• 第一章作业

1. 推导在准经典近似下 Bloch 电子波包中心的运动方程，即：

$$\dot{\mathbf{k}}_c = \mathbf{F}/\hbar$$
$$\dot{\mathbf{r}}_c = \mathbf{v}(\mathbf{k}_c) + \dot{\mathbf{k}}_c \cdot \overleftrightarrow{\Omega}_n(\mathbf{k}_c)$$

2. 进一步证明在三维时情况下，Bloch 电子波包中心的运动方程可以写为

$$\dot{\mathbf{r}}_c = \mathbf{v}(\mathbf{k}_c) - \dot{\mathbf{k}}_c \times \boldsymbol{\Omega}_n(\mathbf{k}_c)$$

3. 用有效质量近似以及无穷深势阱近似计算量子线的能谱和态密度。
4. 用紧束缚近似计算 SSH 模型（只考虑最近邻原子跃迁）的能谱，以及两个能带的 Berry connection $\mathcal{A}_{\pm}(k)$ ，并计算它们在第一布里渊区上的积分 $\int_{BZ} \mathcal{A}_{\pm}(k) dk$ 。
5. 利用上题结果以及有效质量近似，求 SSH 模型边界态的解析解。
6. (*) 用紧束缚近似计算考虑更长距离跃迁的 SSH 模型的能谱，以及两个能带的 Berry connection $\mathcal{A}_{\pm}(k)$ ，并计算它们在第一布里渊区上的积分 $\int_{BZ} \mathcal{A}_{\pm}(k) dk$ 。
7. 用紧束缚近似计算石墨烯的能谱。进一步用有效质量近似得到在 Dirac cone (K 和 K' 点) 附近的能量和本征函数。
8. (*) 用紧束缚模型计算量子阱的能谱。

• 第二章作业

1. GaAs 导带底电子能量可近似为 $\varepsilon_c(\mathbf{k}) = \varepsilon_0 + \hbar^2 \mathbf{k}^2 / (2m^*)$ 。请写出在电场 $\mathbf{E}$ 下 n 型 GaAs 半导体里的 Boltzmann 方程。
2. 接上题，在弛豫时间近似下，求电导 σ 和导热系数 κ 。
3. 利用这个结果证明 Wiedmann-Franz 定律，并写出 Lorenz 数。
4. Boltzmann 方程的适用范围是什么？举几个 Boltzmann 方程失效的例子。

• 第三章作业

1. GaAs 导带电子能谱为 $\varepsilon_c(\mathbf{k}) = \varepsilon_c + \hbar^2 \mathbf{k}^2 / (2m^*)$ 。有一 n - 型 GaAs 量子线，其约束宽度为 a_x 和 a_y ，电子线密度为 n_e 。不考虑散射，固定 a_x ，求通过该量子线的电导随 a_y 的改变。
2. 同上题，在量子线中间加上一个高度为 V ，宽度为 a 的势磊，求量子线中最低子带上能量为 ε 的电子的透射系数。并求最低子带对线性电导的贡献。
3. 简述体材料和通过量子点的 Kondo 效应的相同点和不同点。

• 第四章作业

1. 写出自由电子在均匀电、磁场下的实空间与动量空间的运动。
2. 用 Drude 模型解释经典 Hall 效应。
3. 推导 GaAs 量子阱中二维电子气的 Landau 能级以及简并度。
4. (*) 推导石墨烯中 Landau 能级以及简并度。
5. 用手征边界态解释整数量子 Hall 效应。

• 第五章作业

1. 请解释纳米环中电导随环内磁通的变化。
2. 请解释纳米环中持续电流，产生这种电流的原因是什么？
3. 用规范不变理论解释整数量子 Hall 效应。

• 第六、七章作业

1. 请解释 Berry 相位和 Berry 曲率。
2. 为什么 Berry 相位又被称为几何相位？
3. 计算磁场中自旋 1/2 系统的 Berry connection, Berry curvature。
4. 一个非简并体系的 Hamiltonian 依赖于参数组 $\mathbf{R} = (R_1, R_2, \dots)$ ， $\mathcal{H} = \mathcal{H}(\mathbf{R})$ ，请求这个体系 Berry connection, Berry curvature。
5. 晶格常数为 1 的二维方格子里的 Qi-Wu-Zhang 模型的 Hamiltonian 可以写成

$$\mathcal{H}(k_x, k_y) = \sin k_x \sigma_x + \sin k_y \sigma_y + (u + \cos k_x + \cos k_y) \sigma_z$$

其中 σ_i ($i = x, y, z$) 为 Pauli 矩阵。求此模型的色散关系，以及下能带的 Berry connection 和 Berry curvature。「提示：可以利用第 3 题的结果。」

6. 拓扑绝缘体的拓扑性是什么的拓扑性？拓扑绝缘体具有哪些特征？
7. 拓扑绝缘体的边界态具有什么特征？

- 第八章作业

1. 超导体有哪些特性？
2. 利用 London 方程求出半无穷大的超导体表面附近平行于表面的磁场分量随空间变化。
3. 请列举几个证明常规超导体中存在能隙的实验。