

Physics from Symmetry.

1st edition

Copyright © 2016 balabala

PUBLISHED BY NON

[HTTPS://GITHUB.COM/LASERROGER/PHYSICS-FROM-SYMMETRY/](https://github.com/laserroger/physics-from-symmetry/)

Licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License (the “License”). You may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>. Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “AS IS” BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

Contents

I	Foundations 基础	
1	Introduction 简介	3
1.1	What we Cannot Derive 得不到的事情	3
II	Symmetry Tools 对称性工具	
2	The Framework 框架/参考系	7

DRAFT TRANSLATION

Preface

世界上最无法理解的事情是这个世界竟然是可以理解的。

— Albert Einstein

在物理课上, 我像任何一个物理系学生那样熟悉许多基本方程与它们的解, 但我不是很清楚它们之间的联系。

当我理解它们中的大多数具有共同的起源 — **对称性 (Symmetry)** 时我十分激动。对我而言搞物理最美的经历莫过于原本费解的东西经过深入探究之后豁然开朗。我因此深爱着对称性。

例如, 有一段时间我不能真正理解自旋 — 几乎所有基本粒子都具有的奇特的内禀角动量, 后来我学到了原来自旋一种对称性 (称为 Lorentz 对称性) 的直接结果, 于是有关自旋的内容开始充满意义。

本书的目的就是为读者提供这样的经历, 在某种意义上, 当我开始学物理的时候我就有写这本书的愿望了。¹ 对称性漂亮地解释了其它方面的许多复杂物理现象, 这让我们认为可以从对称导出物理学的基本理论, 本书正是基于这个锐利而光芒耀眼的信念。²

可以说本书的写作顺序是倒过来的: 在我们讨论经典力学与非相对论量子力学之前, 我们将利用大自然 (据我们所知) 精确的对称性导出量子场论的基本方程。不过尽管途径不同, 本书的内容仍为标准物理学, 我们不涉及仍有争议未经实验验证的内容, 而是通过物理学的标准假设导出物理学的标准理论。

根据读者的物理水平, 本书可以有两种用途:

- 物理学的初学者³可以把这本书当成入门教材, 它包含了经典

引自 Jon Fripp, Deborah Fripp, and Michael Fripp. *Speaking of Science*. Newnes, 1st edition, 4 2000. ISBN 9781878707512

¹同感! 这就是物理系学生的中二病吗 2333333 — 译者 (SI)

²锐 (するど) くギラつかせた希望 (きぼう), もっと本気 (ほんき) 出 (だ) していいよ, あ~, あ~, あ~, あ~

³这个 ‘初学者’ 是 ‘相对而言的’(relatively)... — 译者注

开始自附录 A. 此外, 当正文使用一个新的数学概念时, 边注中会说明相应的附录目录.

力学, 电动力学, 量子力学, 狭义相对论和量子场论的基本理论, 在阅读之后, 读者可再深入学习各部分内容. 各部分有许多更加深入的优秀书籍, 在各章的末尾列出了一些延伸阅读的推荐表. 如果你觉得你属于这一种, 我们建议你在阅读正文之前先从附录的数学补充开始.

- 另一种情况, 身经百战见得多的学生可以通过本书将松散的各物理领域紧密联系起来. 回顾历史的进程我们会发现许多物理思想可能看起来随意甚至乱来, 但从对称性的观点看, 它们往往就变得必然而且直接.

とにかく, 不管哪种情况都应该按顺序阅读本书, 因为各章之间是递进的.

开始的短章节是关于狭义相对论的, 它是之后讨论的所有内容的基础. 我们会看到对物理理论最重要的限制之一是它们必须符合狭义相对论.

本书的第二部分引入了描述对称性的数学工具 (在物理味道的表述下), 大多数工具来自数学的重要分支——群论. 之后我们介绍 Lagrangian 体系, 它使我们能够在物理形式中直接利用对称性.

第五章和第六章利用之前引入的 Lagrangian 体系和群论导出了现代物理学的基本方程.

在最后一部分, 我们把之前的基本方程加以应用: 应用于粒子理论我们可以导出量子力学, 应用于场理论我们可以导出量子场论. 然后我们研究这些理论在非相对论极限与经典极限的变体, 这样又导出了经典力学与电动力学.

每章的开始是本章内容的摘要. 如果你发现你在思考 ‘这是在讲些啥’, 不妨回到章节开头看看摘要以明白某一部分的目的是什么. 书页留有巨大的页边空白⁴以防止想出 Fermat 大定理的证明却没地方写. 你可以一边阅读一边在页边记下笔记与灵感.

我希望你读这本书能够像我写这本书的时候一样愉悦.

Karlsruhe, 2015.01
Jakob Schwichtenberg

许多页边注的内容是拓展信息与图景.

⁴给译文排版造成了小小的麻烦. — 译者

Acknowledgments

感谢所有帮我编写这本书的人。我特别感激 Fritz Waitz, 他的评论, 想法与纠正让本书质量大大改善。我十分感谢 Arne Becker 和 Daniel Hilpert, 感谢他们无价的建议, 意见与细致的校对。感谢 Robert Sadlier 对我英文的帮助以及 Jakob Karalus 的解释。

我还想感谢与我有许多见解深刻的讨论的 Marcel Köpke, 感谢 Silvia Schwichtenberg 和 Christian Nawroth 的支持。

最后, 我亏欠最多的是我的父母, 他们支持着我, 教导我知识高于一切。

如果发现文中的错误, 我非常希望你能够寄一封短邮件到 errors@jakobschwichtenberg.com。勘误表的地址是 <http://physicsfromsymmetry.com/errata>。

DRAFT TRANSLATION



Foundations 基础

1	Introduction 简介	3
1.1	What we Cannot Derive 得不到的事情	

DRAFT TRANSLATION

1. Introduction 简介

1.1 What we Cannot Derive 得不到的事情

在我们开始讲我们能从对称性里面了解到什么之前，我们首先澄清一下我们需要在我们的理论中人为的加一些什么东西。首先，目前没有任何理论可以得到自然界的常数。这些常数需要从实验中提取出来，比如各种相互作用的耦合常数啊，基本粒子的质量啊这种的。

除了这些，我们还有一些东西解释不了：**数字 3**。这不是术数的那种神秘主义的东西，而是我们不能解释所有的直接与数字 3 相联系的限制。比如：

- 对应三种标准模型描述的基本作用力有三种规范理论。这些力是由分别对应于对称群 $U(1)$, $SU(2)$ 和 $SU(3)$ 的规范理论描述的。为什么没有对应 $SU(4)$ 带来的基本作用力？没人知道！
- 轻子有三代，夸克也有三代。为什么没有第四代？我们只能从实验[7cm] 中知道没有第四代。
- 我们只在拉格朗日量里面包含 Φ 的最低三阶 (Φ^0, Φ^1, Φ^2)，其中 Φ 指代一些描述我们的物理系统的东西，是个通称，而这个拉格朗日量则是被我们用来得到我们的描述自由 (= 无相互作用) 场/粒子的靠谱的理论的。
- 我们只用三个基本的 Poincare 群双覆盖的表示，分别对应自旋 $0, \frac{1}{2}$ 和 1 。没有基本粒子的自旋是 $\frac{3}{2}$ 。

在现代的理论中，这些是我们必须手动增加的假定。我们从实验上知道这些假定是正确的，但是目前为止我们没有更深刻的原理告诉我们为什么我们需要到 3 就停。

除此之外，还有两件事情我们没法从对称性中得到，但是他们对于一个严谨的理论来说有时必须被考虑到的：

- 我们只允许在拉格朗日量中引入尽可能的最低阶的非平凡的微分算符 ∂_μ

1: 如果你不理解这个简介中的某些名词，比如规范理论或者二重覆盖，不需要太过担心。本书将会详尽的解释，在这里提到只是为了完整性。

2: 比如，现在宇宙中元素的丰度是依赖于代的数量的。更进一步，对撞机实验中有对此的很强的证据。(见 Phys. Rev. Lett. 109, 241802)

DRAFT TRANSLATION



Symmetry Tools 对称性工具

DRAFT TRANSLATION

2. The Framework 框架/参考系

这一章的基本思路是，我们要在尽可能少的使用某些东西的前提下，得到正确的关于自然的方程。某些东西是什么？有一件事是确定的：它不应该在 Lorentz 变换下改变，否则我们会在不同的参考系下得到不同的自然规律。在数学意义上，这意味着我们寻找的这个东西是个标量，依照洛伦兹群的 $(0,0)$ 表示作变换。考虑到自然总依简单而行，这足以让我们导出关于自然的方程了。

DRAFT TRANSLATION