

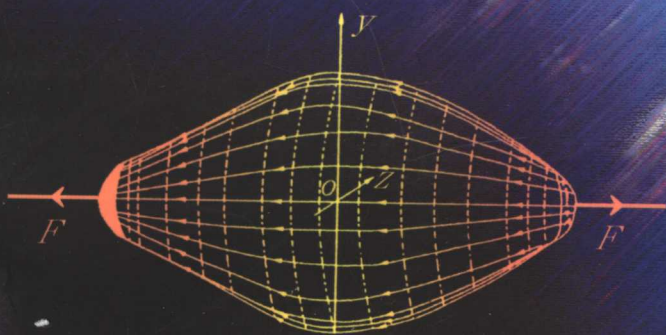


纪念赵忠尧、狄拉克百年诞辰

真空动力学

——物理学的新架构

罗恩泽 著



In Memory of
C.Y.Chao and P.A.M.Dirac
on Their Centenary
Vacuum Dynamics
—— New Framework of Physics
by Luo Enze

上海科学普及出版社

纪念赵忠尧、狄拉克诞生一百周年

真 空 动 力 学

——物理学的新架构

罗恩泽 著

上海科学普及出版社

图书在版编目(CIP)数据

真空动力学——物理学的新架构/罗恩泽著. —上海:
上海科学普及出版社, 2003. 8
ISBN 7-5427-2318-9

I. 真... II. 罗... III. 真空物理学 IV. 0552

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 033084 号

责任编辑 陈英黔

真空动力学——物理学的新架构

罗恩泽 著

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

各地新华书店经销

商务印书馆上海印刷股份有限公司印刷

开本 889×1194 1/16 印张 13.25 字数 288 000

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印数 1-5 200

ISBN 7-5427-2318-9/O·72 定价: 30.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题
请向出版社联系调换

出版说明

科学技术是第一生产力。21 世纪,科学技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略,上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金”,资助优秀科技著作在上海出版。

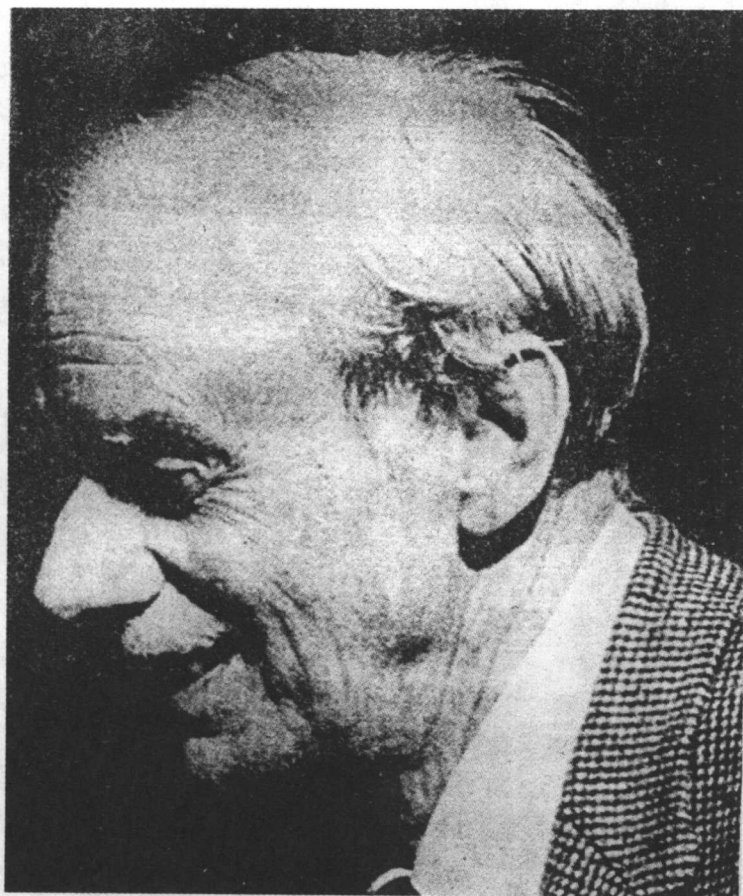
本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

**In Memory of C. Y. Chao and P. A. M.
Dirac on Their Centenary
Vacuum Dynamics
— New Framework of Physics
by Luo Enze**



赵忠尧(C. Y. Chao)教授
1902. 6. 27—1998. 5. 28



狄拉克(P. A. M. Dirac)教授
1902. 8. 8—1984. 10. 20

谨以此书献给我敬爱的老师,世界著名物理学家、中国科学院院士赵忠尧教授。是他最早在反常吸收和特殊辐射实验中,观测到了真空中电子对的产生和湮灭,测量了湮灭辐射的能量数值等于 0.5 MeV ,为一个电子的能量。证实了狄拉克相对论电子方程的真空理论,并为安德森发现反电子铺平了道路。他是人类从真空中直接取得物质和能量的第一人。这是人类自然科学发展史上的重要里程碑。他的实验推翻了经典物理学中否定真空实在性的基本假定,使物理学得以建立在肯定真空实在性的正确认识基础之上。他为人类认识真空的性质、结构和动力学规律,作出了历史性的贡献。他虽未能公正地获得诺贝尔奖这一殊荣,但他的工作,却是科学史上最具深远影响力的成果之一。正如李政道在纪念赵忠尧院士诞生一百周年时所指出的,如果不是因为别人的错误,赵老师应当是第一个获得诺贝尔物理学奖的中国人。

内容提要

大量实验和理论分析表明：近代物理学中关于“真空是一个空无所有的虚空”这一基本假定，是一个错误的假定，必须代之以“真空是一个具有一定物理性质和一定物理结构的物理实在”的新理论。因此必须对近代物理学进行全面的评论和全新的表述。

本书将真空作为一个动力学体系，并将其物理性质归结为五个基本原理：

1. 真空电量守恒原理；
2. 真空光速不变原理；
3. 真空最小量子作用不变原理；
4. 真空质量守恒原理；
5. 真空规范不变性原理。

由这五个基本原理我们引导出电动力学、相对论力学、量子力学、万有引力学和规范力学；同时提出了一个能够阐明电动力学、相对论力学、万有引力学和规范力学的关于真空的微粒结构模型。它对电磁场理论和电磁波的传播、对相对论时空观、对物质的波粒二象性、对万有引力和惯性力产生的原因、正反物质的存在、宇宙的结构、引力波为何不能在真空中传播以及基本粒子的相互作用、对称性的破缺和统一场论等提供了简明的物理图景和新的物理表述。

对真空的物理性质和物理结构的认识，将使整个物理学和自然哲学建立在牢固的物质基础上，它将使整个物理学繁琐的理论体系得到简化和趋向合理，使近代物理学中许多自相矛盾和得不到解释的问题得到解决和阐明。

本书是对真空的物理性质和物理结构及其动力学规律的一个初步探讨，许多问题还有待更深入一步的理论和实验方面的研究。

全书包括五章：

- 第一章 真空的电动力学性质和结构
- 第二章 真空的相对论力学性质和结构
- 第三章 真空的量子力学性质和结构
- 第四章 真空的万有引力学性质和结构

第五章 真空的规范力学性质和结构

它可用作大学物理系、工程系和哲学系本科生和研究生的教材或参考书,可供对前沿物理和自然哲学感兴趣的读者阅读,也可供有关研究人员作为参考资料.

Abstract

A lot of experiments and theoretical analyses show that the hypothesis: "the vacuum is an empty space without anything" in physics is wrong. It has to be substituted by a novel one: "The vacuum is a physical reality with certain physical properties and certain physical constructions." So it should totally review the advanced physics and give an entire new expression to it.

This book regards the vacuum as a dynamics system and summarizes the physical properties of it into five fundamental principles:

1. Principle of the conservation of electric charge in vacuum.
2. Principle of the invariance of light speed in vacuum.
3. Principle of the invariance of minimal quantum action in vacuum.
4. Principle of the conservation of mass in vacuum.
5. Principle of the invariance of gauge transformation in vacuum.

From these five principles of vacuum we have introduced the Electrodynamics, the Relativity, the Quantum Mechanics, the Gravitation and the Gauge Field Theory. We suggested a corpuscles construction model of the vacuum, which gives a simple physical diagram and new explanation to the electromagnetic field and electromagnetic wave propagation, to the point view of space-time in relativity, to the dual appearance of wave and corpuscle, to the cause of the gravity and inertia force, to the existence of materials and anti-materials, to the construction of universe, to the problem why the gravitational wave cannot propagate in the vacuum, to the interactions between fundamental particles, to the symmetry breaking, to the unified field theory and etc..

The understanding of the physical properties and physical constructions of the vacuum will put physics and natural philosophy on a firm foundation of materials, which will turn the complex theoretical system of physics to simplicity and rationalization and will make many self-contradictions and difficult problems settled and explained.

This book is the first step to study the physical properties and physical constructions of the vacuum. Many problems are awaiting deeper theoretical and experimental researches.

The book is divided into five chapters:

Chapter 1 Electrodynamics Properties and Constructions of Vacuum.

Chapter 2 Relativity Properties and Constructions of Vacuum.

Chapter 3 Quantum Mechanics Properties and Constructions of Vacuum.

Chapter 4 Gravitation Properties and Constructions of Vacuum.

Chapter 5 Gauge Mechanics Properties and Constructions of Vacuum.

This book can be used as a textbook or reference book to the undergraduate students and postgraduate students of physics department, engineering department and philosophy department. And it can also be used as reference materials for the researchers who are interested in the modern physics and natural philosophy.

序

在中国科学院 1997 年《科学发展报告》中,李政道教授发表的《21 世纪物理科学发展展望》和杨振宁教授发表的《20 世纪物理学中各种对称性观念的起源》,是两篇具有世纪意义的重要科学评论.前者指出了对真空的研究,将是 21 世纪物理学发展的重要方向;后者总结了 20 世纪物理学运用对称性观念取得的重大进展.而真空正是本书的研究对象;对称性观念则是本书的理论依据.荣幸地得到两位作者惠允,作为全书的指导和序言.

21 世纪物理科学发展展望

李政道

19 世纪末 20 世纪初,物理科学中有两个相当重要的科学发现.一个是迈克耳孙-莫雷实验.这个实验证明,光顺着地球运动和逆着地球运动的速度是完全一样的.另外一个普朗克的一个公式,炽热的物体发光时,会有不同的波长,普朗克对波长的分布提出一个猜测公式,与实验很好地符合.这两个问题用经典的理论和方法是无法解决的.这两个发现虽然都很稀奇,但当时它们同日常生活并没有什么直接联系.

可是不久以后,即从第一个发现产生了狭义相对论,从第二个发现产生了量子力学.到 1925 年,人们对这两个领域(即狭义相对论和量子力学)已完全了解了.由此又发展出原子构造、分子构造、核能、激光、半导体、超导体、X 光,以及超级计算机等理论和应用.1925 年以后,几乎所有的物质文明,都是从这两个基础发现衍生出来的.

关于 21 世纪物理科学的发展前景,我认为是很好的,因为目前的情况与 20 世纪初很相似.

20 世纪初的两大发现,导致两大科学疑问的提出,即光顺地球运动和逆地球运动时的速

度为什么一样? 如何解释炽热的物体发射的光谱?

现在同样也面临两个疑问: 其一, 目前的物理理论都是对称的, 而实验却发现了不少对称性的破缺(1997 年是吴健雄博士做宇称不守恒实验的 40 周年纪念. 她的文章是 40 年前的 2 月 15 日发表的, 她于 1997 年 2 月 16 日去世); 其二, 有一半基本粒子是至今一点都独立不出来的. 我们已经知道, 所有的中子、质子、原子、分子, 都是由两类基本粒子组成的: 一类是夸克; 另一类是轻子. 一共有 6 种夸克, 6 种轻子. 可是这 6 种夸克, 每一个都不能单独自由行动, 从来没有人观察到它们可以自由地存在.

关于理论上对称而实验上对称破缺这个问题, 现在的认识是, 这个对称的破缺来自于真空. 什么是真空? 真空是没有物质(粒子)的态, 可它仍有作用, 有作用就有能量的涨落. 这种能量的涨落是可以破坏对称的.

为什么夸克走不出来呢? 这和超导类似. 超导是抗磁场的, 假如有一块材料没变超导前有磁场通过, 一变成超导, 磁场就被排出来了. 假如一个圆圈里面有磁场, 这圆圈没变超导前, 磁场可任意进出; 而一旦变成超导, 磁场就出不来了. 在真空的涨落中, 很可能有磁单极子和反磁单极子, 它们是抗量子色动力学电场的. 可以认为, 真空是物理的相对论性凝聚态, 它虽是没有物质(粒子)的态, 但却是有作用的, 也就有可能被激发.

根据相对论性重离子碰撞理论, 两个高能量的金核(单个核子的能量为 100 GeV)相互碰撞后, 相互穿过对方, 并在两核中间产生新的真空, 这样的真空中夸克可以自由行动. 这方面的研究正在进行, 相对论性重离子对撞机设在布鲁克黑文, 1999 年就可建成, 总投资约 10 亿美元.

如果真空可以被激发, 粒子的微观世界和宏观的真空就结合起来了. 这将是一个新的发展. 我们用对撞机来研究这个问题, 是想人工模拟出一个状态, 它和当初宇宙开始大爆炸的情景相似. 大爆炸开始于一个激发的真空, 人工制造出类似的状态, 也许可测量得到大爆炸之初的若干特性.

宇宙中有一种叫做类星体的东西, 人们知道它不是普通的星, 但对它知之甚少. 对它的能量来源, 就一直未搞清楚. 太阳的能量是核能, 而一个类星体的能量比太阳的能量要大得多, 可以是太阳的 10^{15} 倍, 这绝对不可能来自核能. 在宇宙中估计共有 100 万个类星体, 其中正在仔细研究的有 1 000 个.

类星体最早发现于 1961 年, 那年发现了两个, 其中之一是 3C273. 3C 代表英国剑桥第三射电源表, 273 是其顺序号. 这个类星体在 1982 年 2 月, 一天之内能量增加了一倍. 不仅能量大, 而且可以在一天之内增加一倍, 这是非常稀奇的. 宇宙中还有很大能量的来源, 至今仍是未知的.

宇宙中的另一个大问题是暗物质. 从引力的计算, 人们知道有暗物质存在, 可是用光无法探测, 用红外、紫外、X 光都无法探测到.

宇宙里 90% 以上是暗物质. 暗物质存在的证明很简单. 拿任何一个星系来说, 测量在距离该星系中心 r 处的任何星(或尘埃、粒子等)的速度 u , 令 $M(r)$ 是从星系中心至 r 间的引力质

量. 从万有引力定律和圆周运动方程可得

$$\frac{GM(r)}{r^2} = \frac{u^2}{r}$$

G 为引力常量. 离星系非常远处, 如果 $M(r)$ 不继续增加, u 应该越来越小. 可是事实上不然. 拿 NGC3192 来说, u 并不减小, 就说明有很多引力质量在里面. NGC3192 并不是单独的例子, 现在已测量的有 967 个星系, 所有的都是这样, 没有一个例外. 这些暗物质是什么我们不知道. 所以, 在我们的宇宙中有 90% 以上的物质我们不知道, 有极大的能量来源我们不知道.

100 年前, 英国物理学家汤姆孙(J. J. Thomson, 1856—1940)发现了电子. 这极大地影响了 20 世纪的物理思想, 即大的物质是由小的物质组成的, 小的是由更小的组成的, 找到最基本的粒子就知道最大的构造. 这个思想不仅影响了物理学, 还影响到 20 世纪生物学的发展. 要了解生命就应研究它的基因, 了解基因就可能了解生命. 但我们现在发现并不然. 小的粒子, 是在很广泛的真空中, 而真空很复杂, 是个凝聚态, 是有构造的. 也就是微观的粒子和宏观的真空是分不开的, 两者必须同时处理.

以为知道了基本粒子, 就知道了真空, 这种观念是不对的. 从这个简单化的观点出发, 不会有暗物质, 也不会有类星体这类的东西. 我觉得, 基因组也是这样, 一个个地认识了基因, 并不意味着解开了生命之谜. 生命是宏观的. 20 世纪的文明是微观的. 我认为, 到了 21 世纪, 微观和宏观会结合成一体. 不光物理学如此, 这也许还会影响到生物学和其他科技的发展. 例如造计算机, 是不是越小的集成电路就越好呢? 可以把集成电路芯片越造越小, 小到氢原子, 可是我们对氢原子已完全了解, 这里已不可能再有什么信息. 可能 21 世纪计算机的芯片会是比较大的, 是个凝聚态的单位, 这里的信息才更多.

在基础科学的研究中, 微观和宏观必须结合起来, 这个结合对科学技术的应用和开发, 可能会有极大的影响. 20 世纪的科学发明在 19 世纪末都是很难想象的! 没有 20 世纪初基础科学的突破性发展, 本世纪的科技应用和开发也就失去了基础. 21 世纪也许会有同样的发展. 目前, 微观和宏观的冲突已经非常尖锐, 靠一个不能解决另一个, 把它们联起来或许会有所突破. 这种突破会影响我们的未来.

21 世纪的物理科学, 可能会在以下一些基本问题上取得突破性进展: 激发真空; 微观和宏观的物理的结合; 模拟宇宙大爆炸之初的状态; 了解暗物质, 了解类星体的能源, 了解 CP 不对称的原理等. 什么是 CP 不对称呢? 粒子和反粒子、左和右不对称, 就是 CP 不对称. 因为 CP 不对称, 所以我们能够存在. 我们都是质子和电子的, 我们宇宙里没有很多的反质子和正电子. 在大爆炸一开始它们应该是一样的, 所以 CP 不对称也是一个很重要的问题.

中国的国情和美国、日本都不一样.

我们必须正视的现实是贫穷和落后. 少数人会在贫穷和落后面前失去自尊、自信和希望, 而更多的人则会在逆境中奋起. 要摆脱贫困, 实现人类的希望就离不开科学.

20 世纪物理学中各种对称性观念的起源

杨振宁

20 世纪物理学中各种对称性的起源构成十分错综复杂的关系。

20 世纪是在一巨大的震响中开始的。我们都知道在 1881—1887 年间,迈克耳孙-莫雷 (Michelson-Morley) 实验的精度越来越高,这些实验检验“以太”到底是否存在。实验的否定结果使 19 世纪末的物理学家大为困惑。如果翻阅 1904 年圣路易斯博览会那 10 卷文集,其中专门介绍科学和艺术发展至当时状况的有关篇章,可看到当时还很年轻的泼因卡罗 (Poincaré)、玻耳兹曼和卢瑟福等这些杰出人物写的文章。他们大都认为物理学处在严重的困境中,因为构成当时物理学基础的几乎所有的基本概念必须改变。这种改变很快就出现了,几个月后 26 岁的爱因斯坦发表了他的狭义相对论论文。

狭义相对论着重强调洛伦兹对称性或洛伦兹不变性,事实上它是建立在此基础上的,这是 20 世纪物理学的一个至关重要的概念。我清楚地记得 1982 年在意大利 Erice 的那次会议,狄拉克参加了,我也参加了。一天狄拉克问我:“你认为爱因斯坦最重要的贡献是什么?”我以前曾考虑过这个问题,所以脱口而出:“广义相对论”。狄拉克说:“的确,广义相对论是很有特色、很漂亮的贡献,但我认为他的最重要的贡献是狭义相对论。”狄拉克的意思是由洛伦兹对称性所导致的狭义相对论较之广义相对论对 20 世纪物理学产生了更为深刻的影响。我想大家都会同意这样一种看法。

1905 年过后两年,爱因斯坦开始了广义相对论的工作,这从他在 70 岁左右所写的回忆录中可以看到。他叙述了 1907—1915 年间导致建立广义相对论的原始工作。他说在 1907 年左右他思考狭义相对论是如何建立的。首先在实验上经历了几乎近 100 年,建立了电磁学的四个基本规律;然后在 1865 年左右,麦克斯韦写下了那十分重要的麦克斯韦方程。1905 年人们清楚了麦克斯韦方程内在的漂亮的对称性。爱因斯坦说,在 1907 年时他想“为什么我们不能将这样的过程倒过来?为什么我们不能从对称性出发建立符合对称性原则的基本方程,并由此得到和方程符合的实验结果?”他说这就是在 1907 年时的想法。当时他正跋涉在一条艰难的道路上,而最终导致了广义相对论的建立。

用今天的术语来说就是“对称性支配相互作用第一时期”。爱因斯坦选择了对称性,即物理规律对坐标变换的对称性或不变性。我们都知道正是出于这样的观念他写下了那优美的广义相对论方程,并由此导致了检验广义相对论的三个基本实验。

过后不久,爱因斯坦坚信一旦搞清楚了引力的场论表示形式,即广义相对论,就应该将它和当时已经知道的另一种场论,即电磁场统一起来。事实上这也是他在以后的整个生涯中所探

索的基本课题。

韦尔是第一个从事此项工作的。我们称为“对称性支配相互作用第二时期”，也就是规范理论的开始。韦尔在 1918 年写了几篇文章，这几篇文章用不同的方法讨论同一课题。他当然深受爱因斯坦和利瓦伊-西韦特(Levi-Civita)的影响。他的基本观点如下：他认为按照广义相对论或黎曼几何，如果将矢量由时空中 A 点经过两条不同的路径移动到 B 点，在沿路径移动过程中始终保持矢量平行，最后到达 B 点时两个矢量的方向一般说来是不一样的。他说为什么不能将这一概念用到长度上呢？即如果矢量的方向依赖不同路径的平行移动，为什么不能提出矢量的长度沿这一路径或另一路径亦不相同呢？即他提出在移动中矢量的标度是在变化的。这就是他的最基本的想法。“规范”这个术语来自我们所谈论的“标度”，在德文中称为“Eich”，到 1920 年翻译成英文的“gauge”。

现在来讨论各种不同类型的对称性。在量子力学前，已经知道各种量子数，20 世纪初 20 年中的某些年在原子物理中广泛地讨论到量子数，例如 n, l, m 、自旋、宇称等。所有这些都是从实验上得到的，因为它们和实验紧密相联系。只是在量子力学以后，1927—1931 年之间由于韦尔和韦格纳的工作，群论才初显身手。特别是在 SO_3 和 SU_2 群以及反演算符等方面，韦尔和韦格纳两人都作了十分清楚的讨论。

有一天我问韦格纳：“是谁第一个用‘宇称’这一词汇？”他记不起来，我也没有在文献中找到“宇称”在何处第一次出现。但如果翻阅康登和肖特里的本在原子物理中十分重要的《原子光谱理论》(*The Theory of Atomic Spectra*, London: Cambridge, and New York: MacMillan, 1935)，可知在 1935 年已清楚表明“宇称”在量子力学中已是十分重要的量子数了。

我相信对称性的考虑对物理学家显得日益重要的另一个十分重要的进展，就是康登和肖特里早在 20 世纪 30 年代在书中对 LS 耦合、 jj 耦合那些复杂而又出色的讨论。这些讨论促使 Racah 在战争年代大大地发展了 SU_2 的 C-G 系数，以及后来的 R_a 系数，这些显然对当代物理学是十分重要的。但在 20 世纪 40 年代末当我是研究生时， R_a 系数对我们是十分遥远的。当时在芝加哥没有一个和我同时代的研究生，也没有一个教师真正熟悉 R_a 系数。

正因为这样，当群论首先在原子物理中应用时，遭到物理学家的强烈抵制。也许你们中有人听说过“群害虫”这一名称。如果读一读韦尔那本群论的引言，可发现当时一些人认为群论就像讨厌的害虫。曾流传这样一个有名的故事，当斯莱特(Slater)发现可用波函数行列式来避免用置换群时，人们就说他杀绝了群害虫。

电荷共轭的原始概念在理论上见于狄拉克在皇家学会的那篇文章(*Proc. Roy. Soc.*, 1930; A126: 360)。这是他提出狄拉克方程之后的另一篇论文。在他困惑于负能量状态时，他提出了负能量海这一概念。奥本海默和韦尔两人也都在这方面有工作。而最后克雷姆斯(Kramers)(*Proc. Acad. Aust.*, 1937; 40: 814)和福瑞(Furry)(*Phys. Rev.*, 1937; 51:125)在 1937 年将电荷共轭不变的概念以更为明确的数学形式表达出来。电荷共轭不变在实验上的证实和实现则是 1932 年正电子的发现和 1955 年反质子的发现。