

LA FISICA DI BERKELEY

1

MECCANICA

Per la preparazione di questo corso
il Educational Service Incorporated è stato sovvenzionato
dalla National Science Foundation

CHARLES KITTEL

professore di fisica presso l'Università di California, Berkeley

WALTER D. KNIGHT

professore di fisica presso l'Università di California, Berkeley

MALVIN A. RUDERMAN

professore di fisica presso l'Università di New York



ZANICHELLI
BOLOGNA

INDICE

XI	PRESENTAZIONE	
XIII	PREFAZIONE A «LA FISICA DI BERKELEY»	
XV	PREFAZIONE AL VOLUME MECCANICA	
XVII	PER L'INSEGNANTE	
XXI	PER LO STUDENTE	
XXII	NOTAZIONI	
	1	
3	INTRODUZIONE	
3	1.1 Il mondo naturale	
8	1.2 Geometria e fisica	
12	1.3 Valutazioni della curvatura dello spazio	
14	1.4 Geometria su piccola scala	
16	1.5 Invarianza	
18	Ulteriori letture	
18	Elenco dei film	
19	Problemi	
19	Complementi - Semplici problemi astronomici relativi al sistema solare	
	2	
32	VETTORI	
32	2.1 Linguaggio e concetti	
32	2.2 Generalità e rappresentazione grafica dei vettori	
34	2.3 Uguaglianza fra vettori	
35	2.4 Somma di vettori	
37	2.5 Quando è possibile rappresentare una grandezza fisica per mezzo di un vettore	
37	2.6 Derivata di un vettore	
39	<i>Esempio - Il moto circolare uniforme</i>	
44	2.7 Prodotti di vettori	
44	2.8 Prodotto scalare di due vettori	
48	2.9 Prodotto vettoriale	
54	2.10 Vettori in un sistema di coordinate cartesiane	V
58	<i>Esempi - Operazioni vettoriali elementari</i>	
60	Ulteriori letture	
61	Elenco dei film	
61	Problemi	
64	Complementi 1 - Vettori in coordinate polari sferiche	
64	Complementi 2 - Reticoli cristallini e reticolo reciproco	
67	Nota matematica 1 - Uguaglianze vettoriali in uno spazio sferico	
67	Nota matematica 2 - Notazione vettoriale cartesiana generalizzata	
68	Nota storica - J. W. Gibbs	

69	INVARIANZA GALILEIANA
69	3.1 Le leggi newtoniane del moto
70	<i>Esempio - L'ultracentrifuga</i>
72	3.2 Sistemi di riferimento inerziali
78	3.3 Accelerazione assoluta e accelerazione relativa
81	3.4 Velocità assoluta e velocità relativa
82	3.5 Trasformazione galileiana
86	3.6 Conservazione della quantità di moto
91	3.7 Reazioni chimiche
91	<i>Esempio - Urto di una particella pesante con una leggera</i>
93	3.8 Forze fittizie
94	<i>Esempio - L'accelerometro</i>
94	<i>Esempio - Forza centrifuga e accelerazione centripeta in un sistema in moto rotatorio uniforme</i>
95	<i>Esempio - Esperienze in un ascensore in caduta libera</i>
96	<i>Esempio - Il pendolo di Foucault</i>
98	3.9 Legge di Newton della gravitazione universale
99	<i>Esempio - Satellite in orbita circolare</i>
100	Ulteriori letture
100	Elenco dei film
101	Problemi
103	Complementi - Velocità e accelerazione in sistemi di coordinate rotanti
106	<i>Esempio - Moto rettilineo uniforme in un sistema inerziale</i>
107	<i>Esempio - Caduta libera da una torre</i>
108	<i>Esempio - Moto rettilineo uniforme in un sistema rotante</i>
108	<i>Esempio - Correzione centrifuga a g</i>
109	<i>Esempio - Direzione dei venti</i>
110	Nota matematica 1 - Derivazione dei prodotti tra vettori
110	Nota matematica 2 - La velocità angolare come grandezza vettoriale
112	Nota storica - Il secchio rotante - Punto di vista di Newton
	4
114	SEMPLICI PROBLEMI DI DINAMICA NON RELATIVISTICA
114	4.1 Forza su una particella carica - Sistema di unità di misura CGS di Gauss
120	4.2 Particella carica in un campo elettrico uniforme e costante
122	<i>Esempio - Accelerazione longitudinale di un protone</i>
123	<i>Esempio - Accelerazione longitudinale dell'elettrone</i>
123	<i>Esempio - Accelerazione trasversale</i>
125	4.3 Particella carica in un campo elettrico alternato uniforme
126	4.4 Particella carica in un campo magnetico costante
129	4.5 Dimensioni
VI 131	<i>Esempio - Frequenza di ciclotrone</i>
131	<i>Esempio - Raggio di ciclotrone</i>
131	4.6 Focalizzazione magnetica a 180°
132	4.7 Il principio di funzionamento del ciclotrone
135	Ulteriori letture
135	Elenco dei film
135	Problemi
138	Complementi I - Protone in presenza di un campo elettrico e di un campo magnetico incrociati
139	<i>Esempio - Antologia con la cicloide</i>

- 139 Complementi 2 - Trasformazioni del sistema di riferimento
- 144 Nota matematica - I numeri complessi
- 154 Problemi sui numeri complessi
- 155 Nota storica - L'invenzione del ciclotrone

5

159 CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

- 159 5.1 Leggi di conservazione nel mondo fisico
- 160 5.2 Definizioni e concetti
- 164 5.3 Conservazione dell'energia
- 165 5.4 Lavoro
- 167 5.5 Energia cinetica
- 168 *Esempio - Caduta libera*
- 169 *Esempio - Forza elastica di richiamo*
- 171 5.6 Potenza
- 172 5.7 Forze conservatrici
- 175 5.8 Energia potenziale
- 179 5.9 Energia potenziale in un campo elettrico
- 180 *Esempi - Campo e potenziale elettrostatico - Differenza di potenziale - Statvolt - Volt*
- 181 *Esempio - L'elettron-volt*
- 183 *Esempio - Forza elastica di richiamo*
- 184 *Esempio - Velocità di fuga dalla terra e dal sistema solare*
- 184 *Esempio - Potenziale gravitazionale vicino alla superficie della terra*
- 187 Ulteriori letture
- 187 Elenco dei film
- 187 Problemi
- 190 Note storiche - La scoperta di Cerere e Nettuno

Indice

6

192 CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO E DEL MOMENTO DELLA QUANTITÀ DI MOTO

- 192 6.1 Conservazione della quantità di moto
- 194 6.2 Centro di massa
- 194 *Esempio - Urto di particelle che si uniscono*
- 198 *Esempio - Componente trasversale della quantità di moto*
- 198 *Esempio - Urto di particelle con eccitazioni interne*
- 199 *Esempio - Deflessione di una particella pesante da parte di una particella leggera*
- 201 *Esempio - Il problema del satellite*
- 201 *Esempio - Il problema del veicolo spaziale*
- 204 6.3 Conservazione del momento della quantità di moto
- 206 *Esempio - Momenti delle forze interne*
- 209 *Esempio - Diffusione di un protone da parte di un nucleo pesante*
- 210 6.4 Invarianza per rotazione
- 211 *Esempio - Accelerazione angolare che accompagna la contrazione*
- 212 6.5 La forma della galassia
- 214 6.6 Momento della quantità di moto del sistema solare
- 216 6.7 Momento angolare intrinseco delle particelle elementari
- 216 Ulteriori letture
- 216 Elenco dei film
- 217 Problemi
- 219 Complementi - Scontro di una meteorite con l'atmosfera

VII

	7	
	221	L'OSCILLATORE ARMONICO
	222	7.1 Il pendolo semplice
	227	<i>Esempio - Effetti non lineari</i>
	229	7.2 Massa sospesa a una molla
	230	<i>Esempio - Energia cinetica e potenziale media</i>
Indice	232	7.3 Il circuito LC
	233	7.4 Attrito
	237	7.5 Oscillatore armonico smorzato
	239	<i>Esempio - Potenza dissipata</i>
	240	7.6 Fattore di qualità Q
	241	7.1 Oscillatore armonico forzato
	248	<i>Esempio - Esempio numerico relativo all'oscillatore armonico</i>
	249	7.8 Principio di sovrapposizione
	250	Ulteriori letture
	250	Elenco dei film
	250	Problemi
	254	Complementi 1 - Soluzione esatta del problema del pendolo semplice
	256	Complementi 2 - Oscillatore anarmonico
	258	Complementi 3 - Modulazione dei parametri di un oscillatore (amplificazione parametrica)
	260	Nota matematica - I numeri complessi e l'oscillatore armonico forzato
	8	
	262	DINAMICA ELEMENTARE DEI CORPI RIGIDI
	265	8.1 Equazione del moto di un corpo rotante
	269	<i>Esempio - Momento della quantità di moto J non parallelo a ω</i>
	271	<i>Esempio - Momento d'inerzia di uno strato sferico</i>
	272	<i>Esempio - Momento d'inerzia di una sfera</i>
	272	<i>Esempio - Teorema di Huygens-Steiner</i>
	276	8.2 Energia cinetica di rotazione
	277	<i>Esempio - Sfera che rotola</i>
	280	8.3 Equazione di Eulero
	281	<i>Esempio - Moto di precessione di una sfera su cui non agisce alcun momento esterno</i>
	281	<i>Esempio - Trottola simmetrica</i>
	284	8.4 Precessione dello spin in un campo magnetico costante
	286	8.5 Giroscopio elementare
	289	Elenco dei film
	289	Problemi
	9	
VIII	291	FORZE INVERSAMENTE PROPORZIONALI AL QUADRATO DELLA DISTANZA
	293	9.1 Forza tra una massa puntiforme e uno strato sferico
	297	9.2 Forza tra una massa puntiforme e una sfera piena
	298	9.3 Energia propria gravitazionale ed elettrostatica
	299	<i>Esempio - Energia gravitazionale della galassia</i>
	299	<i>Esempio - Energia gravitazionale di una sfera uniforme</i>
	301	9.4 Lunghezze e numeri fondamentali
	304	9.5 Forze inversamente proporzionali al quadrato della distanza ed equilibrio statico

- 304 9.6 Orbite
 308 *Esempio - Vibrazione di una molecola biatomica*
 317 *Esempio - Orbita circolare*
 320 9.7 Le leggi di Keplero
 323 Ulteriori letture
 323 Problemi
 328 Complementi 1 - Teorema del viriale
 331 *Esempio - La temperatura interna del sole*
 332 *Esempio - La condensazione delle galassie*
 335 Complementi 2 - Calcolo numerico di un'orbita

Indice

10

340 LA VELOCITÀ DELLA LUCE

- 340 10.1 c - Costante fondamentale della natura
 341 10.2 Misura di c
 353 10.3 Effetto Doppler
 356 *Esempio - Lo spostamento verso il rosso*
 360 10.4 La velocità della luce nei sistemi inerziali in moto relativo
 371 Elenco dei film
 371 Ulteriori letture
 371 Problemi
 374 Complementi - Emissione senza rinculo di raggi gamma

11

375 TRASFORMAZIONI DI LORENTZ DELLE LUNGHEZZE E DEL TEMPO

- 378 11.1 Trasformazioni di Lorentz
 380 *Esempio - Aberrazione della luce*
 381 *Esempio - Composizione delle velocità*
 383 *Esempio - Composizione delle velocità*
 384 *Esempio - Composizione delle velocità*
 384 *Misura di lunghezze perpendicolari alla velocità relativa*
 385 11.2 Contrazione delle lunghezze
 389 11.3 Dilatazione del tempo negli orologi in moto
 390 *Esempio - Vita media dei mesoni*
 394 *Esempio - Effetto doppler longitudinale*
 396 11.4 Orologi accelerati
 397 Ulteriori Letture
 397 Elenco dei film
 397 Problemi
 399 Nota matematica - Spazio-tempo
 407 Nota storica - La simultaneità nella relatività ristretta

12

IX

411 DINAMICA RELATIVISTICA: QUANTITÀ DI MOTO ED ENERGIA

- 412 12.1 Conservazione della quantità di moto
 417 12.2 Energia relativistica
 418 12.3 Trasformazione della quantità di moto e dell'energia
 419 *Esempio - Urto Anelastico*
 421 12.4 Equivalenza tra massa ed energia
 422 *Esempi - Conversioni di massa in energia*

	423	<i>Esempio - Energia nelle stelle</i>
	425	12.5 Lavoro ed energia
	428	12.6 Particelle con massa e riposo nulla
	431	12.7 Trasformazione della derivata della quantità di moto rispetto al tempo
	432	12.8 Costanza della carica
	433	Problemi
Indic	434	Nota storica - La relazione tra massa ed energia
	13	
	436	SEMPLICI PROBLEMI DI DINAMICA RELATIVISTICA
	437	13.1 Accelerazione di una particella carica in un campo elettrico costante longitudinale
	439	<i>Esempio - Accelerazione in un campo elettrico trasversale</i>
	440	13.2 Particella carica in un campo magnetico
	443	13.3 Sistema del centro di massa ed energia di soglia
	444	<i>Esempio - Emissione di raggi gamma</i>
	444	<i>Esempio - Energia disponibile in una particella in moto</i>
	447	13.4 Equazione relativistica del razzo
	448	Letture consigliate
	448	Elenco dei film
	448	Problemi
	450	Nota storica - Il sincrotrone
	14	
	454	PRINCIPIO DI EQUIVALENZA
	454	14.1 Massa inerziale e massa gravitazionale
	457	14.2 Massa gravitazionale dei fotoni
	460	<i>Esempio - Deviazione dei fotoni dovuta al sole</i>
	462	14.3 Equivalenza
	463	Problemi
	463	Nota storica - I pendoli di Newton
	15	
	464	LE PARTICELLE DELLA FISICA MODERNA
	464	15.1 Particelle stabili e instabili
	473	15.2 Masse
	476	15.3 Carica
	479	15.4 Vita media
	482	15.5 Altre caratteristiche
	483	15.6 Le quattro forze fondamentali della natura
	484	Ulteriori letture
	484	Problemi
X	484	Nota storica 1 - Diffusione di Rutherford e l'atomo nucleare
	490	Nota storica 2 - Le camere a bolle
	493	INDICE ANALITICO