

Podstawy Fizyki Współczesnej I

Podsumowanie wykładu (12.06.2007)

Uwaga: zagadnienia oznaczone gwiazdką są nieco bardziej złożone i na ocenę dostateczną jest wymagana jedynie ich pobieżna znajomość.

Blok I

I Mechanika newtonowska

1. Podstawowe zasady mechaniki newtonowskiej:
 - (a) I zasada dynamiki Newtona (zasada bezwładności); inercjalne układy odniesienia.
 - (b) II zasada dynamiki Newtona; problem wyznaczania ruchu ciał jako zagadnienie początkowe dla układu równań różniczkowych zwyczajnych drugiego rzędu; zasada addytywności sił.
 - (c) III zasada dynamiki Newtona (zasada akcji i reakcji); prawo zachowania pędu.
2. Przykład całkowania równań ruchu: ruch cząstki naładowanej w stałych, jednorodnych i skrzyżowanych polach \vec{E} i \vec{B} .
3. Praca, energia kinetyczna; $W = \Delta E_k$.
4. Siły zachowawcze; energia potencjalna siły zachowawczej.
5. $\Delta E_k + \Delta E_p = W_{inne}$. Zasada zachowania energii mechanicznej dla ruchu ciała w polu sił zachowawczych.
6. Jakościowa dyskusja ruchu ciała w polu siły zachowawczej w jednym wymiarze.
7. Moment pędu; równanie ewolucji dla momentu pędu.
8. Ruch w polu siły o potencjale $V(r)$:
 - (a) Moment pędu jako całka ruchu; stałość prędkości polowej; płaszczyzna ruchu; opis ruchu we współrzędnych biegunowych.
 - (b) Całka energii we współrzędnych biegunowych; potencjał efektywny.
 - (c) Równania ruchu we współrzędnych biegunowych i związek z całkami pierwszymi.
 - (d) Tor $r(\phi)$ we współrzędnych biegunowych — wyrażenie w kwadraturach.
9. Ruch w polu siły o potencjale $V(r) = -\frac{\alpha}{r}$, gdzie $\alpha > 0$:
 - (a) potencjał efektywny; jakościowa dyskusja ruchu w zależności od wartości energii.
 - (b)* wyrażenie na tor we współrzędnych biegunowych i kartezjańskich; orbity eliptyczne; III prawo Keplera.
- 10.* Dyskusja różnych ruchów w potencjale $V(r) = -\frac{\alpha}{r} - \frac{\beta}{r^2}$, gdzie $\alpha, \beta > 0$. Porównanie z przypadkiem $\beta = 0$: spadek na centrum siły, wzór Bineta, precesja perycentrum orbity.
11. Rozpraszanie w polu siły o potencjale sferycznie symetrycznym:
 - (a) Parametr zderzenia.
 - (b) Całkowity przekrój czynny.
 - (c)* Przykład: całkowity przekrój czynny na rozpraszanie pod kątem $\theta > \pi/2$ na potencjale $V(r) = -\frac{\alpha}{r}$, gdzie $\alpha > 0$.

- (d) Doświadczalne wyznaczanie całkowitych przekrojów czynnych.
12. Dynamika układu dwóch ciał, oddziałujących siłami centralnymi:
- (a) Środek masy; ewolucja położenia środka masy.
 - (b) Separacja ruchu względnego; masa zredukowana.
 - (c)* Rozkład całkowitego momentu pędu na moment pędu środka masy względem początku układu współrzędnych i moment pędu względem środka masy; wyrażenie na moment pędu ruchu względnego.
 - (d)* Rozkład energii kinetycznej na energię kinetyczną ruchu postępowego środka masy i energię kinetyczną ruchu względem środka masy (tw. Königa); wyrażenie na energię ruchu względnego.
 - (e)* Szkicowanie trajektorii ciał o zbliżonych masach, oddziałujących siłą o potencjale $V(r) = -\frac{\alpha}{r}$, $\alpha > 0$.
13. Ruch względem nieinercjalnego układu odniesienia; równanie ruchu dla ruchów krótkotrwałych przy powierzchni Ziemi.

II Mechanika w ujęciu Lagrange'a

1. Układy mechaniczne z więzami holonomicznymi dwustronnymi – przykłady.
2. Równanie ruchu dla układów z więzami holonomicznymi dwustronnymi: równania Lagrange'a I rodzaju.
3. Wprowadzenie do rachunku wariacyjnego:
 - (a) Przykład problemu wariacyjnego: optymalna trajektoria dla ciała poruszającego się po płaszczyźnie z prędkością, która zależy od położenia w zadany sposób, np. $v(x, y) = v_0(1 + x/a)$.
 - (b)* Zagadnienie wariacyjne dla funkcjonału postaci $I[y] = \int_{x_A}^{x_B} dx F(x, y(x), dy/dx)$, w klasie funkcji gładkich $y(x)$, spełniających warunki brzegowe $y(x_A) = y_A$, $y(x_B) = y_B$; wyrażenie na pierwszą wariację funkcjonału.
 - (c) Ekstremale funkcjonału; równanie Eulera-Lagrange'a.
 - (d) Równania Eulera-Lagrange'a dla zagadnienia wariacyjnego z wieloma zmiennymi zależnymi.
 - (e) Całki pierwsze równań Eulera-Lagrange'a.
4. Równania Newtona dla punktu materialnego w polu siły potencjalnej jako równania Eulera-Lagrange'a dla funkcjonału działania (zasada Hamiltona).
5. Ruch punktu materialnego opisywany we współrzędnych krzywoliniowych: zasada Hamiltona we współrzędnych krzywoliniowych i równania Lagrange'a II rodzaju.
6. Równania Lagrange'a II rodzaju dla układów poddanych więzom holonomicznym:
 - (a) Współrzędne uogólnione.
 - (b) Zasada Hamiltona we współrzędnych uogólnionych; równania Lagrange'a II rodzaju dla układu poddanego więzom holonomicznym.
 - (c)* Zasada Hamiltona dla układu z więzami holonomicznymi, sformułowana we współrzędnych kartezyjskich – równoważność równań Lagrange'a II rodzaju we współrzędnych uogólnionych i równań Lagrange'a I rodzaju.

7. Przykłady równań Lagrange'a II rodzaju dla układów z więzami holonomicznymi:
 - (a) wahadło matematyczne płaskie;
 - (b) koralik ślizgający się bez tarcia po ukośnie ustawionym pręcie, wirującym wokół pionowej osi.
8. Całki pierwsze równań Lagrange'a II rodzaju:
 - (a) Współrzędne cykliczne.
 - (b) Hamiltonian; zasada zachowania.
9. Problem jednoznaczności lagranżjanu.

Blok II

III Wprowadzenie do dynamiki bryły sztywnej

1. Ruch płasko-równoległy:
 - (a) Moment pędu ciała wirującego wokół ustalonej osi; moment bezwładności; energia kinetyczna.
 - (b) Obliczanie momentu bezwładności przy użyciu twierdzenie Steinera.
 - (c) Równania Lagrange'a II rodzaju dla ruchu płasko-równoległego bryły sztywnej.
 - (d) Przykłady: walec staczający się bez poślizgu po równi pochyłej.
2. * Moment pędu wirującej bryły sztywnej w przypadku ogólnym; tensor bezwładności; osie główne i główne momenty bezwładności.
3. * Energia kinetyczna wirującej bryły sztywnej w przypadku ogólnym.
4. * Opis ruchu obrotowego w przypadku ogólnym — kąty Eulera.
5. * Przykład bardziej złożonego ruchu bryły sztywnej: precesja wirującego bąka symetrycznego w jednorodnym polu grawitacyjnym:
 - (a) lagranżjan dla wirującego bąka symetrycznego, którego jeden punkt jest nieruchomy;
 - (b) równania Lagrange'a II rodzaju;
 - (c) całki pierwsze;
 - (d) rozwiązanie równań ruchu opisujące precesję i częstość precesji.
6. * Wprowadzenie do hamiltonowskiego sformułowania mechaniki:
 - (a) Problem sprowadzenia n równań Lagrange'a II rodzaju do układu $2n$ równań pierwszego rzędu. Pędy kanonicznie sprzężone.
 - (b) Równania Hamiltona w ogólnym przypadku; równoważność z równaniami Lagrange'a II rodzaju.
 - (c) Zalety równań Hamiltona w porównaniu z równaniami Lagrange'a II rodzaju.

IV Elementy szczególnej teorii względności.

1. Problem prędkości światła w różnych układach odniesienia.
2. Zasada względności w ujęciu Galileusza i Einsteina.
3. Zegar świetlny i dylatacja czasu.
4. Pomiar długości metodą czasu przelotu i skrócenie Lorentza.
5. * Transformacja Lorentza: wyprowadzenie z zasady bezwładności i zasady względności, bez odwoływania się do postulatu o niezmienniczości prędkości światła.
6. Paradoks tyczki i stodoły; względność następstwa czasowego zdarzeń. Paradoks bliźniąt.
7. Diagramy czasoprzestrzenne, linie świata cząstek.
8. Interwał czasoprzestrzenny: niezmienniczość; interwały typu czasowego, przestrzennego, zeroowego. Przyszłość, przeszłość, stożek świetlny danego zdarzenia.
9. Macierz transformacji Lorentza; czterowektory.
10. Iloczyn skalarny czterowektorów; niezmienniczość względem pchnięć lorentzowskich i obrotów.
11. Relatywistyczne prawo składania prędkości; c jako prędkość graniczna.
12. Relatywistyczny opis pędu: problem z zasadą zachowania pędu zdefiniowanego nierelatywistycznie przy przejściu do innego układu odniesienia.
13. Czas własny cząstki; czteroprędkość; czterowektor pędu. Krytyka pojęcia relatywistycznej masy zależnej od prędkości.
14. Relatywistyczne wyrażenie na energię cząstki:
 - (a) relatywistyczna energia kinetyczna;
 - (b) energia spoczynkowa; deficyt masy w jądrach atomowych i energia wiązania jako przykład związku między masą i energią.
15. Zasada zachowania całkowitego czteropędu w procesach relatywistycznych. Przykłady:
 - (a) Rozpad dwuciałowy (przemiana energii spoczynkowej w energię kinetyczną produktów rozpadu).
 - (b) Zderzenia całkowicie niesprężyste dwóch ciał.
16. Czteropęd cząstki o zerowej masie spoczynkowej.
17. Relatywistyczna dynamika punktu materialnego w polu siły zewnętrznej:
 - (a) Relatywistyczne uogólnienie równania ruchu.
 - (b) Związek między pracą a energią kinetyczną w przypadku relatywistycznym.
 - (c) Przykład: relatywistyczny ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu magnetycznym.

V Elementy elektrostatyki

1. Pole elektryczne układu ładunków punktowych i ciągłego rozkładu ładunku.
2. Linie pola elektrostatycznego.
3. Prawo Gaussa.
 - (a) Wyprowadzenie.
 - (b) Zastosowania: obliczanie pola elektrycznego sferycznie symetrycznego rozkładu ładunku.
4. Potencjał pola elektrostatycznego:
 - (a) Potencjał układu ładunków punktowych, potencjał ciągłego rozkładu ładunku.
 - (b) Przykład: potencjał jednorodnie naładowanej, nieskończenie długiej prostoliniowej nici (problem wyboru punktu normowania potencjału).
 - (c) Obliczanie potencjału przy zadanym polu elektrostatycznym.
 - (d) Powierzchnie ekwipotencjalne.
5. Potencjał zlokalizowanego rozkładu ładunku na dużych odległościach; człon monopolowy i dipolowy; elektryczny moment dipolowy rozkładu ładunku.
6. Twierdzenie Gaussa z analizy wektorowej i różniczkowa postać prawa Gaussa.
7. Równanie Poissona.
8. Rotacja pola elektrostatycznego. Twierdzenie Stokesa. Wnioski co do przebiegu linii pola elektrostatycznego.
9. * Twierdzenie o jednoznaczności pola wektorowego o zadanej dywergencji i rotacji.
10. Równania pola dla statycznego pola elektrycznego.

VI Elementy magnetostatyki

1. Bezźródłowy charakter pola magnetycznego.
2. Krążenie pola magnetycznego:
 - (a) obliczenie dla pętli otaczającej dowolną konfigurację nieskończenie długich przewodników prostoliniowych;
 - (b) dowolny rozkład prądów — prawo Ampère'a w postaci całkowej.
3. Wektor gęstości prądu.
4. Prawo Ampère'a w postaci różniczkowej. Równania pola dla magnetostatyki.
5. Potencjał wektorowy pola magnetycznego. Swoboda wyboru cechowania. Przykład: potencjał wektorowy dla stałego i jednorodnego pola magnetycznego.
6. Wyznaczanie potencjału wektorowego przy zadanych źródłach:
 - (a) Równanie różniczkowe dla potencjału wektorowego.
 - (b) Ogólne wyrażenie na potencjał wektorowy przy zadanej gęstości prądu.

7. Prawo Biota-Savarta.

8.* Potencjał wektorowy zlokalizowanego układu prądu na dużych odległościach; człon dipolowy; magnetyczny moment dipolowy płaskiej pętli z prądem.

VII Elementy dynamiki pól elektrycznych i magnetycznych

1. Uogólnienie równań pola na przypadek pól zależnych od czasu:

- (a) Prawo indukcji Faraday'a w postaci całkowej i różniczkowej.
- (b) Uogólnienie prawa Ampère'a.

2. Równania falowe dla pól \vec{E} i \vec{B} przy braku źródeł. Rozwiązania w postaci fal płaskich.

3. Ogólne rozwiązanie równań Maxwella przy różnej od zera gęstości ładunku i gęstości prądu.

- (a) Potencjał skalarny i wektorowy pól zależnych od czasu; swoboda wyboru cechowania potencjału.
- (b) Równania pola dla potencjałów; cechowanie Lorentza.
- (c)* Ogólne rozwiązanie niejednorodnych równań falowych na potencjały: potencjały retardowane.

4.* Pole elektromagnetyczne w dużej odległości od zlokalizowanych źródeł zależnych od czasu w przybliżeniu dipolowym:

- (a) Wiodący wkład do wyrażenia na potencjał skalarny i wektorowy.
- (b) Wiodący wkład do pola \vec{B} .
- (c) Wiodący wkład do pola \vec{E} .

Piotr Rączka