

## Fizyka w chemii (sem III) - ZADANIA

Kod: 1/h (Podstawy fizyki/chemii kwantowej)

1. Puszka (z materiału o wysokiej temperaturze topnienia) ma otwór którego pole powierzchni można przyjąć  $1\text{cm}^2$ . Przepuszczając prąd przez puszkę nagrzewamy ją do temperatury  $2000\text{K}$ . a) Ile energii w ciągu sekundy emituje otwór? [Skorzystaj z prawa Stefana – Boltzmanna], b) Czy zobaczymy naszymi oczyma to promieniowanie? [Skorzystaj z prawa przesunięć Wiena].
2. Progowa długość fali dla fotoemisji elektronu z metalu wynosi  $431\text{nm}$ . Obliczyć maksymalną szybkość  $v$  fotoelektronów emitowanych przy napromieniowaniu metalu światłem o długości fali  $\lambda = 175\text{nm}$ . Do jakiego zakresu widma fal el-mag należy to promieniowanie? Jaka jest długość fali de Broglie'a elektronów?
3. W eksperymencie fotoelektrycznym jako tarczy użyto sodu. Zmieniając długość fali promieniowania mierzono napięcie hamowania  $U_{\text{stop}}$ , przy którym foto-prąd zanikał. Otrzymano następujące wyniki:  
Dla  $\lambda=3651\text{\AA}$ ,  $U_{\text{stop}}= 1.18\text{V}$ ; dla  $\lambda=3125\text{\AA}$ ,  $U_{\text{stop}}=1,76\text{V}$ .  
Mając te dwa punkty wykreśl zależność  $U_{\text{stop}}$  od częstości fali i odczytaj z niego  
a) częstość progową dla sodu, b) pracę wyjścia dla sodu, c) stałą Plancka.
4. Rozpraszanie Comptonowskie. Promieniowanie rentgenowskie o długości fali  $\lambda=22\text{pm}$  (energia fotonu =  $56\text{keV}$ ) jest rozpraszane na grafitowej tarczy. Promieniowanie rozproszone jest obserwowane pod kątem  $85^\circ$  względem kierunku wiązki padającej.  
a) Jaka jest długość fali wiązki rozproszonej?  
b) Jaki procent początkowej energii fotonu zostaje przekazany elektronowi?  
c) Pod jakim kątem wylatują elektrony?
- 5.0** Energia fotonu i energia kinetyczna elektronu są równe  $1\text{eV}$ . Ile wynoszą ich długości fali? Ile musi co najmniej wynosić stała siatki dyfrakcyjnej przy użyciu której zmierzylibyście obliczone długości fali?
- 5.1** Oblicz liczbę fotonów ( $N$ ) emitowanych w ciągu sekundy przez  $100\text{W}$  żarówkę świecącą światłem żółtym ( $\lambda = 560\text{nm}$ ). W ciągu jakiego czasu ta żarówka wyemituje  $1\text{mol}$  fotonów?
- 5.2** Oblicz długość fali elektronów, które ze stanu spoczynku zostały przyspieszone przez pole elektryczne o różnicy potencjałów  $40\text{kV}$ .
- 6.0** Równoległa monoenergetyczna wiązka elektronów pada prostopadle na przesłonę, w której jest długa i wąska szczelina o szerokości  $a=0,1\text{mm}$ . Jaka jest prędkość tych elektronów, jeśli wiadomo, że na ekranie (w postaci płyty fotograficznej) odległym o  $L=50\text{cm}$  centralne maksimum dyfrakcyjne ma szerokość  $\Delta y=8,0\mu\text{m}$ ? (Skorzystaj z zasady nieoznaczoności)
- 7.0** Oblicz: a) graniczną długość fali w fotoefekcie dla cezu i platyny, b) maksymalną prędkość elektronów uwolnionych w fotoefekcie z  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ag}$  i  $\text{Ni}$  przez światło o długości fali  $0,27\mu\text{m}$  mając wartości pracy wyjścia (Tab.):

Pierwiastek	Cs	Pt	Zn	Ag	Ni
Praca wyjścia (eV)	1,89	5,29	3,74	4,28	4,84

**8.0** Oblicz: a) pęd i energię fotonu gdy  $\lambda=2\text{pm}$ , b) Pęd elektronu o energii kinetycznej równej energii fotonu z a), c) długość fali deBroglie'a dla elektronu z b).

**9.0** Energie jonizacji elektronów z trzech najwyższych poziomów (tzw obsadzonych orbitali molekularnych) tlenku węgla (CO) wynoszą 14,0, 16,8 , i 19,7 eV. Oblicz (w eV) energie kinetyczne wybijanych elektronów, gdy CO świetlimy światłem emitowanym przez a) hel ,  $\lambda=58,4\text{nm}$  , b) przez neon ,  $\lambda=74,2\text{nm}$ .

**9.1** Gdy promieniowanie UV z lampy helowej ( $\lambda = 58,4\text{nm}$ ) pada na próbkę zawierającą krypton (w stanie gazowym), to wyrzucane są elektrony których szybkość  $v=1,59\text{Mm/s}$ . Natomiast elektrony wyrzucane z próbki ksenonowej oświetlonej tą lampą mają szybkość  $1,79\text{Mm/s}$ . Jaki zjawisko zachodzi? Ile wynoszą energie jonizacji atomów Kr i Xe?

**10.0** Wyznacz stałe normalizacyjne N następujących funkcji falowych:

- $\psi(x) = N \exp[-ax]$  dla cząstki na osi  $x$  :  $0 < x < \infty$ ,  $a$  – dowolne rzeczywiste;
- $\psi(x) = N \sin[n\pi x/L]$ ,  $n$  całkowite ,  $0 \leq x \leq L$  ;
- $\psi(x) = N$  dla  $0 \leq x \leq L$  i zero poza tym przedziałem.
- $\Psi(x) = N \exp[-Zr/a_0]$   $Z$ ,  $a$  parametry , 3 wymiary  $0 \leq r \leq \infty$  , element  $dV=4\pi r^2 dr$
- $Y_1^1(\theta, \varphi) = N \sin\theta e^{i\varphi}$  , z elementem (miarą)  $d\Omega = \sin\theta d\varphi d\theta$ .

11. Znaleźć funkcje falowe i dozwolone wartości energii cząstki w jednowymiarowej studni potencjału o szerokości  $L$ . Rozszerzyć na cząstkę w 3D (cząstka w pudle).

12. Stan cząstki w nieskończenie głębokiej studni potencjału o szerokości  $L$  opisany jest funkcją falową :  $\psi(x) = \text{const}$  . Jakie jest p-wo otrzymania w wyniku pomiaru wartości energii  $E_n$  ?

13. To samo co wyżej gdy  $\psi(x) = N(xL-x^2)$

14. Sprawdzić czy w sytuacji cząstek opisanych w zadaniach 10 i 11 spełniona jest **zasada nieoznaczoności Heisenberga** dla pędu i położenia.

**14.1** Oblicz **nieoznaczoność** położenia  $\Delta x$  cząstki o masie  $1\text{g}$ , której szybkość znasz z dokładnością  $\Delta v = 1\mu\text{m/s}$ .

**14.2** Oblicz nieoznaczoność pędu i prędkości dla elektronu w jednowymiarowej „studni” o szerokości  $2a_0$  ( $a_0$  – promień Bohra ,  $53\text{pm}$ )

15. Napisz równanie Schrödingera dla jednowymiarowego oscylatora harmonicznego, podaj dozwolone funkcje własne i wartości własne energii. Wyjaśnij pojęcia: spektroskopowa energia dysocjacji i energia dysocjacji.

16. \*\*Molekułę dwuatomową, w odniesieniu do ruchu oscylacyjnego, można w przybliżeniu traktować jako oscylator harmoniczny. Zmiana energii oscylatora objawia się pochłonięciem bądź emisją fotonu - kwantu promieniowania el-mag –o określonej częstotliwości. Wyjaśnij dlaczego w widmie oscylacyjnym cząstki dominuje jedna linia. [Wskazówka: Przejście między dwoma dowolnymi poziomami oscylacyjnymi jest dozwolone jeśli dipolowy moment elektryczny

przejścia  $p_{e\ m,n} = q_e \langle n!x!m \rangle$  między tymi stanami jest różny od zera. Skorzystaj operatorów kreacji i anihilacji w opisie oscylatora.]

17. Sprawdź, czy dla oscylatora harmonicznego w stanie podstawowym ( $v=0$ ) spełniona jest zasada nieoznaczoności Heisenberga dla pędu i położenia. Spróbuj dla stanów wzbudzonych!
18. Cząsteczka HCl wykazuje silną absorpcję promieniowania o liczbie falowej  $\bar{\nu}=1/\lambda=2886\text{cm}^{-1}$ . Oblicz  $\lambda$ . Do jakiego zakresu widma promieniowania elektro magnetycznego należy to promieniowanie? Czy ludzkie oko widzi takie promieniowanie? Zakładając, że linia pochodzi z ruchu oscylacyjnego HCl oblicz stałą siłową wiązania chemicznego w HCl.
19. Pokaż, że radialna gęstość prawdopodobieństwa dla stanu podstawowego atomu wodoru ( $= (4r^2/a^3)\exp[-2r/a]$ ) ma maksimum dla  $r=a$ , gdzie  $a$  promień Bohra.
20. W doświadczeniu Sterna-Gerlacha wiązka atomów srebra przechodzi przez pole magnetyczne o gradiencie  $1,4\text{T/mm}$  wzdłuż osi  $z$ . Obszar w którym istnieje ten gradient ma długość  $3,5\text{cm}$  liczona w kierunku wiązki. Prędkość atomów  $=750\text{m/s}$ . Masa atomu Ag przyjąć  $1,8 \cdot 10^{-25}\text{kg}$ . Na jaką odległość  $d$  zostaną odchylone atomy w momencie opuszczania obszaru z gradientem?
21. Elektron znajduje się w stanie o orbitalnej liczbie kwantowej  $l=3$ . Oblicz wartości: a) orbitalnego momentu pędu  $L$ , b) orbitalnego dipolowego momentu magnetycznego  $\mu_{\text{orb}}$ , c) ułóż tabelkę z dozwolonymi wartościami  $m$ ,  $L_z$  ( w jednostkach  $\hbar/2\pi$ ),  $\mu_{\text{orb}}$  ( w  $\mu_B$  - magnetonach Bohra) i „półklasycznego kąta  $\theta$  między wektorem  $L$  a osią  $z$ ).

**\*21.a** Podaj wzór na dozwolone wartości energii elektronu w atomie wodoru ( $E_n$ ). Czy nieruchomy atom wodoru (będący w stanie podstawowym) może zaabsorbować foton promieniowania o długości fali a)  $1\text{cm}$  (mikrofale), b)  $600\text{nm}$  (św czerwone), c)  $550\text{nm}$  (św żółte), d)  $486\text{nm}$  (św nieb), e)  $120\text{nm}$  (UV), f)  $150\text{pm}$  (prom X)? [Inaczej : czy możliwa jest reakcja  $\gamma + \text{H} \rightarrow \text{H}^*$ ,  $\text{H}^*$  oznacz atom wzbudzony.]

**\*21.b** Wzbudzony do stanu  $n=2$  atom wodoru spoczywa. Czy i jaką prędkość oraz energię (kinetyczną) uzyska przechodząc do stanu podstawowego? [ $\text{H}^* \rightarrow \text{H} + \gamma$ ]

22. Korzystając ze wzoru na energię elektronu w wodorze podaj wzór na energię  $n$ -tego poziomu energetycznego elektronu w jednokrotnie zjonizowanym atomie Helu. Oblicz wartości liczbowe (w eV i w J) i narysuj układ poziomów porównaj z wykresem dla wodoru.
23. Z jakich założeń wynika kwantowanie energii? Znajdź dozwolone wartości energii cząstki o masie  $m$  w a) jednowymiarowym ( $E_n$ ) i b) trójwymiarowym ( $E_{n_1,n_2,n_3}$ ) „pudle” o krawędzi  $L$ . Oblicz przykładowe wartości dla „pudła” makroskopowego (np. elektron przewodnictwa w kostce przewodnika metalicznego (Cu),  $L=1\text{cm}$ ,  $m = 1.38 m_e$ ) i mikroskopowego (np. elektron w warstwie GaAs o  $L=10\text{nm}$ ,  $m=0,067m_e$ )

24. Co to są widma atomowe, oscylacyjne i rotacyjne cząsteczki? Jakie są rotacyjne liczby kwantowe dwóch sąsiednich poziomów w cząsteczce HCl o różnicy energii  $7,86 \cdot 10^{-3} \text{eV}$ . Odległość między jądrami w cząsteczce wynosi  $1,275 \cdot 10^{-8} \text{cm}$ . Jeśli częstość drgań własnych cząsteczki wynosi np.  $4 \cdot 10^{14} \text{Hz}$  to jak wygląda pełne widmo emisyjne { atomowe oscylacyjne, rotacyjne} gazu cząsteczek HCl? (por zad.29)

25. Funkcja falowa elektronu w atomie wodoru w stanie podstawowym ma postać:

---

$\psi(r) = A \exp[-r/a_0]$ ,  $A$  – stała,  $a_0 = 53 \text{pm}$  – tzw promień Bohra,  $r$  – odległość od protonu. Dla tego stanu obliczyć:

- stałą  $A$ ,
- najbardziej prawdopodobną odległość elektronu od protonu,
- oraz wykreśl radialną funkcję rozkładu prawdopodobieństwa.

**25.1** Oblicz stosunek prawdopodobieństw  $P(0)$  znalezienia elektronu w małej objętości  $dV = 1 \text{pm}^3$  położonej w centrum atomu wodoru ( $r=0$ , czyli „na protonie”) i prawdopodobieństwa  $P(a_0)$  znalezienia go w takiej samej objętości  $dV$  położonej w odległości  $r=a_0$ .

**25.2** To samo co 25.1 ale dla elektronu w jonie  $\text{He}^+$ .

---

26. W zewnętrznym polu magnetycznym o indukcji  $B$  poziomy energetyczne ulegają rozczepieniu (efekt Zeemana) przy czym

$$\Delta E = g M_J \mu_B B$$

( $g = 1 + [j(j+1) - l(l+1) + s(s+1)] / [2j(j+1)]$ ) – czynnik Lande’go,  $M_J = j, j-1, j-2, \dots, -j$ ).

Kiedy taki atom promieniuje to linie widmowe rozczepiają się.

Atom znajduje się w polu magnetycznym o indukcji  $B = 0,25 \text{T}$ . obliczyć rozczepienie termów  $^1D$  i  $^3F_4$ . [Symbole termów atomowych są postaci  $^{2S+1}[L]_j$ ,  $S$  całkowity spin,  $j$  liczba kwantowa całkowitego mom pędu (spinowego i orbitalnego),  $L$  jest literą  $S, P, D, F, \dots$  odpowiadającą wartości liczby kwantowej całkowitego orbitalnego momentu pędu = 0, 1, 2, 3, …]

27. Stan podstawowy atomu sodu  $\text{Na}(11,23)$ , oznaczony symbolem spektroskopowym  $^2S_{1/2}$  ulega rozczepieniu Zeemana w polu magnetycznym o indukcji  $B = 0,35 \text{T}$ . Po umieszczeniu atomów w polu promieniowania elektromagnetycznego o odpowiedniej częstości kołowej  $\omega_c$  zachodzi spinowy rezonans elektronowy (nazywany też elektronowym rezonansem paramagnetycznym – EPR). Oblicz częstość  $\omega_c$ . [W warunkach standardowych sód jest paramagnetykiem z  $\mu = (1+\chi)$ ,  $\chi = 6,210^{-6}$ .

28. Oblicz częstość rezonansową dla jądra wodoru w polu  $B = 0,35 \text{T}$  i porównaj z wynikiem Zad.26. W tym przypadku mamy do czynienia z jądrowym rezonansem magnetycznym (NMR). [Składowa momentu magnetycznego protonu na kierunek pola  $B$  wynosi  $1,41 \cdot 10^{-26} \text{J/T}$ ]

29. Elektron w jonie wodoropodobnym w stanie podstawowym (co to znaczy?) jest opisany (nieunormowaną) funkcją falową  $\psi_{1s} = N \exp[-Zr/a]$  gdzie  $Z$  – ładunek jądra,  $a$  – promień Bohra. Porównaj średnie odległości od jądra i średnie wartości energii potencjalnej elektronu w wodorze oraz jonach  $\text{Li}^{2+}$  i  $\text{C}^{5+}$ .

[Potrzebna Ci będzie całka:  $\int_0^{\infty} r^n \exp[-ar] dr = n!/a^{n+1}$  ].

30. Energię molekuly dwuatomowej można przedstawić jako sumę energii elektronowej, oscylacyjnej i rotacyjnej:  $E_{n,v,J} = E_n^{el} + E_v^{osc} + E_J^{rot}$ , przy czym cząsteczka traktowana jest jednocześnie jako oscylator harmoniczny i rotator sztywny o masie równej masie zredukowanej atomów tworzących cząsteczkę i długości równej długości wiązania cząsteczki. Pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego cząsteczka może przejść ze stanu  $|i\rangle (n_i, v_i, J_i)$  do stanu  $|f\rangle (n_f, v_f, J_f)$ . Zgodnie z regułami wyboru dla takich przejść  $\Delta J = \pm 1$ ,  $\Delta v = \pm 1$ . Załóżmy, że przejście jest przejściem rotacyjnym  $J_i \rightarrow J_i + 1$  o energii przejścia  $E_+$  lub  $J_i \rightarrow J_i - 1$  o energii przejścia  $E_-$ . Z pomiarów widma cząsteczki można zmierzyć rozczepienie obu linii  $\Delta E = E_+ - E_-$ . Zadanie polega na wyznaczeniu długości wiązania znając  $J_i$ , masę zredukowaną i  $\Delta E$ .
31. Znaleźć moment pędu cząsteczki tlenu w stanie o energii rotacyjnej  $7,6310^{-3} \text{eV}$ . Przyjąć, że odległość pomiędzy jądrami atomów tlenu wynosi  $2,281 a_B$ ,  $a_B$  – promień Bohra.
32. Znane są długości dwóch sąsiednich linii widma rotacyjnego cząsteczek HCl:  $156 \mu\text{m}$  i  $177 \mu\text{m}$ . Znaleźć; a) stałą rotacyjną  $B = h/4\pi I$  oraz moment bezwładności  $I$  cząsteczki, b) rotacyjne liczby kwantowe poziomów, między którymi zachodzą przejścia odpowiadające tym liniom.
33. Dla cząsteczki HF obliczyć liczbę poziomów rotacyjnych, rozmieszczonych pomiędzy podstawowym i pierwszym wzbudzonym poziomem oscylacyjnym. Przyjąć odległość między jądrami  $d=0,917 \cdot 10^{-10} \text{m}$ , a liczbę falową (częstość) drgań własnych  $4138,5 \text{cm}^{-1}$ .
34. Dane jest przejście oscylacyjne pomiędzy stanami  $v=2$  i  $v=0$  w cząsteczce dwuatomowej tlenku XO nieznanego pierwiastka X. Zmierzona wartość liczby falowej dla tego przejścia  $= 3641 \text{cm}^{-1}$ . Znana jest wartość harmonicznej stałej siłowej  $k=2233 \text{N/m}$ . Wyznacz liczbę atomową X.
35. Dla atomu wodoru (H) i jonu helu ( $\text{He}^+$ ) obliczyć: a) energię całkowitą, średnią energię kinetyczną i energię wiązania elektronu w stanie podstawowym, b) potencjał jonizacji, pierwszy potencjał wzbudzenia i długość fali linii odpowiadającej przejściu  $n=2 \rightarrow n=1$  oraz energię wyemitowanego fotonu. Jaką różnicę potencjałów musi przejść elektron aby atom wodoru przeszedł ze stanu podstawowego do pierwszego wzbudzonego?
36. \*\*Dla dwóch jednakowych atomów, będących w stanie S (moment pędu molekuly = 0), wyrazić energię potencjalną sił van der Waalsa przez elementy macierzowe ich dipolowych momentów elektrycznych.
37. Określić konfiguracje elektronowe jonów:  $\text{H}^-$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{O}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Na}^+$ .
38. Wykorzystując regułę Hunda określić konfiguracje elektronowe atomów: Si, P, Cl, Ar.
39. Na podstawie zakazu Pauliego i reguły Hunda znajdź konfiguracje elektronowe i liczby niesparowanych elektronów w atomach fluoru ( $Z=9$ ) i fosforu ( $Z=15$ )

## PYTANIA

1. Co to jest ciało doskonale czarne i jak to się ma do ciał rzeczywistych? Co to jest promieniowanie ciała doskonale czarnego? Jakie są prawa rządzące tym promieniowaniem? Naskicuj widmo tego promieniowania czyli wykres mocy emitowanej w przedział częstotliwości.

{ Dla ujednolicenia symboli i nazw, używamy wzoru na

- ilość energii w dżulach emitowanej w ciągu sekundy z 1-go metra kwadratowego powierzchni ciała o temperaturze T w postaci promieniowanie el-mag o częstotliwościach z przedziału  $(\nu, \nu+d\nu)$  postaci:

$$I_\nu d\nu = 2\pi h\nu^3 c^{-2} [1/(\exp(h\nu/kT) - 1)] d\nu .$$

Jak ten wzór wygląda gdy zapiszemy go przez długości fali  $\lambda = c/\nu$ ?

2. Które z poniższych stwierdzeń dotyczących zjawiska fotoelektrycznego są prawdziwe (P) a które fałszywe (F)?:

- a) Im większe jest natężenie padającego światła, tym większa jest częstota progowa zjawiska fotoelektrycznego;
- b) Im większa jest częstota padającego światła, tym większa jest częstota progowa zjawiska fotoelektrycznego;
- c) Im większa jest praca wyjścia dla materiału tarczy, tym większy jest potencjał hamujący;
- d) Im większa jest praca wyjścia dla materiału tarczy, tym większa jest częstota progowa zjawiska fotoelektrycznego;
- e) Im większa jest częstota padającego światła, tym większa jest maksymalna energia kinetyczna wyrzucanych elektronów.
- f) Im większe natężenie padającego światła, o częstotliwości wyższej niż progowa, tym natężenie foto-prądu jest wyższe.

3. Doświadczenie Davissona i Germera (1927) i jego współczesne realizacje. Wyszukaj w Internecie opisy i przedstaw jeden z nich na ćwiczeniach. W dwuszczylnowym doświadczeniu Younga z elektronami obserwuje się obraz interferencyjny na ekranie; ustosunkuj się (lub odpowiedz) do pytania: „Przez którą ze szczelin przechodzi pojedynczy elektron?”.

4. Porównując wartości energii elektronu ( $E_e$ ) w atomie H i jonach  $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{++}$  można, nie wykonując żadnych rachunków, powiedzieć, że:

- a)  $E_e(\text{H}) = E_e(\text{He}^+) = E_e(\text{Li}^{++})$
- b)  $E_e(\text{H}) > E_e(\text{He}^+) > E_e(\text{Li}^{++})$
- c)  $E_e(\text{H}) < E_e(\text{He}^+) < E_e(\text{Li}^{++})$
- d)  $E_e(\text{H}) \neq E_e(\text{He}^+) \neq E_e(\text{Li}^{++})$ , ale trudno je porównać, bo nie znamy rozwiązań równania Schrödingera dla jonów.

5. Stan cząstki jest opisany unormowaną funkcją falową  $\psi(x)$ . Gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w punkcie  $x_0$  jest określona przez:
- $|\psi(x)|^2$
  - $\psi(x_0)^* \psi(x_0)$
  - $\int |\psi(x_0)|^2 dx_0$
  - $\int_0^{x_0} |\psi(x)|^2 dx$ .
6. Dlaczego orbital mieści tylko dwa stany elektronowe? Jak nazywa się prawo fizyki regulujące obsadę orbitali?
7. Na czym polega i co potwierdza zjawisko/doświadczenie Comptona? [Opisz ustawienie elementów aparatury doświadczenia, co się mierzy i co otrzymuje w wyniku pomiarów i wreszcie interpretacja wyników.]
8. Co to jest Zakaz Pauliego? Z jakiej symetrii wynika? Wypisz powłoki i orbitale „zapełnione” przez elektrony w atomach H, He, O, N, C.
9. Wymień co najmniej dwie różnice w opisie zjawisk makro- i mikro – świata. Na czym polega kwantowanie wielkości fizycznych? Wymień kilka wielkości i podaj wzory wg których podlegają one kwantyzacji.
10. Jakie liczby kwantowe określają stan elektronu w atomie wodoru i wartość jakich wielkości fizycznych one określają (podaj wzory)?
11. Co nazywamy i jakie liczby kwantowe określają: powłokę, podpowłokę, orbital.
12. Co określają oznaczenia s, p, d, f, ..podpowłok? Ile wynoszą maksymalne liczby elektronów na tych podpowłokach?
13. Co to jest oscylator harmoniczny? Napisz wzór na energię całkowitą (Hamiltonian) oscylatora klasycznego (w dowolnej chwili ruchu). Od czego zależą wartości energii oscylatora klasycznego a od czego zależą wartości energii oscylatora kwantowego?
14. Podaj postulat mechaniki kwantowej dotyczący interpretacji funkcji falowej. Jakie własności funkcji falowej są konsekwencją tego postulatu? Czy funkcja postaci  $\psi(x) = N \exp[ax^2]$ ,  $-\infty < x < +\infty$ , N, a stałe, może być funkcją falową jakiejś cząstki?
15. Sformułuj i wyjaśnij zasadę nieoznaczoności Heisenberga i jej konsekwencje w opisie mikroświata. Podaj przykłady zastosowania [ np.: 1) oszacuj energię stanu podstawowego cząstki w jamie potencjalnej dla której  $\Delta x = L$  i porównaj z wynikami Zadania 14; 2) oceń najmniejszą możliwą energię elektronu w atomie wodoru i odpowiadającą jej odległość od jądra, 3) rozstrzygnij kwestię, czy elektron (oddziałujący siłą Coulomba) może być utrzymany siłami elektrycznymi w jądrze atomowym ( $\Delta x = 10^{-15} \text{m}$ ), 4) wyjaśnij dyfrakcję elektronów na pojedynczej szczelinie]
16. Opisz doświadczenie Francka-Hertza. Co dowodzi to doświadczenie?
17. Podaj postulat mechaniki kwantowej o wynikach pomiarów zmiennych dynamicznych. Co to są operatory, funkcje własne i wartości własne?
18. Co to są orbitale atomowe i orbitale molekularne. Co kryje skrót LCAO? Zilustruj problem i metodę na przykładzie jonu  $\text{H}_2^+$ .

20. Jakie znasz dowody (fakty doświadczalne) na to, że moment pędu obiektów mikroświata jest skwantowany? Omów szczegółowo jeden z dowodów. W jakich jednostkach mierzymy moment pędu w mikroświecie? Jakie są reguły dodawania momentów pędu?
21. Podać wszystkie możliwe wartości całkowitego momentu pędu atomów znajdujących się w stanach  $^4P$  i  $^5D$ .
22. Co to jest stała ekranowania i efektywny ładunek jądra (dla atomów wielo - elektronowych).
- A) Jeśli energia niezbędna do usunięcia elektronu 2s (tzw pierwsza energia jonizacji) z atomu litu wynosi  $5,39\text{eV}$ , to ile wynosi efektywny ładunek jądra „odczuwany” przez ten elektron i ile wynosi stała ekranowania?
- B) Druga energia jonizacji litu wynosi  $75,6\text{ eV}$  ( $\text{Li}^+ + \gamma \rightarrow \text{Li}^{++} + e^-$ ). Ile wynosi efektywny ładunek jądra i stała ekranowania dla elektronu 1s?
23. Orbital 1s [ $\psi_{1s} = N e^{-r/a}$ ,  $N$  – stała normalizacyjna,  $a$  – promień Bohra] nie zależy od kątów jedynie od  $r$  i ma maksimum dla  $r=0$ . Jak to się dzieje, że jednak największe prawdopodobieństwo znalezienia elektronu występuje nie w zerze a w odległości równej promieniowi Bohra?
24. Cząstka versus fala: Jakie własności można im przypisać i czym się różnią?
25. Co to jest światło i co potwierdza falową naturę światła?
26. Co to jest promieniowanie cieplne (w szczególności promieniowanie ciała doskonale czarnego) i jakie ma własności? Na czym polegała sprzeczność faktów doświadczalnych z fizyką klasyczną? Co to jest rozkład Plancka?
27. Na czym polega fotoefekt? Jakie prawidłowości wykazuje i jaką hipotezę Plancka potwierdza?
28. Na czym polega efekt Comptona i jaką hipotezę (Einsteina) potwierdza?
29. Czego dotyczyła hipoteza de Broglie’a i jakie doświadczenie (kto przeprowadził) ją potwierdziło?
30. Co głosi zasada nieoznaczoności Heisenberga? Korzystając z tej zasady, wyjaśnij dlaczego elektron (np. w atomie wodoru) nie może „spaść” na jądro?
31. Na czym polega „dualizm korpuskularno – falowy”?
32. Co to jest widmo promieniowania? Co to jest widmo emisyjne i widmo absorpcyjne pierwiastka?
33. Co to znaczy, że widmo jest ciągłe, liniowe, pasmowe? Podaj przykłady.



34. Dlaczego planetarny model atomu jest nie do pogodzenia z fizyką klasyczną? Jak Bohr usiłował uratować ten model?
35. Jakie są główne kłopoty modelu atomu Bohra (czego nie może wyjaśnić)?
36. Co to jest funkcja falowa i jakie własności matematyczne musi mieć? (Interpretacja Borna).
37. Co to jest równanie Schrödingera? Z czego wynika kwantowanie wartości wielkości mechanicznych (takich jak energia, moment pędu) elektronu w atomie (i ogólnie w układach związanych)?
38. Co to jest spin elektronu i jaką ma wartość? Jakie doświadczenie pozwoliło wykryć spin elektronu? Czy użyto w tym doświadczeniu pola magnetycznego? Po co?
39. Co głosi „Zasada Pauliego”? Z jakiej własności elektronów i ich funkcji falowej wynika ta zasada? Czym wytłumaczysz budowę układu okresowego pierwiastków (Mendelejewa)?
40. Co to jest orbital? Jaki jest sens fizyczny liczb kwantowych:  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$ ,  $m_s$  określających stan elektronu w atomie wodoru?
-