

La fisica di *Feynman*

PRINCIPALMENTE SULLA MECCANICA, RADIAZIONE, E CALORE

Volume I - Parte 2

Traduzione a cura di:

E. CLEMENTI

*Ordinario di Fisica nucleare
Università di Bologna*

S. FOCARDI e L. MONARI

*Istituto di Fisica
Università di Bologna*

Coordination:

M. CRETE

*Ordinario di Fisica
Università di Padova*

The *Feynman* LECTURES ON PHYSICS

MAINLY MECHANICS, RADIATION, AND HEAT

Volume I - Part 2

RICHARD P. FEYNMAN

*Richard Chace Tolman Professor of Theoretical Physics
California Institute of Technology*

ROBERT B. LEIGHTON

*Professor of Physics
California Institute of Technology*

MATTHEW SANDS

*Professor
Stanford University*

MASSON 

Milano • Parigi • Barcellona • Bonn
1993

Indice

Capitolo 26 Ottica: il principio del tempo minimo

26-1 La luce	26-1
26-2 Riflessione e rifrazione	26-3
26-3 Il principio di Fermat del tempo minimo	26-4
26-4 Applicazioni del principio di Fermat	26-7
26-5 Un enunciato più preciso del principio di Fermat	26-11
26-6 Come funziona	26-13

Capitolo 27 Ottica geometrica

27-1 Introduzione	27-1
27-2 Distanza focale di una superficie sferica	27-2
27-3 La distanza focale di una lente	27-6
27-4 Ingrandimento	27-8
27-5 Lenti composte	27-9
27-6 Aberrazioni	27-10
27-7 Potere risolutivo	27-11

Capitolo 28 Radiazione elettromagnetica

28-1 Elettromagnetismo	28-1
28-2 Radiazione	28-4
28-3 Il radiatore a dipolo	28-6
28-4 Interferenza	28-8

Capitolo 29 Interferenza

29-1 Onde elettromagnetiche	29-1
29-2 Energia della radiazione	29-3
29-3 Onde sinusoidali	29-4
29-4 Due radiatori a dipolo	29-5
29-5 La matematica della interferenza	29-8

Contents

Chapter 26 Optics: The Principle of Least Time

26-1 Light	26-1
26-2 Reflection and refraction	26-3
26-3 Fermat's principle of least time	26-4
26-4 Applications of Fermat's principle	26-7
26-5 A more precise statement of Fermat's principle	26-11
26-6 How it works	26-13

Chapter 27 Geometrical Optics

27-1 Introduction	27-1
27-2 The focal length of a spherical surface	27-2
27-3 The focal length of a lens	27-6
27-4 Magnification	27-8
27-5 Compound lenses	27-9
27-6 Aberrations	27-10
27-7 Resolving power	27-11

Chapter 28 Electromagnetic Radiation

28-1 Electromagnetism	28-1
28-2 Radiation	28-4
28-3 The dipole radiator	28-6
28-4 Interference	28-8

Chapter 29 Interference

29-1 Electromagnetic waves	29-1
29-2 Energy of radiation	29-3
29-3 Sinusoidal waves	29-4
29-4 Two dipole radiators	29-5
29-5 The mathematics of interference	29-8

Capitolo 35	Visione del colore	
35-1	L'occhio umano	35-1
35-2	Il colore dipende dall'intensità	35-3
35-3	Misura della sensazione del colore	35-4
35-4	Il diagramma cromatico	35-9
35-5	Il meccanismo della visione del colore	35-10
35-6	Fisicochimica della visione del colore	35-13
Capitolo 36	Meccanismo della visione	
36-1	La sensazione del colore	36-1
36-2	La fisiologia dell'occhio	36-4
36-3	Le cellule a bastoncino	36-8
36-4	L'occhio composto (dell'insetto)	36-10
36-5	Altri occhi	36-13
36-6	Neurologia della visione	36-14
Capitolo 37	Comportamento quantistico	
37-1	Meccanica atomica	37-1
37-2	Un esperimento eseguito con pallottole	37-2
37-3	Un esperimento eseguito con onde	37-4
37-4	Un esperimento eseguito con elettroni	37-6
37-5	L'interferenza delle onde di elettroni	37-7
37-6	Osservazione degli elettroni	37-9
37-7	Primi principi della meccanica quantistica	37-13
37-8	Il principio d'indeterminazione	37-15
Capitolo 38	Relazione fra i punti di vista ondulatorio e corpuscolare	
38-1	Ampiezza dell'onda di probabilità	38-1
38-2	Misura della posizione e della quantità di moto	38-2
38-3	Diffrazione nei cristalli	38-6
38-4	Le dimensioni dell'atomo	38-8
38-5	Livelli energetici	38-10
38-6	Implicazioni filosofiche	38-12
Capitolo 39	La teoria cinetica dei gas	
39-1	Proprietà della materia	39-1
39-2	La pressione di un gas	39-3
39-3	Compressibilità della radiazione	39-8
39-4	Temperatura ed energia cinetica	39-9
39-5	La legge dei gas ideali	39-14
Capitolo 40	I principi della meccanica statistica	
40-1	L'atmosfera esponenziale	40-1
40-2	La legge di Boltzmann	40-3
Chapter 35	Color Vision	
35-1	The human eye	35-1
35-2	Color depends on intensity	35-3
35-3	Measuring the color sensation	35-4
35-4	The chromaticity diagram	35-9
35-5	The mechanism of color vision	35-10
35-6	Physicochemistry of color vision	35-13
Chapter 36	Mechanisms of Seeing	
36-1	The sensation of color	36-1
36-2	The physiology of the eye	36-4
36-3	The rod cells	36-8
36-4	The compound (insect) eye	36-10
36-5	Other eyes	36-13
36-6	Neurology of vision	36-14
Chapter 37	Quantum Behavior	
37-1	Atomic mechanics	37-1
37-2	An experiment with bullets	37-2
37-3	An experiment with waves	37-4
37-4	An experiment with electrons	37-6
37-5	The interference of electron waves	37-7
37-6	Watching the electrons	37-9
37-7	First principles of quantum mechanics	37-13
37-8	The uncertainty principle	37-15
Chapter 38	The Relation of Wave and Particle Viewpoints	
38-1	Probability wave amplitudes	38-1
38-2	Measurement of position and momentum	38-2
38-3	Crystal diffraction	38-6
38-4	The size of an atom	38-8
38-5	Energy levels	38-10
38-6	Philosophical implications	38-12
Chapter 39	The Kinetic Theory of Gases	
39-1	Properties of matter	39-1
39-2	The pressure of a gas	39-3
39-3	Compressibility of radiation	39-8
39-4	Temperature and kinetic energy	39-9
39-5	The ideal gas law	39-14
Chapter 40	The Principles of Statistical Mechanics	
40-1	The exponential atmosphere	40-1
40-2	The Boltzmann law	40-3

Capitolo 30 Diffrazione

30-1	L'ampiezza risultante dovuta a n oscillatori uguali	30-1
30-2	Il reticolo di diffrazione	30-5
30-3	Potere risolutivo di un reticolo	30-8
30-4	L'antenna parabolica	30-10
30-5	Pellicole colorate; cristalli	30-11
30-6	Diffrazione di schermi opachi	30-12
30-7	Il campo di un piano di cariche oscillanti	30-14

Capitolo 31 L'origine dell'indice di rifrazione

31-1	L'indice di rifrazione	31-1
31-2	Il campo dovuto al mezzo	31-5
31-3	Dispersione	31-8
31-4	Assorbimento	31-11
31-5	L'energia trasportata da un'onda elettrica	31-12
31-6	Diffrazione della luce da uno schermo	31-14

Capitolo 32 Smorzamento per radiazione, Diffusione della luce

32-1	Resistenza di radiazione	32-1
32-2	La rapidità di radiazione dell'energia	32-2
32-3	Smorzamento dovuto alla radiazione	32-4
32-4	Sorgenti indipendenti	32-6
32-5	Diffusione della luce	32-8

Capitolo 33 Polarizzazione

33-1	Il vettore elettrico della luce	33-1
33-2	Polarizzazione della luce diffusa	33-3
33-3	Birifrangenza	33-4
33-4	Polarizzatori	33-7
33-5	Attività ottica	33-8
33-6	L'intensità della luce riflessa	33-9
33-7	Rifrazione anomala	33-12

Capitolo 34 Effetti relativistici nella radiazione

34-1	Sorgenti in movimento	34-1
34-2	Scoperta del moto "apparente"	34-3
34-3	Radiazione di sincrotrone	34-5
34-4	Radiazione cosmica di sincrotrone	34-8
34-5	Radiazione di frenamento	34-9
34-6	L'effetto Doppler	34-10
34-7	Il quadrivettore $\omega, \mathbf{k}$	34-13
34-8	Aberrazione	34-14
34-9	La quantità di moto della luce	34-15

Chapter 30 Diffraction

30-1	The resultant amplitude due to n equal oscillators	30-1
30-2	The diffraction grating	30-5
30-3	Resolving power of a grating	30-8
30-4	The parabolic antenna	30-10
30-5	Colored films; crystals	30-11
30-6	Diffraction by opaque screens	30-12
30-7	The field of a plane of oscillating charges	30-14

Chapter 31 The Origin of the Refractive Index

31-1	The index of refraction	31-1
31-2	The field due to the material	31-5
31-3	Dispersion	31-8
31-4	Absorption	31-11
31-5	The energy carried by an electric wave	31-12
31-6	Diffraction of light by a screen	31-14

Chapter 32 Radiation Damping, Light Scattering

32-1	Radiation resistance	32-1
32-2	The rate of radiation of energy	32-2
32-3	Radiation damping	32-4
32-4	Independent sources	32-6
32-5	Scattering of light	32-8

Chapter 33 Polarization

33-1	The electric vector of light	33-1
33-2	Polarization of scattered light	33-3
33-3	Birefringence	33-4
33-4	Polarizers	33-7
33-5	Optical activity	33-8
33-6	The intensity of reflected light	33-9
33-7	Anomalous refraction	33-12

Chapter 34 Relativistic Effects in Radiation

34-1	Moving sources	34-1
34-2	Finding the "apparent" motion	34-3
34-3	Synchrotron radiation	34-5
34-4	Cosmic synchrotron radiation	34-8
34-5	Bremsstrahlung	34-9
34-6	The Doppler effect	34-10
34-7	The $\omega, \mathbf{k}$ four-vector	34-13
34-8	Aberration	34-14
34-9	The momentum of light	34-15

40-3	Evaporazione di un liquido	40-5	40-3	Evaporation of a liquid	40-5
40-4	La distribuzione delle velocità molecolari	40-6	40-4	The distribution of molecular speeds	40-6
40-5	I calori specifici dei gas	40-11	40-5	The specific heats of gases	40-11
40-6	Il fallimento della fisica classica	40-13	40-6	The failure of classical physics	40-13
Capitolo 41	Il moto browniano		Chapter 41	The Brownian Movement	
41-1	Equipartizione dell'energia	41-1	41-1	Equipartition of energy	41-1
41-2	Equilibrio termico della radiazione	41-4	41-2	Thermal equilibrium of radiation	41-4
41-3	L'equipartizione e l'oscillatore quantistico	41-9	41-3	Equipartition and the quantum oscillator	41-9
41-4	Il cammino casuale	41-12	41-4	The random walk	41-12
Capitolo 42	Applicazioni della teoria cinetica		Chapter 42	Applications of Kinetic Theory	
42-1	Evaporazione	42-1	42-1	Evaporation	42-1
42-2	Emissione termionica	42-5	42-2	Thermionic emission	42-5
42-3	Ionizzazione termica	42-6	42-3	Thermal ionization	42-6
42-4	Cinetica chimica	42-9	42-4	Chemical kinetics	42-9
42-5	Le leggi della radiazione di Einstein	42-11	42-5	Einstein's laws of radiation	42-11
Capitolo 43	La diffusione		Chapter 43	Diffusion	
43-1	Collisioni tra molecole	43-1	43-1	Collisions between molecules	43-1
43-2	Il cammino libero medio	43-4	43-2	The mean free path	43-4
43-3	La velocità di trascinamento	43-6	43-3	The drift speed	43-6
43-4	Conducibilità ionica	43-8	43-4	Ionic conductivity	43-8
43-5	Diffusione molecolare	43-9	43-5	Molecular diffusion	43-9
43-6	Conducibilità termica	43-13	43-6	Thermal conductivity	43-13
Capitolo 44	Le leggi della termodinamica		Chapter 44	The Laws of Thermodynamics	
44-1	Macchine termiche; la prima legge	44-1	44-1	Heat engines; the first law	44-1
44-2	La seconda legge	44-4	44-2	The second law	44-4
44-3	Macchine reversibili	44-6	44-3	Reversible engines	44-6
44-4	Il rendimento di una macchina ideale	44-10	44-4	The efficiency of an ideal engine	44-10
44-5	La temperatura termodinamica	44-13	44-5	The thermodynamic temperature	44-13
44-6	Entropia	44-15	44-6	Entropy	44-15
Capitolo 45	Illustrazioni della termodinamica		Chapter 45	Illustrations of Thermodynamics	
45-1	Energia interna	45-1	45-1	Internal energy	45-1
45-2	Applicazioni	45-5	45-2	Applications	45-5
45-3	L'equazione di Clausius-Clapeyron	45-8	45-3	The Clausius-Clapeyron equation	45-8
Capitolo 46	Ruota dentata e dente d'arresto		Chapter 46	Ratchet and Pawl	
46-1	Come funziona una ruota dentata	46-1	46-1	How a ratchet works	46-1
46-2	La ruota dentata come macchina	46-3	46-2	The ratchet as an engine	46-3

46-3	Reversibilità in meccanica	46-6	46-3	Reversibility in mechanics	46-6
46-4	Irreversibilità	46-8	46-4	Irreversibility	46-8
46-5	Ordine ed entropia	46-10	46-5	Order and entropy	46-10
Capitolo 47 Il suono. L'equazione dell'onda			Chapter 47 Sound. The Wave Equation		
47-1	Le onde	47-1	47-1	Waves	47-1
47-2	La propagazione del suono	47-4	47-2	The propagation of sound	47-4
47-3	L'equazione dell'onda	47-5	47-3	The wave equation	47-5
47-4	Soluzioni dell'equazione dell'onda	47-8	47-4	Solutions of the wave equation	47-8
47-5	La velocità del suono	47-10	47-5	The speed of sound	47-10
Capitolo 48 Battimenti			Chapter 48 Beats		
48-1	Somma di due onde	48-1	48-1	Adding two waves	48-1
48-2	Note di battimento e modulazione	48-4	48-2	Beat notes and modulation	48-4
48-3	Bande laterali	48-5	48-3	Side bands	48-5
48-4	Treni d'onde localizzati	48-8	48-4	Localized wave trains	48-8
48-5	Amplitudine di probabilità per le particelle	48-10	48-5	Probability amplitudes for particles	48-10
48-6	Onde in tre dimensioni	48-12	48-6	Waves in three dimensions	48-12
48-7	Modi di vibrazione normali	48-14	48-7	Normal modes	48-14
Capitolo 49 Modi di vibrazione			Chapter 49 Modes		
49-1	La riflessione delle onde	49-1	49-1	The reflection of waves	49-1
49-2	Onde limitate, con frequenze naturali	49-3	49-2	Confined waves, with natural frequencies	49-3
49-3	Modi di vibrazione in due dimensioni	49-5	49-3	Modes in two dimensions	49-5
49-4	Pendoli accoppiati	49-9	49-4	Coupled pendulums	49-9
49-5	Sistemi lineari	49-10	49-5	Linear systems	49-10
Capitolo 50 Armoniche			Chapter 50 Harmonics		
50-1	Toni musicali	50-1	50-1	Musical tones	50-1
50-2	La serie di Fourier	50-3	50-2	The Fourier series	50-3
50-3	Qualità e consonanza	50-4	50-3	Quality and consonance	50-4
50-4	I coefficienti di Fourier	50-7	50-4	The Fourier coefficients	50-7
50-5	Il teorema dell'energia	50-10	50-5	The energy theorem	50-10
50-6	Risposte non lineari	50-11	50-6	Nonlinear responses	50-11
Capitolo 51 Le onde			Chapter 51 Waves		
51-1	Onde di prua	51-1	51-1	Bow waves	51-1
51-2	Onde d'urto	51-3	51-2	Shock waves	51-3
51-3	Onde nei solidi	51-6	51-3	Waves in solids	51-6
51-4	Onde superficiali	51-10	51-4	Surface waves	51-10

Capitolo 52 La simmetria nelle leggi fisiche

52-1	Operazioni di simmetria	52-1
52-2	Simmetria nello spazio e nel tempo	52-2
52-3	Simmetria e leggi di conservazione	52-5
52-4	Riflessioni speculari	52-6
52-5	Vettori polari e assiali	52-9
52-6	Qual'è la destra?	52-11
52-7	La parità non si conserva!	52-12
52-8	Antimateria	52-14
52-9	Simmetrie rotte	52-16

Indice analitico**Chapter 52 Symmetry in Physical Laws**

52-1	Symmetry operations	52-1
52-2	Symmetry in space and time	52-2
52-3	Symmetry and conservation laws	52-5
52-4	Mirror reflections	52-6
52-5	Polar and axial vectors	52-9
52-6	Which hand is right?	52-11
52-7	Parity is not conserved!	52-12
52-8	Antimatter	52-14
52-9	Broken symmetries	52-16

Index