平成 27 年度　岐阜工業高等専門学校シラバス

教科目名	量子力学	担　当教員	坂部和義

学年学科	1年　全専攻	前期	選択	2単位

学習・教育目標	（D－1）100％	JABEE 基準1（1）:（c）

授業の目標と期待される効果：

量子力学の基本を習得することにより、物質の性質を微視の世界から理解するための基礎知識を得て、先端技術を理解できる素養を身につける。

以下に具体的な学習・教育目標を示す。

① 量子論の必要性を理解する
② 古典力学から量子力学へ移行する方法の理解
③ 波動関数の物理的意味と古典論との対応の理解
④ 1次元束縛問題の理解
⑤ 1次元散乱問題の理解
⑥ 中心力場中の状態と角運動量の理解

成績評価の方法： 期末試験１００点、レポート５０点の合計１５０点に対する得点率で評価する。なお，成績評価に教室外学修の内容は含まれる。

達成度評価の基準：

教科書とプリントのレベルの問題を出題し、成績評価への重みは均等である。総合して６割以上正答できること。

① アインシュタインの関係式とド・ブロイの関係式の必要性が説明できる。
② シュレーディンガーの波動方程式を古典論から作れる。
③ 確率解釈と確率保存およびエーレンフェストの定理との関係が説明できる。
④ 井戸型ポテンシャルやフックポテンシャルの場合の波動方程式が解ける。
⑤ 階段ポテンシャルとトンネル効果の問題が解ける。
⑥ 角運動量の固有状態が扱える。

授業の進め方とアドバイス：

教科書から基本的に大切な部分を抜き出して板書をしながら授業を進める。式の意味を知るためにグラフやシミュレーションも利用する。ノートを充実し必ず復習をすること。理解すべき式の基本的な計算方法は、レポートで確認する。

教科書および参考書：

岩波基礎物理シリーズ５　量子力学（原康夫・岩波書店）を教科書とする。
物理学教科書シリーズ　量子力学Ⅰ・Ⅱ（川村清）も現代的で良い。

授業の概要と予定：前期	教室外学修	AL のレベル
第1回：量子力学の必要性1 （原子の大きさ、原子の不安定性、光の2重性、光電効果、アインシュタインの関係式、プランク定数、コンプトン散乱）	光電効果は、光波の運ぶエネルギーの古典的な表示では説明できず、一個の光子のエネルギーを示すアインシュタインの関係式によって説明できることを理解する。 コンプトン散乱における光の波長のずれを運動量保存則から導き出す(レポート)。	
第2回：量子力学の必要性2 （電子の2重性、ヤングの実験、波動関数と確率密度、ド・ブロイ波長）	教科書の予習。波に関する重ね合わせの原理、ヤングの実験と回折格子を復習しておく。水素原子の前期量子論により水素原子の発光スペクトルが得られる(レポート)。	C
3回：波動方程式 （弦を伝わる波、自由粒子の波動関数と波動方程式）	複素数の極座標表示と正弦波の復(予)習をしておくこと。自由粒子のエネルギーと運動量の関係式、アインシュタインの関係式、ド・ブロイの関係式から自由粒子のシュレーディンガー方程式が導かれることを理解する。	
第　4回：演算子・2重性 （運動量演算子、ハミルトニアン、固有値、固有関数）	行列の固有値問題を類推として利用する。運動量の固有値問題として自由粒子の固有関数を求める。運動量固有関数が自由粒子のハミルトニアンの固有関数であることを理解する。	
第5回：シュレーディンガー方程式 （時間に依存するシュレーディンガー方程式、時間に依存しないシュレーディンガー方程式）	時間変数と空間変数の変数分離によってシュレーディンガー方程式を解く道筋を理解する。波動関数のエネルギー固有関数による展開式の意味を理解する。	C
第6回：確率の保存，対応原理 （ハミルトニアンのエルミート性、位置の期待値とその時間微分、運動量期待値とその時間微分、エーレンフェストの定理）	波動関数の絶対値の 2 乗を確率密度と考えることが理論的矛盾を引き起こさないためには、ポテンシャルが実数であるべきことを理解する。波束状態において位置の期待値の時間微分が運動量期待値を質量で割ったものに等しいことと運動量期待値の時間微分が「力」の期待値に等しいことを理解する。	

第７回：物理量と期待値 （物理量と演算子、固有関数を用いた波動関数の展開、エルミート演算子、エルミート演算子の固有関数が正規直交系をなすこと）	物理量に対応するエルミート演算子の固有関数が正規直交系をなすことを理解する。任意の波動関数がこの正規直交系によって展開され、そのときの各展開係数の絶対値の 2 乗が各固有関数の状態に発見される確率であることを理解しレポートで演習する。	C
第８回：１次元束縛問題 （無限に深い井戸型ポテンシャル、基底状態、励起状態、量子数、深さ有限な井戸型ポテンシャル）	離散的エネルギー固有値をもつ簡単な例として、無限に深い井戸型ポテンシャルのシュレーディンガー方程式を解けるようにすること。基底状態が不確定性原理を満たしていることを理解する。深さ有限な井戸型ポテンシャルのシュレーディンガー方程式を解くことはレポートで行う。	
第９回：１次元束縛問題 （調和振動子、生成消滅演算子、交換関係、数演算子、基底状態、励起状態、量子数、零点エネルギー、エルミート多項式）	調和振動子のシュレーディンガー方程式が生成消滅演算子を導入することにより解けることを理解する。生成消滅演算子の交換関係を基にして、数演算子の固有状態が基底状態を出発点として生成演算子によって順次作れることとそれらの状態を表す固有関数が、エルミート多項式を含む形で表されることを理解する。	C
第１０回：１次元散乱問題 （確率の流れ、階段型ポテンシャル）	入射粒子のエネルギーとポテンシャルの大小関係により波動関数の形が変わることを理解し、波動関数とその導関数の連続性から、反射率、透過率、侵入距離などが求められることを理解しレポートで確認する。	C
第１１回：１次元散乱問題 （トンネル効果）	土手形ポテンシャルの場合に、波動関数とその導関数の連続性から、反射率、透過率が求められることを理解する。一般的なポテンシャル障壁の場合の近似計算についても理解する。	
第１２回：中心力ポテンシャル中の電子 （球座標でのシュレーディンガー方程式、動径方程式、角度方程式）	ハミルトニアンを球座標で表示する。時間に依らないシュレーディンガー方程式を動径成分と角変数成分に分離する。角度方程式の解は球面調和関数であり、 軌道角運動量の 2 乗の固有関数でもある。この固有関数は軌道量子数と磁気量子数によって指定される。これらの事柄を理解する。	C
第１３回：水素原子 （主量子数、ボーア半径、ラゲールの陪多項式）	クーロンポテンシャルの場合の動径方程式の解はラゲールの陪多項式を含む形になる。この固有関数は主量子数と軌道量子数によって指定される。この関数から動径方向の確率密度分布がわかる。基底状態における拡がりの目安がボーア半径である。これらの事柄を理解する。	
第１４回：角運動量 （交換関係、昇降演算子）	角運動量の 2 乗の固有値が同じで角運動量の z 成分が異なる状態を結び付ける昇降演算子を利用して、角運動量の量子数は整数か半整数となることと角運動量の表現行列について理解する。	
第１５回：スピン （スピノール、パウリ行列、磁場中の電子）	電子はスピンが 1/2 であり、その状態はスピノールで表され、スピン演算子はパウリ行列を用いて表されることを理解する。磁場中の電子のエネルギー準位が軌道運動とスピンの 2 種類の原因により分離することを理解する。	
期末試験		
第１６回：フォローアップ（期末試験の解答の解説など）		

評価（ルーブリック）

達成度評価項目	理想的な到達レベルの目安（優）	標準的な到達レベルの目安（良）	未到達レベルの目安（不可）
①	アインシュタインの関係式とド・ブロイの関係式に関する問題をほぼ正確に解くことができる。	アインシュタインの関係式とド・ブロイの関係式に関する問題を 6 割以上解くことができる。	アインシュタインの関係式とド･ブロイの関係式に関して理解していない。
②	シュレーディンガーの波動方程式をほぼ正確に古典論から導出できる。	シュレーディンガーの波動方程式を 6 割程度正確に古典論から導出できる。	シュレーディンガーの波動方程式を古典論から導出する方法を理解していない。
③	確率解釈と確率保存およびエーレンフェストの定理との関係をほぼ正確に説明できる。	確率解釈と確率保存およびエーレンフェストの定理との関係を 6 割程度正確に説明できる。	確率解釈と確率保存およびエーレンフェストの定理との関係を説明できない。
④	井戸型ポテンシャルやフックポテンシャルの場合の波動方程式を理解でき，問題をほぼ正確に解くことができる。	井戸型ポテンシャルやフックポテンシャルの場合の波動方程式を理解でき，問題を 6 割以上解くことができる。	井戸型ポテンシャルやフックポテンシャルの場合の波動方程式を理解していない。
⑤	階段ポテンシャルとトンネル効果の問題をほぼ正確に解くことができる。	階段ポテンシャルとトンネル効果の問題を 6 割以上解くことができる。	階段ポテンシャルとトンネル効果を理解していない。
⑥	角運動量の固有状態を数学的にほぼ正確に扱える。	角運動量の固有状態を数学的に6割程度正確に扱える。	角運動量の固有状態を数学的に扱うことができない。