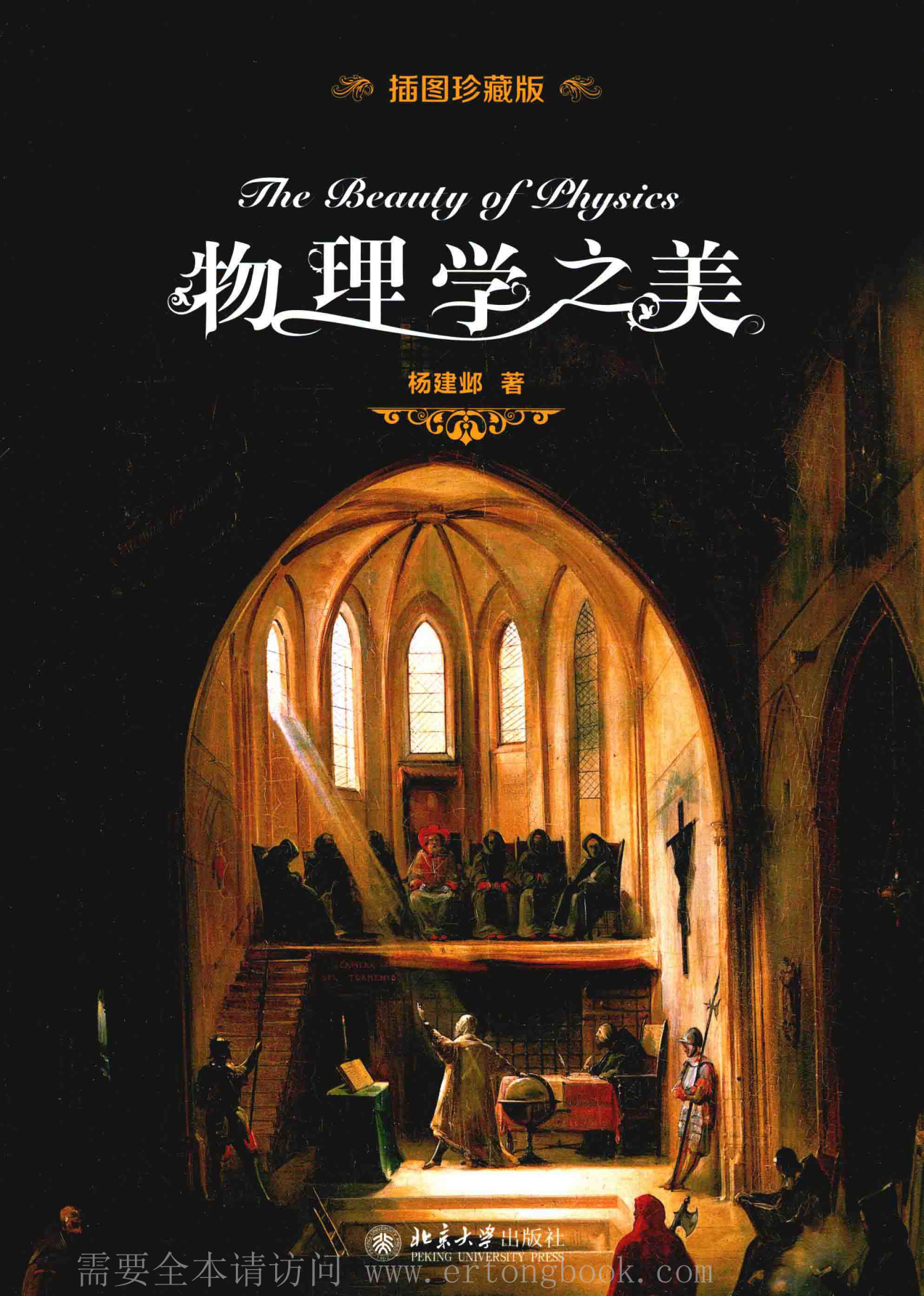
插图珍藏版

The Beauty of Physics

物理学之美

杨建邺 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

插图珍藏版

The Beauty of Physics

物理学之美

杨建邺 著

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目（CIP）数据

物理学之美：插图珍藏版 / 杨建邺著. — 北京：北京大学出版社，2019.2
ISBN 978-7-301-29957-9

Ⅰ. ①物… Ⅱ. ①杨… Ⅲ. ①物理学—普及读物 Ⅳ. ①O4-49

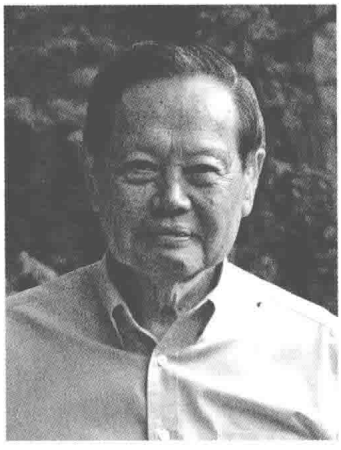
中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第227300号

书　　名　物理学之美（插图珍藏版）
　　WULIXUE ZHI MEI（CHATU ZHENCANG BAN）
著作责任者　杨建邺 著
责任编辑　陈　静
标准书号　ISBN 978-7-301-29957-9
出版发行　北京大学出版社
地　　址　北京市海淀区成府路205 号　100871
网　　址　http://www.pup.cn　　新浪微博：@ 北京大学出版社
微信公众号　科学与艺术之声（微信号：sartspku）
电子信箱　zyl@pup.pku.edu.cn
电　　话　邮购部010-62752015　发行部010-62750672　编辑部010-62707542
印 刷 者　天津图文方嘉印刷有限公司
经 销 者　新华书店
　　720毫米×1020毫米　16开本　16印张　240千字
　　2019年2月第1版　2019年2月第1次印刷
定　　价　69.00元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究
举报电话：010-62752024　电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn
图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话：010-62756370

对科学的美和妙要有鉴赏力

杨振宁



杨振宁（1922— ）

1997年1月17日，我在由香港中华科学与社会协进会与香港中文大学共同主办的演讲会上发表演讲“科学工作有没有风格？”。后来，该演讲在收入《曙光集》的时候，把标题写作了“美与物理学”。在那次演讲中，我谈到，物理学自实验、唯象理论到理论架构，是自表面向深层的发展。表面有表面的结构，有表面的美；进一步的唯象理论研究显示出了深一层的美；再进一步的研究，就显示出了极深层的理论架构的美。

牛顿的运动方程、麦克斯韦方程、爱因斯坦的狭义相对论方程、狄拉克方程、海森伯方程以及其他五六个方程是物理学理论架构的骨干。它们提炼了几个世纪的实验工作、唯象理论的精髓，达到了科学研究的最高境界。它们以极度浓缩的数学语言写出了物理世界的基本结构，可以说它们是造物者的诗篇。

我以为，年轻朋友们应该对科学的这些不同层次的美拥有鉴赏力。常常有年轻朋友问我，他应该研究物理，还是研究数学。我的回答是，这要看你对哪一个领域里的美和妙有更高的判断能力和更多的喜爱。爱因斯坦在1949年谈到为什么选择物理学时说：“在数学领域里，我的直觉不够，不能辨认哪些是真

正重要的研究，哪些只是不重要的题目。而在物理学里，我很快学到怎样找到基本问题来下工夫。”

因此，对年轻朋友来说，要对自己的喜好与判断能力（也就是科学鉴赏力），有正确的自我估价。从这个角度来看，本书邀请读者“共享科学的情与趣，共赏科学的妙与美”，是很有意义的。

（《物理学之美》作为“科学之美丛书”中的一种，曾于2011年由北京大学出版社出版。本文系著名物理学家杨振宁教授为“科学之美丛书”所作的序言。本书珍藏版仍然沿用此序言，只做了少量改动。）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目录 | Contents

1

绪言

学物理的人用不着对物理方程的意义操心，只要关心物理方程的美就够了。

——狄拉克

11

此曲只应天上有——开普勒的和谐宇宙

天体的运动只不过是某种永恒的复调音乐而已，要用才智而不是耳朵来倾听。

——开普勒

31

上帝说：让牛顿出生吧！——牛顿的引力理论

为什么牛顿不像我们今天所做的那样使用微积分来表示他的动力学呢？在一定的程度上它是美感的选择。牛顿宁愿要“古人的”特别是欧几里得和阿波罗尼奥斯的几何学，而不要近来引入的在流数方程中起非常重要作用的笛卡儿的代数学。

——克劳普尔

57

一首美丽的交响乐——热力学两定律

理论研究的主要目的之一，就是要找到使事物呈现最大简单性的观点。

——吉布斯

87

哪位神明写出了这些符号？——麦克斯韦方程组

麦克斯韦方程组是宏伟的数学表述，它深奥、微妙，但又令人吃惊地简单。它们如此具有说服力，以至于人们不需要学习高深的数学知识就可以感觉到它们的美和力量……

——马洪

109

连锁倒转法——爱因斯坦使对称性成为现代物理学明星

爱因斯坦的理论的理性基础是对对称性的威力的深刻理解，正是在此基础之上，他才得到了这个理论的实际的物理结果……爱因斯坦的真正辉煌的理性遗产的东西，是爱因斯坦使对称性得以成为现代物理学的明星。

——徐一鸿

145

越过上帝的肩膀瞧了一眼——海森伯发现矩阵力学

169

秋水文章不染尘——“有魔力”的狄拉克方程

197

θ-τ之谜——宇称守恒坍塌记

215

“大自然有一种异乎寻常的美”——规范场的故事

237

后记

240

参考书目

当大自然把我们引向一个前所未见的和异常美丽的数学形式时，我们将不得不相信它们是真的，它们揭示了大自然的奥秘。我这儿提到形式，是指由假说、公理等构成的统一体系……你一定会同意：大自然突然将各种关系之间几乎令人敬畏的简单性和完备性展示在我们面前时，我们都会感到毫无准备。

——爱因斯坦

研究工作者在他致力于用数学形式表示自然界时，应该主要追求数学美。他还应该把简单性附属于美而加以考虑……通常的情况是，简单性的要求和美的要求是一致的，但在它们发生冲突的地方，后者更为重要。

——狄拉克

大约两年前，整个科学史上最令人惊奇的发现之一诞生了。……我指的是由杨振宁和李政道在哥伦比亚大学做出的发现。这是一项最美妙、最独具匠心的工作，而且结果是如此的惊奇，以致人们会忘记思维是多么美妙。它使我们再次想起物理世界的某些基础。直觉、常识——它们简直倒立起来了。这一结果通常被称为宇称的不守恒性。

——斯诺

我觉得目前物理学者对于基本粒子有一些不能了解的地方，恐怕就是因为还有一些很美的、很重要的数学观念还没有被引进来。不过应该引进哪些数学观念呢？目前当然还不能预料，我想这也是对年轻工作者的一大鼓励。

——杨振宁

如果你能将许多复杂的现象简化概括为一些方程式的话，那的确是一种美。诗歌是什么？诗歌是一种高度浓缩的思想，是思想的精粹，寥寥数行就道出了自己内心的声音，袒露出自己的思想。科学研究的成果，也是一首很美丽的诗歌。我们所探求的方程式就是大自然的诗歌。

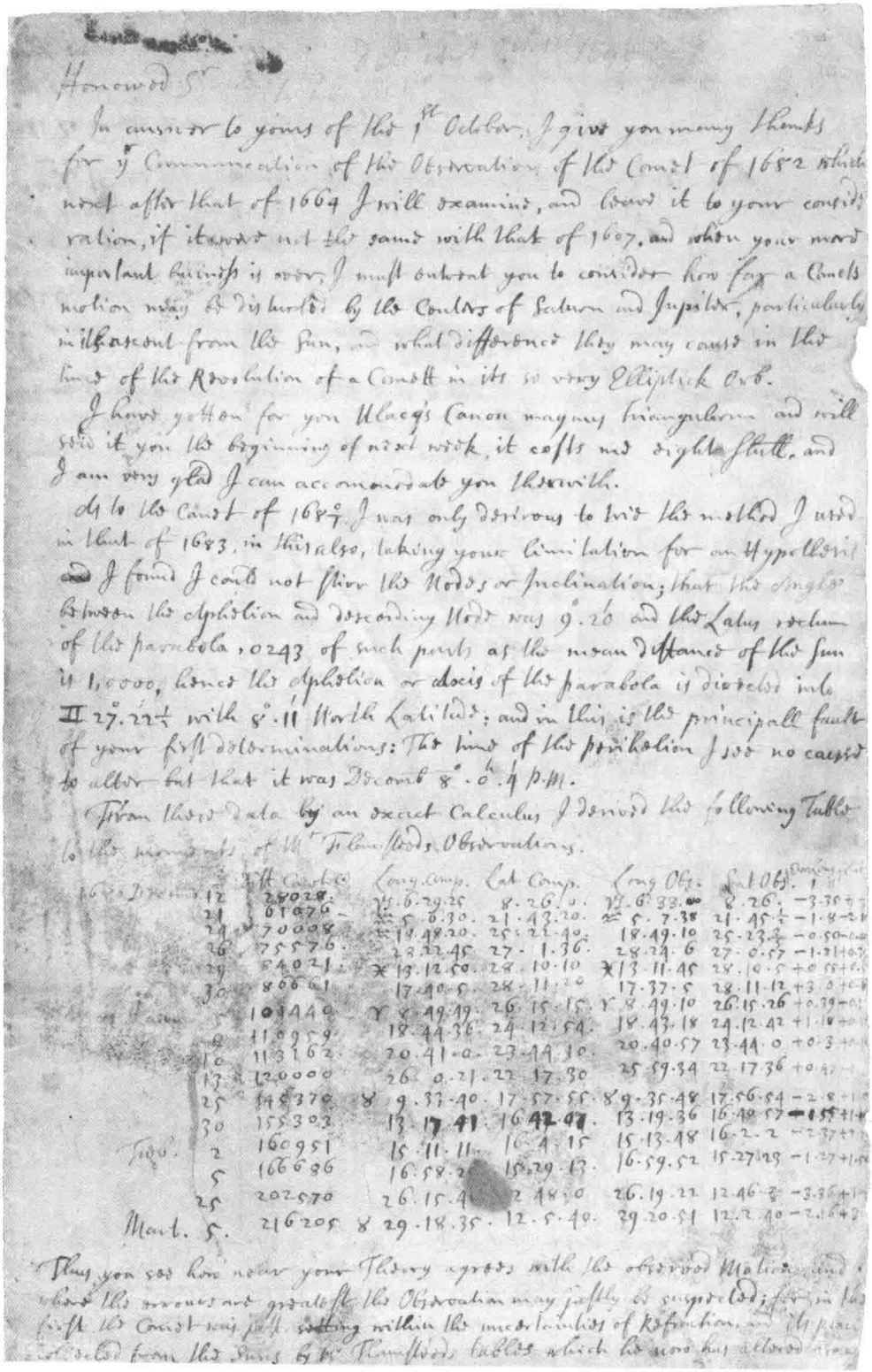
——杨振宁

绪　言

存在三种美：现象之美、理论描述之美、理论结构之美。当然，像所有这一类讨论一样，它们之间没有截然明确的分界线，它们之间有重叠，还有一些美的发展，人们发现很难把它们归入哪一类。但我倾向于认为，一般来说在理论物理学中有不同类型的美，而我们对这些美的鉴赏稍有不同，这取决于我们已在讨论的是哪一类美。而且，随着时间的推移，我们对于不同类型的美的欣赏也会跟着变化。

自然界为它的物理定律选择这样的数学结构是一件神奇的事，没有人能真正解释这一点。显然，这些数学思想的美是另一种美，它与我们前面讨论的美很不相同，物理的日趋数学化意味着在我们的领域内这最后一种美越来越重要。

——杨振宁



Honoured Sr

In answer to yours of the 1st October, I give you many thanks for y Communication of the Observations of the Comet of 1682 which next after that of 1664 I will examine, and leave it to your consideration, if it accord not the same with that of 1607, and when your more important business is over, I must entreat you to consider how far a Comets motion may be disturbed by the Comets of Saturn and Jupiter, particularly in its descent from the Sun, and what difference they may cause in the time of the Revolution of a Comet in its so very Elliptick Orb.

I have gotten for you Ulacq's Canon magnus triangulorum and will send it you the beginning of next week, it costs me eighteen shillings, and I am very glad I can accommodate you therewith.

As to the Comet of 1680 I was only desirous to try the method I used in that of 1683, in this also, taking your limitation for an Hyperbola and I found I could not place the Nodes or Inclination; that the Angle between the Aphelion and descending Node was 9°.26 and the Latus rectum of the parabola .0243 of such parts as the mean distance of the Sun is 1,0000, hence the Aphelion or Axis of the parabola is directed into ♊ 27°.22½ with 8°.11 North Latitude; and in this is the principall fault of your first determinations: The time of the perihelion I see no cause to alter but that it was December 8°.0h.4 P.M.

From these data by an exact Calculus I denied the following Table to the numbers of Mr Flamsteeds Observations.

		Obs.	Long. comp.	Lat. comp.	Long. Obs.	Lat. Obs.	Comp. − Obs.
1680 Dec.	12	280028	♑ 6.29.25	8.26.0	♑ 6.33.00	8.26.	−3.35 + 7
	21	61876	♒ 5.6.30.	21.43.20.	♒ 5.7.38	21.45½	−1.8 −2.1
	24	70008	♒ 19.48.20.	25.21.40.	18.49.10	25.23½	−0.50 −0.0
	26	75576	28.22.45	27.1.36.	28.24.6	27.0.57	−1.21 +0.7
	29	84021	♓ 13.12.50.	28.19.10	♓ 13.11.45	28.19.5	+0.55 +0.5
	30	86661	17.40.5	28.11.20	17.37.5	28.11.12	+3.0 +0.8
Jan.	5	103449	♈ 8.49.47.	26.15.15.	♈ 8.49.10	26.15.26	+0.37 −0.1
	9	119959	18.44.36.	24.12.54.	18.43.18	24.12.42	+1.18 +0.1
	10	123162	20.41.0.	23.44.10.	20.40.57	23.44.0	+0.3 +0.1
	13	132000	26.0.21.22	17.30	25.59.34	22.17.36	+0.47 −1
	25	148378	♉ 9.37.40.	17.57.55.	♉ 9.35.48	17.56.54	−2.8 +1.0
	30	155303	13.17.41.	16.42.47.	13.19.36	16.43.57	−1.55 +1.1
Feb.	2	160951	15.11.11.	16.4.15	15.13.48	16.2.2	−2.37 +1.1
	5	166686	16.58.2	15.29.13.	16.59.52	15.27.29	−1.27 +1.5
	25	202570	26.15.41	2.48.0	26.19.22	12.46.⅝	−3.36 +1.1
Mart.	5.	216205	♊ 29.18.35.	12.5.49.	29.20.51	12.2.40	−2.16 +2.1

Thus you see how nearer your Theory agrees with the observed Motion, and where the errours are greatest the Observation may justly be suspected; for in the first the Comet was just setting within the mists and vapours of the Horizon, and the place deduced from that Series by Mr Flamsteeds tables which he now has allowed [illegible]

英国天文学家哈雷就彗星问题致信牛顿。

关于物理学之美，很多卓越的物理学大师都谈到过。早在哥白尼时代，哥白尼（N. Copernicus，1473—1543）在他的《天体运行论》一书的第一句话就说：

在哺育人的天赋才智的多种多样的科学和艺术中，我认为首先应该用全部精力来研究那些与最美的事物有关的东西。

玻耳兹曼（L. Boltzmann，1844—1906）曾经拿物理学家和音乐家相比：

一个音乐家能从头几个音节辨别出莫扎特、贝多芬和舒伯特的作品，同样，一个数学家也可以只读一篇文章的头几页，就能分辨出柯西、高斯、雅可比、亥姆霍兹和基尔霍夫的文章。法国数学家的风度优雅卓群；而英国人，特别是麦克斯韦，则以非凡的判断力让人们吃惊。譬如说，有谁不知道麦克斯韦关于气体动力学理论的论文呢？……速度的变量在一开始就被庄严宏伟地展现出来，然后从一边切入了状态方程，从另一边又切入了有心力场的运动方程。公式的混乱程度有增不减。突然，定音鼓敲出了四个音节“令$n=5$”。不祥的精灵u（两个分子的相对速度）隐去了；同时，就如像音乐中的情形一样，一直很突出的低音突然沉寂了，原先似乎不可被超越的东西，如今被魔杖一挥而被排除……这时，你不必问为什么这样或为什么不那样。如果你不能理解这种天籁，就把文章放到一边去吧！麦克斯韦不写有注释的标题音乐……一个个的结论接踵而至；最后，意外的高潮突然降临，热平衡条件和输运系数的表达式出现；接着，大幕降落！



位于波兰克拉科夫市的哥白尼纪念雕像。

由玻耳兹曼的这段几近夸张的文字，我们可以看出



1887年，奥地利物理学家玻耳兹曼（中间坐者）与其合作伙伴。

他把麦克斯韦（J. C. Maxwell，1831—1879）的物理学论文看成是一首壮丽的、美妙的交响乐，这当然是在刻意强调麦克斯韦理论之美。

到了20世纪以后，由于物理学进入到远离人们经验和常识的相对论和量子力学，物理学家对于物理学之美有了更加深刻和精到的认识。当英国理论物理学家保罗·狄拉克（P. A. M. Dirac，1902—1984，1933年获诺贝尔物理学奖）1956年在莫斯科大学访问时，主人照惯例请他题词，狄拉克写了一句话：

物理学定律必须具有数学美（A physical law must posses mathematical beauty）。

如果说狄拉克的这一句话还算不上有什么冲击力的话，那么1974年他在哈佛大学的演讲，就使听众颇为震撼。他对在场的研究生们说：

学物理的人用不着对物理方程的意义操心，只要关心物理方程的美就够了。

这句话一定很有冲击力，因为当时在哈佛大学任教的温伯格（S. Weinberg，1933— ）也在场，他后来在《物理学的最终定律》（*Face to the final theory*）一文里说："在场的教授们窃窃私语，都担心我们的学生会模仿狄拉克。"

关于物理学大师谈物理学之美暂时就举这么些例子，本书正文里还会有更多精彩而具体的例证让读者大饱眼福，也许还会大为震撼。

那么，物理学之美包括哪些内容呢？杨振宁在《美



"最后，意外的高潮突然降临……接着，大幕降落！"［德国指挥家克勒姆佩雷尔（O. klemperer，1885—1973）在指挥中。］

需要全本请访问 www.ertongbook.com

与物理学》一文中写道：

存在三种美：现象之美、理论描述之美、理论结构之美。当然，像所有这一类讨论一样，它们之间没有截然明确的分界线，它们之间有重叠，还有一些美的发展，人们发现很难把它们归入哪一类。但我倾向于认为，一般来说在理论物理学中有不同类型的美，而我们对这些美的鉴赏稍有不同，这取决于我们已在讨论的是哪一类美。而且，随着时间的推移，我们对于不同类型的美的欣赏也会跟着变化。

现象之美是指组成了科学主题的那些实体所呈现出的美丽的现象，如彩虹、北极光、光谱、晶体等，这种从实体中获得的美感，只需要观察就够了，一般不需要特定的理论知识就可以感受到。

理论之美是客体自然规律的反映，它的简洁与和谐让人产生一种愉悦的美。我们后面将要谈到的引力定律、热力学第一和第二定律，都是对自然界某些基本性质的很美的理论描述，它们往往会给人一种意料不到的美的感受。例如，英国天文学家哈雷（E. Halley，1656—1742）根据牛顿引力定律预言哈雷彗星回归的时间，法国天文学家勒威耶（U. Le Verrier，1811—1877）和英国天文学家亚当斯（J. C. Adams，1819—1892）预言一颗未知行星（海王星）运行的轨道，英国天文学家霍金（S. Hawking，1942—2018）根据热力学第二定律证明黑洞不黑，等等，都给人一种精神上巨大的美的享受。它们在自然现象中不能直接见到，只能由掌握了一定的科学理论的人感受到。这些理论之美就是科学家神往的美，并且正是这些美使得科学家在冗长沉闷的工作中感到愉悦和欣慰，并成为研究科学的动力之一。法国数学家和物理学家庞加莱（J. H. Poincaré，1854—1912）说过："如果自然不美，它就不值得去探求。"

理论结构之美，是指理论有一个漂亮的结构，在20世纪以后它通常是指理论本身的数学结构。杨振宁说：

自然界为它的物理定律选择这样的数学结构是一件神奇的事，没有人能真正解释这一点。显然，这些数学思想的美是另一种美，它与我们前面讨论的美很不相



美国物理学家温伯格，1979年获得诺贝尔物理学奖。在《物理学的最终定律》一文中，他多次赞赏杨振宁对物理学之美的论述。



美丽的北极光人人都可以欣赏。



英国天文学家霍金，当今最有名的科学家之一。他的《时间简史》一书风靡全球，他喜欢与别人打赌的名声也扬名科学界。

同，物理的日趋数学化意味着在我们的领域内这最后一种美越来越重要。

杨振宁教授对物理学之美进行分层的观点非常深刻而有价值，对于研究物理学美学是一个非常合适的起点，也是一个很有价值的终点。本书就将按照这种观点来阐述物理学之美。来到了具体阐述的时候，一般有两种阐述方法：一种是从理论出发，然后用具体的案例来证实这个理论；另一种是从物理学家具体研究的案例出发，得到某种结论。经济学家张五常先生在《新卖橘者言》一书*的前言中说：

一般是以理论分析为起点，然后用真实世界的例子做示范。我是倒转过来，先以一个自己认为是有趣的真实世界现象为起点，然后用经济学的理论分析。这二者看似相同，其实有大差别：前者是求对，后者是求错。换言之，前者是先搞好了理论，然后找实例支持。这是求对。后者呢？先见到一个需要解释的真实现象，然后以理论做解释，在思考的过程中研究的人无可避免地要找反证的实例。这是求错。找不到反证的实例，理论就算是被认可（confirmed）了。理论永远不可以被事实证实（can not be proved by facts），只可以被认可（can be confirmed by facts）。找不到事实推翻就是认可，这是科学方法的一个重点。我察觉到“求对”的科学没有多大实际用场。不是完全没有，而是有了理论之后才把实例塞进去，这样处理的工具很难学得怎样用。不客气地说，写“实用”或“应用”经济学的君子们，大多数自己也不知道怎样用。先搞理论然后找实例支持算不上是用理论作解释。

张五常先生赞成的方法，实际上就是归纳法。在物理学研究中，归纳法和演绎法都各有价值，这里就不去分析了。但是在初步研究一个论题的时候，只能用归纳法。物理学之美应该就是一个还处于初步研究的对象，还没有什么经得起考验的理论。大家都在探索，虽然也有一些理论出来，但是都可以找到反例来反驳。近20多年来，我国有不少科学哲学、科学史学理论轮番上演，但由于研究者都没有做艰苦的案例研究，演完了就只能

* 张五常著. 新卖橘者言. 中信出版社，2010：20—21。

剩下一片狼藉，鸡零狗碎。正如张五常先生所说，什么用处都没有。如果我们从实际的案例研究出发，尽管不能求对，却可以在求错中得到新的认识，何况案例研究本身就具有留下来的价值。

正是基于这一观点，我选择了我熟悉的、也自认为比较典型的九个案例，来阐述物理学之美的三个层次。物理学之美虽然具有一定的客观性和共性，但我认为仍然是一个主观性比较强的观念，因为每一位物理学家的美学观具有很强的个性。这样，我在叙述每一个案例的时候，用了很多的笔墨描述每一位物理学家所处的时代，以及他的家庭、教育等方面的故事，这样能让读者够保持一定的阅读兴趣。也许其中一些尚未被注意的细节，使读者对这位物理学家美学观的产生和内容有新的和有价值的发现。

杨振宁教授是一位伟大的理论物理学家，他对于物理学之美的精辟和全面的阐述，从来就没有忘记用具体的事例来解释说明。他在《美与物理学》一文*中说：

图1所表示的物理学的三个领域和其中的关系：唯象理论（phenomenological theory）是介于实验和理论架构之间的研究。（1）和（2）合起来是实验物理，（2）和（3）合起来是理论物理，而理论物理的语言是数学。

物理学的发展通常自实验（1）开始，即自研究现象开始。关于这一发展过程，我们可以举出很多大大小小的例子。先举牛顿力学的历史为例。第谷是实验天文物理学家，活动领域是（1）。他做了关于行星轨道的精密观测。后来开普勒仔细分析第谷的数据，发现了有名的开普勒三大定律。这是唯象理论（2）。最后，牛顿创建了牛顿力学与万有引力理论，其基础就是开普勒的三大定律。这是理论架构（3）。

再举一个例子：通过18世纪末、19世纪初的许多电学和磁学的实验（1），安培和法拉第等人发展出了一些唯象理论（2）。最后，由麦克斯韦归纳为有名的麦克斯韦方程(即电磁学方程)，才步入理论架构（3）的范畴。

另一个例子：19世纪后半叶许多实验工作（1）引导出普朗克在1900年的唯象理论（2）。然后经过爱因斯

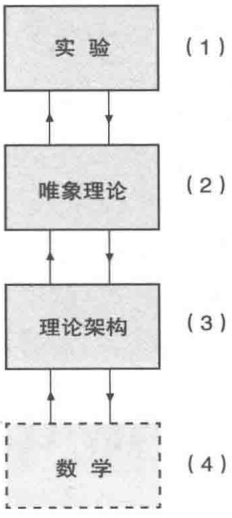
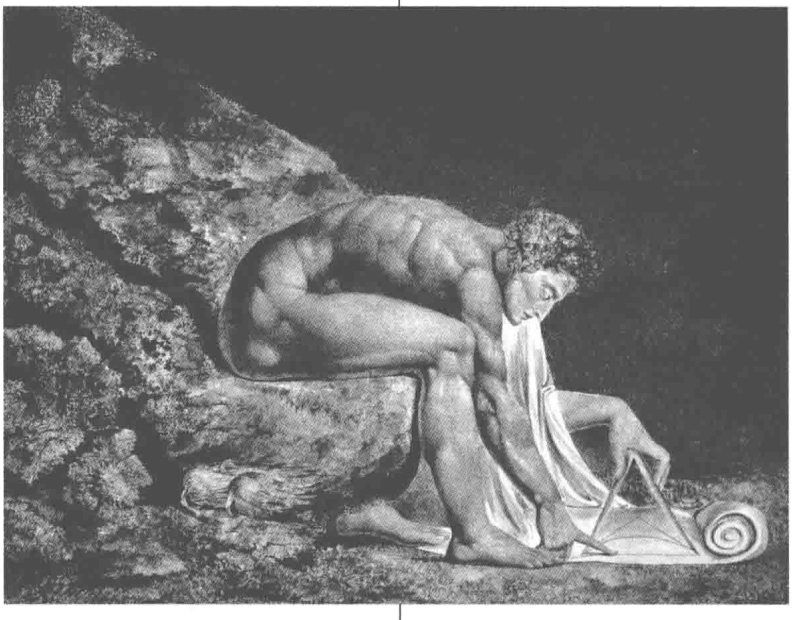


图1 物理学的三个领域

* 《杨振宁文集》，华东师范大学出版社，1998，第847页；《杨振宁文录》，海南出版社，2002，第284页。此文在本书第七节文后作为附录有更详细的引用。

坦的文章和上面提到过的玻尔的工作等，又有一些重要发展，但这些都还是唯象理论（2）。最后，通过量子力学之产生才步入理论架构（3）的范畴。

本书的写作，受到杨振宁教授论述的启发，基本上按照他指出的思路展开。在第一节和第二节叙述的是第谷、开普勒、牛顿，他们从（1）→（3），走过了（实验）观测（第谷）→唯象理论（开普勒）→理论架构（牛顿）这三个过程。这三位物理学家所处的时代，是近代物理学刚刚成长起来的时代。这时他们思想深处有某种美学上的观点支配他们的思考，但是这些美学观点都比较原始，带有某种神秘的色彩。例如，圆周匀速运动被认为是最美的，某些神秘的数字（如7）会影响他们。这时候的美学观既可以引导他们向某一个方向走去，也会带来一些成果（这是因为自然界本身就是按照这些简单和谐美的方式形成）。但是错误出现的频率很高。所以开普勒（J. Kepler，1571—1630）几乎是在试错中前进的。牛顿（I. Newton 1643—1727）就不同了，他开始用比较成熟的理论架构和数学来讨论物理学中的运动，结果他获得了很大的成功，得到了伟大而漂亮的理论架构：牛顿三大定律和万有引力定律，这期间牛顿还少不了假借一些神秘的美学观念来支撑他的理论。



在画家威廉·布莱克（Willian Blake，1757—1827）的笔下，牛顿是个神圣的几何学家。

第三节讲的是热力学定律，这一节讲述的是物理学家在研究热运动如何从（1）→（3）的全过程。这个时代已经是18到19世纪，德国的自然哲学盛行一时，它的美学观念（整个自然界以及自然界的每一个细部，都要服从简单性、统一性原理）在很多领域指导着物理学家们前进。迈耶（J. R. Mayer，1814—1878）、亥姆霍兹

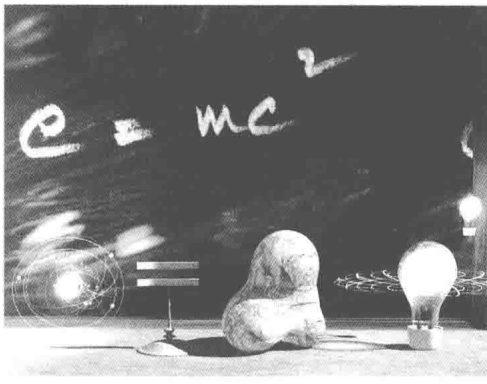
（H. Helmholtz，1821—1894）正是在这种美学观的指导下从事热力学研究，并且取得了可喜的进展，得到了一种唯象的理论；而焦耳（J. P. Joule，1818—1889）则用实验证实了他们的信念，最终是亥姆霍兹构建出宏大的理论架构。后来，热力学理论经受住无数次考验，成为微观、宏观和宇观世界里的伟大理论。

第四节在物理学美学这一课题上有重大意义。这是由于麦克斯韦在众多的实验和唯象理论的基础上，为了使四个数学方程更加对称，符合他的美学的观念，异常大胆地构架出一个庞大的电磁理论——麦克斯韦方程组！数学上的对称美的威力由此呈现在物理学家面前。由于它的确太漂亮，它的结果太伟大和出乎意料，以至于物理学家在这美丽的色彩面前惊慌失措。当时，几乎欧洲所有的物理学家都不敢相信这个伟大的理论是真的！直到赫兹（Hertz，1857—1894）用实验证明了这个方程，人们这才回过神来思索其中的美学含义和价值。

爱因斯坦（A. Einstein，1879—1955）是首批充分理解麦克斯韦方程组美学价值的物理学家之一。他利用扩大理论内部隐含的对称性，提出了伟大的相对论。第五节讲的就是爱因斯坦如何受到麦克斯韦美学观的启发，从而建立相对论的经过。物理学之美在爱因斯坦这儿，实在精彩纷呈，开启了物理学之美的伟大航程。

第六、七节，物理学家开始进入微观世界，这是一个完全不同于宏观世界的领域，物理学家几乎又要从一片黑暗中摸索前进。于是，又重复出现从实验观测（热辐射的观测和实验）到唯象理论（玻尔理论、海森伯的理论），最后才是海森伯和狄拉克的量子力学。这一期间物理学美学的作用似乎显得有一些可疑，但是，从海森伯的研究中仍然可以看出，他从他的父亲那儿继承的古希腊科学美学观念，一直都是他直觉的根源。

第七节非常重要，一位在物理学美学建树极大的人物——狄拉克上场了。狄拉克基本上是从理论的数学结构美来思考物理学理论的。所以，他的方程的建立，完全不同于海森伯矩阵方程的建立。后者基本上是从直觉得到一个唯象理论的方程；但是，狄拉克完全不考虑任



爱因斯坦的著名方程 $E=mc^2$。当爱因斯坦刚发现这个公式的时候，他自己也没有把握，他甚至对友人说："这个公式既有趣又迷人，但不知道亲爱的上帝会不会笑它，也许它已经欺骗了我。"他万万没有想到，这个公式会如此深远地改变了人类的生活。



在为杨振宁退休举行的学术研究会上，杨振宁与米尔斯合影。



菲尔兹奖章。

何物理模型，直接从理论和数学结构美的制高点出发，得到一个比他还要聪明得多的狄拉克方程，这几乎让他本人都不知所措！由此可以充分理解理论和数学结构美的威力。

正当物理学家为对称性高歌猛进的时候，突然大自然传来了不和谐的声音：宇称不守恒出现了。微观世界再一次显示它那桀骜不驯的本性。其实这是物理学之美更加深刻的显示：对称中的不对称。这是万物生长的奥秘所在。第八节讲的就是这个故事。

这种更加深奥的美学观念——对称中的不对称，到第九节以更加深入的挖掘展示在读者面前。杨-米尔斯理论（Yang-Mills theory）开始是一个极端美丽和对称的理论精品，而它正是通过自发对称破缺获得了巨大的生命力——“对称性支配相互作用”。这是一个当代最伟大的理论架构！而且更加惊人的是，这一物理学理论架构，居然和美丽的数学结构有令人惊讶的关联，杨-米尔斯理论居然成为数学家研究的热门内容之一！有好几位数学家因为研究杨-米尔斯理论获得了菲尔兹奖。这时，物理学和数学达到了根部的相连。数学结构美终于完整地呈现在物理学家和数学家面前。

爱因斯坦、狄拉克和杨振宁是活动在图1（见第5页）中（2）（3）（4）三个领域的物理学家，正是他们的努力，使我们对物理学之美有了更加深入的了解。物理学之美在他们的努力下到达了当代最高点。

当然，物理学之美的探索历程远远没有结束。

雄关漫道真如铁，而今迈步从头越！

需要全本请访问 www.ertongbook.com