完全懂,就不要乱讲话.人们认为乱讲话是非常不好的,而且乱讲话的人一定是不可靠的.泰

勒的见解非常之多,而且总是要讲出来的.不过如果你指出他是错的,他就立刻接受,立刻向正确的方向走.在他的周围,事情发生得多极了,这是一种非常良好的气氛.所以,他可以有許多研究生.

我到芝加哥大学本来是想做实验物理方面的论文,因为我在中国的时候,没有做过什么实验.假如你们今天觉得跟实验的接触很少的话,那么我那时在昆明念大学和研究院时跟实验的接触,可以说等于是零.我自己认为我必须弥补这个缺陷,因为我深深地了解,物理的基础是实验.我一到芝加哥大学就去找费米,说我很想跟他做实验.他那时既做理论,又做实验.不过他说我不能跟他做实验,因为他是在阿贡国立实验室,而那时的阿贡实验室是保密的,我不是美国人,不能在那里做实验.他说:“你先跟泰勒做一些理论工作好了.”

过了一个多月,泰勒来了,我去找他.我记得很清楚,因为泰勒年轻时有一只脚不幸被电车轧了,所以他走起路来一歪一歪的.他的办公室门口有卫兵,我不能进去.在门口我给他打了一个电话.他在电话中说,费米跟他讲过了,有一个学生要来找他.然后,我就听到了嘤、嘤、嘤的声音,他从楼上走下来了.他说:“我们先散散步吧.”于是,我们就一起散步.散步时,他问我氢原子基态的波函数是什么.这个问题对于我来说是易如反掌的,因为我在国内时已经念过量子力学了.我马上答出来了.他说:“你通过了.我接收你做我的研究生.”他这样做是有道理的,因为有很多学得很好的人,不会回答这个问题.照他看来,能够回答这个问题的人,才是可以造就的.

我跟他做的第一个题目是 Be^7 的 K 电子俘获.根据费米在 1933 年提出的理论,这个 K 俘获的可能性(几率)与 Be^7 上电子的密度成正比.可是做实验的人有另外一个观念.这个观念是二十世纪初研究放射性元素的寿命时形成的.大家做过很多实验,发现这些寿命是原子核的特性,与外面的电子分布是没有关系的.1909 年还有人写过文章,指出元素放射性的半衰期

是不能用化学的方法去影响的。可是K电子俘获就不同了。只要你了解了关于它的理论，你就会看到它的几率是与电子的分布有关系的。有些做实验的人认为这是不对的，因为这也是一种放射性的半衰期，它也不应该与任何化学的作用有关系。当时在洛斯阿拉莫斯，西格瑞做了一些实验，研究纯金属铍与氧化铍晶体的K俘获半衰期是否一样。泰勒让我通过计算解决这个问题。氧化铍的晶格常数比较大，离子离开得比较远，而金属铍中离子比较挤。可是氧化铍中电子比较多，因为氧有很多电子。前者使电子密度减小，后者使电子密度增加。这两者相减，就可以得出所需要的结果。他给了我关于如何计算的建议。这是与晶体结构的电子分布有关的计算，是我当时还不晓得的。他告诉了我两个方法，一个是维格纳-塞兹关于晶体结构的方法，另一个是汤姆孙-费米-狄喇克方法。汤姆孙-费米的方法我学过，汤姆孙-费米-狄喇克方法我没有学过。不过，对这两个方法我都发生了兴趣。用了这两个方法，最后就算出了结果。这使他很高兴。他要我做一份报告，这是我在美国所做的第一个学术报告。

报告大概是1946年2月，刚打完仗，到芝加哥大学来的人还不太多。在座听讲的有泰勒、费米、迈耶、玛丽、迈耶和约里奥等，都是非常有名的人，所以我有点紧张。不过，他们对我做的报告都很满意。报告后泰勒让我写出文章。可是，我一动手写，就觉得不大妥当了。因为计算中我用了一些近似方法，我没有把握它们有多准确。刚才讲了，我的结果是由两项相减得到的，我仔细地想了想，觉得这样做是非常危险的。因为每一项都是近似的，只要有一项稍微差了一点，相减之后所得到的符号就会与我已经得到的结论相反。因此，这篇文章我写了一个多月，老是写不出来，泰勒老来催我，我说对这个结论我没有这么大的自信心，到现在为止，这篇文章我还是没有写出来。是不是后来有人又进行了理论计算，是否得到比较准确而又和实验符合的结果呢？我没有再去追究。

泰勒是一个匈牙利人，三十年代跟海森伯

做过博士后，他对化学物理学有过重大贡献。很多化学物理上的观念是他引进来的。过几天，我要和大家讨论准晶体，其中有一个想法就是与泰勒在一九四几年或是一九五几年提出的一个模型有密切的关系。

泰勒研究的东西都是非常具体的。在我的印象中，他没有写过一篇关于场论的文章。他对场论有很深的了解，但是兴趣不够。

战时，泰勒去做国防工作，在洛斯阿拉莫斯，在奥本海默主持的实验室里参与了原子弹的研制工作。关于他在那里的工作有种种的传说，主要是说泰勒的独立的想法太多，大家认为，要是泰勒参加某一个组，这个组的工作就做不下去了。由于他每天都要有好几个新的主意，会使那一组人忽东忽西，不能把精力集中到一个方向去。这个说法是不是对呢？我没有问过泰勒，也没有问过奥本海默，所以我不知道。不过，这样的传说非常之多。据说，后来奥本海默想出了一个妙法。他对泰勒说：“泰勒，我现在请你主持一组，专门研究氢弹。”那时原子弹还没有造出来，让他去研究氢弹，泰勒非常得意。奥本海默也觉得很好，因为他不会再搅扰别人的工作了。泰勒走后，剩下那些理论工作是由贝它领导的，他们做得非常成功。泰勒在氢弹方面做了一些研究工作，这些工作虽然做得并不十分中肯，但与以后的关于氢弹的想法有非常密切的关系。

1950年苏联爆炸了一颗原子弹。苏联爆炸之快是美国政府没有预料到的，所以当时的美国总统杜鲁门决定成立一个委员会，讨论美国要不要全力以赴发展氢弹。奥本海默是委员会的主任，费米是其中的一个成员。讨论的结果是，有的人赞成，有的人反对。两个最主要的反对者是费米和拉比，这是一件很有名的事件。代表多数人的报告是由奥本海默写的，赞成制造氢弹。代表少数人的报告是费米和拉比写的，他们主张先与苏联谈判，假如谈判不出结果来，再向这方面进军。杜鲁门总统看了这些报告之后，直截了当地决定美国要全力以赴制造氢弹。从那以后，泰勒就主要地转到国防上去了。大

家知道，他和乌仑姆是最早发现制造氢弹原理的两个人。在此顺便提一下，中国制造原子弹和氢弹的历史在世界上很引人注目，西方的物理学家对中国的物理学发展的进度本来没有什么认识，当中国造出了原子弹以后，西方的政府和物理学家们才知道中国有很杰出的物理学家。尤其使西方至今还没有能完全看懂的是中国发展氢弹的速度，中国远比法国发展得快。这一点给了西方政府和科学家一个非常深的印象。他们认识到，中国有非常优秀的人才。

氢弹制成以后，1954年发生了一件震惊全美国的事，人们称之为“奥本海默事件”。1954年以前，从决定制造氢弹到初步制成，虽然后来奥本海默不再是直接参与者，但他是美国政府的重要参谋。政府的很多重要决策都有他参加。奥本海默这个人有时讲话对人很不客气，现在很多人相信，正是由于这个缘故，他得罪了非常重要的华盛顿的人物。所以，在1954年美国宣布：奥本海默可能对美国安全有危险，决定他不再参加新的国防工作的讨论，并且把他的办公室里所有的档案都封存起来，然后让他搬到华盛顿去，使他不能再看到以前自己写的信件。在做出这个重要的决定之前，美国政府向奥本海默宣布两条出路，一条是奥本海默接受上面的决定，不再参与国防工作；另一条是，如果奥本海默认为这个决定不对，那么政府就要组织一个研究委员会来讨论这件事。限制他在24小时内回答。大家知道，这样一个委员会，名义上虽然不是法庭，实际上它的讨论等于是法庭的审判，而且又只给他24小时期限，这是一个非常不客气的决定。大家认为，这是因为他得罪了华盛顿的非常重要的人物，他们才这样不客气地处理他。我认为，这样的看法是对的。

后来，又经过了几个月的讨论，报纸上称为奥本海默听证会，有关情况天天都在报道。最后的结论是：美国不应该再让奥本海默做国防上的事情。这对他是一个非常大的打击。

这个听证会，费米和泰勒都参加了。当听证会的三个主持人问费米时，费米说他很熟悉奥本海默，他认为奥本海默对美国的贡献非常

之大，对美国的安全绝对没有什么危险。费米非常明确地、直截了当地站在了奥本海默一边。泰勒本来不想参加听证，而且他的很多朋友都劝他不要去。例如，有一个跟我差不多同时（比我稍晚一点）在芝加哥大学学习的人，叫玛申·鲁申布鲁斯， he 现在是公认的世界最重要的等离子体物理的理论专家，他是在芝加哥大学跟泰勒念的博士，取得博士学位以后，又跟泰勒做了很多年的工作，所以他跟泰勒非常熟。他就跟泰勒说：“你不要去参加听证会。”可是泰勒还是参加了。后来据泰勒自己讲，在参加听证会的前一天晚上，他在旅馆里走来走去，考虑他应该怎样讲法。第二天在听证会上他讲了一段很有名的话，大意是：他并不知道奥本海默有过任何背叛美国的事情。可是奥本海默的许多决策是他所不能理解的，所以他觉得，假如美国的国防事业不放在奥本海默手里，会更安全一些。这些话产生了非常大的影响。据我的记忆，泰勒是唯一的一位杰出的物理学家，在听证会上对奥本海默采取近乎反对的态度。经过了两次听证，美国政府终于做出了刚才所讲的决定，即不让奥本海默再参加国防工作，虽然并没有起诉，说他以前做过背叛美国的事情。这件事情的发生，对奥本海默和泰勒都有极大的影响。当初奥本海默对于美国的好的作用，对于美国政府的影响被一笔勾销了。可是他在美国物理学界却得到了极度的拥护。大家一致认为，这是美国政府所做的一件非常错误的事情。与此同时，多半的物理学家认为泰勒非常不对。听证会后不几天，泰勒到洛斯阿拉莫斯去，在餐厅里吃早饭时看到了一个和他很熟的同事克里斯蒂。在战时他们曾共事多年。泰勒跑过去和克里斯蒂打招呼，想要握手。克里斯蒂不理他，走到别的地方去了。泰勒后来讲，这件事对他和他的夫人都是极大的打击。我想这是完全可以理解的。他对他的朋友，他的学生，一向都是极力帮忙的。我自己就曾经受过他很多的帮助，对于他，我是很感激的。我完全了解，一些他从前的好朋友都跟他断绝关系，甚至藐视他的人格时，他是受到非常大的打击的。从那以后，泰勒的朋友

中军、政方面的人便多起来了,这一点是他终身非常遗憾的事。

奥本海默的故事

关于奥本海默,刚才已经讲了很多了。奥本海默是1904年出生的。他在年轻时就非常杰出。二、三十年代,美国的物理学还没有在世界上站住脚。美国念物理的人大多数到欧洲念博士学位,奥本海默也这样。他到了哥廷根,跟马克思·玻恩念博士学位。大家知道,黄昆和玻恩在五十年代曾合写过一本非常有名的书。

奥本海默到了玻恩那儿以后,立刻就引起了人们的注意。大家都知道来了一个高瘦高瘦的美国人,讲起话来非常不客气。例如玻恩后来讲过一件事。奥本海默来后没多久,有一次去看玻恩。玻恩恰巧写了一篇文章,把它拿给奥本海默看。他对奥本海默说:“请你拿回去看一看,过两天再告诉我,你有什么意见。”过了两天,奥本海默把这篇文章还给了玻恩。奥本海默说:“这篇文章写得非常之好,真是你写的吗?”

奥本海默跟玻恩做的论文是一篇很有名的文章,它就是现在所谓的玻恩-奥本海默近似,奠定了用数学方法处理分子的基础。

奥本海默回到美国以后,有一个很深的感觉,觉得美国的物理学必须赶快发展起来。他在加州伯克利分校和加州理工学院两处兼任教授,每处一年呆一个学期。他在三十年代对于美国基本粒子物理理论方面是一个功臣,所有那个时候美国年轻的基本粒子物理学家可以说都是出于他的门下。他对学生非常不客气,可是他的学生都非常佩服他。他与学生的关系大概有点象朗道与他的学生的关系。朗道对他的学生的批评非常厉害,可是他的学生都非常喜欢他。

在1930年前后,基本粒子物理学界最重要的问题是狄拉克的理论。狄拉克的方程式是在1928年发现的,但是由于有负能解问题,弄得非常紊乱。很多重要的物理学家都不相信这个

理论。在这个问题上,赵忠尧先生曾做了一个非常关键性的贡献。他和另外两组实验物理学家各自独立地做康普顿散射实验时,发现 γ 射线打到原子之后发生的吸收,当元素重时,要超过克莱因等给出的公式的结果。后来人们了解到,这正是因为产生了正、负电子对。半年以后,赵先生又独自做了另一个实验,研究有没有其它的散射方式。他发现,经原子吸收了一部分之后,再发射出来的光中的一部分不能用康普顿散射来解释。后来人们又懂了,这是正、负电子对产生以后,正电子又与另一个电子湮没。这种湮没以后出来的光是赵先生最早发现的。在赵先生做了这个实验以后一年多,两个英国人才做了同样的实验。现在回想起来,赵先生当时的工作是正确的而且是非常重要的。非常可惜的是他当时没有机会与理论物理的人讨论。那时,奥本海默已经在加州理工学院了,那正是赵先生做研究工作的地方。可是前几天,李炳安和我去访问赵先生,我问赵先生,他在1930年做完了实验时有没有和奥本海默讨论过。他的回答是,基本上没有讨论过。那时,由于种种原因,赵先生急于去德国。在那里呆了一些时候就回到中国来了。所以,他没有机会把他所做的实验,与当时对狄拉克方程式有深切了解的象奥本海默这样的人讨论。假如他当时能与这样的人讨论,他一定会对他实验的意义有更清楚的了解。

奥本海默是在三十年代初研究喇拉克方程式的几个重要人物之一。他曾经指出狄拉克空穴理论中的空穴不可能是质子。1930年狄拉克提出空穴理论时,认为空穴可能就是质子,原因是那时知道的唯一带正电的粒子就是质子。奥本海默指出这是不可能的,因为假如是这样,电子很快就会跳到洞里去。他计算了电子的半衰期,发现只有 10^{-10} ,这是一个正确的结果。奥本海默第一个提出(后来也有别人提出),电子有电子的反粒子,质子有质子的反粒子,它们是完全不同的两种粒子。

奥本海默一生最大的贡献是黑洞。他在三十年代与他的几个学生做了一些黑洞的理论。

非常不幸的是，当1967年他因患癌症而去世时，黑洞的存在在天体物理学中还没有被大家普遍承认，假如他再多活五年，黑洞就在天文学里被大家承认了。那将无疑是他一生对纯粹科学的贡献中最重要的。

刚才谈到了泰勒和奥本海默，这里我想再讲一个故事。

许多年来，我一直有一个印象，觉得中国的研究生兴趣太窄。对物理学方面的兴趣太窄，对一般的事情的兴趣也显得太窄。我想，这是可以理解的。因为受了家长，受了学校，受了社会的压力，每个人都必须战战兢兢地抓紧时间钻研、苦读，没有余暇关心各个方向的发展。我觉得这是一个不好的普遍现象。在石溪有很多研究生，我就劝他们多发生一些兴趣。物理系的随便什么课都应该去听一听。物理学史也应该去注意一下。

1984年夏天我到阿姆斯特丹去开一个会，是为荷兰一位资历很深的理论物理学家德·哥鲁特即将退休而召开的一个会。我去了，彭越也去了。那天到会的有很多荷兰现在最有名的物理学家，例如特·霍夫特。会后，我和彭越一起吃饭，我问他，你们在中国了解不了解荷兰物理学发展的历史。荷兰是一个很小的国家，只有一千多万人。可是在二十世纪物理学发展中占了非常重要的地位，有一段时期还是执牛耳的地位。如二十年代，在低温技术方面，全世界没有一个国家能达到象荷兰所达到的那样低的温度。当时，荷兰是唯一做低温最成功的国家。我问彭越，对这件事情有没有了解，他说没有什么了解。我建议他去看几本书，然后写一个简单的报告，讲讲在荷兰了解的荷兰物理学的发展历史，把范德瓦耳斯、洛伦兹、昆米尼·昂纳斯和塞曼等几个人对物理学的贡献以及他们对世界的物理学的影响写出来。这不是一篇很好的文章吗？彭越是一个工作能力很强的人。他在两个月之内就写了一篇文章，然后寄给了我。我提了一些问题还给了他，他针对这些问题又查了一些书，把它改写成了一篇非常好的文章，已经在1985年5月的自然杂志上发表了。彭

物理

越是在阿姆斯特丹一个实验组的研究生，这一组要与丁肇中的一组合作，所以彭越后来又去了美国，在丁肇中那里呆了一些时候。在那里的的工作结束以后，他就来石溪找我讨论，他说他对科学史很有兴趣，问我还有没有题目可以给他做。我想了一个晚上，第二天跟他说，据我所知，中国对于原子弹的发展、氢弹的发展在世界上的影响以及发展的过程，没有什么了解。此外，日本和德国是不是有过制造原子弹的企图，他们为什么没有成功，对这些也都没有什么了解。我建议他写四篇文章讨论这些问题，还给了他一些参考文献。他在不到一年的时间内，大概看了一百本书，写出了五篇文章。我觉得这些文章写得很好。他关于荷兰历史的文章所讲的事情，我多半是知道的。在看了这么多书之后，他现在所写的五篇文章，里面很多的事情，我以前并不知道。他现在正在修改这些文章。我希望不久就会在国内发表。

爱因斯坦的故事

在普林斯顿，大家都知道爱因斯坦是高等研究所最有名的教授。我去的时候，他刚刚退休。七十多岁了，他每天仍然从他住的地方步行到研究所去。在我的记忆中，爱因斯坦大概是不开汽车的，我没有看到过他开汽车。人们见到他每天从他的家走到办公室，距离大概有两公里的样子。我跟他的接触很少。那个时候，研究所里有二十多个博士后，我们都是二十几岁的年轻人，整天讨论。我们都非常尊敬爱因斯坦，因为无疑爱因斯坦是二十世纪最伟大的物理学家。可是，因为他已经退休了，我们觉得不应该去打扰他，所以我们跟他的接触并不多。

1950年前后，他把他的本本叫做“相对论”的小书，加了一个新的附录。在这个附录里，他发展了一个新的统一场论，想把电磁学和广义相对论统一起来。他做了一系列关于这个理论的演讲。

爱因斯坦在年轻时，1905年一年之内写了

三篇影响极深远的文章。后来，他又发现了广义相对论。这是一个史无前例的理论，是一个集无数非常复杂的经验，用非常美妙的数学，表现了一个由纯粹思想考虑得出来的结果。我想了想，评论爱因斯坦的工作，也许最好的两个字是“深广”。他做的东西又深又广。

我介绍大家去看派斯在四年以前所写的爱因斯坦的一个科学传记。以前虽然有过多爱爱因斯坦的传记，但都不是真正深入做理论物理的学者所写的。这却是第一次，所以立刻就成了一本非常重要的书。书名取了爱因斯坦的一句名言。意思是说上帝不那么简单，可也不是狠毒的。上帝创造了自然，自然的规律是很妙的，但并不是故意引你入歧途，使你不懂。只要你弄对了，你就可以懂。派斯就拿它做了书的名字。

派斯是1918年生的，在普林斯顿高等研究所我们同事了十六、七年，后来他到洛克菲勒大学做理论物理方面的主任。最近几年，他致力于写科学史。上述的这本书使他一举成名。最近他又写了一本关于二十世纪物理学历史的书，这是一本非常有意思的书。中国自然科学史研究所邀请他，我的印象是明年他要来访问。

泡利 的故事

在普林斯顿我所认识的另外一位物理学家是泡利。我想泡利是大家都知道的。他是1900年出生的。在物理学中他占有一个非常特殊的地位。在他非常年轻的时候，大约只有十八、九岁，就写了一篇很长的文章，评述相对论。这篇文章讨论的东西又多、又深入，所以立刻引起当时所有的物理学家重视。1924年他提出了不相容原理。海森伯在1925年发表了矩阵力学之后，大家都想用矩阵力学的方法求解氢原子。这是一个极难的问题。不信，你就去试一试。一个哈密顿量为 $p^2/2m - e^2/r$ ，要求 x, y, z 坐标与相应的动量 p_x, p_y, p_z 不对易，对易关系为 $i\hbar$ ，这是一件非常难的事。但是，在几个月之内泡利却给解决了。所以，当时大家觉得他对物理

有敏锐的了解，极浓的兴趣，同时又有极强的数学能力。

他后来还做过很多贡献，其中一个非常大的贡献，就是从四十年代开始到五十年代集其大成的自旋与统计之间关系的研究。大家知道自旋为二分之一的粒子是费米子，而自旋为整数的粒子是玻色子。这种关系是泡利最早在三十年代到四十年代发现的。他写了很多篇文章，这些文章后来导致了二十世纪五十年代的CPT定理。

泡利对他自己的成就是不太满意的。他在五十年代曾经讲过一段话。这段话，不同的作者在写书时说他是不同的地方讲的，不过话的意思是一样的，如果大家有兴趣，可以看梅拉和瑞肯伯合写的量子力学史。这本书很多人不喜欢，它是有可以批评的地方，但是这本书是很重要的。因为梅拉在五十年代做海森伯的研究生时，就下了决心要写一部量子力学史，所以，他在这几十年间经常搜集材料，而且访问了很多人，包括海森伯和泡利等人。最后在八十年代初，他和瑞肯伯合作把它整理成书。他们一共写了四卷，共五本书。他们还准备再写五本。因为他们还只讲了矩阵力学，还没有讨论波动力学。在这本书的序言里，梅拉讲了上面提到的这段话。在1958年，也就是泡利病逝的那一年，有一天泡利去伯克利演讲。当时他还不知道自己在生病。梅拉去听了。听完以后，梅拉与泡利一起去一个酒吧间喝啤酒。喝了几杯啤酒以后，他们先是讲了一些与物理无关的事情，然后，泡利对他说：“我在年轻时，觉得我是一个革命者。我当时觉得，物理里有重大的难题来的时候，我会解决这些难题的。后来，重大的问题来了，却都被别人解决了。回想起来，我那时是那么愚蠢”。我想，泡利之所以对他自己的建树不满意，是因为他是一个锋芒毕露的人。确实，在二十年代中和三十年代初，有过惊天动地的工作：矩阵力学和波动力学的创立以及对它们的解释，量子场论的建立，狄喇克方程的提出等。泡利一定想（大家也会这样想），他是会在这里面有最重要的贡献的，可是每一次他都不

是创始之人。所以，他后来才会说出那样的一段话。

泡利是在1958年冬故去的。在1957年发生过一件事。海森伯和泡利是在二十年代相识的。1921年(或1922年),海森伯初念理论物理时,泡利虽然只比他大了一岁,却已经是一员老将了。所以他们的老师索末菲让海森伯去跟泡利学,于是他们就非常熟悉了。1925年前后,电话还比较少,他们俩经常写信。这是一件非常好的事情,因为很多信现在都保存下来了,你可以从信中看出他们的很多想法当初是怎么提出来的,还可以发现他们当初的很多奇奇怪怪的思想。在1924—1926年期间,海森伯一有想法就写信去问泡利,他想,如果泡利极力反对,他就觉得大概是错误的。这说明,泡利当时对整个物理学的发展有极大的影响。

1957年1月,吴健雄与她的合作者做出了宇称不守恒的实验。对于这个实验,泡利当初坚决认为不会得到预期的结果的。1956年下半年,人们都在讨论 τ - θ 之谜。就在那时,吴健雄开始做这个实验。泡利不相信这个实验会证明左右不对称,证明宇称不守恒,于是他给外斯科夫写了一封信。虽然在1956年时电话已经很多了,但是他还是保持他的习惯,每天要写好几封信。写信的对象常常是外斯科夫,因为1939年外斯科夫曾经做过他的助手。在给外斯科夫的信中他说,吴健雄现在正在做左右不对称的实验,这是不可能的,“我可以跟任何人打赌,做出来的结果一定是左右对称的”。后来,在1957年初,他忽然收到了好几封从美国来的信,说吴健雄的实验已经做出来了,而且接着在四十八小时内,瑞德曼和伽莱又发现了 π^0 衰变也是左右不对称的。这些信收到以后,泡利说他几乎休克,然后他又给外斯科夫写了封信,说这是不可思议的事。他说,“幸亏没有人跟我打赌。假如有人打赌的话,我就要破产了,因为我没有这么多财产。现在这样,我只是损失了一点名誉。可是,我有足够多的名誉,损失一点不要紧。”

1957年以后,物理学界对于对称性原理发
物理

生了兴趣。大家纷纷讨论对称性。最重要的一点是要了解 C 和 T 是不是对称。在吴健雄的实验里,也证明了 C 是不对称的,这只要经过一些推演,立刻就会得到。而 T ,当时还没有发现不对称。这一类工作当时做的人很多。

另一类工作是讨论别的种类的对称性,以及是不是对称性可以把当时的物理学的问题都解决。采取后面这种想法的是海森伯。他在1957年下半年想出了所谓的“世界方程式”。他认为可以用对称原理把当时物理学的一切问题都解决,例如质子质量与电子质量之比,精细结构常数 $1/137$ 等。他把泡利拉了进去。在那以前三十多年他们俩是非常亲密的合作者。到五十年代,两个人都是五十多岁时,又一次合作。这次合作,每天都有进展。在美国每天看见泡利来一封信,信上有时这样讲:“我们现在得到了质子的质量与电子的质量差1000倍。这还不太对。”当你坐在美国,忽然看见这两位大物理学家说是比例已经达到1000了,虽然比1800还差得很多,不能不认为这是惊人的贡献。第二天又来了一封信,说是已经达到1300了。物理学界就这样传来传去,都觉得,通过对称原理能得到这个结果是惊人的,可是没有人知道这是怎么回事。

1958年初,泡利要到美国去。去之前,因为他与吴健雄很熟,经常与吴健雄通信,所以他和吴健雄说:“请你找很少几个人,我愿和大家讨论海森伯和我的这个理论。”于是吴健雄就去安排,只通知了很少几个人。当时,恰巧美国的物理年会在纽约召开,会议的地点在纽约闹市的一个旅馆里。一天下午,在哥伦比亚大学泡利做了一个秘密演讲。他的本意是给十几个人或二十几个人讲,没料到却到了四百人。泡利后来自己讲,在这次演讲时,他越讲就越觉得这个理论是不对的。演讲之后,又有些人问了一些问题。这些问题表明绝大多数在座的人包括我在内,都觉得他们所做的东西完全是虚构的。戴逊从那里出来时,对我在石溪的同事约翰斯顿讲:“假如他们这两位象今天这样乱搞的话,也许我们应该回去研究研究,他们在1925年所做

的工作是不是也是不对的。”

这次演讲之后不几天,泡利就去了伯克利。梅拉就是在那里见到他的。他到了伯克利之后,就写信给海森伯,说是他现在已经不相信这个理论了。海森伯回信给他,一定要拉他继续研究这个理论。结果是,越搞两个人的关系就越坏。后来,德国的报纸忽然登载一条新闻,接着美国的报纸也登了,说是海森伯和泡利解决了物理学里重大的基本问题。泡利看到后非常不高兴。那篇报道上还讲,海森伯说他们的这个基本理论都已经完成了,只是有些细节还没有填进去。泡利是一个常常用非常尖锐的话刺人的人,所以就写了封信给海森伯。信上说:“我完全不同意你昨天所讲的话”。然后,他在底下画了一张图,图上是一个方框,里面什么也没有。泡利写道:“我可以和琴德洛特(一个名画家)画得一样好,只是有些细节还没有画上去。”

1958年夏,在日内瓦开国际高能物理学会。大家知道,国际高能物理学会是马尔夏克的一个重大的贡献。他从1950年(或1951年)开始组织,最初的规模非常之小。第一次到会的只有三十人,开了一天会。第二次六十人,开了两天会。第三次有一百人开了三天会。以后人数就慢慢地增加,后来就变成了国际性的。1958年的会议全高能物理学界非常重视,是在CERN(西欧原子核研究中心)召开的,那时CERN的房子还是新的。会上出现了一件非常稀奇的事情。有一天下午,泡利担任主席,海森伯作报告。报告他和泡利的理论。海森伯是二十世纪大物理学家,而且非常会讲话。他讲得头头是道。他讲完以后,泡利就开始攻击他。我不知道当时有没有录音。这是我从来没有见到过的、两个重要的物理学家当众这样不留情面的互相攻击。当时给我的印象非常深的就是海森伯对这个问题的处理方法。他非常安静。泡利越是不客气,讲话越是尖锐,海森伯就越安静。给人一种看法,似乎是泡利不太讲理。当时大家不知道,泡利已经病得很厉害了,三个月之后就死掉了。

海森伯的故事

刚才提到了海森伯。他在1925年发表了划时代的工作。大家知道,1913年玻尔提出的理论有非常正确的地方,可是也有不对的地方。到1925年以前,一直是非常紊乱的状态。海森伯抓住了其中的重要之点是,人们关于轨道讨论了很多,但是没有人看见过轨道。海森伯认为,看不见的东西,你不可以乱用,只准用那些看得见的东西。而什么是你可以看得见的呢?例如频率、衰变几率等。于是他就利用这种想法,写出了一个新的力学。这个力学是很不完整的,但是最重要之点都讲出来了。特别重要的是 A 乘以 B 不一定等于 B 乘以 A 。可是,他是一个很年轻的人,对数学知道得很少,所以他不知道,他写出来的 $AB \neq BA$ 以及他的很多演算,其实就是矩阵运算。这是海森伯的一个特点。

海森伯的很多文章,都是对的东西和错的东西都有。例如刚才所讲的那篇划时代的文章,我想是二十世纪最重要的几篇文章之一。可是文章写得并不清楚。他不是把问题都看得很清楚的。有许多是他的直觉的见解。所以他死了以后,很多人对他的评论是:他的最可贵之处是他知道问题在什么地方,而且对这些问题有他的直觉的见解,但是他的这种直觉的认识不是用最清晰的数学和物理的方法表示出来的。他的文章有时甚至是前后矛盾的。不过,在他的文章里确实含有一针见血的东西。

再举一个最有名的例子。1926年初他又解决了一个重要的问题。在他1925年的文章发表以后,玻恩和约尔丹合写了一篇文章,这是很有名的一篇文章,称为两个人的文章。海森伯的文章后来称为一个人的文章。然后他们三个人又合写了一篇文章,叫做三个人的文章。这一个人、二个人和三个人的文章就是矩阵力学的开始。过了半年多,又发生了一个问题。用矩阵力学虽然可以解出氢原子的能级,而且符合巴尔末公式,但用到氦上面就不行了。大家知

道，1913年的玻尔理论用到氢上也是非常准的，而对于氦，搞了十几年，还没有搞清楚。所以，把氦搞清楚是当时必须马上做的事情。问题出在氦的基态有正氦与仲氦两种，它们的自旋结构不同，一个是平行的，另一个是反平行的。这两种基态能量相差很多，有几十个电子伏特。

当时有这样一个故事。有一位非常有名的物理学家叫高德斯密特，他是与乌仑贝克最早发现自旋的人。他在1926年到哥本哈根去访问，尼耳斯·玻尔给了他一个题目，玻尔说：“你去研究研究为什么氦的仲氦与正氦同是基态，能级却差了这么多。”几年以后，高德斯密特讲，他当时拼命去想，想出来的办法是引进一个自旋与自旋之间的相互作用，因为他知道自旋有一个磁场。可是，后来发现数量级极小，与那几十个电子伏特根本没有任何关系，这使他茫然不知所措了。

海森伯也在研究这个问题。他在很短的时间里就抓住了问题的中心所在，这就是要求氦原子的两个电子的波函数是反对称的，而正氦与仲氦自旋波函数的对称性是相反的，一个是对称的，一个是反对称的，所以它们的空间波函数的对称性也应该是相反的。这直接地影响到它们之间的库仑力。这样，就解决了这几十个电子伏特的差别问题。

在海森伯的这篇文章中，第一次引进了波函数交换对称性与基态能量的关系。这无疑是一个巨大的贡献。但是，如果你去看这篇文章，你就会觉得他的文章是不清楚的。有这个重要的观念在里面，也有些乱七八糟的东西在里面。海森伯的文章向来都是这样。所以，后来人们认为，他的最重要的贡献是他直觉地了解到什么问题是很重要的，而且他也能直觉地找到如何去解决这些问题的方法，但是他不是一个最能把这些问题从头到尾，清清楚楚地表述出来的人。

狄喇克的故事

下面我要讲狄喇克。我第一次看到狄喇克
物理

是在五十年代，在普林斯顿。他那时常常从剑桥到普林斯顿访问。有时访问一、二个礼拜，有时候访问一年。

狄喇克是一个话讲得不多的人。你问他三句话，他回答你一句话。例如有一个非常有名的故事，他有一天到一个非常著名的学校去演讲，演讲完了以后，主持演讲会的人说：“你们有什么问题，可以问狄喇克教授。”这时，有一个学生站起来说：“刚才你在黑板上写的那个方程式我不懂。”狄喇克没有回答，好长时间都没有回答，于是主持人就问：“狄喇克教授，您可不可以回答这个问题？”狄喇克说：“那不是一个问题。”

又例如，他在另一次演讲时，经过一系列的讨论最后得出了一个结论。演讲完了以后，有一个学生站起来说：“我没有懂这点，可不可以请您再解释一下？”于是狄喇克就又解释了一下。那个学生说：“您现在的这个解释与刚才的那个解释完全一样。”狄喇克说：“对了，因为这是最好的解释。”

狄喇克第一次在物理上的最重要的贡献是在1925年听了海森伯的报告之后做出的。海森伯在他的一个人的文章还没有出来之前，到剑桥作了一个报告，狄喇克在场。这个报告给了狄喇克一个启发，他后来就去发展海森伯的想法。狄喇克独立地写了一些文章，是与二个人，三个人的文章差不多同时。可是，狄喇克发展的方法不但不同于海森伯的方法，而且与玻恩和约尔丹的方法也不一样。狄喇克的物理学有他非常特殊的风格。他把量子力学整个的结构统统记在心中，而后用了简单、清楚的逻辑推理，经过他的讨论之后，你就觉得非这样不可。到1928年他写出了狄喇克方程式。对他的最好的描述是“神来之笔。”

狄喇克的想法跟别人的想法都不一样。当时象泡利、海森伯、玻恩、朗道和派尔斯等一些很重要的物理学家，都在做很重要的东西。而狄喇克做的东西跟别人的不一样，推理的方法不一样。

海森伯给泡利写过一封很著名的信。在

1928年海森伯做出了另外一个巨大的贡献,就是他指出了,所以有铁磁性的原因是:波函数的反对称性要引进交换力,它使相同的自旋产生库仑作用,这是铁磁性的基本结构。海森伯的信就是他在做这一工作时写给泡利的。在信上他说:“我们一直被狄喇克的想法的不可理解的神奇所烦恼。”因为他不懂得狄喇克是怎样想的,所以有些烦恼。他说:“为了避开这些烦恼,我现在不想这些问题了,转而去想一想磁铁的问题,于是做出来了这件工作。”

我想,这些话是他的真心话。海森伯当时还是想做基本粒子方面的工作的。可是他发现,狄喇克的文章中所写的每次都跟他们的想法不一样,狄喇克对问题的认识常常能正中要害。这是狄喇克一生中工作的最重要的特点。你去听他的演讲,也有这样感觉。他的每一步跟着的下一步,都有他的逻辑。而他的逻辑与别人的逻辑不一样,但是非常富有引诱力。跟着他一走之后,你就觉得非跟着他走不可。最后忽然得出了一个非常稀奇的结果。所以我想,说他是“神来之笔”。

大家都知道有这样一副对联,其中的一句是“秋水文章不染尘”。你看狄喇克的文章,就会有这种秋水文章不染尘的感觉。他的文章没有一点渣子。你跟着他走总觉得妙不可言,而且最后得出的是没有人能预先想象得到的东西。例如狄喇克方程式,就是一个惊人的贡献,因为在那以前,自旋一直是硬加进去的。在他写出这个方程以后,自然地由 $\pm 1, \pm i$,得出一个自旋来,而且磁矩是完全对的。这正是狄喇克一生工作的特别的地方。不久我们将要讨论的磁单极也是他的神来之笔。

昂色格(L. Onsager)的故事

昂色格大概是于1908年出生的挪威人。他在欧洲获得博士学位,来美国后,长期在耶鲁大学教化学。他是不大讲话的人。你问他问题,他有时只是笑一笑,并不回答。有时,他跟你讲一些什么,但是讲的东西你却听不太懂,因为他

讲的东西是不连贯的,因为讲话的内容跳去很多。昂色格在讨论问题时总是讲得不多,讲完以后,就冲你笑,而你不大懂他在讲些什么。

大家知道,他最重要的贡献,在化学上是昂色格倒易关系,而念物理的人所知道的,则是在1943—1944年解决的二维伊辛(Ising)模型。这个工作在六十到八十年代变得非常重要,因为六十年代的一些实验,发现昂色格得到的解具有某种普遍性。它不只是一个特殊的模型,而是对于相变有普遍意义的结果。

他是用什么办法求解的呢?在他之前(三十年代末),克喇末(Kramers)、沃尼埃(Wannier)和芒楚(Montroll)三个人分别独立地做过这方面的工作。他们研究了一个二维空间的 $N \times$ 无限长的晶格的相变。他们把这个过程的热力学函数或配分函数,变成了一个 $2^N \times 2^N$ 方阵的本征值问题。如果能解这个方阵的本征值,就可以标出配分函数。可是,他们不会解,只是把它变成了一个数学问题。

昂色格在1944年发表了一篇文章,把一个 $N \times$ 无限长的问题完全解了,还包括了无限长 \times 无限长的情况。我记得很清楚。我在中国念书时,是跟王竹溪先生念的统计力学,我的硕士论文是跟着王先生做的。王先生是念统计力学的,所以我的论文也是做的统计力学的问题。那时我就曾听说过昂色格的这个解。后来在芝加哥大学念书时,我又研究了这个问题。这个解非常之难懂,因为他的文章里公式非常之多。他把公式A套到公式B里,得到公式C,如此搞来搞去。我去验算,果然每一步都是对的。我当时的感觉是被他牵着鼻子到处乱走,忽然走出一个结果来。不懂得为什么这样翻来复去。后来在1949年,昂色格的一个学生,是叫考夫曼(Kaufman)的女物理学家,与昂色格一起发表了另一篇文章,把他原来的办法改换了一下,才变成可以懂了。在那以后我也做了一些这方面的工作。

六十年代里有一天,我与昂色格在同一个机场候机,没有事情,闲谈起来。我说:“我现在要问问你,你在打仗时怎么把 $N \times$ 无限大的

伊辛问题给解决的呢？当时，我看你的文章得到的印象是你把代数的东西乱转了一下子，换来换去最后忽然得出了一个结果来。这显然不是你当初做的时候用的办法。你那样好象是无目的地在那里做来做去。”他回答说，当然不是的。他说，战时他没有去打仗。当时学生比较少，他有很多的时间来研究这个问题。开始他研究 $2 \times$ 无限长，是 4×4 的方阵，很容易解，他把本征值解出来了。然后，他研究 $3 \times$ 无限长，这是 8×8 方阵，要多费一、二天，他也解出来了。这样解来解去，对于这个问题他就非常熟了。他越做越快。等到他解出了 $3 \times$ 无限长时， $2 \times$ 无限长的解他一分钟就可以做出来了。于是，他又解 $4 \times$ 无限长，这是 16×16 方阵，又要花费好几天。最后，他做到解 $5 \times$ 无限长，这是 32×32 方阵。如果你直接从 32×32 方阵求解，那会使你觉得是没有希望的。但是，当他经验多了以后，越做越快，这样 32×32 方阵，他也会做了。做完以后，他回过头来看一看，发现 32×32 方阵的本征值都是： $e^{\pm i\pi_1 \pm i\pi_2 \pm \dots}$ 。当然，这句话不完全对，如果是这样的话，在小一点的方阵时，他早就发现这种规律了。不过，大致是这样，差不多是这样的。 32×32 方阵有 32 个本征值。它们是由上面式子中正负号有三十二种排列方法得到的，实际的结果比这里所讲的要复杂一些，所以他在矩阵小的时候没有发现这个规律。由这个规律，他发现这个矩阵代数必须是乘积代数，于是他就用这种代数关系拼命去交换，将交换得到的东西再去交

换，这就形成了他在那篇文章里给人的印象似乎是乱兜了一阵子。这个故事我写在了我的选集的后记中。我觉得这是一个很好的例子。它说明了一种得到深入结果的方法。多半的深入的结果，都是如此地从很多的例子中得来的。你一个例子、一个例子的试，最后才能掌握它的规律，然后你才能把它扩大。这就回到了我开始所讲的，你从近的距离才能发现规律，然后把这些规律加以变化或是推广，你才可以有大的进展。

结 束 语

最后，我想跟大家谈一个问题。常常有同学问我，做物理工作成功的要素是些什么。我想，要素可以归纳为三个“P”：Perception、Persistence and Power.

“Perception”——眼光，看准了什么东西要抓住不放。“Persistence”——坚持，看对了要坚持。爱因斯坦在 1908 年看准了，他要写出一个很大的对称性的方程式来解释引力。经过了七、八年的努力，在 1916 年终于写出了广义相对论。“Power”——力量，有了力量，能够闯过关，遇到困难你要闯过去。

如果一个物理学家有眼光、能坚持、而又有很大的力量，那么我想他的成功的可能性就会很大。

丁亦兵整理

1986 年第 12 期《物理》内容预告

微观现象中的左右不对称性——宇称不守恒发现三十周年(谢诒成)；稀土铁硼 ($R_2Fe_{1-x}B$) 化合物的磁性(黄美清等)；半导体核探测器载流子有效寿命剖析(宿昌厚)；低温等离子体在冶金工业中的应用(张秉有等)；离子注入材料表面改性(郭华聪)；准傅里叶彩色

全息图在显微术中的应用(王永昭等)；紫外至远红外宽波段辐射测试仪(王树铎)；激光测量用锥腔型辐射探测器(王树铎)；图象分类(刘政凯)；王淦昌与中微子的发现(李炳安等)。