

2004年度冬学期 量子力学III (物質設計学I)

担当教官 加藤雄介 (研究室16号館3階301B号室、内線46534、yusuke@phys.c.u-tokyo.ac.jp)

科目番号 52001(52101) (量子力学III) 71-1110 (物質設計学I)

講義日時、場所、16号館一階129号室、月曜日3限(13:00から14:30まで)

講義内容: 量子力学I,IIの内容を踏まえた上で、多粒子系の量子力学を扱う。スレーター行列式、交換相互作用、第二量子化、電磁場の量子化、経路積分を扱う。ほぼ以下の順序で説明する予定*

I 多体系の量子力学

1. 一電子波動関数の基底、二電子波動関数の基底、スレーター行列式
2. 同一粒子、統計性、ボソンとフェルミオン、ヒルベルト空間とフォック空間
3. N 電子系、スレーター行列式
4. 全スピン角運動量の固有状態、一重項、三重項
5. ハートレーフォック近似、交換相互作用

II 第二量子化

1. 準備、波動関数と状態ベクトル
2. 生成・消滅演算子の定義
3. 生成・消滅演算子の性質 (交換関係、反交換関係、粒子数演算子)
4. 生成・消滅演算子による物理量の表現 (一粒子演算子、二粒子演算子)
5. 場の演算子とそれによる物理量の表現

III 電磁場の量子化

1. 古典電磁気学の復習 (マクスウェル方程式の電磁ポテンシャル表現)
2. 電磁場の正準方程式 (古典電磁気学)
3. 電磁場の量子化

IV 経路積分

1. 変分法 (解析力学のための数学的準備)
2. 解析力学 (変分原理による古典力学の再定式化)
3. 経路積分 (シュレディンガー方程式とは異なる量子力学の定式化)
4. 経路積分と古典極限 (経路積分が古典極限で解析力学に帰着することを示す)
5. 自由粒子の例
6. 経路積分とシュレディンガー方程式 (経路積分からシュレディンガー方程式を導出する)

前提とする知識: 量子力学I,IIの範囲

成績評価: 期末試験とレポート課題における得点で評価

参考書: 講義は毎回配布するプリントに沿って説明するため教科書は特に指定しない。以下のものを参考書としてあげておく。

量子力学 I,II (猪木慶治、川合 光、講談社)

量子力学 I,II,III (小出昭一郎、裳華房)

具体例が多く、講義を聞きながら読むのに適した教科書

演習 量子力学 (岡崎 誠、藤原毅夫、サイエンス社)

典型的、標準的な問題をコンパクトにまとめてある演習書

量子力学 (ディラック 岩波書店)

量子力学 I,II (朝永振一郎、みすず書房)

格調高い古典的名著。時間をかけてじっくり読むのに適している。講義でわからないところを調べるといったハンドブック的な使い方には向かない。

もう少し詳しい内容説明:

I,II 古典系では一粒子状態なら多粒子系に移行する際になんら新たな原理を導入する必要がなかったが、多粒子系を量子化するには状態空間あるいは波動関数の対称化あるいは反対称化という新たな原理を導入する必要がある。この対称化あるいは反対称化された状態空間のことをフォック空間と呼ぶ。このフォック空間上に量子系を構成する。電子などフェルミオンの場合、このフォック空間の基底としてスレーター行列式というものを用いる。さらに生成・消滅演算子というものを導入して多粒子系のハミルトニアンと演算子を書き直す。この手続きのことを第2量子化という。

この章の内容はほとんどが定式化に関するものである。ここで学ぶ形式、記述法は、この先、原子分子、物性(固体物理)、原子核、素粒子など、量子力学を使うほとんどすべての分野で物理を語る言語として使われるものであるからぜひマスターしてほしい。

III 今までの2章は古典的に粒子とみなせる系を扱ったが量子力学はそれらに限定されるものではない。この章では電磁場の量子化について説明する。まず電磁場のハミルトニアンを正準形式で書いたあと、それを量子化する。結果として得られるハミルトニアンはボソンの第二量子化と同じ形式を持つ。

IV さて量子力学Iからはじまって、ずっと正準量子化で量子化を行ってきた。この形式にも随分なれたことと思うので、こゝらで別の量子化法「経路積分法」を紹介する。IIの箇所「第2量子化はこの先を学ぶに必須の言語」という意味のことを書いたが、多体系の経路積分法をそれに劣らず重要である。この講義では一粒子系の経路積分までしか紹介できないと思うが、その段階でもこの新しい形式の長所は感じ取れることと思う。