

Przykładowe pytania egzaminacyjne z przedmiotu fizyka - studia zaoczne na Wydziale MEiL

Pytania opisowe

- 1) Co rozumiemy przez stwierdzenie iż promieniowanie elektromagnetyczne ma naturę korpuskularno-falową? W jakich zjawiskach ujawnia się natura korpuskularna promieniowania a w jakich natura falowa? Jaki jest związek między wielkościami fizycznymi służącymi do opisu fali elektromagnetycznej i wielkościami służącymi do opisu cząstki będącej nośnikiem tego promieniowania? Jak nazywamy tą cząstkę? Czy relacje zachodzące między tymi wielkościami mają również zastosowanie w przypadku opisu cząstek o niezerowej masie spoczynkowej takich jak elektron i fal materii związanych z tymi cząstkami?
- 2) Jakie ciało nazywamy ciałem doskonale czarnym? Co może modelować takie ciało? Jakie własności ma promieniowanie emitowane przez ciało doskonale czarne? Jak wpływa zmiana temperatury na rozkład widmowy tego promieniowania (zależność zdolności emisyjnej od częstości lub długości fali emitowanego promieniowania) oraz na całkowitą zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego? Na czym polega katastrofa w nadfiolecie przewidywana przez niepoprawny wzór Rayleigha-Jeansa na rozkład widmowy promieniowania ciała doskonale czarnego? Czy wzór Rayleigha-Jeansa stanowi podstawę do właściwego oszacowania całkowitej energii wypromieniowanej z ciała doskonale czarnego w jednostce czasu? Odpowiedź uzasadnić. Jakie założenie nie mające uzasadnienia w fizyce klasycznej zostało przyjęte w celu wyprowadzenia wzoru Plancka opisującego poprawnie zależność zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego od częstości emitowanego promieniowania? Czy przy wyprowadzeniu wzoru Plancka korzysta się z zasady ekwipartycji energii?
- 3) Na czym polega zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne? Jakie są podstawowe cechy tego zjawiska? Jakich właściwości zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego nie można wyjaśnić posługując się falowym opisem promieniowania elektromagnetycznego? Jak można wyjaśnić te właściwości wychodząc poza falowy opis promieniowania? Zapisać podstawowe równanie opisujące zjawisko fotoelektryczne i objaśnić co oznaczają symbole pojawiające się w tym równaniu.
- 4) Na czym polega efekt Comptona i jakie są jego podstawowe właściwości? W jaki sposób można wyjaśnić właściwości tego efektu? Jakie wielkości fizyczne trzeba przypisać fotonom, aby można było poprawnie opisać ten efekt? Jakie zasady zachowania wykorzystuje się przy opisie tego efektu? Sformułować ogólne równania służące do opisu tego efektu wynikające z tych zasad.
- 5) Omówić hipotezę de Broglie'a. Przy pomocy jakich relacji można powiązać własności falowe cząstek z ich własnościami korpuskularnymi? Jak można w sposób eksperymentalny potwierdzić słuszność hipotezy de Broglie'a? Dlaczego nie można przy pomocy podobnego eksperymentu wykryć własności falowych obiektów makroskopowych?
- 6) Jakie założenia przyjmuje się w celu stworzenia opisu modelu atomu wodoru w teorii Bohra? Czy i w jaki sposób można któreś z tych założeń powiązać z relacją między własnościami korpuskularnymi i falowymi cząstek zapostulowaną przez de Broglie'a? Które z przewidywań modelu Bohra dotyczące własności atomu wodoru są zgodne z przewidywaniami wynikającymi z modelu atomu wodoru opartego na znalezieniu akceptowalnego fizycznie rozwiązania równania Schrödingera? Które z przewidywań modelu Bohra różnią się od przewidywań modelu opartego na równaniu Schrödingera?

Jak tłumaczymy powstanie liniowych widm emisyjnych oraz absorpcyjnych promieniowania przez atomy? Jak można określić możliwe częstotliwości emitowanego promieniowania?

7) Lasery- omówić zasadę działania laserów. W szczególności określić czy podstawą działania laserów jest emisja światła w procesie emisji spontanicznej czy wymuszonej? Czym różni się światło laserowe od światła emitowanego przez urządzenia nie będące laserem (np. żarówkę)? Na czym polega efekt inwersji obsadzeń i dlaczego inwersja ta jest potrzebna do emisji światła przez laser? Jak można uzyskać tą inwersję? Podać przykłady.

8)

a) Sformułować zasadę nieoznaczoności Heisenberga dla położenia i pędu oraz energii i czasu. Podać przykłady wskazujące na zgodność opisu obiektów lub zjawisk kwantowych z zasadą Heisenberga.

b) Rozważyć cząstkę swobodną o masie m i energii E opisaną poniższą funkcją falową

$$\Psi(x,t) = A \exp(ikx - i\omega t) \text{ gdzie } \omega = \frac{E}{\hbar}, k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

Co można powiedzieć o pędzie tej cząstki? Czemu równa jest nieoznaczoność pomiaru pędu dla tej cząstki? Czy można wyróżnić punkty w przestrzeni w których występuje podwyższona gęstość prawdopodobieństwa znalezienia tej cząstki? Jaka musi być nieoznaczoność położenia tej cząstki, ażeby była spełniona zasada nieoznaczoności?

9) Sformułować w ogólnej postaci równanie Schrödingera zależne i niezależne od czasu. Wyjaśnić znaczenie wszystkich symboli pojawiających się w tych równaniach. Jaki stan kwantowy nazywamy stacjonarnym? Co można powiedzieć o gęstości prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w określonym punkcie przestrzeni w tym stanie? Jaka wielkość opisująca stan cząstki jest zawsze jednoznacznie określona w tym stanie?

10) Czym jest paczka falowa? Z jaką wielkością opisującą paczkę falową można powiązać prędkość poruszania się w obszarze stałego potencjału cząstki opisywanej taką paczką? Dlaczego paczka taka z upływem czasu się rozplywa w trakcie jej propagacji i jakie może mieć to implikacje przy opisywaniu ruchu cząstki przy wykorzystaniu paczki falowej? Jaki wpływ na szybkość rozplywania się paczki gausowskiej ma jej szerokość?

11) Omówić przewidywane przez mechanikę kwantową podstawowe własności cząstki poruszającej się w obszarze potencjału opisanego poniższym wzorem:

$$V(x) = \begin{cases} V_0 & \text{dla } x < 0 \\ 0 & \text{dla } 0 < x < L \\ V_0 & \text{dla } x > L \end{cases}$$

(studnia kwantowa o skończonej głębokości), jeżeli energia cząstki jest mniejsza od wysokości barier. Które z nich różnią się od własności poruszającej się w takim samym potencjale cząstki opisywanej w ramach mechaniki klasycznej? Rozważyć w szczególności co można powiedzieć na temat energii analizowanej cząstki i gęstości prawdopodobieństwa znalezienia jej w różnych obszarach przestrzeni. Jak możemy praktycznie wytworzyć studnie kwantową? W opisie tematu nie jest wymagane podanie konkretnych wzorów dotyczących energii czy funkcji falowej rozważanej cząstki.

12) Na czym polega efekt tunelowy? Jak można go wyjaśnić wykorzystując pojęcie funkcji falowej związanej z cząstką kwantową? Jakie są podstawowe własności efektu tunelowego? W szczególności określić jak w przybliżeniu w złączach tunelowych z grubymi barierami można opisać zależność współczynnika transmisji od grubości bariery? W jakich złączach tunelowych i kiedy jest możliwe osiągnięcie przez współczynnik transmisji wartości równej 1? Jaki jest związek efektu tunelowego z emisją cząstek α z

jader pierwiastków promieniotwórczych? Na czym polega działanie skaningowego mikroskopu tunelowego? Jaka własność zjawiska tunelowego umożliwia osiągnięcie dużej rozdzielczości obrazu uzyskanego przy pomocy tego mikroskopu?

- 13) Rozważyc cząstkę kwantową o masie m poruszającą się w przestrzeni jednowymiarowej w obszarze nieskończonej studni potencjału opisanej potencjałem:

$$V(x) = \begin{cases} \infty & \text{dla } x < 0 \\ 0 & \text{dla } 0 < x < L \\ \infty & \text{dla } x > L \end{cases}$$

Czy energia rozważanej cząstki może być równa zero? Odpowiedź uzasadnić odwołując się do zasady nieoznaczoności Heisenberga lub do postaci wzoru na funkcje falową cząstki w studni?

Jaką postać ma gęstość prawdopodobieństwa znalezienia tej cząstki w przestrzeni $\rho(x)$ gdy znajduje się ona w stanie podstawowym o najniższej energii? Jak zmienia się postać funkcji opisującej gęstość prawdopodobieństwa $\rho(x)$ przy wzroście energii cząstki? Jak można do opisywanej sytuacji odnieść zasadę korespondencji?

Wsk. Można wykorzystać fakt iż ogólne rozwiązanie równania Schrödingera niezależnego od czasu w obszarze stałego potencjału $V=0$ dla cząstki o energii $E>0$ ma postać

$$\psi(x) = A \sin(kx + \delta) \text{ gdzie } k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

- 14) Kwantowy jednowymiarowy oscylator harmoniczny-określić podstawowe własności cząstki kwantowej poruszającej się potencjale opisującym jednowymiarowy oscylator harmoniczny. Wskazać różnicę pomiędzy właściwościami takiej cząstki przewidywanymi przez mechanikę kwantową a właściwościami takiej samej cząstki przewidywanymi przez mechanikę klasyczną. Zwrócić szczególną uwagę na możliwe wyniki pomiarów energii cząstki oraz prawdopodobieństwo jej znalezienia w różnych obszarach przestrzeni.
- 15) Jaką funkcję nazywamy funkcją własną operatora? Czym jest odpowiadająca tej funkcji wartość własna operatora? Jaki jest związek wartości własnych i funkcji własnych z pomiarami w mechanice kwantowej? Co oznacza to, iż wartość własna jest zdegenerowana? Jak można wyznaczyć wartość oczekiwaną operatora? Jaki jest związek wartości oczekiwanej z wynikami pomiaru w mechanice kwantowej?
- 16) Zdefiniować komutator dwóch operatorów. Jaką wartość musi on przyjmować, aby można było dokonać jednoczesnego pomiaru wielkości fizycznych reprezentowanych przez te operatory? Co można powiedzieć o funkcjach własnych operatorów odpowiadających wielkościom fizycznym, które można jednocześnie wyznaczyć? Podać 2 przykłady par wielkości, których w mechanice kwantowej nie można wyznaczyć jednocześnie z dowolną dokładnością oraz dwa przykłady par wielkości, które można jednocześnie wyznaczyć.
- 17) Na czym polega kwantyzacja przestrzenna orbitalnego momentu pędu? Co oznacza fakt iż wartości własne operatora Hamiltona dla elektronu w atomie wodoru są zdegenerowane? Określić stopień degeneracji przy zaniedbaniu oraz przy uwzględnieniu spinu elektronu. Jakie 3 liczby kwantowe wykorzystujemy do opisu funkcji falowej elektronu w atomie jednoelektronowym? Jakie mogą one przyjmować wartości? Od której z tych liczb zależy energia elektronu? Z pomiarem jakich wielkości fizycznych są związane pozostałe liczby? Do opisu stanu kwantowego elektronu w atomie wykorzystujemy jeszcze jedną liczbę przyjmującą dwie wartości. Jakie wartości może przyjmować ta liczba i co ona określa? Co trzeba zrobić z atomem wodoru aby zmniejszyć stopień degeneracji wartości własnych operatora

Hamiltona dla atomu wodoru? (Zaniedbujemy istnienie oddziaływania spinowo-orbitalnego).

- 18) Jaki sens możemy nadać radialnej gęstości prawdopodobieństwa dla elektronów w atomie wodoru i jak można ją wyznaczyć znając funkcje falową dla elektronów w atomie wodoru? Określić podstawowe cechy tej gęstości dla elektronów znajdujących się w różnych stanach kwantowych.
- 19) Sformułować zakaz Pauliego dla elektronów w atomie wieloelektronowym. Jak ten zakaz wpływa na budowę atomów? Co decyduje o zakwalifikowaniu danego pierwiastka do określonej grupy oraz okresu w układzie okresowym? Podać przykłady jak zaliczenie pierwiastka do określonej grupy wpływa na jego własności i krótko wyjaśnić dlaczego tak się dzieje?
- 20) Określić na czym polega zjawisko ekranowania ładunku jądra w atomach wieloelektronowych? Jak to zjawisko wpływa ona na energie elektronów w takich atomach? Czy i jak energia elektronów w atomach wieloelektronowych zależy od głównej liczby kwantowej n i orbitalnej liczby kwantowej l ?
- 21) Dlaczego w niejednorodnym polu magnetycznym wiązka atomów srebra ulega rozszczepieniu na dwie wiązki (wyjaśnić wynik uzyskany w doświadczeniu Sterna-Gerlacha)? Dlaczego zjawisko to można uznać za dowód istnienia momentu magnetycznego związanego ze spinem i jego kwantowania przestrzennego?
- 22) Na czym polega efekt Zeemana związany z rozszczepieniem linii widmowych promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez atom? Dlaczego i w jaki sposób rozszczepienie to zależy od własności kwantowych orbitalnego momentu pędu i spinu związanych z ich kwantowaniem przestrzennym? Zaniedbać istnienie oddziaływania spinowo-orbitalnego
- 23) Sformułować zakaz Pauliego w postaci słusznej dla elektronów w atomie wieloelektronowym oraz w postaci ogólniejszej dotyczącej pewnego typu cząstek. Jakich cząstek dotyczy zakaz Pauliego? Jak można go uzasadnić wykorzystując postać funkcji stanu (falowej) opisującej układ złożony z dwóch takich cząstek?

Pytania mające częściowo charakter pytań testowych

- 1) Czy katastrofa w nadfiolecie wynikająca z wyprowadzonego w ramach klasycznej termodynamiki wzoru Rayleigha-Jeansa na rozkład widmowy promieniowania emitowanego przez ciało doskonale czarne jest związana z tym iż:
 - a) zgodnie z tym wzorem zdolność emisyjna promieniowania emitowanego przez to ciało posiada maksimum dla częstości odpowiadającej nadfioletowej części widma
 - b) zgodnie z tym wzorem zdolność emisyjna dla niskich częstości promieniowania $\nu \rightarrow 0$ dąży do ∞
 - c) zgodnie z tym wzorem zdolność emisyjna dla wysokich częstości promieniowania $\nu \rightarrow \infty$ dąży do ∞
 - d) w oparciu o ten wzór można pokazać, iż całkowita zdolność emisyjna analizowanego ciała jest nieskończona

Zaznaczyć wszystkie poprawne odpowiedzi.

- 2) Jakie założenie nie mające uzasadnienia w fizyce klasycznej zostało przyjęte w celu wyprowadzenia rozkładu Plancka widmowej zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego zgodnego z eksperymentem
 - a) energia wymieniana pomiędzy materią i promieniowaniem może być tylko równa całkowitej wielokrotności wielkości $h\nu$ (h -stała Plancka, ν -częstotliwość promieniowania)

- b) energia wymieniana pomiędzy materią i promieniowaniem może być tylko równa całkowitej wielokrotności wielkości $h\nu^2$ (h -stała Plancka, ν -częstotliwość promieniowania)
- c) średnia energia modu promieniowania zawartego we wnęce wypełnionej promieniowaniem zależy wyłącznie od temperatury wnęki, a nie zależy od częstości promieniowania
- d) do określenia średniej energii modu promieniowania zawartego we wnęce wypełnionej promieniowaniem można wykorzystać zasadę ekwipartycji energii

Zaznaczyć poprawną odpowiedź.

3) Które z poniższych twierdzeń dotyczących promieniowania emitowanego przez ciało doskonale czarne są poprawne

- a) Minimalna wartość energii wymienianej między ciałem a promieniowaniem o długości fali λ rośnie ze wzrostem λ .
- b) Minimalna wartość energii jaką może wymieniać ciało z promieniowaniem o częstości ν rośnie ze wzrostem ν .
- c) Do określenia średniej energii modu promieniowania o częstości ν można stosować klasyczną zasadę ekwipartycji energii.
- d) Średnia energia modu promieniowania o częstości ν nie zależy od częstości tego promieniowania.
- e) Klasyczny wzór Rayleigha-Jeansa daje wyniki zgodne ze wzorem Plancka służącym do poprawnego określenia spektralnej zdolności emisyjnej promieniowania emitowanego przez ciało doskonale czarne wówczas, gdy częstość emitowanego promieniowania dąży do 0.
- f) Klasyczny wzór Rayleigha-Jeansa daje wyniki zgodne ze wzorem Plancka służącym do poprawnego określenia spektralnej zdolności emisyjnej promieniowania, gdy częstość emitowanego promieniowania dąży do ∞ .
- g) Długość fali dla której spektralna zdolność emisyjna (zdolność emisyjna zależna od częstotliwości emitowanego promieniowania) osiąga maksimum maleje ze wzrostem temperatury ciała
- h) Całkowita zdolność emisyjna ciała doskonale czarnego (powstała po scałkowaniu zdolności spektralnej po wszystkich możliwych częstościach emitowanego promieniowania) jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury ciała
- i) Całkowita zdolność emisyjna ciała doskonale czarnego nie zależy od temperatury ciała

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia

4) Które z poniższych stwierdzeń poprawnie opisują wybrane cechy zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego?

- a) Ilość emitowanych z ciała (metal) elektronów nie zależy od natężenia padającego na ciało promieniowania elektromagnetycznego (fali elektromagnetycznej).
- b) Obserwuje się mierzalny odstęp czasu między czasem emisji pierwszych elektronów a czasem dotarcia do ciała promieniowania.
- c) Maksymalna energia emitowanych elektronów rośnie ze wzrostem natężenia promieniowania.
- d) Maksymalna energia emitowanych elektronów rośnie ze wzrostem częstotliwości promieniowania

- e) Występuje minimalna częstotliwość promieniowania którą musi ono posiadać aby nastąpiła emisja elektronów
- f) Energia fotonu padającego promieniowania jest proporcjonalna do długości fali tego promieniowania

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia

- 5) Czy efekt (zjawisko) Comptona polega na
- a) emisji elektronów z ciała stałego po pochłonięciu przez nie fotonów padającego na ciało promieniowania elektromagnetycznego
 - b) emisji fotonów z powierzchni ciała stałego po skierowaniu na niego strumienia elektronów
 - c) rozproszeniu promieniowania elektromagnetycznego (fali elektromagnetycznej) na elektronach, których energia wiązania w atomach jest mała w stosunku do energii padających fotonów, którym fotony przekazują część swojej energii w trakcie zderzenia
 - d) sprężystym rozpraszaniu promieniowania elektromagnetycznego na atomach, któremu nie towarzyszy zmiana energii fotonów w trakcie rozpraszania

Zaznaczyć poprawną odpowiedź.

- 6) Rozważyć układ złożony z atomów posiadających dwa dozwolone poziomy energetyczne o energiach E_1 oraz $E_2 > E_1$. Rozważyć prawdopodobieństwo
- a) absorpcji promieniowania o częstotliwości $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ przez ten układ
 - b) emisji spontanicznej promieniowania o tej częstotliwości
 - c) emisji wymuszonej promieniowania o tej częstotliwości

Od których z poniższych czynników zależy według teorii zaproponowanej przez Einsteina prawdopodobieństwo zajścia powyższych procesów?

- a) ilości atomów w stanie o energii E_2
- b) ilości atomów w stanie o energii E_1
- c) ilości w układzie fotonów promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości ν

Zaznaczyć wszystkie poprawne odpowiedzi oddzielnie dla każdego z analizowanych procesów. Na czym polegał by efekt inwersji obsadzeń w rozważanym układzie?

- 7) Które z poniższych równań jest równaniem Schrödingera zależnym od czasu

- a) $i\hbar \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right] \Psi$
- b) $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right] \Psi$
- c) $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = [\nabla + V] \Psi$
- d) $i\hbar \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla + V \right] \Psi ?$

(gdzie $\Delta = \nabla^2$). **Zaznaczyć poprawną odpowiedź i wyjaśnić sens symboli pojawiających się w wybranym wzorze. ($\Delta = \nabla^2$). Sformułować w ogólnej postaci równanie Schrödingera niezależne od czasu.**

- 8) Wiemy, iż cząstka poruszająca się w przestrzeni jednowymiarowej opisana jest zespoloną unormowaną funkcją falową $\Psi(x,t)$. Jak można określić dla chwili czasu t gęstość prawdopodobieństwa znalezienia tej cząstki w punkcie o współrzędnej x ?

- a) $\rho = \Psi^2$
- b) $\rho = \Psi^* \Psi$
- c) $\rho = |\Psi|^2$
- d) $\rho = |\Psi|$
- e) $\rho = |\Psi|^2 x$

(Ψ^* oznacza funkcję sprzężoną w sposób zespolony do funkcji Ψ)

Zaznaczyć wszystkie poprawne odpowiedzi. Jaki warunek musi spełniać funkcja falowa aby opisywana wybranymi wzorami wielkość naprawdę reprezentowała gęstość prawdopodobieństwa a nie była tylko proporcjonalna do tej gęstości? Jak można określić prawdopodobieństwo znalezienia tej cząstki w przedziale $x_1 < x < x_2$?

- 9) Rozważamy funkcję falową opisującą cząstkę kwantową poruszającą się w obszarze potencjału przyjmującego we wszystkich punktach przestrzeni skończone wartości. Które z podanych niżej twierdzeń dotyczących własności tej funkcji są twierdzeniami prawdziwymi?

- a) Wartości tej funkcji muszą być liczbami rzeczywistymi.
- b) Funkcja ta nie może osiągać wartości nieskończonych.
- c) Funkcja ta musi być funkcją ciągłą swoich argumentów przestrzennych.
- d) Funkcja ta musi być funkcją jednoznaczną.
- e) Funkcja ta w żadnym punkcie przestrzeni nie może przyjmować wartości równej zero.
- f) Pierwsza pochodna tej funkcji po każdej ze zmiennych przestrzennych musi być funkcją ciągłą.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- 10) Znamy rozwiązanie równania Schrödingera niezależnego od czasu

$$-\frac{\hbar}{2m} \Delta \psi_n(\vec{r}) + V(\vec{r}) \psi_n(\vec{r}) = E_n \psi_n(\vec{r})$$

Które z poniższych stwierdzeń dotyczących właściwości stanu stacjonarnego w jakim znajduje się cząstka kwantowa są stwierdzeniami prawdziwymi?

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- a) W stanie stacjonarnym funkcja falowa opisująca cząstkę kwantową nie zależy od czasu
- b) W stanie stacjonarnym gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w przestrzeni nie zależy od czasu
- c) W stanie stacjonarnym znana jest energia cząstki
- d) W stanie stacjonarnym znane jest położenie cząstki
- e) W stanie stacjonarnym funkcja falowa opisująca cząstkę stanowi superpozycję co najmniej dwóch funkcji będących rozwiązaniem równania Schrödingera niezależnego od czasu o różnych energiach
- f) W stanie stacjonarnym funkcje falową opisującą cząstkę kwantową można

wyrazić wzorem
$$\psi(\vec{r}, t) = \psi_n(\vec{r}) \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right)$$

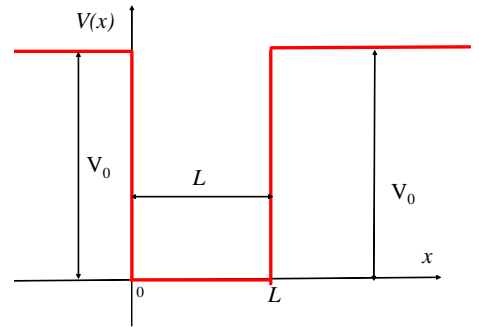
g) w stanie stacjonarnym funkcje falową opisującą cząstkę kwantową można wyrazić wzorem $\psi(\vec{r}, t) = \psi_n(\vec{r}) \exp\left(-\frac{E_n t}{\hbar}\right)$

h) w stanie stacjonarnym funkcje falową opisującą cząstkę kwantową można wyrazić wzorem $\psi(\vec{r}, t) = \sum_n c_n(t) \psi_n(\vec{r}) \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right)$ w którym co najmniej dwa współczynniki c_n są różne od zera

11) Rozważamy cząstkę kwantową o energii $E < V_0$ poruszającą się w potencjale danym wzorem:

$$V(x) = \begin{cases} V_0 & \text{dla } x < 0 \\ 0 & \text{dla } 0 < x < L \\ V_0 & \text{dla } x > L \end{cases}$$

opisującym studnię kwantową o skończonej głębokości. Które z poniższych stwierdzeń są twierdzeniami prawdziwymi?



- W wyniku pomiaru energii cząstki można otrzymać wartość wyrażającą się przez dowolną liczbę rzeczywistą z zakresu $(0, V_0)$.
- Energia cząstki nie może być równa zero.
- Prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w obszarach barier o $x > L$ oraz $x < 0$ jest równe zero.
- Istnieją stany o określonej energii w przypadku których gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w punkcie o $x = 2L$ jest większa niż w punkcie $x = L$.
- Gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w dowolnym punkcie w studni (czyli w obszarze o x z zakresu $0 < x < L$) jest jednakowa.
- Istnieją stany stacjonarne o określonej energii w przypadku których w obszarze studni można wyróżnić punkty, w których gęstość prawdopodobieństwa znalezienia tam cząstki osiąga wartość zero.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

12) Rozważmy jednowymiarowy oscylator harmoniczny, czyli cząstkę poruszającą się w obszarze potencjału danego wzorem $V = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 x^2$. Zakładając, iż A oznacza amplitudę drgań klasycznego oscylatora zależną od jego energii E i daną wzorem $A = \sqrt{\frac{2E}{m\omega^2}}$ określić, które z poniższych twierdzeń są słuszne w przypadku kwantowego jednowymiarowego oscylatora harmonicznego.

- Istnieje prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w obszarze, w którym $x > A$.
- W obszarze $x > A$ gęstość prawdopodobieństwa znalezienia oscylatora rośnie wraz ze wzrostem x .
- W obszarze $x > A$ gęstość prawdopodobieństwa znalezienia oscylatora traktowana jako funkcja x jest dana funkcją niemonotoniczną (gęstość ta oscyluje wraz ze zmianami x).
- Gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w obszarze, w którym

$-A < x < A$ nie zależy od x .

- d) W stanie podstawowym o najniższej energii gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki jest maksymalna dla $x \approx \pm A$.
- e) We wszystkich stanach stacjonarnych gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki jest różna od zera we wszystkich punktach z zakresu $-A < x < A$.
- f) Energia analizowanej cząstki nie może być równa zeru.
- g) Odległość w skali między kolejnymi dozwolonymi poziomami energetycznymi oscylatora jest jednakowa (nie zależy od energii tych poziomów)

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- 13) Czy wartości własne operatora Hamiltona $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + V$ dla cząstki kwantowej są
- a) możliwymi wynikami pomiaru energii cząstki
 - b) możliwymi wynikami pomiaru pędu cząstki
 - c) możliwymi wynikami pomiaru momentu pędu cząstki
 - d) możliwymi wynikami pomiaru położenia cząstki?

Zaznaczyć poprawną odpowiedź.

- 14) Które z poniższych równań może być równoważne równaniu Schrödingera niezależnemu od czasu dla cząstki kwantowej? **Zaznaczyć właściwe równanie spośród podanych poniżej.**

- a) $\hat{L}^2\psi = L^2\psi$
- b) $\hat{H}\psi = 0$
- c) $\frac{1}{2m}\hat{p}^2\psi = 0$
- d) $\hat{H}\psi = E\psi$

gdzie \hat{H} –operator Hamiltona, \hat{p}^2 - operator kwadratu pędu, \hat{L}^2 -operator kwadratu momentu pędu, m -masa cząstki, E - energia cząstki

- 15) Które z poniższych równań może być równoważne równaniu Schrödingera zależnemu od czasu dla cząstki kwantowej? **Zaznaczyć właściwe równanie spośród podanych poniżej.**

- a) $\hat{H}\Psi = \hbar \frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2}$
- b) $\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}$
- c) $\hat{p}^2\Psi = i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}$
- d) $\hat{L}^2\Psi = \hbar^2 \frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2}$

gdzie \hat{H} –operator Hamiltona, \hat{p}^2 - operator kwadratu pędu, \hat{L}^2 -operator kwadratu momentu pędu

- 16) **Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia spośród podanych poniżej.**

- a) Istnieje możliwość jednoczesnego dokładnego wyznaczenia wartości wielkości fizycznych, którym odpowiadają operatory \hat{A} i \hat{B} , gdy komutator tych operatorów jest **równy** zeru.

- b) Istnieje możliwość jednoczesnego dokładnego wyznaczenia wartości wielkości fizycznych, którym odpowiadają operatory \hat{A} i \hat{B} , gdy operatory te mają wspólny układ funkcji własnych.
- c) Wartości własne operatora \hat{A} przedstawiają możliwe wyniki pomiaru wielkości fizycznej związanej z tym operatorem.
- d) Istnieje możliwość dokładnego jednoczesnego określenia tej samej składowej wektorów pędu i położenia cząstki kwantowej.

17) Które z poniższych stwierdzeń dotyczących atomu wodoru są prawdziwe?

- a) Przewidywane w modelu Bohra dozwolone energie elektronu w atomie wodoru są takie same jak te wynikające z rozwiązania równania własnego dla operatora Hamiltona $\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ dla elektronu w atomie wodoru.
- b) Ograniczenie ruchu elektronów do orbit kołowych o ściśle ustalonych promieniach wynika z rozwiązania równania Schrödingera dla elektronu w atomie wodoru.
- c) Atom wodoru emituje promieniowanie o widmie ciągłym, czyli może emitować światło o dowolnej długości fali.
- d) Energia elektronu w atomie wodoru jest skwantowana, czyli może przyjmować tylko wartości ze zbioru dyskretnego.
- e) Można dokładnie wyznaczyć jednocześnie energie elektronu i jego położenie w przestrzeni.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

18) Zgodnie z prawami mechaniki kwantowej dla elektronu w atomie wodoru można jednocześnie wyznaczyć

- a) energie elektronu oraz rzut (orbitalnego) momentu pędu oraz spinu na dwie różne osie kartezjańskiego układu współrzędnych
- b) energie elektronu, kwadrat momentu pędu elektronu oraz rzut momentu pędu (orbitalnego) i spinu na oś Oz
- c) energie elektronu oraz wszystkie składowe jego wektora wodzącego
- d) wszystkie składowe wektora wodzącego i pędu elektronu

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia. Zaniehbujemy wpływ sprzężenia spinowo-orbitalnego.

19) W wyniku pomiaru rzutu **spinu elektronu** na oś Oz można otrzymać jedną z poniższych wartości

- a) $-\frac{\hbar}{2}, 0, \frac{\hbar}{2}$
- b) $-\frac{\hbar}{2}, \frac{\hbar}{2}$
- c) $0, \frac{\hbar}{2}, \hbar, \frac{3}{2}\hbar, \dots$
- d) $\frac{\hbar}{2}, \hbar, \frac{3}{2}\hbar, 2\hbar, \frac{5}{2}\hbar, \dots$

gdzie $\hbar = \frac{h}{2}$, h - stała Plancka

Zaznaczyć poprawne stwierdzenie.

20) Gdy zaniehbujemy istnienie oddziaływania spinowo-orbitalnego i innych efektów relatywistycznych to do opisu stanu kwantowego elektronu w atomie wodoru wykorzystujemy 4 liczby kwantowe: n -główną liczbę kwantową, l -orbitalną

(poboczną) liczbę kwantową, m -magnetyczną liczbę kwantową, m_s -magnetyczną spinową liczbę kwantową. Które z poniższych twierdzeń są twierdzeniami prawdziwymi?

a) Energia elektronu w atomie wodoru **zależy tylko** od

- 1) liczby n
- 2) liczby l
- 3) liczby m
- 4) liczby m_s

Zaznaczyć poprawne stwierdzenie.

b) Gdy wartość głównej liczby kwantowej jest równa $n=2$ to orbitalna liczba kwantowa l może przyjmować wartości

- 1) -1,0,1
- 2) 1,2
- 3) 0,1
- 4) -2,-1,0,1,2

Zaznaczyć poprawne stwierdzenie.

c) Gdy wartość orbitalnej kwantowej jest równa $l=2$ to magnetyczna liczba kwantowa m może przyjmować wartości

- 1) -1,0,1
- 2) -2,-1,0,1,2
- 3) 0,1,2
- 4) 1,2,

Zaznaczyć poprawne stwierdzenie.

d) Wartość rzutu (orbitalnego) momentu pędu na oś Oz jest jednoznacznie wyznaczona przez wartość

- 1) liczby kwantowej n
- 2) liczby kwantowej l
- 3) liczby kwantowej m
- 4) liczby kwantowej m_s

Zaznaczyć poprawne stwierdzenie.

21) Elektron w atomie wodoru znajduje się na podpowłoce (w stanie, na orbitalu) $2p$. Które z poniższych stwierdzeń są stwierdzeniami prawdziwymi?

- a) Elektron znajduje się w stanie podstawowym o najniższej energii.
- b) Wartość głównej liczby kwantowej n jest równa 2.
- c) Wartość orbitalnej liczby kwantowej l jest równa 0.
- d) Magnetyczna liczba kwantowa m może przyjmować jedną z poniższych wartości: -1, 0, 1

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

22) Elektron w atomie wodoru znajduje się na podpowłoce (w stanie, na orbitalu) $1s$. Które z poniższych stwierdzeń są stwierdzeniami prawdziwymi?

- a) Elektron znajduje się w stanie podstawowym o najniższej energii.
- b) Wartość orbitalnej liczby kwantowej l jest równa 0.
- c) Rzut orbitalnego momentu pędu elektronu na oś Oz jest równy \hbar .
- d) Magnetyczna liczba kwantowa może przyjmować jedną z poniższych wartości: -2, -1, 0, 1, 2.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

23) Które z poniższych twierdzeń dotyczących własności potencjału efektywnego opisującego efektywnie oddziaływanie elektronu z jądrem i pozostałymi elektronami w atomie wieloelektronowym o liczbie atomowej $Z \gg 1$ są poprawne? Przy

określaniu potencjału uwzględnić fakt, iż może on przyjmować wartości ujemne czyli $-30 \text{ eV} < -20 \text{ eV}$.

- Potencjał efektywny w bliskiej odległości od jądra jest mniejszy od potencjału w atomie wodoru.
- Potencjał efektywny w odległości od jądra r takiej, iż $r \rightarrow 0$ przyjmuje wartości zbliżone do potencjału występującego w atomie wodoru.
- Potencjał efektywny w odległości od jądra r takiej, iż $r \rightarrow \infty$ przyjmuje wartości zbliżone do potencjału występującego w atomie wodoru.
- Potencjał efektywny jest odwrotnie proporcjonalny do odległości od jądra punktu, w którym go określamy.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia

- 24) Które z poniższych stwierdzeń dotyczących energii elektronów w atomach wieloelektronowych są prawdziwe? Przy określaniu energii elektronów uwzględnić fakt iż energia ta jest ujemna.
- Energia elektronów zajmujących stany na podpowłóce 4s (o głównej liczbie kwantowej $n=4$ i orbitalnej liczbie kwantowej $l=0$) jest zawsze wyższa od energii elektronów na podpowłóce 3d (o głównej liczbie kwantowej $n=3$ i orbitalnej liczbie kwantowej $l=2$).
 - Energia elektronów zajmujących stany na podpowłóce 3p (o głównej liczbie kwantowej $n=3$ i orbitalnej liczbie kwantowej $l=1$) jest wyższa od energii elektronów na podpowłóce 3s (o głównej liczbie kwantowej $n=3$ i orbitalnej liczbie kwantowej $l=0$).
 - Energia elektronów zajmujących stany na podpowłóce 3s (o głównej liczbie kwantowej $n=3$ i orbitalnej liczbie kwantowej $l=0$) jest zawsze wyższa od energii elektronów na podpowłóce 2s (o głównej liczbie kwantowej $n=2$ i orbitalnej liczbie kwantowej $l=0$).
 - Zjawisko ekranowania ładunku jądra przez elektrony ma większe znaczenie przy określaniu energii elektronów zajmujących stany na powłóce o głównej liczbie kwantowej $n=1$, niż elektronów zajmujących stany na powłóce o głównej liczbie kwantowej $n=5$.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- 25) Czy wynik doświadczenia Sterna-Gerlacha przeprowadzonego z wykorzystaniem atomów srebra przechodzących przez obszar niejednorodnego pola magnetycznego wskazuje na to, iż
- rzut momentu magnetycznego atomu na kierunek indukcji pola magnetycznego przyjmować może tylko dyskretne wartości
 - moment magnetyczny atomu srebra pochodzi od orbitalnego momentu pędu tego atomu
 - rzut spinu atomu srebra na oś wyróżnioną przez pole magnetyczne może przyjmować 2 różne wartości
 - rzut orbitalnego momentu pędu atomu srebra na oś wyróżnioną przez pole magnetyczne może przyjmować 4 różne wartości

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- 26) Zakładamy, iż kwadrat momentu pędu atomu jest równy $L^2 = \hbar^2 l(l+1) = 6\hbar^2$ ($l=2$), zaś kwadrat spinu atomu jest równy $S^2 = \hbar^2 s(s+1) = 0$ ($s=0$).

Ile różnych wyników można otrzymać w wyniku pomiaru energii związanej z oddziaływaniem momentu magnetycznego tego atomu z zewnętrznym jednorodnym polem magnetycznym o indukcji B , w którym atom ten się znajduje?

- 5 różnych wyników

- b) 2 różne wyniki
- c) 1 wynik (wartość tej energii jest ściśle ustalona w tym stanie)
- d) energia ta może być wyrażona przez dowolną liczbę rzeczywistą z zakresu $(-2\mu_B B, 2\mu_B B)$ (μ_B - magneton Bohra)

Zaznaczyć poprawną odpowiedź.

- 27) Zakładamy, iż kwadrat momentu pędu atomu jest równy $L^2 = \hbar^2 l(l+1) = 0$ ($l = 0$), zaś kwadrat spinu atomu jest równy $S^2 = \hbar^2 s(s+1) = \frac{3}{4}\hbar^2$ ($s = \frac{1}{2}$).

Ile różnych wyników można otrzymać w wyniku pomiaru energii związanej z oddziaływaniem momentu magnetycznego tego atomu z zewnętrznym jednorodnym polem magnetycznym o indukcji B , w którym atom ten się znajduje?

- a) 5 różnych wyników
- b) 2 różne wyniki
- c) 1 wynik (wartość tej energii jest ściśle ustalona w tym stanie)
- d) energia ta może być wyrażona przez dowolna liczbę rzeczywistą z zakresu $(-\mu_B B, \mu_B B)$ (μ_B - magneton Bohra)

Zaznaczyć poprawną odpowiedź.

- 28) Które z poniższych stwierdzeń są stwierdzeniami prawdziwymi?

- a) Kwadrat spinu cząstki będącej fermionem dany jest wzorem $\hbar^2 s(s+1)$, przy czym liczba s może przyjmować wartości będące liczbami całkowitymi $s=0,1,2,3,\dots$
- b) Kwadrat spinu cząstki będącej fermionem dany jest wzorem $\hbar^2 s(s+1)$, przy czym liczba s może przyjmować wartości będące liczbami półkowymi $s = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$
- c) Rzut spinu cząstki będącej fermionem na oś Oz jest zawsze równy $\frac{\hbar}{2}$.
- d) Elektron jest cząstką będącą fermionem.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- 29) Które z poniższych stwierdzeń są stwierdzeniami prawdziwymi?

- a) Funkcja stanu opisująca układ złożony z dwóch jednakowych fermionów zależna od zmiennych przestrzennych i spinowych obu cząstek zmienia znak przy zamianie tych cząstek ze sobą.
- b) Funkcja stanu opisująca układ złożony z dwóch jednakowych fermionów zależna od zmiennych przestrzennych i spinowych obu cząstek nie zmienia się przy zamianie tych cząstek ze sobą.
- c) Funkcje stanu opisująca układ złożony z dwóch jednakowych nieoddziałujących ze sobą fermionów można zawsze przedstawić jako iloczyn funkcji opisujących oddzielnie każdy z fermionów.
- d) Dwa fermiony nie mogą znajdować się w tym samym stanie kwantowym (opisanym jednakową funkcją stanu zależną od zmiennych przestrzennych i spinowych).

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- 30) Które z poniższych stwierdzeń są stwierdzeniami prawdziwymi?

- a) Kwadrat spinu cząstki będącej bozonem dany jest wzorem $\hbar^2 s(s+1)$, przy czym liczba s może przyjmować wartości będące liczbami całkowitymi $s=0,1,2,3,\dots$
- b) Kwadrat spinu cząstki będącej bozonem dany jest wzorem $\hbar^2 s(s+1)$, przy czym liczba s może przyjmować wartości będące liczbami połówkowymi $s = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$
- c) Rzut spinu cząstki będącej bozonem na oś Oz nigdy nie może być równy 0.
- d) Elektron jest cząstką będącą bozonem.

Zaznaczyć wszystkie poprawne stwierdzenia.

- 31) Które z poniższych stwierdzeń są stwierdzeniami prawdziwymi?
- a) Funkcja stanu opisująca układ złożony z dwóch jednakowych bozonów zależna od zmiennych przestrzennych i spinowych obu cząstek zmienia znak przy zamianie tych cząstek ze sobą.
 - b) Funkcja stanu opisująca układ złożony z dwóch jednakowych bozonów zależna od zmiennych przestrzennych i spinowych obu cząstek nie zmienia się przy zamianie tych cząstek ze sobą.
 - c) Funkcje stanu opisująca układ złożony z dwóch jednakowych nieoddziałujących ze sobą bozonów znajdujących się w różnych stanach kwantowych można zawsze przedstawić jako iloczyn funkcji opisujących oddzielnie każdy z bozonów.
 - d) Dwa bozony nie mogą znajdować się w tym samym stanie kwantowym (opisanym jednakową funkcją stanu zależną od zmiennych przestrzennych i spinowych)