

晨曦集

杨振宁 翁帆 编著

天
地
人
三
才

三
才
圖

晨曦集

杨振宁
翁 帆 编著



商务印书馆
The Commercial Press

2018年·北京

图书在版编目(CIP)数据

晨曦集/杨振宁,翁帆编著.—北京:商务印书馆,2018

ISBN 978-7-100-15676-9

I. ①晨… II. ①杨…②翁… III. ①物理学—文集
IV. ①O4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 315986 号

权利保留,侵权必究。

晨曦集

杨振宁 翁 帆 编著

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710)

商 务 印 书 馆 发 行

北京市十月印刷有限公司印刷

ISBN 978-7-100-15676-9

2018 年 3 月第 1 版

开本 880×1240 1/32

2018 年 3 月北京第 1 次印刷

印张 9 插页 18

定价:59.00 元

前 言

10 年以前,在《曙光集》的前言里,我这样解释为什么取了这个书名:

鲁迅、王国维和陈寅恪的时代是中华民族史上一个长夜。
我和联大同学们就成长于此似无止尽的长夜中。

幸运地,中华民族终于走完了这个长夜,看见了曙光。我
今年 85 岁,看不到天大亮了。翁帆答应替我看到……

当时觉得改革开放 30 年,看见了曙光,天大亮恐怕要再过 30 年,
我自己看不到了。

没想到以后 10 年间,国内和世界都起了惊人巨变。今天虽然天
还没有大亮,但曙光已转为晨曦,所以这本新书取名为《晨曦集》。
而且,看样子如果运气好的话,我自己都可能看到天大亮!

为编辑此书,许晨女士做了大量工作,谨在此致谢。

杨振宁

2017 年 8 月

目 录

前言	杨振宁	1
02i 20 世纪理论物理学的三个主旋律:		
量子化、对称性、相位因子		1
11a 菩萨、量子数与陈氏级		18
14b 麦克斯韦方程和规范理论的观念起源		22
15a “物理学的未来”		
——追忆麻省理工学院百年校庆时		
对物理学的未来的讨论		41
附录 A 物理学的未来	理查德·费曼	44
附录 B 物理学的未来	杨振宁	50
16e 中国今天不宜建造超大对撞机		56
17b 伯恩斯坦的独白		60
A72a 关于大加速器的座谈		64
A00g “盛宴已经结束!”——高能物理的未来		80

A11q	杨振宁：我是保守的革命者	钱 炜 安 然	85
A17l	越来越觉得个人的生命在整个宇宙之间是一个非常渺小的事情 ——《人物》对话杨振宁	刘 磊	94
A17c	关于放弃美国国籍		109
A17g	杨振宁先生的“精”与“傻”	翁 帆	110
A92c	杨振宁小传	李炳安 邓超凡	112
A97k	父亲与大哥	杨振平	137
A97l	家·家教·教育	杨振汉	146
A97m	父亲、大哥和我们	杨振玉	163
A15d	杨振宁的“有血有肉的物理学”	杨振玉	172
A86k	杨振宁谈我国新时期的人才培养	朱志明	178
A15p	我所认识的杨振宁先生	李 昕	196
A17l	杨振宁 盛名之下	刘 磊	216
A17n	回归后杨振宁先生所做的五项贡献	朱邦芬	237
A17o	杨振宁先生怎样影响了我的研究兴趣和工作方向	余理华	256
A17q	跟从杨振宁先生学习 45 年	赵 午	266
A80f	CEEC 学者名单		271
	后记	翁 帆	277

20 世纪理论物理学的三个主旋律： 量子化、对称性、相位因子*

有人说 20 世纪是物理学的世纪。这是非常有道理的：在这个世纪里，人类首次发现了核能，这是自人类祖先发现火以来发现的第二种同时也更加强大的能源；在这个世纪里，人类学会了控制电子，从而创造了晶体管 and 现代计算机，并由此改变了人类的生产力和生活；在这个世纪里，人类学会了如何探究具有原子尺度的结构，因而发现了双螺旋这把打开生命奥秘之门的钥匙；同样还是在这个世纪，人类突破了地球的束缚，在月球上迈出了最初的脚步。总而言之，这是一个人类在许多领域的前沿取得了前所未有的进步的世纪。而这些进步主要是由物理学领域的惊人进展促成的。

人们很难不对 20 世纪物理学的巨大发展在人类历史上所起的决定性作用产生深刻的印象。但尽管这些发展在人类历史上具有决定

* 本文是杨振宁 2002 年在巴黎国际理论物理学会议 TH-2002 上做的报告。本书文章未特别署名者，均为杨振宁著。

性的意义，实际上它们却并不代表 20 世纪物理学发展的辉煌之处。

20 世纪物理学真正的辉煌之处，在于对一些源自人类文明之初的重要基本概念——空间、时间、运动、能量，以及力——的深入理解。对所有这些基本概念，我们的理解都发生了深刻的变化，而这种变化带给我们的，是对自然的一种更加优美、更加微妙、更加精准，同时也更加统一的描述。

近些年里，人们对 20 世纪物理学的详细历史进行了方方面面的研究。我并不打算在这里探究这方面的问题。我的目的只是从这段历史中寻找发展的主题，追踪贯穿其概念发展全过程的三条主线。这些主线以各种形式反反复复地出现，或单独露面，或彼此交织，就像交响乐中的主旋律一样。我们将会看到，这三个旋律共同决定了 20 世纪物理学主要发展的基调和特色。

一 量子化

20 世纪刚开始，普朗克（Max Planck，1858—1947）就发表了一篇论文，论文中引入了一个常数，这个常数现在叫“普朗克常数”，它表示作用量子。就像交响乐前奏曲中开头几个小节一样，它将成为 20 世纪物理学的第一主旋律。

普朗克是一位非常谨慎的物理学家，提出作用量子这一大胆的思想对于他来说无疑是非同寻常的，但他却这么做了。然而，经过慎重的思考，他又开始害怕起来，以至于在接下来的几年里，他想收回自己的观点。而这一革命性的火把传递到了年轻一代物理学家

的手中：爱因斯坦（Albert Einstein，1879—1955）首先把它用到光电效应方面，接着玻尔（Niels Bohr，1885—1962）又阐述了他的氢原子量子理论。1918 年，普朗克发表他的题为“量子理论的创立和当前的发展状况”的演讲时说道：

……如果说来自于物理学不同领域的各种实验和经验提供了支持作用量子存在的令人印象深刻的证据，那么，玻尔原子理论的建立和发展则是对量子假设的更大支持……

接下来他概述了玻尔理论在推广时所取得的成功和遇到的挫折，不过在演讲的最后，他做出了如下积极的评论：

……今天如此令人不满意的东西，日后从更高更有利的角度来看，或许由于其特有的和谐性与简洁性而最终显得非常杰出……

最终“更高更有利的角度”的确通过量子力学的发展而出现了，但却是在经历从 1913 年到 1923 年这段困扰人的大混乱期才出现的。著名的物理学史家派斯（Abraham Pais，1918—2000）曾借用狄更斯的名言对这一时期进行描述：

那是希望之春，
那是绝望之冬。

奥本海默（Robert Oppenheimer, 1904—1967）1953年在里思讲座（Reith lecture）中的描述或许最能代表那一时期的物理学家们心中的感觉：

我们对原子物理的理解，即对所谓原子系统量子理论的理解，起源于本世纪初，而对它所做的辉煌的综合与分析则完成于20年代。那是一个值得歌颂的时代。它不是任何个人的功绩，而是包含了不同国家许多科学家的共同努力。然而从开始到结束，玻尔那种充满着高度创造性、敏锐和带有批判性的精神，始终指引着、约束着事业的前进，使之深入，直到最后完成。那是一个在实验室耐心工作的时期，是一个进行有决定意义的实验和采取大胆行动的时期，同时也是一个带有许多错误的开端和许多站不住脚的臆测的时期。那是一个包含着真挚的通信和匆忙的会议的时代，是一个辩论、批判和伴随辉煌的数学即兴创造的时代。

对于那些参加者，那是一个创造的时代，在他们对事物的新的认识中，既有满足感，也存在着恐惧。这也许不会作为历史而被全面记录下来。作为历史，它的再现将要求像记录俄狄浦斯（Oedipus）或者克伦威尔（Cromwell）的动人故事那样崇高的艺术，然而这一工作领域却和我们日常经验的距离如此遥远，因此很难想象它能为任何诗人或任何历史学家所知晓。

为了说明那一时期的物理学家们跌宕起伏的深刻感受，让我们

来看看 1925 年 5 月 21 日泡利（Wolfgang Pauli, 1900—1958）写给克罗尼格（Ralph Kronig, 1904—1995）的一封信：

现在物理学又一次走进了死胡同。至少对我来说是如此。
它太难了。

5 个月后，泡利在另一封给克罗尼格的信中写道：

海森伯的力学又点燃了我对生活的热情。

在这两封信之间发生的让泡利感到激动的事情，是海森伯（Werner Karl Heisenberg, 1901—1976）在“迷茫中”经历了一番具有历史意义的摸索后，找到的一些模糊的感觉。海森伯曾在晚年说过的一段著名话语中将 1925 年的这次摸索比作爬山：

你有时候……爬上某个山顶，但到处都是雾……拿地图或者有什么别的指示信息，知道按图索骥该怎么走，可依然完全迷失在茫茫大雾中。这时……茫白雾中你突然朦朦胧胧地恰好看见一些微小的东西，由此你可以判断，“噢，这就是我要找的岩石”。在你看到它的那一瞬间，整个情景就完全发生了变化，因为尽管你依然不知道自己是否能到达那块岩石，但起码这个时候你心里有数了，“……我知道自己在哪里了，我得想法靠近岩石，然后肯定就能找到通向山顶的路了……”

海森伯在 1925 年的那一天所找到的模糊感觉，最终导致了量子力学的诞生。它无疑是人类历史上最伟大的智力革命之一。

二 对称性

第二个主旋律，对称性，最早起源于 1905 年爱因斯坦引入狭义相对论的那篇论文。那篇文章发起了一场伟大的革命，使物理学家们的时空概念产生了深刻的变化。直到 1908 年闵可夫斯基（Hermann Minkowski, 1864—1909）发表了一篇文章，人们才发现，这场革命可以通过时空之间的四维对称性而用一种漂亮的数学方式描述出来。

虽然一开始爱因斯坦自己并没有对闵可夫斯基这一“故弄玄虚”的工作留下深刻的印象，但他很快就改变了主意，并且更前进一步：他试图将狭义相对论的对称性大大推广——闵可夫斯基的论文从数学上将它阐述为物理定律在洛伦兹变换下的不变性。多年后，爱因斯坦在他的《自述摘记》（*Autobiographical Notes*）中描述了他是如何想到推广不变性（即对称性）的：

……狭义相对论的基本要求（定律在洛伦兹变换下的不变性）太狭窄，也就是说，必须假定在四维连续统中的非线性坐标变换下定律也将保持不变。这是发生在 1908 年的事情。

经过爱因斯坦长达八年的奋斗，这一更大的不变性最终促使了广义相对论的诞生。

现在看来，爱因斯坦—闵可夫斯基—爱因斯坦这一发展过程是“对称性决定相互作用”主题的第一个范例，关于这一点后面还会讲到。当时，并没有人立即采用和发展这一主题。因此它蛰伏了很多年，而和它稍有差别的另一主题却随着量子力学的出现而得以广泛应用。

顺着这一话题，我们又得回到主旋律一：量子化。随着光谱学实验的巨大发展，以及 1913 年玻尔理论的提出，量子数进入到原子物理学的语言中。它们被用来描述动力学系统的状态。在量子力学阐述之后，物理学家们认识到，其中的一些量子数和动力学系统的对称性有着密切的关系，而一个叫作群论的优美而成熟的数学分支，正好适合处理对称性的概念：比如，实验中观察到的量子数，在群论中全都是自然存在的。

然而，对于基本物理学中新加入的对称性概念，大多数物理学家一开始是抵制的。物理学家们发明了“群祸”（group pest）一词，专门用来描述深奥复杂的陌生数学概念的入侵。五六年以后这种抵制才消除，随着从 20 世纪 30 年代开始的核物理学的发展，以及 50 年代开始的基本粒子物理学的发展，对称性和群论才逐渐成为物理学中的一个重要主题：例如，50 年代和 60 年代的大部分时间里，基本粒子物理学的研究方向主要是找到新粒子的量子数及其背后的对称性。下面一段摘自本人 1957 年的一篇演讲中的话，可以用来说明那些年里人们是如何看待对称性概念的：

直到量子力学发展起来，对称性原理才开始渗透到物理

学语言之中。描述物理系统状态的量子数往往和表征系统对称性的参数相同。实际上，对称原理在量子力学中的重要性是毋庸置疑的。举两个例子：元素周期表的总体结构本质上就是库仑定律各向同性的结果。反粒子——正电子、反质子以及反中子——的存在，也是根据物理规律在洛伦兹变换下的对称性而预测的结果。在这两种情况下，大自然似乎都有效地利用了对称性定律的简单数学描述。如果你静静地想一想相关数学推理的巧妙性和完美性，并拿它和复杂而意义深远的物理结果进行比较的话，你会不由自主地对对称性定律的魅力生出深深的敬意。

三 相位因子

狄拉克(Paul Dirac, 1902—1984)是量子力学大厦的缔造者之一。量子力学中有关力学变量 p (动量)和 q (坐标)之间非对易性的数学基础，就是他建立起来的。所以，他在1972年70岁的时候发表的下述看法颇为引人注目：

因此，如果有人问到量子力学的主要特征是什么，我觉得我现在会说它不是非对易代数。所有原子过程都建立在几率振幅存在的基础之上。如今，几率振幅只是部分地和实验相关。它的模的平方是我们能够观察到的。那正是实验人员得到的几率。但除此之外还有一个相位，它是一个模为1的数，它的变化不影响模的平方的值。这个相位非常重要，因为它是所有干

涉现象的原因，但它的物理意义模糊不清。所以海森伯和薛定谔的真正伟大之处可以说就是发现包含这一相位因子的几率振幅的存在。该相位因子在自然界隐藏得非常之深，也正因为它隐藏得太深，人们才没能在更早的时候想到量子力学。

在之前的各种波动理论中当然早就有了相位的概念，但它进入基本物理学却有着曲折的历史，我们可以将其概括为如下几个阶段。

(a) 在爱因斯坦通过引入二次微分形式 ds^2 而将引力几何化之后，1918 年外尔 (Hermann Weyl, 1885—1955) 试图通过引入线性微分形式 $d\varphi$ 来将电磁学几何化。他认为 $d\varphi$ 等于 $A_\mu dx^\mu$ 乘以一个常数，并考虑如下“伸展因子” (stretch factor)

$$\exp \left[-\frac{e}{\gamma} \int A_\mu dx^\mu \right] \quad (1)$$

将它用到沿四维路径运输的粒子上，类似于广义相对论中矢量的平行位移。爱因斯坦对外尔的这些想法进行了批评，他指出，如果一个米尺在沿世界线的方向连续伸展，那么米尺的标准化就不可能了，这是一个毁灭性的批评。外尔无言以对。

(b) 1922 年，在一篇题为《关于单电子量子轨道的奇特性质》的论文中，薛定谔 (Erwin Schrödinger, 1887—1961) 注意到，外尔的伸展因子在沿玻尔轨道计算时会得到一个指数，该指数等于一个常数的整数倍。薛定谔说这是一个值得注意的特性，他说：

很难相信这一结果仅仅只是量子条件的一个偶然的数学结

果，而没有深层次的物理意义。

接下来他猜测常数 γ 应该取什么样的值。事后想想，真正奇特的是这样一个事实，那就是薛定谔提到的可能值中包含这样一个结果

$$\gamma = -i\hbar \quad (2)$$

在这种情况下，伸展因子将等于 1。……我不敢判断在外尔的几何中这是否有意义。

所有这一切发生在 1922 年！要是薛定谔顺藤摸瓜地研究下去，他可能早在 1922 年就发现了波动力学！事实上，他显然放弃了这一思路，只是到 1925 年末当他读了德布罗意（Louis Victor de Broglie, 1892—1987）关于粒子波长的看法之后，才又重新考虑它。在 1925 年 11 月 3 日写给爱因斯坦的一封信中，他这样写道：

在我看来，德布罗意对量子规则的诠释，在某些方面和我发表于 1922 年的一篇论文（*Zs. F. Phys.* **12**, 13 (1922)）中所注意到的现象有关联。在该论文中，我证明外尔的“规范因子” $\exp[-i\oint \phi dx]$ 在每一个准周期里有一个奇特性。在我看来，两者的数学是一样的，只是我的结果更加形式化，不如德布罗意的那么漂亮且具普遍性。德布罗意在他的大理论框架之中的考虑所具有的价值远远大于我的零散、单一的陈述，而且我当