

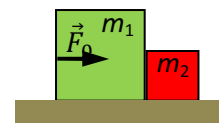
Pytania i zagadnienia do egzaminu pisemnego, 2011/12 (INF)

1. Kinematyka punktu materialnego. **a.** Wyjaśnij, na czym polega względność położenia i względność ruchu? (2p) **b.** Podaj sposoby określania położenia ciała? Zrób odpowiednie rysunki. (2p) **c.** Zdefiniuj przemieszczenie i prędkość średnią. (1p) **d.** Zdefiniuj prędkość chwilową i przyspieszenie chwilowe. (2p) **e.** Podaj różnice między torem i drogą. (1p) **f.** Oblicz przemieszczenie, prędkość i przyspieszenie ciała, wyznacz równanie toru, jeśli podane są funkcje $x(t)$ i $y(t)$.

Np. Położenie krążka hokejowego w płaszczyźnie xy jest dane funkcjami:

$x(t) = (-3,0\text{m} \cdot \text{s}^{-2})t^2 + (-4,0\text{m} \cdot \text{s}^{-1})t$, $y(t) = (-5,0\text{m} \cdot \text{s}^{-1})t$. Znajdź: (a) wektor prędkości \vec{v} krążka; (b) wektor przyspieszenia \vec{a} krążka; (c) równanie toru i naszkicuj go. (3p).

2. a. Wymień i scharakteryzuj oddziaływania fundamentalne. (3p) **b.** Podaj definicję pola fizycznego i przykłady pól fizycznych. Jaką rolę odgrywają pola w przenoszeniu oddziaływań między ciałami? (2p) **d.** Wymień zasady dynamiki klasycznej. Podaj ograniczenia w ich stosowaniu. (3p) **e.** Rozważ dwa klocek o masach m_1 i m_2 (patrz: rys.) poruszające się po gładkim podłożu. Na klocek pierwszy działa siła \vec{F}_0 . Którą zasadę dynamiki można zastosować do ruchu klocek? Wyraźnie zaznacz i wymień wektory sił akcji- reakcji, z jakimi ciała działają na siebie. (2p)



3. a. Omów zagadnienie masy bezwładnej i masy grawitacyjnej. (2p) **b.** Omów ogólnie zastosowanie drugiej zasady dynamiki do znajdowania opisu ruchu ciała ($\vec{r} = \vec{r}(t)$). Jak rozumiesz stwierdzenie: Świat mechaniki klasycznej jest deterministyczny? (3p) **c.** Rozważ przypadek równoważenia się wszystkich sił działających na ciało. (1p) **d.** Omów metodę rozwiązywania dynamicznego równania ruchu na przykładzie ruchu pod wpływem stałej siły wypadkowej \vec{F} (np. w jednorodnym, stałym polu elektrycznym). (2p) **e.** Znajdź równanie ruchu nurka opadającego na dno zbiornika wodnego. Przeanalizuj jego ruch i znajdź prędkość graniczną. (2p)

4. a. W oparciu o pierwszą zasadę dynamiki zdefiniuj inercjalny układ odniesienia. Podaj przykłady takich układów i uzasadnij swój wybór. Zastanów się, czy w warunkach ziemskich możesz podać taki układ, który byłby układem inercjalnym. (3p) **b.** Podaj treść drugiej zasady dynamiki Newtona. Jakie są jej ograniczenia? (2p) **c.** Podaj definicję układu nieinercjalnego, sił bezwładności. (2p) **d.** Porównaj opis ruchu osoby na karuzeli w obu układach, inercjalnym i nieinercjalnym. Opisz i wyjaśnij demonstrację ze spadającą sprężynką „slinky”. (3p)

5. a. Zdefiniuj wielkości opisujące ruch ciała po okręgu (drogę kątową, prędkość i przyspieszenie kątowe). Podaj związek między wielkościami kątowymi i liniowymi. (3p) **b.** Zastosuj drugie prawo dynamiki do opisu ruchu jednostajnego po okręgu w układzie inercjalnym. Znajdź bezpieczną szybkość samochodu pokonującego wyprofilowany zakręt, uwzględniając siłę tarcia. (3p) **c.** Zdefiniuj momentu pędu dla punktu materialnego. (Nie zapomnij podać, jak określić jego kierunek i zwrot). Jak moment pędu zależy od prędkości kątowej? Wyprowadź odpowiednie wyrażenie dla układu punktów materialnych. (4p)

6. a. Zdefiniuj pęd i wyraż drugą zasadę dynamiki poprzez zmianę pędu. Uzasadnij, że ta postać jest bardziej ogólna od poznanej wcześniej. (2p) **b.** Wyprowadź i sformułuj zasadę zachowania pędu (1) pojedynczej cząstki i (2) układu cząstek. (3p) **c.** Jaka jest różnica między zderzeniem sprężystym i niesprężystym? Jakie wielkości są w każdym z tych zderzeń zachowane? Zapisz zasadę zachowania pędu dla sprężystego, niecentralnego zderzenia dwóch kul: kula o masie m_1 i prędkości \vec{v}_1 uderza w spoczywającą kulę o masie m_2 . Po zderzeniu kule poruszają się odpowiednio z prędkościami \vec{u}_1 i \vec{u}_2 , tworzącymi kąty α i β z początkowym kierunkiem ruchu kuli nr 1 (3p). **d.** Omów zagadnienie zmiany pędu w układach nieizolowanych, zdefiniuj impuls siły. Podaj przykłady. (2p)

7. a. Zdefiniuj momentu pędu dla punktu materialnego. (Nie zapomnij podać, jak określić jego kierunek i zwrot). Jak moment pędu zależy od prędkości kątowej? Wyprowadź odpowiednie wyrażenie dla układu punktów materialnych. (4p) **b.** Zdefiniuj moment siły. Wyprowadź związek między momentem siły i zmianą momentu pędu. (2p) **c.** Sformułuj zasadę zachowania momentu pędu dla cząstki / układu cząstek. (2p) **c.** Podaj przykłady konkretnych pól fizycznych, w których moment pędu jest zachowywany i udowodnij to. (2p)

lub wymiennie:

- c.** Wytlumacz, jak w oparciu o zasadę zachowania momentu pędu można wyjaśnić powszechność występowania dysków we Wszechświecie. (2p)
- c.** Wytlumacz, jak w oparciu o zasadę zachowania momentu pędu można wyjaśnić demonstracje na krzeselku obrotowym: z kołem rowerowym i ciężarkami w dłoniach demonstratora. (Z uwzględnieniem kierunków wektorów \vec{L} i \vec{M}) (2p)
- 8. a.** Zdefiniuj pracę elementarną i pracę na skończonym przemieszczeniu ciała. Podaj interpretację geometryczną pracy. (2p.) **b.** Oblicz pracę siły sprężystej wykonaną podczas rozciągania sprężyny (ze wzoru na pracę i metodą graficzną). (2p) **c.** Oblicz pracę wykonaną przez siłę grawitacji lub pracę, jaką należy wykonać przeciwko siłom grawitacji. (2p.) **d.** Zdefiniuj siły zachowawcze. Podaj przykłady sił zachowawczych i niezachowawczych. (2p) **e.** Zdefiniuj moc chwilową. Omów zależność mocy silnika samochodu od szybkości podczas jazdy po poziomej nawierzchni, ze stałą szybkością (przy uwzględnieniu tarcia kinetycznego i oporu powietrza)? (2p)
- 9. a.** Wyprowadź wzór na energię kinetyczną ciała. (2p) **b.** Zdefiniuj energię potencjalną. Podaj wyrażenie na energię potencjalną. (2p) **c.** Znajdź grawitacyjną energię potencjalną, sprężystą energię potencjalną. Narysuj wykresy E_p dla obu przypadków. (2p) **d.** Omów związek pracy wykonanej przez siłę zewnętrzną ze zmianą energii potencjalnej. (2p)
- d.** Jak znaleźć siłę, jeśli znana jest energia potencjalna $E_p(x, y, z)$? Np. w polu kulombowskim $E_p(x, y, z) = kqQ/r$? (2p)
- 10. a.** Zdefiniuj energię mechaniczną (podaj wyrażenia na energię kinetyczną i energię potencjalną). (2p) **b.** Wyprowadź i sformułuj zasadę zachowania energii mechanicznej. (3p) **c.** Znajdź wyrażenie na sprężystą energię potencjalną. Omów przemiany energii podczas skoku na bungee lub podczas ruchu w ziemskim polu grawitacyjnym (3p) **e.** Omów przypadek przemian energii, gdy działają siły niezachowawcze, np. dla samochodu zjeżdżającego po pochyłej drodze. (2p)
- 11. a.** Omów rolę drgań w technice. Podaj definicje drgań: własnych, wymuszonych, harmonicznyc. (2p) **b.** Omów jednowymiarowy oscylator mechaniczny, nietłumiony na przykładzie masy m zawieszony na sprężynie. Podaj równanie ruchu i jego rozwiązanie dla warunków początkowych $x(0) = x_0, v(0) = v_0$. (4p) Znajdź energie: potencjalną i kinetyczną oscylatora w funkcji czasu i narysuj ich wykresy. (2p) **c.** Znajdź energię mechaniczną oscylatora w dowolnej chwili t . Czy energia ta jest zachowana? (2p)
- 12. a.** Omów jednowymiarowy oscylator tłumiony tarciem wiskotycznym. Podaj równanie ruchu i jego rozwiązanie dla przypadku słabego tłumienia. Znajdź wyrażenie na częstość oscylatora. Naszkicuj $x(t)$ dla przypadków tłumienia słabego i silnego. (4p) **b.** Zdefiniuj logarytmiczny dekrement tłumienia drgań, wyprowadź jego związek ze współczynnikiem tłumienia. (2p) **c.** Wykaż, że szybkość zmian w czasie energii tego oscylatora, dE/dt , jest równa mocy traconej na opory ruchu. (2p) **d.** Dlaczego w konstrukcjach drgania są niepożądane i dąży się do ich wytłumienia? (2p)
- 13. a.** Napisz równanie ruchu oscylatora tłumionego z siłą wymuszającą $F = F_0 \sin \Omega t$, narysuj wykres drgań wymuszonych w funkcji czasu, podaj ogólne rozwiązanie wyżej wymienionego równania dla stanu ustalonego. (3p) **b.** Co to jest częstość drgań własnych ω_0 ? Jak definiujemy współczynnik tłumienia β ? (2p) **c.** Na czym polega zjawisko rezonansu mechanicznego? Jakim wzorem dana jest częstość rezonansowa Ω_r ? (2p) **d.** Amplituda drgań wymuszonych dana jest wzorem:

$$x_0 = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + (2\beta\Omega)^2}}$$

Znajdź amplitudę drgań wymuszonych dla częstości rezonansowej Ω_r – jakie wnioski można z uzyskanego wyniku wyciągnąć odnośnie wpływu współczynnika tłumienia na zjawisko rezonansu. Naszkicuj wykresy uniwersalnych

krzywych rezonansowych $\frac{x_0}{x_{st}} = f(\Omega/\omega_0)$ dla różnych współczynników tłumienia. Omów wpływ tłumienia na drgania wymuszone. (3p) Podaj przykłady występowania rezonansu i jego skutki. (1p)

14. a. Wymień rodzaje fal występujących w przyrodzie. Podaj definicję fali mechanicznej, czoła fali, powierzchni falowej. Omów fale poprzeczne i podłużne - w jakich ośrodkach mogą się rozchodzić – podaj przykłady. (3p) **b.** Omów fale harmoniczne biegnące. Napisz funkcję falową $\psi(x, t)$ harmonicznej fali biegnącej. Narysuj wykres $\psi(x, t)$ dla ustalonej chwili $t = t_0$. (2p) **c.** Jaki jest sens fizyczny ψ oraz $\partial\psi/\partial t$? (2p) **d.** Od czego zależy prędkość fali mechanicznej? Dla fali biegnącej wzdłuż liny opisanej wzorem:

$\psi(x, t) = (0,45\text{cm}) \sin[(6,28\text{rad/m})x - (3,14\text{rad/s})t + 1,57\text{rad}]$, 1. oblicz długość i prędkość fali. 2. dla elementu x_0 wyznacz jego poprzeczną prędkość u . (3p)

15. a. Podaj definicję fali mechanicznej. Napisz funkcję falową $\psi(x, t)$ harmonicznej fali biegnącej. Jaki jest sens fizyczny ψ oraz $\partial\psi/\partial t$? Scharakteryzuj ruch elementu ośrodka, uczestniczącego w ruchu falowym (wykres). (3p)

b. Omów zjawisko interferencji fal. Co to znaczy, że fale są spójne? Narysuj odpowiednie wykresy. (2p) **c.** Wyrowadź równanie fali stojącej i scharakteryzuj ją - narysuj odpowiednie wykresy. Podaj przykład fali stojącej zademonstrowanej na wykładzie. Wyjaśnij, dlaczego fala stojąca nie przenosi energii. Jakie są różnice między falami biegnącymi a stojącymi? (3p) **d.** Jakie częstotliwości drgań własnych mogą być wzbudzone w strunie o długości l ? Na czym polega różnica w zjawisku rezonansu dla struny i ciężarka na sprężynie? (2p)

16. a. Napisz funkcję falową $\psi(x, t)$ harmonicznej fali biegnącej – wyjaśnij jej sens fizyczny. Omów zagadnienie przenoszenia energii przez mechaniczne fale biegnące. Wyrowadź wyrażenie na średnią moc w ruchu falowym. (3p)

b. Omów fale na wodzie. Wyjaśnij, skąd się bierze niszczycielska siła fal tsunami (sporządź odpowiedni rysunek). (2p)

c. Omów powstawanie fal stojących, wyrowadź równanie fali stojącej. Wyjaśnij, dlaczego fala stojąca nie przenosi energii. Jakie są różnice między falami biegnącymi a stojącymi? (3p) **d.** Jakie częstotliwości drgań własnych mogą być wzbudzone w strunie o długości l ? Na czym polega różnica w zjawisku rezonansu dla struny i ciężarka na sprężynie? (2p)

17. a. Scharakteryzuj fale akustyczne i omów ich rozchodzenie się. Od czego zależy szybkość fal akustycznych? Wyjaśnij, dlaczego fale te można traktować jak fale ciśnieniowe. Podaj funkcję falową harmonicznej fali akustycznej rozchodzącej się z prędkością 343m/s, o częstotliwości 600Hz i amplitudzie A . (3p) **b.** Zdefiniuj natężenie fali akustycznej, wyrowadź wzór. Zdefiniuj poziom natężenia dźwięku. Omów odbieranie dźwięków przez ludzkie ucho i wielkości charakteryzujące słyszalne dźwięki. (3p) **c.** Wyjaśnij, na czym polega zjawisko dudnień, kiedy występuje i gdzie jest wykorzystywane? Wyrowadź wyrażenie na wypadkowe drgania w zjawisku dudnień. Podaj wzór na amplitudę modulacji i częstość dudnień. Naskicuj wykresy funkcji $x_1(t)$, $x_2(t)$ i wypadkowych drgań $x(t)$. Zaznacz okres modulacji T_{mod} i okres drgań T . (4p)

18. a. Scharakteryzuj fale akustyczne i omów ich rozchodzenie się. Od czego zależy szybkość fal akustycznych? Omów odbieranie dźwięków przez ludzkie ucho i wielkości charakteryzujące słyszalne dźwięki. (3p) **b.** Na czym polega zjawisko Dopplera? Podaj przykłady wykorzystania efektu Dopplera. Wyrowadź wyrażenie na częstotliwość dźwięku dla przypadku źródła poruszającego się względem obserwatora z szybkością u_z . (4p) **c.** Wyrowadź wyrażenie na częstotliwość dźwięku dla przypadku obserwatora poruszającego się względem źródła z szybkością u_o .

Jaką postać przyjmuje wyrażenie na częstotliwość dźwięku, gdy zarówno obserwator jak i źródło poruszają się względem siebie? (3p)

19. a. Wyjaśnij, na czym polega kwantowanie ładunków występujących w przyrodzie. Zdefiniuj i omów pole elektryczne – jego źródła, zdefiniuj wektor natężenia pola elektrycznego \vec{E} i strumień natężenia pola elektrycznego Φ_E , graficzny sposób przedstawiania pola. (3p) **b.** Podaj wyrażenie na siłę Coulomba i zastosuj go w przykładzie z atomem wodoru w celu wyznaczenia promienia orbity oraz energii elektronu - uwzględnij warunek Bohra - kwantowanie momentu pędu elektronu. (4p) **c.** Sformułuj prawo Gaussa dla pola elektrycznego i sprawdź jego słuszność w przypadku ładunku punktowego wewnątrz sfery. (3p)

20. a. Zdefiniuj pole magnetyczne i wektor indukcji pola magnetycznego \vec{B} , wymień źródła tego pola. Podaj równanie ruchu i scharakteryzuj ruch cząstki w polu magnetycznym jednorodnym i niejednorodnym. (3p) **b.** Omów pole magnetyczne Ziemi i jego znaczenie dla życia na Ziemi. Co to są pasy radiacyjne Van Allena? Jak wytłumaczysz powstawanie zorzy polarnej? (2p) **c.** Zdefiniuj strumień pola magnetycznego. Podaj prawo Gaussa dla pola magnetycznego. (2p) **d.** Omów zjawisko Halla i wyprowadź wyrażenie na napięcie Halla. (3p)

21. a. Na czym polega przepływ prądu elektrycznego? Zdefiniuj natężenie prądu elektrycznego. Wyprowadź wzór na natężenie prądu w przewodniku. **b.** Zdefiniuj siłę elektromotoryczną i wymień jej źródła. (1p) **c.** Podaj doświadczalne dowody na to, że prądy elektryczne są źródłami pola magnetycznego (np. omów demonstracje). Zdefiniuj cyrkulację (krążenie) wektora \vec{B} . Sformułuj prawo Ampere'a. (3p) **d.** Zastosuj prawo Ampere'a do wyprowadzenia wzoru na wartość indukcji magnetycznej wokół prostoliniowego przewodnika z prądem. (3p) **e.** Uogólnij je na przypadek, gdy pole magnetyczne jest indukowane przez zmienne pole elektryczne. (2p)

22. a. Zdefiniuj siłę elektromotoryczną, strumień pola magnetycznego Φ_B oraz krążenie (cyrkulację) K_E wektora natężenia pola elektrycznego (3p) **b.** Podaj prawo Faraday'a, regułę Lenza. (2p) **c.** Wyprowadź zależność między cyrkulacją K_E i zmianą strumienia pola magnetycznego. Jaka jest różnica między liniami pola elektrycznego wytworzonego przez ładunki statyczne i liniami pola indukowanego? (3p) **d.** Omów zasadę działania prądnicy prądu przemiennego. Podaj wyrażenie na siłę elektromotoryczną, sporządź jej wykres. Znajdź natężenie prądu płynącego przez odbiornik o oporze R . (2p)

23. a. Zdefiniuj wielkości opisujące pole elektryczne i magnetyczne: wektor natężenia pola elektrycznego, wektor indukcji magnetycznej. (2p) **b.** Omów ruch cząstki o ładunku q w jednorodnym polu elektrycznym o natężeniu \vec{E} (Napisz równanie ruchu, warunki początkowe. Uwzględnij różne kierunki jej prędkości początkowej względem kierunku pola. Przeanalizuj ruch względem każdej osi.) (3p) **c.** Omów ruch cząstki o ładunku q w polu magnetycznym; uwzględnij przypadek jednorodnego pola prostopadłego do kierunku ruchu cząstki. (2p) Na przykładzie zjawiska Halla omów ruch cząstki w polach elektrycznym i magnetycznym. Wyprowadź wyrażenie na napięcie Halla. (3p)

24. a. Podaj prawa Maxwella (wyjaśnij ich sens fizyczny, objaśnij znaczenie symboli). (2p) **b.** Objasnij, na czym polega rozchodzenie się fal elektromagnetycznych. Podaj wyrażenia na natężenie pola elektrycznego i indukcji magnetycznej dla płaskiej, harmonicznnej fali elektromagnetycznej w próżni. Narysuj wykres takiej fali. (2p) **c.** Scharakteryzuj fale elektromagnetyczne (rodzaj fali, szybkość rozchodzenia się, zakresy widma elektromagnetycznego, itd.). (2p) **d.** Wymień zjawiska świadczące o tym, że fala elektromagnetyczna przenosi pęd i energię. (2p) **e.** Omów widmo promieniowania elektromagnetycznego. Czego dotyczy dualizm falowo korpuskularny promieniowania elektromagnetycznego? (2p)

25. a. Podaj równania płaskiej, harmonicznnej fali elektromagnetycznej w próżni i wyrażenie na szybkość światła c . Sporządź jej wykres. (2p) **b.** Jak zmieni się szybkość światła w ośrodku nieprzewodzącym (np. w szkłe)? Omów zjawiska odbicia i załamania światła. Co to jest kąt graniczny? (2p) **c.** Na czym polega zjawisko dyspersji światła? Podaj jego przykłady. Wyjaśnij zjawisko rozszczepienia światła białego przez pryzmat i powstawania tęczy. Wykonaj odpowiednie rysunki. (2p) **d.** Omów zjawisko polaryzacji, sposoby polaryzacji światła oraz wykorzystanie zjawiska polaryzacji ze szczególnym uwzględnieniem elastoptyki. Czy fala z punktu a) jest spolaryzowana? Uzasadnij odpowiedź. (4p)

26. a. Podaj wyrażenia na natężenie pola elektrycznego i indukcji magnetycznej dla płaskiej, harmonicznnej fali elektromagnetycznej w próżni. Narysuj wykres takiej fali. Wymień zjawiska świadczące o falowej naturze światła. (2p) **b.** Na czym polega zjawisko dyspersji światła? Podaj jego przykłady. Wyjaśnij zjawisko rozszczepienia światła białego przez pryzmat i powstawania tęczy. Wykonaj odpowiednie rysunki. (2p) **d.** Podaj zasadę Huygensa i wytłumacz za jej pomocą zjawisko dyfrakcji. Jaka jest różnica między ugięciem i załamaniem światła? (2p) **e.** Omów interferencję światła na dwóch szczelinach; wyprowadź wyrażenie na jasny prążek w obrazie interferencyjnym dla przypadku dwóch szczelin. Jaki warunek muszą spełniać fale, aby zaszła interferencja? Przykłady interferencji światła (m.in. siatka dyfrakcyjna i jej zastosowanie). (4p)

27 a. Czego dotyczy szczególna teoria względności? Podaj jej postulaty. (2p) **b.** Wyprowadź wzory transformacji Lorentza dla współrzędnych. (Wytłumacz kolejne kroki wyprowadzenia!) Pokaż, że transformacja Galileusza jest granicznym przypadkiem transformacji Lorentza. (3p) **c.** Wyprowadź wzory na transformację współrzędnych prędkości relatywistycznej. (3p) **d.** Dwie wiązki elektronów wylatują z akceleratora z prędkościami o wartościach odpowiednio $0,8c$ i $0,9c$. Wiązki te skierowano przeciwnie. Oblicz wartość prędkości względnej elektronów z punktu odniesienia jednej z wiązek. Udowodnij, że transformacja Lorentza dla prędkości daje zawsze wynik zgodny z postulatem Einsteina. Czy taki sam wynik dostaniesz z transformacji Galileusza? (2p)

28. a. Podaj wzory transformacji Lorentza współrzędnych. (2p) **b.** Zdefiniuj długość własną. (1p) Omów relatywistyczny efekt skrócenia długości – wyprowadź wzór. Podaj przykłady, kiedy jest obserwowany efekt skrócenia. (3p) **c.** Wyjaśnij, jaka jest różnica między długością mierzoną a „widzianą” (wykres!)? (2p) **d.** Omów względność równoczesności zdarzeń oddalonych. Wyprowadź wzór. (2p)

29. a. Czego dotyczy szczególna teoria względności? Podaj jej postulaty. (2p) **b.** Porównaj zasadę względności Einsteina z zasadą względności Galileusza. (1p) **c.** Wyjaśnij, na czym polega względność czasu w fizyce relatywistycznej. Zdefiniuj czas własny. Wyprowadź wyrażenie na dylatację czasu. Sprawdź, co dostaniesz w granicy klasycznej. (4p) Podaj przykłady, kiedy należy uwzględnić zjawisko dylatacji czasu. (1p) **d.** Wyjaśnij, na czym polega względność równoczesności zdarzeń oddalonych. Wyprowadź wzór. (2p)

30. a. Zdefiniuj pęd relatywistyczny i pokaż, że wyrażenie to przechodzi w definicję pędu klasycznego dla przypadku granicznego. Narysuj wykres pędu: klasycznego i relatywistycznego w funkcji v/c . (2p) **b.** Jaką postać ma druga zasada dynamiki dla przypadków relatywistycznych? Porównaj zachowanie cząstek relatywistycznych z klasycznymi, jeśli działa na nie stała siła – wyprowadź wzór na zależność przyspieszenia od siły. Gdzie mamy do czynienia z ruchem cząstek relatywistycznych? (4p) **c.** Omów relatywistyczną energię: całkowitą i kinetyczną. Wyprowadź wyrażenie łączące energię relatywistyczną z pędem. (2p) **d.** Wyjaśnij, na czym polega równoważność masy i energii. Podaj przykłady. (2p)

31. a. Na czym polega kwantowanie wielkości fizycznych? Podaj przykłady kwantowania wielkości w fizyce. (1p) **b.** Omów kwantową teorię światła. Jak teoria Einsteina tłumaczy zjawisko fotoelektryczne? (3p) **c.** Na czym polega dualizm falowo-korpuskularny promieniowania, materii? (2p) **d.** Czego dotyczy hipoteza de Broglie'a? Podaj przykłady jej potwierdzenia przez doświadczenie. Dlaczego zjawiska związanych z falami materii nie obserwujemy w naszym otoczeniu? Czego dotyczy zasada komplementarności (3p) **e.** Gdzie wykorzystuje się falową naturę materii? (1p)

32. a. Omów zasady nieoznaczoności Heisenberga. Jakie są konsekwencje poznanej na wykładzie zasady nieoznaczoności? (2p) **b.** W jaki sposób znajdujemy funkcje falowe w mechanice kwantowej? Jaką informację zawierają te funkcje? Podaj probabilistyczną interpretację funkcji falowej. (2p) **c.** Omów zjawisko tunelowania cząstek przez bariery potencjału i jego zastosowania. (3p) **d.** Na przykładzie energii atomu wodoru omów kwantowanie energii. Wyprowadź wzór na energię elektronu w atomie wodoru w modelu Bohra (wykład 10), długość fali w emitowanych przez atom widmach. (3p)