Klassische Mechanik

WS 02/03 C. Wetterich

Übersicht

0) Einführung

I Newtonsche Mechanik

1) Die Newtonschen Gesetze
   a) Kinetik, Beschreibung durch Massenpunkte
   b) Kraft
      (i)Kraftgesetze
      (ii)Differentialgleichungen für einfache Kraftgesetze
   c) Wichtige Kräfte
      (i)unabhängige Kräfte
      (ii)Zweikörperproblem
      (iii)Gravitationskraft zwischen zwei Körpern
      (iv)Invarianzen
      (v)Gravitationelles N-Körper System
      (vi)Gravitationsfeld
      (vii)Elektromagnetische Kräfte

2) Bewegung eines Massenpunktes
   a) Kraftfeld
   b) Eindimensionales Problem und allgemeine Lösung
   c) Periodisches Potenzial
      (i)beschränkte und unbeschränkte Bewegung
      (ii)Stabilität gegen kleine Änderung der Anfangsbedingungen
      (iii)Phasenportrait, Separatrix

3) Energiesatz
   a) Konservatives Kraftfeld, Potenzial und Energieerhaltung
   b) Stabile und instabile Bahnen
   c) Equivalente Bedingungen für konservatives Kraftfeld
   d) Eigenschaften von Wegintegralen
   e) Teilchenbeschleuniger

4) Systeme von Massenpunkten in Wechselwirkung
   a) Konfigurationsraum
   b) konservative äußere Kräfte und zentrale innere Paarkräfte

5) Erhaltungssätze (Impuls, Drehimpuls)
   a) Impuls
      (i)Erhaltung des Gesamtimpulses
      (ii)Schwerpunkt- und Relativbewegung
      (iii)Wie gut ist Beschreibung durch Massenpunkt für ausgedehntes System?
      Rückwirkung der inneren Dynamik auf Schwerpunktsbewegung
      (iv)Taylor-Entwicklung für schwach inhomogene Potenziale
      (v)Gezeitenkräfte
   b) Drehimpuls
      (i)Drehmoment
      (ii)Drehimpulserhaltung für Zentralkräfte

6) Zweikörperproblem
   a) Reduktion auf Punktteilchen in Kraftfeld, Energie- und Drehimpulserhaltung
   b) Flächensatz
   c) Bewegungsgleichung in Polarkoordinaten

d) Effektives Potenzial und Zentrifugalbarriere
e) Bahnkurve
f) Planetenbahnen, Keplerproblem
g) Ungebundene Bewegung, Streuung

7) Virialsatz
a) Zeitliche Mittelwerte von kinetischer und potenzieller Energie
b) Homogene Potenziale

II Lagrange Formalismus

8) Die Lagrange Methode erster und zweiter Art (Zwangsbedingungen)
- a) Problemstellung mit Zwangskräften
  - i)Lösungsstrategien
  - ii)Sphärisches Pendel
  - iii)Tangentialraum und virtuelle Verrückungen
  - iv)Gleichgewichtsbedingung für einen Massenpunkt
- b) Lagrange-Methode erster Art
  - i)holonome Zwangsbedingungen
  - ii)Richtung der Zwangskräfte
  - iii)Virtuelle Verrückungen
  - iv)d'Alembert'sches Prinzip
  - v)Zwangskräfte
  - vi)Statik
  - vii)Energieerhaltung für holonom-skleronome Zwangsbedingungen
- c) Lagrange-Methode zweiter Art
  - i)Euler-Lagrange Gleichungen
  - ii)Ebenes Schienenpendel

9) Invarianz und Erhaltungssätze
- a) Euler-Lagrange-Gleichungen als grundlegende Formulierung der klassischen Mechanik
- b) Symmetrie-Transformationen
  - i)Invarianz der Lagrange-Funktion unter Symmetrie-Transformationen
  - ii)Symmetriegruppen
- c) Das Noether'sche Theorem
  - i)kontinuierliche Symmetrien und erhaltene Größen
  - ii)Translations- und Rotations-Symmetrie
- d) Energieerhaltung
  - i)Erhaltung der Hamilton-Funktion
  - ii)Bedeutung der Hamilton-Funktion

10) Das Prinzip der stationären Wirkung
- a) Das Hamilton'sche Prinzip (1)
- b) Praktische Definition der Wirkung
- c) Funktionale
- d) Variierte Bahnen
- e) Das Hamilton'sche Prinzip (2)
- f) Beispiel: der kürzeste Weg zwischen zwei Punkten
- g) Funktionalableitung
- h) Wirkungsprinzip als grundlegende Formulierung der Physik

11) Die Hamilton-Funktion
- a) Kanonische Bewegungsgleichungen
- b) Phasenraum
- c) Zyklische Koordinaten

III Mechanik für Vielteilchensysteme

12) Starrer Körper
    a) Zwangsbedingungen und Freiheitsgrade
    b) Eulersche Kreiselgleichungen
    c) Kinematik des starren Körpers, Eulersche Winkel
        i)Lage des starren Körpers
        ii)Drehmatrix
        iii)aktive und passive Drehung
        iv)Eulersche Winkel
        v)Momentane Winkelgeschwindigkeit
    d) Kinetische Energie, Trägheitstensor
    e) Drehimpuls
    f) Bezugssysteme
        i)Körperfestes Bezugssystem
        ii)Trägheitstensor im körperfesten Bezugssystem
        iii)Kreiselgleichung im körperfesten System
        iv)Spezialfall: diagonaler Trägheitstensor
        v)Skalare Erhaltungsgrößen
    g) Hauptachsen des Trägheitstensors
    h) Freier symmetrischer Kreisel
    i)Kreisel mit Zwangsbedingungen
        i)Lagrange Funktion
        ii)Beispiel: Symmetrischer Kreisel mit fest gelagerter Spitze

13) Kleine Schwingungen
    a) Linearisierung
    b) Eigenschwingungen und Eigenfrequenzen
        i)Diagonales System
        ii)Diagonalisierung einer symmetrischen Matrix
        iii)Diagonalisierung der Lagrange-Funktion in drei Schritten
        iv)Allgemeine Lösung
        v)Superpositionsprinzip
    c) Bestimmung der Eigenfrequenzen, Säkulargleichung
        i)Komplexe Exponentialschreibweise
        ii)Säkulargleichung
    d) Gekoppelte Pendel

14) Lineare Differentialgleichungen
    a) Homogene lineare Differentialgleichungen
        i)Gedämpfte Schwingung
        ii)Superpositionsprinzip
        iii)Lineares Gleichungssystem
    b) Inhomogene lineare Differentialgleichungen
    c) Harmonische äußere Kräfte
        i)Spezielle Lösung
        ii)Phase
        iii)Resonanz
        iv)Gekoppelte lineare Systeme
    d) Beliebige zeitabhängige äußere Kräfte
        i)Überlagerung periodischer Kräfte
        ii)Beliebige Kräfte
        iii)Fourier Transformation

15) Kontinuumsmechanik und Statistische Mechanik (Ausblick)
    a) Dichtefeld, Geschwindigkeitsfeld
    b) Kontinuitätsgleichung
    c) Ideale Flüssigkeit

d) Schallwellen
e) Statistische Mechanik (Ausblick)

IV Bewegte Bezugsysteme

16) Bewegung in einem Nicht-Inertialsystem
    a) Beschleunigtes Bezugssystem
    b) Scheinkräfte
    c) Beispiel: Erde als beschleunigtes Bezugssystem
    d) Das Foucault'sche Pendel

17) Relativistische Mechanik
    a) Lorentz-Symmetrie
    b) Vierer-Vektoren, Lorentz-Transformationen
    c) Eigenzeit
    d) Relativistische Mechanik, Wirkung
    e) Impuls und Energie
        i)Impuls
        ii)Energie
        iii)Energie-Impuls Beziehung für freie Teilchen
    f) Teilchenzerfall
    g) Impuls Vierervektor, Vierergeschwindigkeit
    h) Kovariante und Kontravariante Vektoren
    i)Invariante Masse
    j) Abstand zwischen zwei Ereignissen
    k) Wechselwirkungen

V Determinismus und Chaos

18) Determinismus der klassischen Mechanik?
    a) Vektorfelder als dynamische Systeme
    b) Kriterien für Determinismus
    c) Liapunov Exponenten