

L. D. LANDAU · E. M. LIFSCHITZ

LEHRBUCH  
DER THEORETISCHEN  
PHYSIK

II

---

KLASSISCHE  
FELDTHEORIE

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

L. D. LANDAU † · E. M. LIFSCHITZ

# KLASSISCHE FELDTHEORIE

In deutscher Sprache herausgegeben

von Prof. Dr. HANS-GEORG SCHÖPF

Sektion Physik

der Technischen Universität Dresden

7., bearbeitete Auflage

Mit 25 Abbildungen



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1977

# INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel I.	<b>Das Relativitätsprinzip</b>	1
§	1. Die Geschwindigkeit der Wirkungsausbreitung	1
§	2. Der Abstand	4
§	3. Die Eigenzeit	9
§	4. Die LORENTZ-Transformation	10
§	5. Transformation der Geschwindigkeit	14
§	6. Vierervektoren	16
§	7. Die Vierergeschwindigkeit	26
Kapitel II.	<b>Die relativistische Mechanik</b>	29
§	8. Das Prinzip der kleinsten Wirkung	29
§	9. Energie und Impuls	30
§	10. Die Transformation der Verteilungsfunktion	35
§	11. Der Zerfall von Teilchen	37
§	12. Der invariante Wirkungsquerschnitt	41
§	13. Elastische Stöße von Teilchen	43
§	14. Drehimpuls	48
Kapitel III.	<b>Ladungen im elektromagnetischen Feld</b>	52
§	15. Elementarteilchen in der Relativitätstheorie	52
§	16. Das Viererpotential des Feldes	53
§	17. Die Bewegungsgleichung einer Ladung im Felde	56
§	18. Eichinvarianz	59
§	19. Das zeitunabhängige elektromagnetische Feld	60
§	20. Bewegung in einem statischen homogenen elektrischen Feld	62
§	21. Bewegung in einem statischen homogenen Magnetfeld	63
§	22. Bewegung einer Ladung in homogenen statischen elektrischen und magnetischen Feldern	67
§	23. Der Tensor des elektromagnetischen Feldes	72
§	24. LORENTZ-Transformation des Feldes	74
§	25. Invarianten des Feldes	75

X Inhaltsverzeichnis

Kapitel IV.	<b>Die Gleichungen des elektromagnetischen Feldes . . . . .</b>	<b>79</b>
§ 26.	Die erste Gruppe der MAXWELLSchen Gleichungen . . . . .	79
§ 27.	Das Wirkungsintegral des elektromagnetischen Feldes . . . . .	80
§ 28.	Der Vierervektor des Stromes . . . . .	83
§ 29.	Die Kontinuitätsgleichung . . . . .	85
§ 30.	Die zweite Gruppe der MAXWELLSchen Gleichungen . . . . .	87
§ 31.	Energiedichte und Energiestrom . . . . .	90
§ 32.	Der Energie-Impuls-Tensor . . . . .	91
§ 33.	Der Energie-Impuls-Tensor des elektromagnetischen Feldes . . . . .	95
§ 34.	Der Virialsatz . . . . .	99
§ 35.	Der Energie-Impuls-Tensor makroskopischer Körper . . . . .	101
Kapitel V.	<b>Das zeitunabhängige elektromagnetische Feld . . . . .</b>	<b>104</b>
§ 36.	Das COULOMBSche Gesetz . . . . .	104
§ 37.	Die elektrostatische Energie eines Systems von Ladungen . . . . .	105
§ 38.	Das Feld einer gleichförmig bewegten Ladung . . . . .	107
§ 39.	Bewegung im COULOMB-Feld . . . . .	110
§ 40.	Das Dipolmoment . . . . .	113
§ 41.	Multipolmomente . . . . .	115
§ 42.	Ein System von Ladungen in einem äußeren Feld . . . . .	118
§ 43.	Das zeitunabhängige Magnetfeld . . . . .	120
§ 44.	Das magnetische Moment . . . . .	122
§ 45.	Der LARMORSche Satz . . . . .	124
Kapitel VI.	<b>Elektromagnetische Wellen . . . . .</b>	<b>127</b>
§ 46.	Die Wellengleichung . . . . .	127
§ 47.	Ebene Wellen . . . . .	129
§ 48.	Die monochromatische ebene Welle . . . . .	134
§ 49.	FOURIER-Zerlegung . . . . .	139
§ 50.	Teilweise polarisiertes Licht . . . . .	140
§ 51.	Die FOURIER-Zerlegung des elektrostatischen Feldes . . . . .	146
§ 52.	Eigenschwingungen des Feldes . . . . .	148
Kapitel VII.	<b>Die Lichtausbreitung . . . . .</b>	<b>153</b>
§ 53.	Geometrische Optik . . . . .	153
§ 54.	Die Intensität . . . . .	157
§ 55.	Das Winkeleikonal . . . . .	159
§ 56.	Strahlenbündel mit kleinem Öffnungswinkel . . . . .	161
§ 57.	Abbildung durch weite Lichtbündel . . . . .	168
§ 58.	Grenzen der geometrischen Optik . . . . .	170

§ 59.	Beugung . . . . .	172
§ 60.	FRESNELSche Beugung . . . . .	178
§ 61.	FRAUNHOFERSche Beugung . . . . .	182

**Kapitel VIII. Das Feld bewegter Ladungen . . . . . 188**

§ 62.	Retardierte Potentiale . . . . .	188
§ 63.	Die LIÉNARD-WIECHERTSchen Potentiale . . . . .	191
§ 64.	Die FOURIER-Zerlegung der retardierten Potentiale . . . . .	194
§ 65.	Die LAGRANGE-Funktion bis zu Termen zweiter Ordnung . . . . .	196

**Kapitel IX. Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen . . . . . 202**

§ 66.	Das Feld eines Systems von Ladungen in großen Entfernungen . . . . .	202
§ 67.	Dipolstrahlung . . . . .	206
§ 68.	Dipolstrahlung bei Stößen . . . . .	210
§ 69.	Bremsstrahlung niedriger Frequenzen . . . . .	213
§ 70.	Ausstrahlung bei COULOMBScher Wechselwirkung . . . . .	215
§ 71.	Quadrupolstrahlung und magnetische Dipolstrahlung . . . . .	222
§ 72.	Das Strahlungsfeld in kleinen Entfernungen . . . . .	226
§ 73.	Die Strahlung einer rasch bewegten Ladung . . . . .	230
§ 74.	Die Ausstrahlung einer Ladung, die sich gleichförmig auf einem Kreis bewegt . . . . .	235
§ 75.	Strahlungsdämpfung . . . . .	242
§ 76.	Strahlungsdämpfung im relativistischen Falle . . . . .	249
§ 77.	Die FOURIER-Zerlegung der Strahlung im ultrarelativistischen Fall . . . . .	253
§ 78.	Streuung an freien Ladungen . . . . .	257
§ 79.	Streuung von Wellen niedriger Frequenz . . . . .	263
§ 80.	Streuung von Wellen hoher Frequenz . . . . .	264

**Kapitel X. Teilchen im Gravitationsfeld . . . . . 268**

§ 81.	Gravitationsfelder in der nichtrelativistischen Mechanik . . . . .	268
§ 82.	Das Gravitationsfeld in der relativistischen Mechanik . . . . .	269
§ 83.	Krummlinige Koordinaten . . . . .	273
§ 84.	Entfernungen und Zeitintervalle . . . . .	278
§ 85.	Die kovariante Ableitung . . . . .	283
§ 86.	Der Zusammenhang der CHRISTOFFEL-Symbole mit dem metrischen Tensor . . . . .	288
§ 87.	Die Bewegung eines Teilchens im Gravitationsfeld . . . . .	292
§ 88.	Das zeitunabhängige Gravitationsfeld . . . . .	296
§ 89.	Die Rotation . . . . .	303
§ 90.	Die Gleichungen der Elektrodynamik bei Vorhandensein eines Gravitationsfeldes . . . . .	305

<b>Kapitel XI. Die Gleichungen des Gravitationsfeldes</b> . . . . .	<b>309</b>
§ 91. Der Krümmungstensor . . . . .	309
§ 92. Eigenschaften des Krümmungstensors . . . . .	313
§ 93. Die Wirkungsfunktion für das Gravitationsfeld . . . . .	320
§ 94. Der Energie-Impuls-Tensor . . . . .	323
§ 95. Die EINSTEINSchen Gleichungen . . . . .	328
§ 96. Der Energie-Impuls-Pseudotensor des Gravitationsfeldes . . . . .	335
§ 97. Das „synchronisierte“ Bezugssystem . . . . .	342
§ 98. Die Vierbein-Darstellung der EINSTEINSchen Gleichungen . . . . .	349
<b>Kapitel XII. Das Feld gravitierender Körper</b> . . . . .	<b>353</b>
§ 99. Das NEWTONSche Gravitationsgesetz . . . . .	353
§ 100. Das kugelsymmetrische Gravitationsfeld . . . . .	357
§ 101. Bewegung in einem kugelsymmetrischen Gravitationsfeld . . . . .	366
§ 102. Der Gravitationskollaps kugelsymmetrischer Körper . . . . .	369
§ 103. Der Gravitationskollaps staubförmiger Materie . . . . .	377
§ 104. Der Gravitationskollaps nichtkugelsymmetrischer und rotierender Körper . . . . .	384
§ 105. Das Gravitationsfeld in großen Entfernungen von den Quellen . . . . .	394
§ 106. Die Bewegungsgleichungen eines Systems von Körpern in der zweiten Näherung . . . . .	402
<b>Kapitel XIII. Gravitationswellen</b> . . . . .	<b>411</b>
§ 107. Schwache Gravitationswellen . . . . .	411
§ 108. Gravitationswellen in der gekrümmten Raum-Zeit . . . . .	414
§ 109. Starke Gravitationswellen . . . . .	417
§ 110. Ausstrahlung von Gravitationswellen . . . . .	420
<b>Kapitel XIV. Relativistische Kosmologie</b> . . . . .	<b>427</b>
§ 111. Der isotrope Raum . . . . .	427
§ 112. Das geschlossene isotrope Modell . . . . .	432
§ 113. Das offene isotrope Modell . . . . .	437
§ 114. Die Rotverschiebung . . . . .	441
§ 115. Gravitations-Stabilität des isotropen Modells . . . . .	449
§ 116. Homogene Räume . . . . .	455
§ 117. Das ebene anisotrope Modell . . . . .	462
§ 118. Der Schwingungscharakter der Annäherung an den singulären Punkt . . . . .	466
§ 119. Die Singularität in der allgemeinen kosmologischen Lösung der EINSTEINSchen Gleichungen . . . . .	471
Sachverzeichnis . . . . .	476