



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

选专业经验分享会

21 级 物理学院 刘元彻

理论物理方向

2024 年 5 月 22 日



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
- 4 一些有用的信息，和忠告



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
- 4 一些有用的信息，和忠告



百度百科：**理论物理 (Theoretical Physics)** 是从理论上探索自然界未知的物质结构、相互作用和物质运动的基本规律的学科。理论物理的研究领域涉及粒子物理与原子核物理、统计物理、凝聚态物理、宇宙学等，几乎包括物理学所有分支的基本理论问题。

从工作机制出发：

- ▶ 形式理论：从**基本公理**出发构造理论体系；
- ▶ 唯象理论：基于**实验现象**发展理论，解释实验、预言实验；
- ▶ 其他理论：不包含在以上的其他比较偏理论的工作。



百度百科：**理论物理 (Theoretical Physics)** 是从理论上探索自然界未知的物质结构、相互作用和物质运动的基本规律的学科。理论物理的研究领域涉及粒子物理与原子核物理、统计物理、凝聚态物理、宇宙学等，几乎包括物理学所有分支的基本理论问题。

从研究内容出发：

- ▶ 高能理论：高能物理相关，包括粒子物理唯象理论、高能形式理论等。一些数学物理相关的内容也与这方面有关；
- ▶ 凝聚态理论：主要研究凝聚态物理中的理论内容，包括凝聚态场论、各种统计理论、输运理论等；
- ▶ 宇宙学/天体物理理论：和天体、宇宙演化相关的理论研究，包括黑洞、暗物质、宇宙学等等；
- ▶ 其他理论：量信、生物物理、电子学...等各个方向都有自己所需要的理论研究。



四大力学：现代物理学的理论基石

理论力学

(宏观低速)

$$\delta S = \delta \int L(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t) dt = 0$$

- 力学里必须要有“力”吗?
- 最小作用量原理：“大自然从不做多余的事。”

电动力学

(宏观高速)

$$\square^2 A^\mu = -\mu_0 J^\mu$$

- 从“粒子”走向“场”的世界
- 四维时空：电与磁的真正统一

量子力学

(微观低速)

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\Psi\rangle = \hat{H} |\Psi\rangle$$

- 观测只是算符。
- 世界不是分析的，而是代数的。

热力学与统计物理

(多体系统)

$$S = k \ln \Omega$$

- 用概率的观点看世界。
- 复杂系统有复杂系统自身的规律，more is different.

图：理论物理-从四大力学开始



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
 - 量子场论 ■ 弦理论和 M 理论 ■ 为什么形式理论如此受欢迎? ■ 困境
- 3 如何学习理论物理
- 4 一些有用的信息, 和忠告



- ▶ 实际上，在我所了解的一些刻板印象中，很多同学将理论物理**完全等同于**高能形式理论。
- ▶ 部分错误，但不完全错误。

高能形式理论是非常具有吸引力的，因为他从非常底层的机制入手，尝试构建**万物理论 (Theory of Everything)**。



1 什么是理论物理?

2 聚光灯下——高能形式理论

■ 量子场论 ■ 弦理论和 M 理论 ■ 为什么形式理论如此受欢迎? ■ 困境

3 如何学习理论物理

4 一些有用的信息, 和忠告

量子场论是目前泛用性最广的量子理论。他融合了量子力学和狭义相对论，在许多方面获得了巨大的成功。

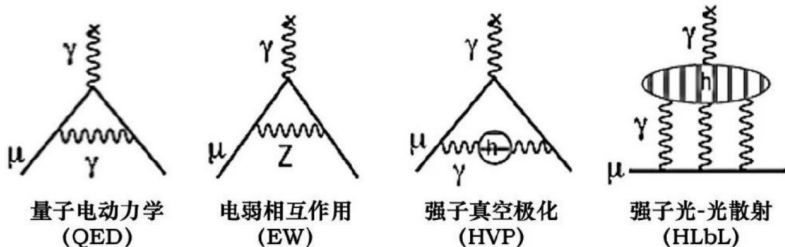
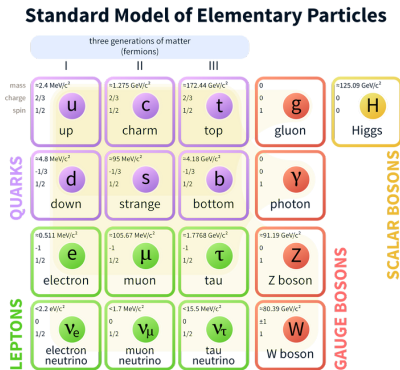


图: 量子场论的应用

量子场论通过定义不同的场，来表征自然界中不同的粒子。基于此建立起的标准模型是迄今为止最成功的粒子物理学模型。



图：粒子物理标准模型



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
 - 量子场论 ■ 弦理论和 M 理论 ■ 为什么形式理论如此受欢迎? ■ 困境
- 3 如何学习理论物理
- 4 一些有用的信息, 和忠告

量子场论标准模型的困境在于无法有效地兼容引力效应（量子引力有不可重整问题）。为了解决这个问题，物理学家们提出将基本粒子的模型从点提升到一根弦，并在弦扫过世界面上建立场论。这就是弦理论。

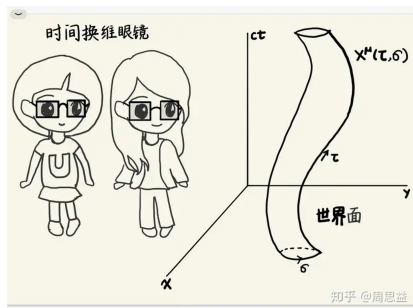


图: 弦随着时间扫出世界面

早期的弦理论是玻色弦，只能讨论玻色子。后来引入了超对称 (SUSY)，建立了超弦。如今，不同种类的弦论通过 M 理论联系在一起。

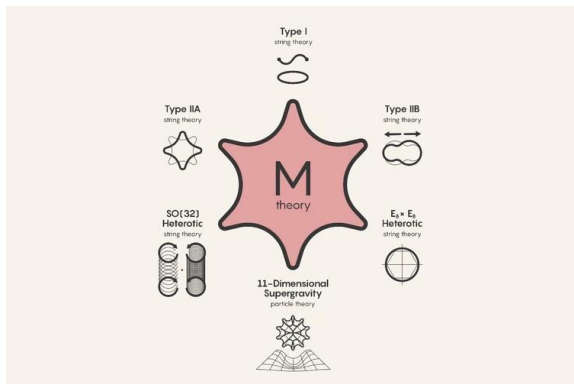


图: M 理论



1 什么是理论物理?

2 聚光灯下——高能形式理论

■ 量子场论 ■ 弦理论和 M 理论 ■ 为什么形式理论如此受欢迎? ■ 困境

3 如何学习理论物理

4 一些有用的信息, 和忠告



不得不承认，形式理论在理论物理领域受到超乎寻常的关注。

- ▶ 历史原因：早期的物理学是从现象学出发的，但从诺特定理、广义相对论等内容的提出开始，人们进入了一个“理论先于实验”的发展阶段。20 世纪以来，许多物理学上的重大发现（标准模型的对称性，Yang-Mills 理论）都是**理论工作**引导的。
- ▶ 现实原因：许多公认的聪明人（Edward Witten, Einstein...）都从事形式理论方面的工作。这在“**智力崇拜**”盛行的学术领域内自然非常具有吸引力。
- ▶ 自身原因：形式理论往往有非常好的结构，一方面不需要触碰过于复杂的物理实际（比如对撞机物理），另一方面可以很好地将数学与物理结合（比如数学物理）。这会吸引一些对“**美感**”有要求的工作者。



笠道梓

物理学话题下的优秀答主

+ 关注她

为什么很多人会把理论物理等同于高能形式理论？感觉很多人并不会觉得那里面有多少物理啊.....

发布于 2022-09-11 22:15



木乙己

可能是很多人在幼年和中学的时候，在大众科普和大众科学史的熏陶下对“现代物理”的认知就是量子 and 引力，粒子和宇宙

2022-09-11 · IP 属地上海

回复 2

图：宣传因素也可能是大家的兴趣来源



1 什么是理论物理?

2 聚光灯下——高能形式理论

■ 量子场论 ■ 弦理论和 M 理论 ■ 为什么形式理论如此受欢迎? ■ 困境

3 如何学习理论物理

4 一些有用的信息, 和忠告



曾经人们寄希望于高能形式理论能够给出世界的终极答案：万物理论（Steven Weinberg, 《终极理论之梦》）

但目前各种各样的理论在目前都存在问题：

- ▶ 圈量子引力：量子化后不存在自然的“时间”。
- ▶ 弦理论：没有任何实验证据支持额外维度和超对称的存在。
- ▶ ...

而作为权宜之计的有效场论尽管在部分能标下好用，却无法给出底层的物理机制。



高能形式理论的种种特质吸引着许多对理论物理感兴趣的同学前赴后继。

后果？

- ▶ 一位博士拿到教职后，在职业生涯（35-65）中可以培养出至少 30 位新的博士。
- ▶ 但他退休前，这个职位永远只能由他一人占据...
- ▶ 现实结果：高能形式理论从 PhD 申请到找博后到找教职，几乎每一步都远大于其他任何物理分支。

困难重重！



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
 - 从培养审美开始 ■ 知识储备 ■ 自学与讨论 ■ 科研实践
- 4 一些有用的信息，和忠告



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
 - 从培养审美开始 ■ 知识储备 ■ 自学与讨论 ■ 科研实践
- 4 一些有用的信息，和忠告



这个问题没有定论。每个人都有自己的物理审美。



最好的方法是，先从科普和课堂内容开始。

- ▶ 广泛地了解不同的理论物理关心什么，有哪些基本方法。
- ▶ 至少从课堂内容，就可以大致推断你自己是否对这部分内容感兴趣？
- ▶ 网络资源非常丰富。学会从网上找讲义看、找讲座听。

TASI Lectures:

图: TASI 系列讲座



图: 圆周研究所



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
 - 从培养审美开始 ■ 知识储备 ■ 自学与讨论 ■ 科研实践
- 4 一些有用的信息，和忠告



图: Steven Weinberg,
因电弱统一理论获得
诺贝尔物理学奖

“我取得学士学位的时候，那是很久以前的时候了。彼时，物理学文献在我眼里就像是一片广阔而未知的海洋一般。在开始任何研究之前，我都想**仔细研究它每个部分的内容**。因为，如果都不熟悉这个领域的已经做过的所有工作，我又怎么能开展研究呢？”
——Steven Weinberg.



图: Steven Weinberg,
因电弱统一理论获得
诺贝尔物理学奖

“幸运的是，读研究生的第一年，我运气很好，尽管我忧心忡忡，但却有资深物理学者的引导。他们坚持认为，我**必须先开始研究**，在研究过程中获取相关的知识。这就好比游泳，要么选择淹死，要么奋力游过去。令我惊讶的是，我发现这样做真的有用，我很快便获得了一个博士学位。尽管拿到博士学位时，我对物理学几乎一无所知，但是我确实学到了一个重要道理：**没人知道所有的事情，你也无需如此。**”

——Steven Weinberg.

学校给出的培养方案**存在一些问题**，纯粹按照培养方案的进度，无法满足出国申请需求。

- ▶ 如前所述，理论物理的出国申请内卷严重，没有文章想要申到 Top50 学校几乎不太可能。
- ▶ 18 级往后科大理论物理申请情况持续不明朗，出国读 PhD 很可能在有保底校的情况下被全拒。
- ▶ 国内土博/国内读硕 + 出国读博...



图: 卡弗里理论物理研究所



图: 中科院理论所



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
 - 从培养审美开始 ■ 知识储备 ■ 自学与讨论 ■ 科研实践
- 4 一些有用的信息，和忠告



即使你已经确定了自己的兴趣，并选择了自己想上的课，但仍然会有些课程不能让你满意——无论是教学质量上还是讲授内容上。¹

- ▶ 自学是非常好的补充知识的途径。网络上有充足的网络课程（MIT、Stanford 公开课）和纸质资料（电子书，课程的 Lecture notes，知乎的文章）
- ▶ 广泛地吸收不同的人对同一个问题的看法和理解，是更全面地理解一个物理理论的非常好的方法。

¹事实上，“有些”往往指的是“几乎所有”。



不要闭门造车!

- ▶ 同别人讨论，能够补足你的短板，并意识到问题所在；
- ▶ 不仅和自己同方向的人讨论，也可以和相关方向的人讨论。例如，学习量子场论的时候多和从事粒子物理的人讨论，你会理解为什么我们需要散射振幅，为什么需要做重整化，如何限制理论的对称性，如何让理论匹配观测结果...
- ▶ 广泛地吸收不同的人对同一个问题的看法和理解，是更全面地理解一个物理理论的非常好的方法。(again)
- ▶ 平时的讨论，或者参与/组织专门的讨论班，都会对自己的物理水平有所帮助。²

²对理论物理方面的讨论班有兴趣，欢迎联系我



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
 - 从培养审美开始 ■ 知识储备 ■ 自学与讨论 ■ 科研实践
- 4 一些有用的信息，和忠告



与其他专业方向有所不同，理论物理的具体细分方向非常复杂，可能一个系里任意两个老师都无法和对方进行合作。

找到符合自己审美和兴趣的方向很重要！

- ▶ 找方向这件事大约要花掉本科期间的 2 年，在此期间可以尽可能多地扩展自己的视野。
- ▶ 有候选的方向后，尝试联系本校（如果有必要，外校也可）的老师，和 ta 约面谈，让 ta 给你讲讲这个方向的前沿的东西。
- ▶ 如果你觉得很想做/值得你花点时间换一份科研经历，可以跟老师沟通，找一些简单的课题做——边做边学，同时测试这个方向是否符合你的兴趣。
- ▶ 不要害怕本科阶段的试错。这是试错成本最低的时候！**没有人可以不犯错误！**



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
- 4 一些有用的信息，和忠告
 - 信息 ■ 忠告



- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
- 4 一些有用的信息，和忠告
 - 信息 ■ 忠告



大学学习和未来的研究都和高中不同，不会再有人反复告诫你什么重要，什么不重要，也不能期待别人总是把好东西喂到嘴边。

- ▶ 学会自己寻找有用的信息

出于对大家的便利，我在此提供一些有用的工具、链接，也许会比我刚才说的话更重要（笑）



- ▶ 数学相关：[東雲正樹](#)-物理中涉及的数据处理方法
- ▶ 基础物理相关：[洛星辰](#)-理论物理初阶系列讲义
- ▶ 理论物理进阶：[David Tong](#)-理论物理系列讲义

此外，各种专题讲义大部分可以通过在知乎/Google 上搜索“专题 Lecture Notes”来获得。

- ▶ 预印本网站：[ArXiv](#)
- ▶ 高能物理相关：[InspireHEP](#)



图: ArXiv, 预印本网站



图: InspireHEP, 高能物理相关文章和作者



在目前，计算机编程几乎成为了任何物理学专业学生的必备技能。熟练掌握一门编程语言是非常有必要的。

- ▶ Python: Python 因为其泛用性广，语法简单，已经成为目前最受欢迎的科学计算程序设计语言。可以用作科学计算、机器学习等等；
- ▶ Mathematica: 具有强大的符号计算功能，和 Python 一样拥有良好的社区环境（有大量程序包可供使用）。语法比较简单，有详细的文档。可以用作数值、符号计算，特别是辅助进行理论推导；
- ▶ 其他的语言: 根据领域不同，可能有各自需要的其他编程语言...熟练进行编写和 Debug 是重要的。



以 Mathematica 为例，以下的链接也许有帮助：

- ▶ MSSTP: [MSSTP](#)，这个网站中包含了前沿理论物理的不同主题对 Mathematica 的运用，包含了完整的讲稿、习题和答案；
- ▶ Wolfram: [Wolfram Mathematica](#)，这是 Mathematica 的官方手册，可以在此学习基本语法和 Mathematica 的使用技巧；
- ▶ MSE: [Mathematica Stackexchange](#)，一个活跃的 Mathematica 技术社区，可以在此找到各种 Mathematica 的问题和解决方案。

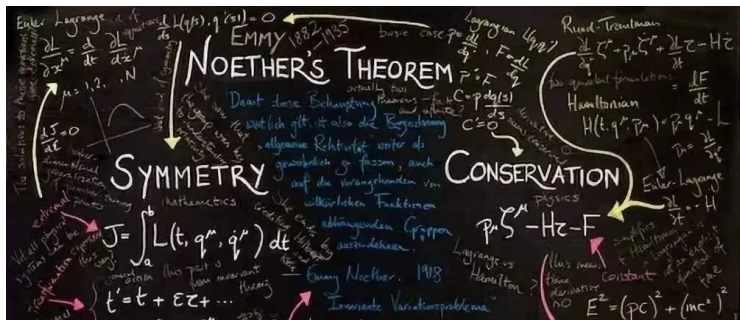


- 1 什么是理论物理?
- 2 聚光灯下——高能形式理论
- 3 如何学习理论物理
- 4 一些有用的信息，和忠告
 - 信息 ■ 忠告



- ▶ 之前多次强调，找准符合自己审美和兴趣的方向，是因为兴趣在工作中真的很重要。
- ▶ 我们中的大部分人不是 Witten、Einstein、Weinberg 这样的天才。但理论物理并不只需要天才，很多领域（具体的计算、推导，知识的总结、传递），仍然需要许许多多平凡但热心的工作者。
- ▶ 对大部分人来说，做科研，当然也包括研究理论物理一样，只是一份工作，做好 **Work-Life Balance** 很重要。无须把理论物理作为生命中不可缺少的部分。
- ▶ 理论物理这条路，从学习到工作，永远荆棘密布。他并不赚钱，可能也并没有什么用。——也许只是满足你好奇心的一种玩乐。
- ▶ 如果你还对理论物理有所犹豫，不妨继续了解了解再做决定。如果你已经决定加入我们，那么...

欢迎加入人类历史上最伟大的冒险!



也欢迎加入我们课题组（张扬教授，理论物理课题组）。我们的主要工作：



- ▶ 数学方面：散射振幅计算中的积分约化、量子可积系统中的方程解算（主要运用计算代数几何方法）；
- ▶ 物理方面：量子色动力学（QCD）有关的散射振幅、红外发散性质，超对称 Yang-Mills 理论中的可积性，量子自旋链的可积性等；
- ▶ 计算机方面：开发新的费曼积分约化程序（运用 C++，Mathematica，Singular 等），也涉及机器学习方法研究散射振幅性质。

欢迎数学、物理、计算机背景的同学加入我们课题组！

- ▶ 物质科研楼 C1217, yzhphy@ustc.edu.cn



我的联系方式:

- ▶ 刘元彻, 21 级物理学院
- ▶ QQ:1599698282
- ▶ liuyuanche@mail.ustc.edu.cn

循此苦旅，以达繁星
Per Aspera Ad Astra