

Lezione 1

Oscillazioni armoniche senza dissipazione di energia. Corpo attaccato alla molla. Effetto della gravità. Effetto della massa della molla. Oscillazioni elettriche di un circuito LC. Oscillazioni di un corpo che galleggia. Sistemi conservativi unidimensionali. Punti di equilibrio stabile e instabile. Armonicità delle piccole oscillazioni intorno ad un punto di equilibrio stabile. Esempio del potenziale di Lennard- Jones. Cenni di teoria dell'elasticità: a) allungamento e modulo di Young, b) assottigliamento e coefficiente di Poisson, c) scorrimento e modulo di rigidità. Torsione di un filo e relazione momento-angolo. Pendolo di torsione e sensibilità per le misure forze. Dinamica del pendolo di torsione e applicazione alla misura del modulo di rigidità. Combinazione di misure statiche e dinamiche col pendolo di torsione e applicazione alla misura della costante di gravitazione universale G.

Pendolo di torsione: capitolo 5 di “The Pendulum”

Lezione 2

Il pendolo semplice. Il moto armonico delle piccole oscillazioni. Caso generale del moto del pendolo in funzione della sua energia. Stima del periodo per il moto confinato. Integrale di Legendre e suo sviluppo in serie di potenze. Caso dell'energia critica e divergenza del periodo. Moto rotatorio del pendolo.

Capitolo 3 di “The Pendulum”

Lezione 3

Il problema della curva brachistocrona nel campo gravitazionale: soluzione di Bernoulli. Metodo funzionale: equazione di Eulero-Lagrange e identità di Beltrami. Il pendolo tautocrono ed equazione differenziale corrispondente. La cicloide come curva tautocrona. Calcolo del periodo per un pendolo tautocrono.

Brachistocrona: capitolo 6 di “When least is best”

Lezione 4

Le oscillazioni armoniche bidimensionali. Equazioni del moto e soluzioni nel caso di stessa pulsazione. Studio della traiettoria ellittica. Autovalori, autovettori e assi principali dell'ellisse. Studio in funzione dello sfasamento. Rappresentazione del moto nel campo complesso. Caso delle pulsazioni diverse e figure di Lissajou. Il pendolo di Foucault. Impostazione del problema e soluzione nel limite delle piccole oscillazioni.

Pendolo di Foucault: capitolo 4 di “The Pendulum”

Lezione 5

Oscillazioni smorzate: effetti dissipativi e forze di resistenza. Oscillatore armonico in presenza di forze viscosse: regime sovra-smorzato, critico e sotto-smorzato. Oscillatore armonico in presenza di attrito radente. Modello della corda di violino.

Corda di violino: pagina 182-185 di “Mécanique” di Bertin, Faroux, Renault

Lezione 6

Oscillazioni forzate. Oscillatore meccanico in presenza di una forza sinusoidale. Soluzione per ampiezza e sfasamento. Concetto di risonanza. Fattore di merito e sua interpretazione energetica. Caso dell'assenza di dissipazione. Analogia elettrica. Circuiti RLC in serie e parallelo: filtro di Colpitts. Realizzazione di un analizzatore di spettro.

Parte meccanica: Canale, Della Pietra, Fisica in Laboratorio, paragrafo 7.1, *Parte elettrica:* Canale, Iengo, Laboratorio di Fisica II, paragrafi 5.3 e 5.4

Lezione 7

Descrizione del moto dell'altalena con oscillatore forzato in modo impulsivo. Metodo della trasformata di Laplace e sue proprietà. Soluzione esatta nel caso senza dissipazione. Cenno alla soluzione nel caso dissipativo e con impulsi "delta". Risonanza parametrica. Analisi del moto dell'altalena. Sistema di pompaggio dell'energia. Moto dell'altalena col sistema del dondolo. Impostazione lagrangiana del problema e sua equivalenza con un oscillatore armonico forzato.

Capitolo 3 di "The Pendulum"

Lezione 8

Oscillatori armonici accoppiati. Modi normali. Eccitazione dei modi normali. Moto con i battimenti e trasferimento di energia. Realizzazione sperimentale di un sistema di oscillatori meccanici accoppiati per gravità. Accoppiamento forte e debole. Circuiti elettrici LC con accoppiamento capacitivo. Caso generale asimmetrico di due oscillatori accoppiati.

Parte meccanica: Canale, Della Pietra, Fisica in Laboratorio, paragrafo 6.3, *Parte elettrica:* Canale, Iengo, Laboratorio di Fisica II, paragrafo 6.6, solo 6.6.1 (senza resistenza)

Lezione 9

Sistemi di n-oscillatori accoppiati: formalismo matriciale. Modi normali. Equazione agli autovalori e autovettori. Soluzione generale come sovrapposizione dei modi normali. Oscillazioni forzate di oscillatori accoppiati e smorzati: trattazione completa di due oscillatori. Curve di risposta in ampiezza. Fenomeni di risonanza alle frequenze proprie del sistema. Forma dello spettro in funzione della separazione delle frequenze. Caso dei circuiti elettrici con accoppiamenti capacitivo.

Capitolo 3 Georgi

Canale, Della Pietra, Fisica in Laboratorio, paragrafo 7.2

Parte elettrica: Canale, Iengo, Laboratorio di Fisica II, paragrafo 6.6, solo 6.6.1 e 6.6.2

Lezione 10

Catena di oscillatori meccanici unidimensionali. Perturbazioni longitudinali e limite del continuo. Equazione di D'Alembert. Soluzione dell'equazione delle onde. Velocità di propagazione. Modello meccanico delle onde sonore. Onde di pressione unidimensionali. Velocità di propagazione del suono in termini dei parametri termodinamici del gas. Onde di pressione nei liquidi e corrispondente velocità di propagazione. Onde trasversali su una corda elastica: formulazione lagrangiana del problema.

Densità lineare di energia cinetica e potenziale. Densità di lagrangiana. Equazione di Eulero-Lagrange per un sistema continuo unidimensionale e derivazione dell'equazione di D'Alembert per la corda vibrante.

Canale, Della Pietra, Fisica in Laboratorio, paragrafo 8.1.1

Kibble, Classical Mechanics, paragrafo 10.6

Lezione 11

Caratteristiche della propagazione ondosa. Onde monocromatiche sinusoidali. Concetto di pulsazione, periodo, numero d'onda e lunghezza d'onda. Relazione con la velocità di propagazione. Aspetti energetici della propagazione ondosa. Flusso di energia e legge di conservazione locale. Esempi della corda vibrante e delle onde di pressione in un fluido. Resistenza del mezzo alla propagazione ondosa. Concetto di impedenza caratteristica ed esempi: a) caso della corda; b) impedenza acustica. Riflessione e trasmissione delle onde attraverso una discontinuità del mezzo di propagazione. Determinazione dei coefficienti di riflessione e trasmissione in ampiezza. Determinazione dei coefficienti di trasmissione e riflessione in energia.

Appunti & Canale, Della Pietra, Fisica in Laboratorio, paragrafo 8.1.2

Lezione 12

Generalizzazione delle equazioni d'onda. Onde dispersive. Relazioni di dispersione fra pulsazione e numero d'onda. Esempi: a) la catena finita di oscillatori meccanici; b) l'effetto della rigidità sulla corda vibrante; c) l'equazione di Schrodinger; d) l'equazione di Klein-Gordon. Segnali e impulsi. Inadeguatezza dell'onda monocromatica. Sovrapposizione di oscillazioni temporali monocromatiche in un dato intervallo di frequenza. Relazione fra larghezza temporale dell'impulso e larghezza dello spettro di frequenze. Estensione alle onde progressive. Pacchetti d'onda. Concetto di velocità di gruppo ed esempi: a) indice di rifrazione; b) velocità "classica" delle onde di materia.

Appunti & Canale, Della Pietra, Fisica in Laboratorio, paragrafo 8.3

Lezione 13

Esempi di onde confinate spazialmente e condizioni al contorno: a) corda o molla fissa agli estremi; b) canna di organo. Concetto di soluzione stazionarie e separazione delle variabili spaziali e temporali. Condizioni al contorno. Soluzioni dei modi normali. Esempio della corda vibrante fissa agli estremi. Energetica delle soluzioni stazionarie. Energia cinetica e potenziale dei modi normali, legge di conservazione ed espressione in funzione dei parametri del sistema. Determinazione dello spettro dei modi normali dalle condizioni iniziali su posizione e velocità. Applicazione al caso della corda fissa agli estremi nel caso di strumenti musicali e differenze qualitative nella composizione dello spettro di ampiezza e di energia: a) eccitazione impulsiva locale (pianoforte); b) eccitazione spaziale globale (clavicembalo).

Appunti & Chris Garing, Ondes, Exercices & Problèmes de concours corrigés, Dunod, pag. 24-26

Lezione 14

Fluidi come sistemi continui. Forze di superficie e di volume. Sforzi di taglio e normali. Coefficiente di viscosità e formula di Newton. Liquido perfetto. La pressione all'interno di un fluido. Pressione

indipendente dall'orientamento della superficie. Variazione della pressione all'interno del fluido: legge di Stevino. Legge di Pascal e pressa idraulica. Vasi comunicanti. Legge di Archimede e condizioni di galleggiamento. Il barometro di Torricelli. Equazione barometrica.

Silvestrini e Rosati

Lezione 15

Equilibrio di un galleggiante. Statica dei fluidi in campi di forze di volume conservativi. Liquido in rotazione attorno a un asse: energia potenziale e superfici equipotenziali. Centrifugazione. Fenomeni di superficie. Forze intermolecolari: forza di coesione e di adesione. Tensione superficiale. Energia potenziale superficiale e configurazioni geometriche. Pressione di coesione. Calore latente di evaporazione. Linee di contatto a tre fasi. Angolo di contatto e bagnabilità.

Silvestrini e Rosati

Lezione 16

Condizioni per il galleggiamento di una sfera di materiale ad alta densità sul pelo dell'acqua per effetto della tensione superficiale. Fenomeno della capillarità e legge di Borelli-Jurin. Pressione di una bolla di liquido piena e cava: condizione di equilibrio e aspetti energetici. Dinamica dei fluidi: descrizione Lagrangiana ed Euleriana. Fluido in modo irrotazionale. Moto stazionario. Linea di flusso e tubo di flusso. Portata. Equazione di continuità della portata.

Silvestrini e Rosati

Lezione 17

Aspetti energetici del moto dei fluidi. Teorema di Bernoulli. Teorema di Torricelli. Liquido contenuto in un recipiente con foro alla base: variazione della quota del pelo libero dell'acqua in funzione del tempo. Tubo di Venturi. Caso di un carburatore di un'auto; paradosso idrodinamico; becco a gas di Bunsen. Portanza di un aereo. Potenza di una pompa idraulica e sua applicazione alla progettazione di una fontana.

Silvestrini e Rosati

Lezione 18

Tubo di Pitot per la misura della velocità di un fluido. Effetto della viscosità sugli aspetti energetici della dinamica dei fluidi: formula di Poiseuille, perdita di carico e generalizzazione del teorema di Bernoulli in presenza di attrito viscoso. Conservazione della massa di un fluido e divergenza del campo delle velocità. Rotore del campo e vorticità. Forza di pressione per unità di volume. Equazione del moto. Derivazione del teorema di Bernoulli dalla dinamica.

Feynman, volume 2: paragrafi 40-1, 40-2, 40-3

Lezione 19

Equazioni del moto di un fluido in presenza di viscosità: tensore degli sforzi di taglio e forza per unità di volume. Caso di un fluido in moto in un guscio cilindrico tra due superfici cilindriche in moto con velocità angolari diverse: calcolo della velocità angolare del fluido. Calcolo del momento torcente

indotto dallo sforzo tangente e sua relazione con la viscosità. Equazione della vorticità in presenza di attrito viscoso.

Feynman, volume 2: paragrafi 31-6, 39-3, 41-1, 41-2

Lezione 20

Principio zero della termodinamica. Calore specifico di solidi e liquidi, capacità termica. Calori specifici molari a pressione e volume costante. Principio di equivalenza tra calore e lavoro. Primo principio della termodinamica. Energia interna e sua espressione. Trasformazioni quasi statiche e reversibili. Equilibrio meccanico, termico e chimico in una trasformazione. Relazione di Mayer tra i calori molari. Trasformazione adiabatica reversibile e relazioni tra P e V. Trasformazioni politropiche e calcolo del corrispondente calore molare. Esercitazione su primo principio.

Rosati

Lezione 21

Macchina di Carnot reversibile operante con due sorgenti e suo rendimento. Estensione a un numero discreto di sorgenti. Integrale di Clausius. Formulazione di Clausius e di Kelvin del secondo principio della termodinamica. Entropia e sua variazione in una trasformazione qualsiasi. Isoterme reversibili e funzione energia libera. Variazione di entropia dell'Universo. Gas reali: sviluppo del viriale. Equazione di stato di Van der Waals e sua giustificazione in termini microscopici. Espressione dell'energia interna per un gas reale. Calcolo del calore molare a volume e a pressione costante per un gas reale. Motori a combustione interna ad accensione comandata e ad accensione per compressione: motore a benzina e Diesel. Calcolo del rendimento per un ciclo Otto e per un ciclo Diesel. Motori a combustione esterna: ciclo di Stirling e calcolo del suo rendimento.

Rosati e Appunti

Lezione 22

Teoria cinetica dei gas. Proprietà della materia. La pressione di un gas in termini dell'energia cinetica media di una molecola. Caso di un gas monoatomico e trasformazione adiabatica. Trasformazione adiabatica di un gas di fotoni: studio della compressione della radiazione. Temperatura ed energia cinetica. Equazione di stato di un gas perfetto monoatomico. Energia cinetica di molecole poliatomiche: energia cinetica del centro di massa e quella rotazionale e vibrazionale.

Feynman, volume 1, capitolo 39

Lezione 23

Distribuzione della posizione delle molecole: caso della nostra atmosfera. Equazione di Boltzmann per la distribuzione in posizione di un gas soggetto a una generica forza conservativa. Distribuzione delle velocità delle molecole di un gas: derivazione della legge di Maxwell-Boltzmann. Calcolo del coefficiente gamma per un gas biatomico con considerazioni classiche. Calcolo del fattore gamma per molecole biatomiche e poliatomiche. Crisi della teoria classica e spiegazione quantistica del valore di gamma e del suo andamento con la temperatura.

Feynman, volume 1, capitolo 40