

LA FISICA ³ DI BERKELEY

ONDE E OSCILLAZIONI

Per la preparazione di questo corso
la Education Development Center è stata sostenuta
dalla National Science Foundation.

FRANK S. CRAWFORD, Jr.
professore di fisica presso l'università di California, Berkeley

LEGGERE
E TENERE BENE
INDELLIBILI
92.00 - L. 1
ZANICHELLI
BOLOGNA



ZANICHELLI
BOLOGNA

INDICE

IX	PREFAZIONE A «LA FISICA DI BERKELEY»
XI	PREFAZIONE AL VOLUME ONDE E OSCILLAZIONI
XIV	RINGRAZIAMENTI
XV	PER L'INSEGNANTE
XXII	NOTA SUL SISTEMA MKS DI UNITÀ ELETTRICHE

1

OSCILLAZIONI LIBERE DI SISTEMI SEMPLICI

1	Introduzione
2	1.2 Oscillazioni libere di sistemi con un solo grado di libertà
5	<i>Esempio 1 - Il pendolo</i>
7	<i>Esempio 2 - Sistema massa-molle-oscillazioni longitudinali</i>
8	<i>Esempio 3 - Sistema massa-molle-oscillazioni trasversali</i>
13	<i>Esempio 4 - Circuito LC</i>
14	1.3 La linearità e il principio di sovrapposizione
17	<i>Esempio 5 - Il pendolo sferico</i>
18	1.4 Oscillazioni libere di sistemi con due gradi di libertà
20	<i>Esempio 6 - Il pendolo sferico semplice</i>
20	<i>Esempio 7 - L'oscillatore armonico bidimensionale</i>
25	<i>Esempio 8 - Oscillazioni longitudinali di due masse accoppiate</i>
28	<i>Esempio 9 - Oscillazioni trasversali di due masse accoppiate</i>
30	<i>Esempio 10 - Due circuiti LC accoppiati</i>
32	1.5 Battimenti
34	<i>Esempio 11 - Battimenti prodotti da due diapason</i>
36	<i>Esempio 12 - Battimenti fra due sorgenti di luce visibile</i>
36	<i>Esempio 13 - Battimenti fra i due modi normali di due oscillatori debolmente accoppiati</i>
40	<i>Esempi «esoterci»</i>
41	Problemi ed esperimenti per casa

2

OSCILLAZIONI LIBERE DI SISTEMI CON MOLTI GRADI DI LIBERTÀ

50	2.1 Introduzione
53	2.2 Modi trasversali della corda continua
62	2.3 Moto generale della corda continua e analisi di Fourier
76	2.4 Modi di un sistema non continuo con N gradi di libertà
77	<i>Esempio 1 - Oscillazioni trasversali di una corda munita di perline</i>
85	<i>Esempio 2 - Oscillazioni longitudinali di un sistema di molle e di masse</i>
87	<i>Esempio 3 - La slinky</i>
88	<i>Esempio 4 - Rete LC</i>
91	<i>Esempio 5 - Pendoli accoppiati</i>
93	<i>Esempio 6 - Oscillazioni del plasma</i>

- 96 *Esempi «esoterici»*
97 Problemi ed esperimenti per casa

3

OSCILLAZIONI FORZATE

- 106 3.1 Introduzione
107 3.2 Oscillatore armonico unidimensionale, forzato e smorzato
114 *Esempio 1 - Tempo di decadimento di un tubo di cartone*
118 *Caso 1 - La frequenza di eccitazione è uguale alla frequenza di oscillazione propria*
118 *Caso 2 - Smorzamento nullo e battimenti interminabili*
120 *Caso 3 - Battimenti transitori*
122 3.3 Risonanze in un sistema con due gradi di libertà
124 *Esempio 2 - Oscillazioni forzate di due pendoli accoppiati*
127 3.4 Filtri
129 *Esempio 3 - Due pendoli accoppiati, come filtro meccanico*
132 *Esempio 4 - Filtro passa-banda meccanico*
133 *Esempio 5 - Filtro passa-basso meccanico*
134 *Esempio 6 - Filtro passa-banda elettrico*
135 *Esempio 7 - Filtro passa-basso elettrico*
136 *Esempio 8 - Filtro passa-basso per un generatore di corrente continua*
137 3.5 Oscillazioni forzate di un sistema chiuso dotato di molti gradi di libertà
139 *Esempio 9 - Pendoli accoppiati*
145 *Esempio 10 - La ionosfera*
152 Problemi ed esperimenti per casa

4

ONDE PROGRESSIVE

- 161 4.1 Introduzione
162 4.2 Onde progressive armoniche in una dimensione e velocità di fase
169 *Esempio 1 - Onde trasversali su una corda munita di perline*
170 *Esempio 2 - Onde longitudinali su una molla munita di perline*
176 *Esempio 3 - Onde elettromagnetiche nella ionosfera terrestre e velocità di fase maggiori di c*
178 *Esempio 4 - Linea di trasmissione - filtro passa-basso*
180 *Esempio 5 - Linea di trasmissione a nastri paralleli*
182 4.3 Indice di rifrazione e dispersione
188 *Esempio 6 - Modello semplice di «molecola di vetro»*
192 *Esempio 7 - Dispersione della ionosfera*
199 4.4 Impedenza e flusso energetico
200 *Esempio 8 - Onde progressive trasversali su una corda continua*
204 *Esempio 9 - Irradiazione di onde longitudinali su una molla*
205 *Esempio 10 - Onde sonore*
210 *Esempio 11 - Onde progressive su una linea di trasmissione passa-basso*
211 *Esempio 12 - Linea di trasmissione a nastri paralleli*
224 Problemi ed esperimenti per casa

VI

5

LA RIFLESSIONE

- 232 5.1 Introduzione
232 5.2 Terminazione perfetta

233	<i>Esempio 1 - Corda continua</i>
234	<i>Esempio 2 - Linea di trasmissione a nastri paralleli</i>
240	5.3 Riflessione e trasmissione
245	<i>Caso 1 - Adattamento d'impedenza perfetto</i>
245	<i>Caso 2 - Resistenza del mezzo infinita</i>
245	<i>Caso 3 - Resistenza del mezzo nulla</i>
247	<i>Esempio 3 - Riflessione delle onde sonore</i>
250	<i>Esempio 4 - Riflessioni nelle linee di trasmissione</i>
250	<i>Esempio 5 - Estremità cortocircuitata - impedenza zero</i>
251	<i>Esempio 6 - Estremità a circuito aperto - impedenza infinita</i>
252	<i>Esempio 7 - Riflessione in una linea di trasmissione avente una discontinuità in z</i>
253	<i>Esempio 8 - Riflessione della luce visibile</i>
253	5.4 Adattamento d'impedenza fra due mezzi trasparenti
256	<i>Esempio 9 - Adattamento dell'impedenza ottica</i>
257	<i>Esempio 10 - Tromba esponenziale</i>
258	<i>Esempio 11 - Indice di rifrazione rastremato</i>
258	5.5 Riflessione nelle pellicole sottili
259	<i>Esempio 12 - Perché la prima frangia è bianca</i>
260	<i>Esempio 13 - Frange di Fabry e Perot in un vetrino per microscopio</i>
261	Problemi ed esperimenti per casa

6

MODULAZIONI, IMPULSI, E PACCHETTI D'ONDE

274	6.1 Introduzione
275	6.2 Velocità di gruppo
279	<i>Esempio 1 - Onde radio a modulazione di ampiezza</i>
283	<i>Esempio 2 - Radiazione elettromagnetica nel vuoto</i>
283	<i>Esempio 3 - Altre onde non dispersive</i>
284	<i>Esempio 4 - Onde elettromagnetiche nella ionosfera</i>
284	<i>Esempio 5 - Onde superficiali sull'acqua</i>
286	6.3 Impulsi
292	<i>Esempio 6 - Larghezza di banda televisiva</i>
293	<i>Esempio 7 - Telecomunicazioni per mezzo di luce visibile</i>
303	6.4 Analisi di Fourier degli impulsi
316	6.5 Analisi di Fourier di un pacchetto d'onde progressive
319	Problemi ed esperimenti per casa

7

ONDE IN DUE E IN TRE DIMENSIONI

335	7.1 Introduzione
336	7.2 Onde piane armoniche e vettore di propagazione
338	<i>Caso 1 - Onde elettromagnetiche nel vuoto</i>
338	<i>Caso 2 - Onde elettromagnetiche in un mezzo dispersivo</i>
338	<i>Caso 3 - Onde elettromagnetiche nella ionosfera</i>
340	<i>Caso 1 - Onde elettromagnetiche nel vuoto</i>
340	<i>Caso 2 - Onde elettromagnetiche in un mezzo dispersivo omogeneo</i>
341	<i>Caso 3 - Onde elettromagnetiche nella ionosfera</i>
341	<i>Esempio 1 - Onde elettromagnetiche in una guida d'onda rettangolare</i>
346	<i>Esempio 2 - Riflessione e trasmissione della luce incidente dal vetro nell'aria</i>
351	7.3 Onde in acqua
360	7.4 Onde elettromagnetiche

- 371 7.5 Radiazione emessa da una carica puntiforme
387 Problemi ed esperimenti per casa

8

POLARIZZAZIONE

- 398 8.1 Introduzione
399 8.2 Descrizione degli stati di polarizzazione
412 8.3 Produzione di onde trasversali polarizzate
426 8.4 Doppia rifrazione
434 8.5 Larghezza di banda, tempo di coerenza, e polarizzazione
444 Problemi ed esperimenti per casa

9

INTERFERENZA E DIFFRAZIONE

- 455 9.1 Introduzione
456 9.2 Interferenza fra due sorgenti puntiformi coerenti
470 9.3 Interferenza fra due sorgenti indipendenti
474 9.4 Quanto può essere grande una sorgente luminosa «puntiforme»?
477 9.5 Larghezza angolare di un «fascio» di onde progressive
482 9.6 Diffrazione e principio di Huygens
504 9.7 Ottica geometrica
526 Problemi ed esperimenti per casa

COMPLEMENTI

- 547 1 Esempi «microscopici» di oscillatori identici debolmente accoppiati
550 2 Relazione di dispersione per le onde di de Broglie
553 3 Penetrazione di una «particella» in una regione di spazio «classicamente proibita»
555 4 Velocità di fase e velocità di gruppo per le onde di de Broglie
557 5 Equazioni delle onde per le onde di de Broglie
558 6 Radiazione elettromagnetica emessa da un «atomo» unidimensionale
559 7 Coerenza temporale e battimenti ottici
560 8 Perché il cielo è brillante?
565 9 Onde elettromagnetiche nei mezzi materiali
579 *Esempio - Modello semplice di relazione di dispersione di un conduttore*

APPENDICI

- 589 A.1 Serie di Taylor
589 A.2 Serie di uso comune
591 A.3 Sovrapposizione di funzioni armoniche
593 A.4 Identità vettoriali

VII

- 595 LETTURE SUPPLEMENTARI
597 INDICE ANALITICO