

Wykład II.1

②5 Obroty układu kwantowego

Interpretacja aktywna i pasywna. Macierz obrotu w trzech wymiarach a operator obrotu w przestrzeni stanów. Reprezentacja obrotu w przestrzeni funkcji falowych. Transformacje nieskończenie małe, generatory. Związek z operatorami krętu. Transformacja obserwabli przy obrotach. Operatory kowariantne: skalarne, wektorowe, tensorowe.

②6 Grupa obrotów w trzech wymiarach

Dwie parametryzacje obrotu. Postać operatora obrotu przy parametryzacji Eulera. Operatory obrotów w bazie własnej krętu $|j, m\rangle$. Podprzestrzenie niezmiennicze, podprzestrzenie redukowalne, reprezentacje nieredukowalne. Macierze D.

Wykład II.2

②7 Spin

Ewidencja doświadczalna, atom w polu magnetycznym, efekt Zeemana. Doświadczenie Sterna Gerlacha.

②8 Spin a obroty

Niejednoznaczność obrotów dla połówkowych wartości krętu. Jawna postać generatorów obrotu w bazie $|j, m\rangle$. Reprezentacja obrotu dla spinu $1/2$, macierze Pauliego. Niekomutatywność obrotów. Funkcje falowe cząstki ze spinem - spinory.

Wykład II.3

②9 Pierwsza konwencja Condon-Shortley'a

③⑩ Dodawanie krętów

Kompletne układy obserwabli dla dwóch krętów, dwie bazy A) $|j_1, m_1\rangle |j_2, m_2\rangle$, oraz B) $|j, m, j_1, j_2\rangle$. Współczynniki Clebscha-Gordana i ich własności. Konstrukcja bazy B), zakres j przy ustalonych j_1, j_2 , liczba stanów w bazach A) i B). Druga konwencja Condon-Shortley'a. Rozkład iloczynu reprezentacji na reprezentacje nieredukowalne, szereg Clebscha-Gordana. Przykłady: $1/2 \otimes 1/2$, tabele współczynników Clebscha-Gordana. Związki rekurencyjne między współczynnikami C-G.

Wykład II.4

③⑪ Operatory tensorowe, twierdzenie Eckarta-Wignera

A) operatory skalarne i ich działanie na stany $|j, m\rangle$.
B) operatory wektorowe, definicja, transformacja śrenich operatora wektorowego, komutacje z krętem, współrzędne kartezjańskie a współrzędne biegunowe operatora wektorowego. C) Nieredukowalne operatory tensorowe rzędu k . Prawo transformacji, reguły komutacji z generatorami obrotów. Przykłady operatorów tensorowych wyższych rzędów.

Elementy macierzowe operatorów tensorowych w bazie własnej krętu. Twierdzenie Eckarta-Wignera, szkic dowodu, Przykłady: 1) elementy macierzowe operatora skalarnego, 2) elementy macierzowe op. wektorowego, reguły wyboru, 3) oddziaływania silne: a) reakcja $d + d \rightarrow {}^4\text{He} + \pi^0$, b) rozpraszanie pion-nukleon (πN).

③⑫ Dodawanie trzech momentów pędu

Dwa schematy, współczynniki Racah.

Wykład II.5

③③ Układy wielu ciał

Separacja ruchu centrum masy w przypadku n ciał.

③④ Układy identycznych cząstek

Nierozróżnialność klasyczna i kwantowa. Kompletny układ obserwabli dla cząstek kwantowych. Degeneracja wymiany. Postulat symetryzacji, statystyki kwantowe: bozony a fermiony. Symetryzacja (antysymetryzacja) w przestrzeni położenia. Liczenie stanów wielu cząstek: kwantowo a klasycznie. Funkcje falowe N cząstek: bozony i ich wzajemne przyciąganie się (kondensacja Bosego-Einsteina); fermiony, wyznaczniki Slatera, odpychanie statystyczne, zasada wykluczenia Pauliego. Zastosowanie: dwa elektrony ze spinem, stany singletowe i trypletowe, jak całkowity spin dwóch nieoddziałujących elektronów wpływa na ich ruch w przestrzeni. Gęstość wymiany. Symetria(antysymetria) w układzie CM. Związek spinu ze statystyką - statystyka a obroty.

Wykład II.6

③⑤ Diagramy Younga

Diagramatyczna reprezentacja stanów spinowych wielu elektronów. Stany symetryczne, stany antysymetryczne i stany o symetrii mieszanej. Reguły wypełniania diagramów Younga. Liczba diagramów Younga o danym kształcie a rozmiary reprezentacji grupy obrotów. Powiększanie diagramów Younga a rozkład iloczynu reprezentacji na sumę prostą. Dalsze przykłady: diagramy Younga w przypadku trzech stanów jednocząstkowych - kwarki, reprezentacje grupy $SU(3)$, pro-

blem dekwupletu barionowego - hipoteza koloru.

Wykład II.7

③⑥ **Rachunek zaburzeń dla stanów stacjonarnych**
Hamiltonian dokładny a hamiltonian niezaburzony. Operator odwrotny do $E_n^0 - H_0$, jego niejednoznaczność i rozkład stanu dokładnego na stany niezaburzone. Normalizacja stanu dokładnego(zaburzonego). Szereg perturbacyjny dla energii i dla stanów zaburzonych. Pierwsza i druga poprawka do energii. Pierwsza i druga poprawka do stanu. Renormalizacja funkcji falowej (stanu). Przykład: mała zmiana częstości oscylatora harmonicznego. Konsekwencje rachunku zaburzeń: mieszanie się stanów niezaburzonych, wzajemne odpychanie poziomów kwantowych. Zbieżność szeregów perturbacyjnych, szeregi asymptotyczne.

Wykład II.8

③⑦ **Atom helu**

Stan podstawowy, energia niezaburzona. Pierwsza poprawka do energii stanu podstawowego. Stany wzbudzone. Konstrukcja stanów niezaburzonych z uwzględnieniem spinu elektronów i statystyki. Poprawki do stanów singletowych i trypletowych. Orto- i para-hel. Efekty wymiany i uogólnienie Heisenberga na oddziaływanie wielu spinów. Model Heisenberga-Isinga dla ferromagnetyzmu.

③⑧ **Rachunek zaburzeń dla widma zdegenerowanego.**

Definicja szeregu zaburzeń w przypadku zdegenerowanym. Stany dopasowane do zaburzenia. Pierwsza poprawka do energii. Pierwsza poprawka do stanu, składowe spoza pod-

przestrzeni degeneracji, składowe w podprzestrzeni degeneracji.

Wykład II.9

③⑨ Rachunek zaburzeń dla widma zdegenerowanego - zastosowania

I. Efekt Starka

Poprawka do energii stanu podstawowego. Kwadratowy efekt Starka. Jak obliczać sumę po stanach, oszacowania. Stany wzbudzone, liniowy efekt Starka. Jak symetria upraszcza obliczanie macierzy zaburzenia. Stany dopasowane do zaburzenia, ich symetrie i degeneracje. Związek z momentem dipolowym atomu.

II. Sprzężenie spin-orbita

Klasyczny elektron poruszający się w polu elektrycznym, poprawka Diraca. Poprawka pierwszego rzędu do E_{n,l,m_l,s,m_s} . Dwa wybory stanów niezaburzonych. Termny $|j, m, l, s \rangle$ dla atomu wodoropodobnego. Stany dopasowane do zaburzenia. Struktura subtelna. Atom sodu, dublet linii sodowych. Efekt Zeemana z uwzględnieniem spinu elektronu.

Wykład II.10

④⑩ Metoda wariacyjna

④⑪ Rachunek zaburzeń dla hamiltonianu zależnego od czasu

Wykład II.11

④2 Zaburzenia zależne od czasu - zastosowania

Stale zaburzenie włączone w chwili $t=0$. Prawdopodobieństwo przejścia, predkosc reakcji. Relacja nieoznaczoności między czasem i energią. Złota reguła Fermiego. Zaburzenie harmoniczne. Wymuszone emisja i absorpcja oraz zwiazek między tymi procesami. Adiabatyczne włączanie zaburzenia.

④3 Rozpraszanie

Sformułowanie problemu: rozwiązania $\psi(x)$ i $\phi(x)$. Równanie Lipmana-Schwingera, w postaci operatorowej, w reprezentacji położenia. Funkcja Greena dla swobodnego, r. Schrödingera, postać asymptotyczna rozwiązania $\Psi^{(+)}(x)$ i jej interpretacja fizyczna. Amplituda rozpraszania, przekrój czynny, zwiazek przekroju czynnego z amplituda rozpraszania. Szereg Borna, przybliżenie Borna. Rozpraszanie w polu kulombowskim i w polu Yukawy - amplitudy i przekroje czynne (różniczkowe i całkowite). Kinematyka rozpraszania - przekaz pędu, parametr zderzenia.