

### 13. Korpuskularne właściwości światła i falowe właściwości materii – zadania z arkusza I

#### 13.1

##### Zadanie 22 (4 pkt)

Proton, którego długość fali de Broglie'a wynosi  $10^{-11}$  m, wpada w obszar jednorodnego pola magnetycznego i porusza się w nim po okręgu o promieniu  $2 \cdot 10^{-2}$  m. Oblicz wartość indukcji magnetycznej tego pola. Pomiń efekty relatywistyczne.

#### 13.2

##### Zadanie 20. Dwoista natura światła (4 pkt)

Wzbudzony atom wodoru emituje promieniowanie związane z przejściem elektronu z powłoki trzeciej na drugą. Oblicz energię wyemitowanego kwantu i długość fali uzyskanej linii widmowej. Zapisz, czy linia ta wypada w zakresie światła widzialnego, jeśli światło widzialne zawiera fale w przedziale od 380 nm do 760 nm. Energia stanu podstawowego atomu wodoru  $E = -13,6$  eV.

#### 13.3

##### Zadanie 22. Fale materii (3 pkt)

Louis de Broglie przewidział, że cząstki elementarne wykazują własności falowe – cząstka o pędzie  $p$  jest falą o długości  $\frac{h}{p}$ . Oblicz długość fali powolnego neutronu o energii kinetycznej  $E = 1,6 \cdot 10^{-21}$  J. (Pomiń efekty relatywistyczne).

#### 13.4

##### Zadanie 23. Fotoemisja (4 pkt)

Na powierzchnię metalu, dla którego praca wyjścia wynosi  $W = 1,8$  eV, pada:

- 500 fotonów o energii 2 eV każdy,
- 1000 identycznych fotonów o energii 1,7 eV każdy.

Oblicz, ile elektronów zostanie wybitych w każdym z podanych przypadków oraz jaka będzie energia kinetyczna każdego z nich. Odpowiedź krótko uzasadnij.

#### 13.5

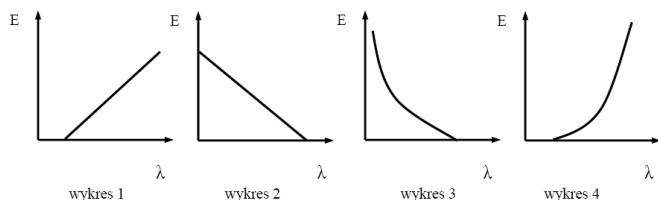
##### Zadanie 19. Fale materii (4 pkt)

Oblicz energię kinetyczną protonu, któremu można przypisać falę de Broglie'a o długości  $2 \cdot 10^{-14}$  m.

#### 13.6

##### Zadanie 5. (1 pkt)

Zależność maksymalnej energii kinetycznej elektronów, wybitych z katody fotokomórki, od długości fali elektromagnetycznej, padającej na katodę, poprawnie przedstawia wykres



- 1
- 2
- 3
- 4

#### 13.7

##### Zadanie 20. Atom wodoru (2 pkt)

W atomie wodoru nieoznaczoność położenia elektronu jest równa promieniowi jego orbity w stanie podstawowym, czyli około  $5,3 \cdot 10^{-11}$  m. Oblicz niepewność pomiaru wartości pędu elektronu w tym stanie.

#### 13.8

##### Zadanie 6. (1 pkt)

Do elektroskopu przykręcamy płytkę, którą następnie elektryzujemy ujemnie. Po oświetleniu płytki silną wiązką światła obserwujemy, że płytka przestała być naelektryzowana (wskaźówka elektroskopu opada). Zaobserwowaliśmy efekty zjawiska

- fotolektrycznego zewnętrznego.
- całkowitego wewnętrznego odbicia.
- elektryzowania przez indukcję.
- dyfrakcji światła.

odpowiedź

#### 13.9

##### Zadanie 9. (1 pkt)

Masa protonu jest około 1840 razy większa od masy elektronu. Jeżeli w polu elektrycznym elektron i proton uzyskają takie same prędkości to długość fali de Broglie'a będzie

- jednakowa dla obu cząstek, bo prędkości są jednakowe.
- większa dla protonu, bo ma on większą masę.
- mniejsza dla elektronu, bo ma on mniejszą masę.
- mniejsza dla protonu, bo ma on większą masę.

#### 13.10

##### Zadanie 13. Fale materii (3 pkt)

Elektrony w mikroskopie elektronowym przyspieszane napięciem 100 kV uzyskują prędkość równą 0,6c.

Oblicz długość fali de Broglie'a tych elektronów. Potrzebne dane weź z tablic.

#### 13.11

##### Zadanie 8. (1 pkt)

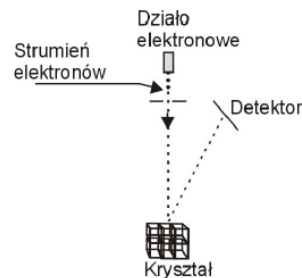
Powstawanie obrazów badanych próbek w mikroskopach elektronowych jest

- wynikiem przekazywania energii kinetycznej elektronów atomom próbki.
- dowodem na istnienie zjawisk optycznych jeszcze nie do końca wyjaśnionych.
- potwierdzeniem istnienia fal materii (dualizm korpuskularno-falowy).
- wynikiem przekształcenia się części elektronów na falę świetlną.

#### 13.12

##### Zadanie 24. (4 pkt)

C.J. Davison i L.H. Germer, przeprowadzili dyfrakcję elektronów na sieci krystalicznej, bombardując elektronami powierzchnię kryształu niklu (rys.).



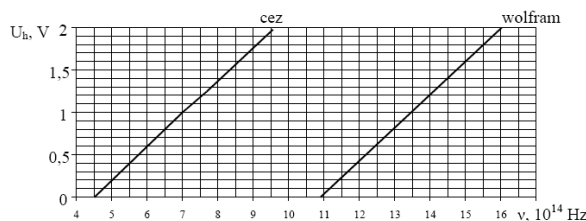
Swym doświadczeniem potwierdzili istnienie fal materii przewidzianych przez de Broglie'a i jednocześnie odkryli nową metodę badania struktury krystalicznej ciał stałych. Elektrony bombardujące powierzchnię kryształu niklu posiadały energię 50 eV. Oblicz długość fali de Broglie'a tych elektronów. Masa elektronu jest równa  $9 \cdot 10^{-31}$  kg.

#### 13.13

##### Zadanie 20. Fotokomórka (6 pkt)

Millikan zmierzył zależność napięcia hamowania od częstotliwości padającego światła dla dwóch fotokomórek, z których jedna miała fotokatodę z cezu, a druga z wolframu.

Wyniki jego pomiarów przedstawia wykres:



a) Jaką wartość stałej Plancka otrzymał Millikan, posługując się wartościami odczytanymi z wykresu?

b) Oblicz pracę wyjścia elektronu dla jednego z tych metali. Wynik podaj w dżulach i w elektronowoltach.

#### 13.14

##### Zadanie 9. (1 pkt)

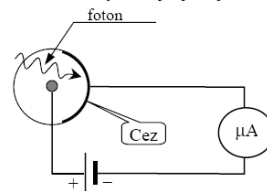
Zasada nieoznaczoności Heisenberga stwierdza, że

- im dokładniej ustalimy wartość pędu cząstki, tym dokładniej znamy jej położenie.
- im dokładniej ustalimy wartość pędu cząstki tym, mniej dokładnie znamy jej położenie.
- im mniej dokładnie znamy wartość pędu cząstki tym, mniej dokładnie możemy ustalić jej położenie.
- nie ma związku pomiędzy dokładnościami ustalenia wartości pędu i położenia cząstki.

#### 13.15

##### Zadanie 19. Fotokomórka (3 pkt)

Na rysunku przedstawiono obwód, w którym znajduje się fotokomórka.



Oblicz minimalną wartość pędu fotonu, który padając na wykonaną z cezu katodę fotokomórki spowoduje przepływ prądu w obwodzie. Praca wyjścia elektronów z cezu wynosi  $2,9 \cdot 10^{-19}$  J.

#### 13.16

##### Zadanie 7. (1 punkt)

Zwiększając 4 krotnie napięcie przyspieszające naładowaną cząstkę spowodujemy, że długość fali de Broglie'a

- wzrośnie 4 razy.
- wzrośnie 2 razy.
- zmaleje 2 razy.
- zmaleje 4 razy.

#### 13.17

##### Zadanie 15. Fale materii (3 punkty)

Oblicz długość fali materii elektronu poruszającego się z prędkością  $v = 0,6c$ . Uwzględnij efekty relatywistyczne.

**13.18**

**Zadanie 23. Zjawisko fotoelektryczne (4 pkt)**

Aby wyrwać elektron z powierzchni cezu należy wykonać pracę wyjścia  $W=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Oblicz energię kinetyczną i prędkość wylatujących elektronów, jeżeli cez jest oświetlany światłem żółtym o długości fali  $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$ .

**13.19**

**22. Elektron (3 pkt)**

Elektron porusza się w jednorodnym polu magnetycznym po okręgu o promieniu  $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ . Długość fali de Broglie'a dla tego elektronu jest równa  $2,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ . Oblicz wartość wektora indukcji magnetycznej pola magnetycznego, w którym porusza się ten elektron. Efekty relatywistyczne pomini.

**13.20**

**Zadanie 5. (1 pkt)**

Zasada nieoznaczoności Heisenberga stwierdza, że

- A. im dokładniej ustalimy wartość pędu cząstki, tym dokładniej znamy jej położenie.
- B. im dokładniej ustalimy wartość pędu cząstki, tym mniej dokładnie znamy jej położenie.
- C. nie ma związku pomiędzy dokładnościami ustalenia wartości pędu i położenia cząstki.
- D. im mniej dokładnie znamy wartość pędu cząstki, tym mniej dokładnie możemy ustalić jej położenie.

**20.2. (2 pkt)**

Oblicz energię emitowanego fotonu. Wynik podaj w eV.

**13.21**

**22. Elektron (3 pkt)**

Elektrony w kineskopie telewizyjnym są przyspieszane napięciem 14 kV. Oblicz długość fali de Broglie'a dla padającego na ekran elektronu. Efekty relatywistyczne pomini.

**13.22**

**23. Fotokomórka (3 pkt)**

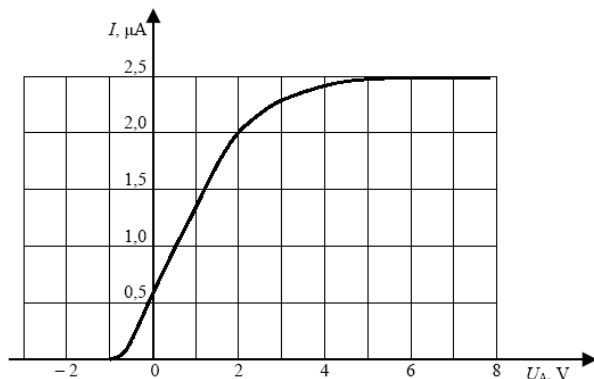
Oblicz minimalną wartość pędu fotonu, który padając na wykonaną z cezu katodę fotokomórki spowoduje przepływ prądu. Praca wyjścia elektronów z cezu wynosi 2,14 eV.

**Korpuskularne właściwości światła i falowe właściwości materii – zadania z arkusza II**

**13.23**

**Zadanie 32. Fotokomórka (10 pkt)**

Katoda fotokomórki oświetlana jest wiązką światła laserowego o długości fali 330 nm. Charakterystykę prądowo-napięciową tej fotokomórki przedstawiono poniżej na wykresie.



**32.1 (4 pkt)**

Korzystając z wykresu oblicz (w dżulach) pracę wyjścia elektronów z katody fotokomórki.

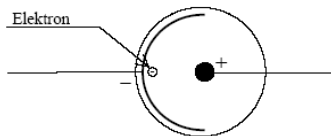
**32.2 (1 pkt)**

Tę samą fotokomórkę oświetlamy światłem o innej długości fali. Zapisz, jaki warunek musi być spełniony, aby po przyłożeniu odpowiedniego napięcia przez fotokomórkę popłynął prąd?

**32.3 (2 pkt)**

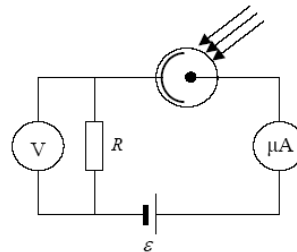
W przestrzeni między elektrodami rozważanej fotokomórki wytworzone jest pole elektryczne. Katoda jest częścią sfery, a anoda znajduje się w środku tej sfery.

Zapisz, jakim ruchem i po jakim torze (zaznacz na rysunku) będzie poruszać się elektron wybity przez foton, jeżeli jego prędkość początkowa po wybitciu będzie wynosiła zero. Uzasadnij swoją odpowiedź.



**32.4 (3 pkt)**

Fotokomórkę włączono w przedstawiony na rysunku obwód prądu elektrycznego.



Woltomierz, mierzący napięcie na zaciskach opornika, wskazał wartość 4 V, a amperomierz 2 μA. Oba przyrządy są idealne (tzn. opór woltomierza jest nieskończenie duży, a opór amperomierza zerowy). Oblicz opór opornika oraz siłę elektromotoryczną źródła prądu. Opór wewnętrzny źródła prądu jest mały więc go pomini.

Czy zwiększenie siły elektromotorycznej ognia spowoduje proporcjonalne zwiększenie natężenia prądu w obwodzie? Odpowiedz uzasadnij.

**13.24**

**Zadanie 25. Fotoefekt (10 pkt)**

W pracowni fizycznej wykonano doświadczenie mające na celu badanie zjawiska fotoelektrycznego i doświadczalnie wyznaczenie wartości stałej Plancka. W oparciu o wyniki pomiarów sporządzono poniższy wykres. Przedstawiono na nim zależność maksymalnej energii kinetycznej uwalnianych elektronów od częstotliwości światła padającego na fotokomórkę.

**25.1 (1 pkt)**

Odczytaj z wykresu i zapisz wartość częstotliwości granicznej promieniowania dla tej fotokatody.

**25.2 (2 pkt)**

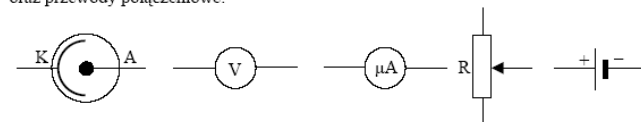
Oblicz, korzystając z wykresu, pracę wyjścia elektronów z fotokatody. Wynik podaj w elektronowoltach.

**25.3 (3 pkt)**

Oblicz doświadczalną wartość stałej Plancka, wykorzystując tylko dane odczytane z wykresu oraz zależność  $h \cdot \nu = W + E_k$ .

**25.4 (4 pkt)**

Narysuj schemat układu elektrycznego pozwalającego wyznaczyć doświadczalnie wartość napięcia hamowania fotoelektronów. Masz do dyspozycji elementy przedstawione poniżej oraz przewody połączeniowe.



**13.25**

**Zadanie 26. Fotokomórka (9 pkt)**

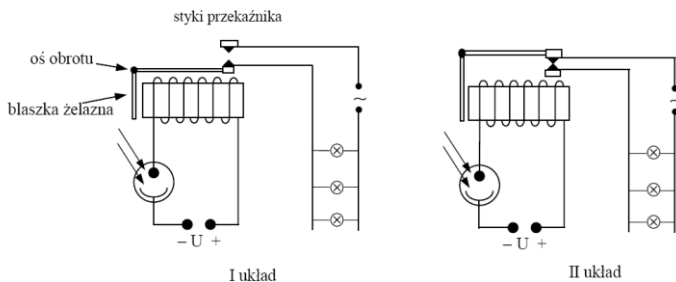
Natężenie prądu elektrycznego płynącego w obwodzie fotokomórki wynosi 0,1 mA, gdy na pokrytą litem fotokatodę pada fala elektromagnetyczna o długości  $\lambda = 337,1 \text{ nm}$  emitowana przez laser azotowy. Praca wyjścia elektronów z litu wynosi 2,4 eV.

- a) Oblicz maksymalną wartość prędkości elektronów po wyjściu z fotokatody. Wynik podaj w m/s. (3 pkt)
- b) Oblicz wartość napięcia hamowania, przy którym ustaje przepływ elektronów wybijanych z fotokatody. (2 pkt)
- c) Oblicz moc wiązki laserowej opisaną w zadaniu. Przyjmij, że wszystkie wyemitowane z katody elektrony docierają do anody, oraz że każdy foton wybija jeden elektron. Wynik podaj w watach. (4 pkt)

**13.26**

**Zadanie 26. (11 pkt) FOTOKOMÓRKA**

Po lekcji o budowie i zasadzie działania fotokomórki nauczyciel fizyki polecił uczniom zaprojektowanie układu, który włączalby oświetlenie, kiedy zapada zmrok i wyłączał, kiedy zaczyna się dzień. Adam zaprojektował I układ, a Alek II układ. Poniższy rysunek przedstawia oba układy. Opis przy układzie I dotyczy także układu II.

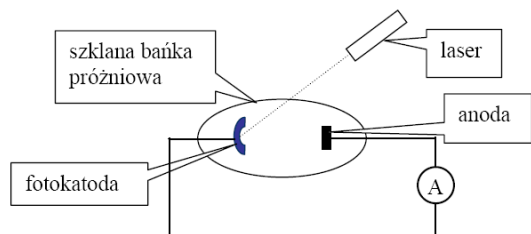


- a) (4 pkt) Napisz, który z układów działa zgodnie z założeniami. Opisz działanie obu układów, gdy światło świeci na fotokomórkę i gdy przestaje świecić.
- b) (3 pkt) Katoda fotokomórki pokryta jest cezem, dla którego praca wyjścia elektronu wynosi 2 eV. Wykaż, że światło o długości fali  $\lambda < 600 \text{ nm}$  (a więc światło widzialne) spowoduje działanie takiej fotokomórki.
- c) (2 pkt) Napięcie w obwodzie z żarówkami ma wartość skuteczną równą 230 V. Oblicz maksymalną wartość napięcia między zaciskami żarówek.
- d) (2 pkt) W obwodzie włączono 3 żarówki o mocy 100 W każda. Oblicz skuteczne natężenie prądu płynącego między stykami przekazywnika.

### 13.27

#### FOTOKOMÓRKA

Na rysunku przedstawiono schemat fotokomórki.



Fotokomórka składa się ze szklanej bańki próżniowej, wewnątrz której znajdują się dwie elektrody, do których może być podłączone źródło napięcia. Wiązka fotonów emitowanych przez laser pada na elektrodę zwaną fotokatodą. Foton padając na fotokatodę oddaje jej całą swoją energię. Energia ta zostaje wykorzystana na wykonanie tzw. pracy wyjścia, w wyniku której elektron zostaje wybity z fotokatody oraz nadanie elektronowi energii kinetycznej. Zjawisko to nosi nazwę efektu fotoelektrycznego zewnętrznego. Wyemitowane w zjawisku fotoelektrycznym elektrony docierają do anody powodując przepływ prądu w tym obwodzie. Po wyłączeniu lasera przepływ prądu ustaje. Przepływ prądu ustaje także po podłączeniu do elektrod tzw. napięcia hamowania. Wówczas elektrony tracą swoją energię kinetyczną w wyniku wykonania pracy przeciw siłom pola elektrycznego i powracają do katody. W jednej z fotokomórek fotokatoda wykonana jest z litu. Praca wyjścia dla litu wynosi 2,4 eV. Na fotokatodę (patrz rysunek) pada fala elektromagnetyczna o długości fali 337,1 nm emitowana przez laser azotowy. Amperomierz wskazuje, że w obwodzie tej fotokomórki płynie prąd o natężeniu 0,1 mA.

#### Zadanie 34 (1 pkt)

Wyjaśnij krótko, na czym polega zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne.

#### Zadanie 35 (2 pkt.)

Ustal, czy następujące stwierdzenie jest prawdziwe:  $Wzór\ Einsteina\ h\nu = W + \frac{mv^2}{2}$ ,

opisujący efekt fotoelektryczny, potwierdza słuszność zasady zachowania energii. Odpowiedź uzasadnij.

#### Zadanie 36 (4 pkt.)

Oblicz energię pojedynczego fotonu emitowanego przez laser. Wynik podaj w eV.

#### Zadanie 37 (4 pkt.)

Oblicz maksymalną wartość prędkości elektronów po wyjściu z fotokatody. Wynik podaj w m/s. Przyjmij, że energia fotonu wynosi 3,7 eV.

#### Zadanie 38 (2 pkt.)

Oblicz wartość napięcia hamowania, przy którym ustaje przepływ elektronów wybijanych z atomów litu w fotokomórcie. Przyjmij, że energia fotonu wynosi 3,7 eV.

#### Zadanie 39 (3 pkt.)

Oblicz liczbę fotonów padających na fotokatodę w ciągu jednej sekundy. Przyjmij, że wszystkie wyemitowane z katody elektrony docierają do anody, oraz że każdy foton wybija jeden elektron.

#### Zadanie 40 (4 pkt.)

Zaznacz w tabeli te lasery, które nie wywołują zjawiska fotoelektrycznego w opisanej fotokomórcie. Odpowiedź uzasadnij, wykonując odpowiednie obliczenia.

Lp	Nazwa lasera	Długość fali elektromagnetycznej emitowanej przez laser [nm]	Wpisz tak lub nie
1	helowo-ksenonowy	2026	
2	szafirowy	694,3	
3	kryptonowo-fluorowy	248	
4	fluoresceinowy	210	

#### Zadanie 41 (3 pkt.)

Oblicz moc wiązki laserowej przyjmując, że ilość fotonów emitowanych przez laser w ciągu sekundy wynosi  $1,7 \cdot 10^{19}$ . Przyjmij energię każdego fotonu równą 3,7 eV. Wynik podaj w watach.

## Korpuskularne właściwości światła i falowe właściwości materii – inne zadania

### 13.28

Spoczywający względem wybranego inercjalnego układu odniesienia, wzbudzony atom wodoru wyemitował kwant promieniowania elektromagnetycznego o długości fali  $\lambda$ . Oblicz prędkość odrzutu atomu i uzyskaną przez niego energię kinetyczną. Masa atomu wodoru jest równa  $m_H$ .

### 13.29

Elektron i proton rozpędzono do takiej samej prędkości. Której z cząstek odpowiada dłuższa fala materii? Ile razy jest dłuższa?

### 13.30

Wyznacz długość fali odpowiadającej pociskowi karabinowemu o masie  $m=3,4g$ , lecącemu z prędkością  $v=900m/s$ . Skomentuj uzyskany wynik.

### 13.31

Do jakiej prędkości należy rozpędzić elektrony, aby mogły zostać użyte do oglądania wirusów w mikroskopie elektronowym? Długość wirusa  $d=2,5 \cdot 10^{-7}m$ . Długość fali de Broglie'a elektronów musi być mniejsza od oglądanego obiektu.

### 13.32

Określ rząd stałej siatki dyfrakcyjnej, na której mogłyby ulec dyfrakcji elektrony o energii 100 eV.

### 13.33

Jakiego napięcia przyspieszającego elektrony używa się w mikroskopie elektronowym, jeśli najmniejsze obserwowane obiekty mają rozmiary rzędu 0,2nm?

### 13.34

Wzbudzone jądro atomowe wyemitowało foton gamma o długości fali  $10^{-13}m$ . Oblicz masę i pęd odpowiadające temu fotonowi. Porównaj masę fotonu z masą spoczynkową elektronu.

### 13.35

W jakiej temperaturze średnia energia kinetyczna cząsteczki gazu jednoatomowego jest taka, jak energia fotonu światła żółtego o długości fali  $5,9 \cdot 10^{-7}m$ ? Odpowiedź podaj też w elektronowoltach.

9. Neutron ma energię kinetyczną równą energii kinetycznej cząsteczki gazu jednoatomowego w temperaturze pokojowej 20°C. Oblicz długość fali związanej z neutronem.

### 13.36

Spoczywający początkowo proton przyspieszony został napięciem 2kV. Oblicz długość fali związanej z protonem.

### 13.37

Elektron ma szybkość 300m/s. Pomiaru tej szybkości dokonano z dokładnością 0,01%. Z jaką największą dokładnością można określić położenie elektronu?

12. Na powierzchnię metalu pada światło o energii fotonów 3 eV. Badając energię otrzymanych fotoelektronów stwierdzono, że najszybsze mają energię kinetyczną o wartości 2 eV. Ile wynosi praca wyjścia dla tego metalu?

### 13.38

Na powierzchnię metalu pada światło o energii fotonów 3 eV. Badając energię otrzymanych fotoelektronów stwierdzono, że najszybsze mają energię kinetyczną o wartości 2 eV. Ile wynosi praca wyjścia dla tego metalu?

### 13.39

Narysuj wykres zależności energii kinetycznej elektronu od częstotliwości dla cezu (praca wyjścia dla cezu wynosi 2,14 eV)

### 13.40

Przeprowadzono doświadczenie, które polegało na tym, że do elektroskopu zamiast kulki przymocowano płytkę cynkową. Płytkę naelektryzowano ładunkiem ujemnym. Następnie oświetlono ją kolejno światłem żółtym o długości fali 600nm i nadfioletem i długości fali 250nm. Praca wyjścia elektronów z cynku wynosi 4,3eV. Jakie efekty zaobserwowano w tym doświadczeniu?

### 13.41

Ile fotonów w ciągu czasu t emituje źródło światła żółtego o mocy P? Długość fali emitowanej przez to źródło wynosi  $\lambda$ .

### 13.42

Katodę fotoogniwa wykonano z metalu, dla którego praca wyjścia wynosi 2,8eV.

a) Naskikuj wykres zależności energii elektronów emitowanych z katody fotoogniwa od energii padających na nią fotonów.

b) Naskikuj wykres zależności wartości prędkości elektronów emitowanych z katody fotoogniwa od długości fali padającego na nią światła.

### 13.43

Elektron na orbicie można opisać za pomocą stojącej fali materii. Elektron na trzeciej orbicie atomu wodoru ma energię  $E_3 = -1,51eV$ , a promień tej orbity wynosi  $4,76 \cdot 10^{-10}m$ . Oblicz, ile długości fal odpowiadających temu elektronowi zmieści się na trzeciej orbicie i przedstaw to na rysunku.