

第一次上课的总结：

首先我介绍了我的课程的设置。这门科分为三个部分，两个题目。《凝聚态中的拓扑相变》主要讨论单粒子物理问题，对学生的唯一要求是量子力学和固体物理。这门科每两年讲一次。第二部分为《凝聚态中的拓扑场论》分为上和下两个部分。上部分介绍群论、外微分、同态同构基本定理、同伦群、同调群、Chern-Simons 理论、WZW 项、Goldstone/Higgs 物理、拓扑缺陷、tunneling/instanton、monopole/Yang-Wu 解等。不涉及具体多粒子相互作用的计算问题。下主要介绍相互作用，比如重整化、重整化群、玻色化、自旋规范势、自旋-规范对偶关系、FQHE 等内容。重点是计算，而不是简单的对概念的解释。上和下每四年轮换一次。场论部分适合理论学生，一般不接受实验学生。

第一次上课，我主要利用对比目录的方法系统比较了不同的专著和教材中凝聚态物理中的场论和粒子物理中的场论的区别，还有和多体物理的区别。这个方法非常好，对于初学的学生，是掌握某个方向的最佳方法。我面试学生，也经常采用这个形式。

粒子物理场论的最佳教材可能要数 Peskin 的 QFT。这本书分为三个部分，第一部分为规范势、路径积分、费曼图、量子化等基础知识。第二部分为 QED 内容，第三部分为 non-Abelian 规范势以及 QCD 内容。在第二部分，主要讨论 QED 中的费曼图的发散问题。这本书较好的地方是会利用  $\phi^4$ （严格来说是相对论 Klein-Gordon 方程）理论较为清楚地解释重整化 (R) 和重整化群 (RG)。第三部分，则详细讨论 QCD 的内容。对于凝聚态物理的学生，这本书也有可取之处。作者在前言中介绍了凝聚态专业的人如何利用这本教材。

这本书的缺点是没有拓扑部分。一本较好的教材是 Lewis Ryder (Quantum Field Theory)。这本书我在场论 (上) 的时候是重点参考教材。这本书非常好，对拓扑场论部分有很多讨论。同时也讨论了很多 R 和 RG 的东西。值得参考。

Mahan 的书完全是基于 Green 函数的。这本书的缺点是不涉及规范势、发散等问题，也不涉及相变 (RG 处理这些点的物理)。我们学校有老师专门讲授这门课程 (刘国柱等老师)。这本书的好处是细节多，极尽详细，任何细节都不放过。对于绝大部分做理论的学生，到这本书就差不多了。

**本课程的教材，主要是以下这几本：**

Shankar 的 QFT 教材 (最适合做教材，里面有玻色化、规范势、对偶、RG 等内容，但是没有 R，R 在 Peskin 的书中讨论最多)

Nagaosa 的 QFT 教材 (两本，对 RG 讨论较为简略，许多重要的模型没有)

文小刚的 QFT 教材 (这本书不适合自学，但是我自己没有老师上，只能自学，所以走了很多弯路)

Altland 和 Simons 的 QFT (非常好的教材，但是因为以大方向为主要线索，所以很多内容分散在不同的地方，刚开始阅读的时候会感觉很乱)

Fradkin 的 QFT (两大本)，非常好，Fradkin 在 spin-gauge duality 方面做了重要的贡献。但是太厚，不适合初学。

Kardar 的 QFT：里面有 KPZ 模型的 RG，许多书都没有这些内容。对于  $\phi^4$  的讨论，他采用的是磁性模型，所以更加容易理解。在 MIT 的主页上有他的课件，讲课非常好。

Stoof 的 Ultracold quantum fields, 主要适合冷原子的讨论。其中对  $\phi^4$  理论有详细介绍, 并有实验对比。

Sidney Coleman 的 QFT: 太经典, 但是我没有仔细看。

A. Zee, 这本书很好, 可惜不适合初学者, 有许多金句。Zee 非常善于写书, 是我们的楷模。

Weinberg 的 QFT: 太好的书, 可惜我没有系统读过, 而且很多不适合凝聚态物理专业。

凝聚态物理中需要讨论的和 R/RG 有关的模型有:

Ising 模型/ $Z_2$  gauge

XY model/ $U(1)$  gauge/二维电子气体模型

$O(N)$  model

NLSM

$\phi^4$ /BEC ( Stoof 教材, 冷原子为主)

Ginzberg-Landau 模型

SC/超导

Sine-Gordon 模型//bosonization 问题

Thirring 模型

NJL 模型等 ( Dirac 模型+超导配对等, 作为纯模型很有趣)

Kondo 模型

相互作用费米子模型 ( Shankar 有一篇 Rev. Mod. Phys. 综述文章, 他的书里也有)

无序模型 ( Anderson localization 问题以及场论描述, 超对称描述, 以及在拓扑相变中的分类)

KPZ 模型 ( Kardar 的书)

相互作用费米子气体 ( 石墨烯等, Kun Yang 等文章)

上面的模型可以引入拓扑项, 这样的计算还较少。我们可能会涉及。在规范势中主要是 CS 项, 但是在  $\sigma$  模型中主要为 WZW 项。本课程会努力涉及这些模型。