

# INHALT

## A. Einführung in die Vektor- und Tensorrechnung

### § A I. Die Vektoren

1	Definition des Vektors .....	9
2	Addition und Subtraktion von Vektoren .....	10
3	Einheitsvektoren, Grundvektoren, Komponenten .....	11
4	Das innere oder skalare Produkt .....	13
5	Das äußere oder vektorielle Produkt .....	14
6	Produkte aus drei und vier Vektoren .....	15
7	Differentiation von Vektoren nach einem Parameter .....	17

### A II. Die Vektorfelder

8	Die Definition des Vektorfeldes .....	17
9	Die räumliche Ableitung einer Feldgröße. Der Gradient .....	18
10	Die Ergiebigkeit eines Quellenfeldes und seine Divergenz. Die Sätze von Gauß und Green .....	20
11	Das Linienintegral und die Rotation. Der Satz von Stokes .....	24
12	Berechnung eines Vektorfeldes aus seinen Quellen und Wirbeln .....	29
13	Krummlinige orthogonale Koordinaten .....	32

### A III. Tensoren

14	Definition des Tensors. Der antisymmetrische Tensor .....	34
15	Der symmetrische Tensor und seine Invarianten. Der Deviator .....	38

## B. Das elektrostatische Feld

### B I. Die elektrische Ladung und das elektrostatische Feld im Vakuum

16	Die elektrische Ladung .....	42
17	Das elektrische Elementarquantum .....	43
18	Die elektrische Feldstärke und das elektrische Potential .....	45
19	Das Coulombsche Gesetz. Der elektrische Kraftfuß .....	48
20	Die Verteilung der Elektrizität auf Leitern .....	51
21	Die Kapazität des Kugel- und Plattenkondensators .....	53
22	Das gestreckte Rotationsellipsoid .....	55
23	Influenzladungen .....	57
24	Das elektrische Feld in großer Entfernung von den felderzeugenden Ladungen. Das Dipol- und das Quadrupolfeld .....	60

### B II. Elektrostatik der Dielektrika

25	Der Plattenkondensator mit dielektrischer Zwischenschicht .....	66
26	Die dielektrische Polarisierung .....	68
27	Die elektrostatischen Grundgleichungen in Isolatoren. Der Maxwellsche Verschiebungsvektor .....	71

28	Punktladung gegenüber einem dielektrischen Halbraum	73
29	Dielektrische Kugel im homogenen Feld	75
30	Das homogen polarisierte Ellipsoid	76

### **B III. Kraftwirkungen und Energieverhältnisse im elektrostatischen Feld**

31	Systeme von Punktladungen im Vakuum	80
32	Die Feldenergie bei Anwesenheit von Leitern und Isolatoren. Der Satz von Thomson	84
33	Thermodynamische Betrachtungen zur Feldenergie	87
34	Berechnung von Kraftwirkungen im elektrischen Feld vermittelt der Feldenergie für einige einfache Beispiele	89
35	Allgemeine Berechnung der Kraft auf einen Isolator im elektrischen Feld	92
36	Die Maxwellschen Spannungen	95
37	Elektrische Kraftwirkungen in homogenen Flüssigkeiten und Gasen	99

## **C. Der elektrische Strom und das magnetische Feld**

### **C I. Die Gesetze des elektrischen Stromes**

38	Stromstärke und Stromdichte	101
39	Das Ohmsche Gesetz	104
40	Die Joulesche Wärme	106
41	Eingeprägte Kräfte. Die galvanische Kette	108
42	Trägheitseffekte der Metallelektronen	112

### **C II. Die Kraftwirkungen im magnetischen Feld**

43	Die magnetischen Feldvektoren	114
44	Die Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter. Die Lorentz-Kraft	116
45	Das Induktionsgesetz von Faraday	119

### **C III. Die Magnetfelder von Strömen und permanenten Magneten**

46	Das Magnetfeld von stationären Strömen. Das Oerstedtsche Gesetz	123
47	Der Ringstrom als magnetischer Dipol	127
48	Magnetisierung und magnetische Suszeptibilität	132

### **C IV. Elektrodynamik quasistationärer Ströme**

49	Selbstinduktion und wechselseitige Induktion	136
50	Stromkreis mit Widerstand und Selbstinduktivität. Das Vektordiagramm	141
51	Stromkreis mit Widerstand, Selbstinduktivität und Kapazität	144
52	Der Energiesatz für ein System von linearen Strömen	146

## **D. Die allgemeinen Grundgleichungen des elektromagnetischen Feldes**

### **D I. Die Maxwellsche Theorie für ruhende Medien**

53	Die Vervollständigung der Maxwell-Gleichungen	150
54	Der Energiesatz in der Maxwellschen Theorie. Der Poynting-Vektor	152
55	Die magnetische Feldenergie. Kraftwirkungen im Magnetfeld	155
56	Der Impulssatz in der Maxwellschen Theorie. Die Impulsdichte des Strahlungsfeldes	157

### **D II. Elektromagnetische Wellen**

57	Elektromagnetische Wellen im Vakuum	159
58	Ebene Wellen in homogenen ruhenden Medien	163
59	Die Reflexion elektromagnetischer Wellen an Grenzflächen	171
60	Die Stromverdrängung (Skin-Effekt)	173

61	Drahtwellen längs idealer Leiter	176
62	Drahtwellen bei endlichem Widerstand der Leitungen	181
63	Wellen in Hohlleitern	183

### **D III. Das elektromagnetische Feld vorgegebener Ladungs- und Stromverteilungen**

64	Das Feld eines gleichförmig bewegten geladenen Teilchens	186
65	Energie- und Impulsverhältnisse bei einem gleichförmig bewegten Teilchen	191
66	Die elektromagnetischen Potentiale einer allgemeinen Ladungs- und Stromverteilung	194
67	Die Hertzsche Lösung für den schwingenden Dipol	197
68	Die Ausstrahlung eines Senders elektromagnetischer Wellen	199
69	Das Feld einer beliebig bewegten Punktladung	204

### **D IV. Die Feldgleichungen in langsam bewegter, nicht magnetisierbarer Materie**

70	Die Ableitung der Feldgleichungen	206
71	Experimentelle Bestätigung der Grundgleichungen	209
72	Der Versuch von Fizeau	212
73	Der Michelson-Versuch	214
74	Erklärungsversuche für den negativen Ausfall des Michelson-Versuchs	217

## **E. Relativitätstheorie**

### **E I. Die physikalischen Grundlagen und mathematischen Hilfsmittel der Relativitätstheorie**

75	Revision des Raum-Zeit-Begriffs	219
76	Die Lorentz-Transformation	222
77	Folgerungen aus der Lorentz-Transformation	225
78	Programm der speziellen Relativitätstheorie	230
79	Die allgemeine Lorentz-Gruppe	231
80	Vierervektoren und -tensoren	235

### **E II. Die relativistische Elektrodynamik des leeren Raumes**

81	Die Feldgleichungen	238
82	Die Kraftdichte	243
83	Der Energie-Impuls-Tensor des elektromagnetischen Feldes	245
84	Die ebene Lichtwelle	249
85	Das Strahlungsfeld eines bewegten Elektrons	254

### **E III. Die relativistische Elektrodynamik materieller Körper**

86	Die Feldgleichungen	255
87	Der Momententensor	261
88	Die Unipolarinduktion	264

### **E IV. Die relativistische Mechanik**

89	Die Mechanik des Massenpunktes	267
90	Die Trägheit der Energie	270
91	Die mechanischen Spannungen	274

## **F. Übungsaufgaben mit Lösungen**

### **F I. Aufgaben**

A.	Vektor- und Tensorrechnung	280
B.	Das elektrostatische Feld	281
C.	Der elektrische Strom und das magnetische Feld	283
D.	Die allgemeinen Grundgleichungen des elektromagnetischen Feldes	285
E.	Relativitätstheorie	285

<b>F II. Lösungen</b>	
A. Vektor- und Tensorrechnung .....	286
B. Das elektrostatische Feld .....	287
C. Der elektrische Strom und das Magnetfeld .....	288
D. Die allgemeinen Grundgleichungen des elektromagnetischen Feldes .....	289
E. Relativitätstheorie .....	290
<b>G. Formelzusammenstellung</b>	
<b>G I. Vektor- und Tensorrechnung</b>	
1. Vektoralgebra .....	291
2. Vektoranalysis .....	291
3. Tensoralgebra .....	292
<b>G II. Elektrodynamik</b>	
1. Die Feld- und Verknüpfungsgleichungen .....	293
2. Die Materialkonstanten .....	293
3. Energie- und Kraftbeziehungen .....	294
4. Wellenausbreitung .....	294
5. Elektrotechnische Begriffe .....	295
6. Umrechnungstabelle von MKSA-Einheiten in das Gaußsche System .....	296
<b>G III. Relativitätstheorie</b>	296
<b>Sachverzeichnis</b>	298