

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Licht – was ist das eigentlich?</b>	<b>1</b>
1.1	Licht als Welle	1
1.1.1	Was ist eine Welle?	1
1.1.2	Mathematische Beschreibung von Wellen	3
1.1.3	Elektromagnetische Wellen	5
1.1.4	Elektrische und magnetische Felder	8
1.1.5	Die Maxwell-Gleichungen	8
1.1.6	Ohne Magnetfeld kein Leben	9
1.1.7	Licht und elektromagnetische Wellen	11
1.1.8	Die Beugung des Lichtes	12
1.1.9	Interferenz	15
1.1.10	Mit Interferenz mehr Details beobachten	18
1.2	Licht als Teilchen	20
1.2.1	Newton und Licht	20
1.2.2	Einstein und der Fotoeffekt	22
1.2.3	Die Strahlung eines schwarzen Körpers	23
1.2.4	Der Compton-Effekt	26
1.2.5	Teilchen entstehen aus dem Nichts	27
1.3	Licht: Welle oder Teilchen oder beides?	28
1.3.1	Noch ein Experiment	28
1.3.2	Der Welle-Teilchen-Dualismus	29
1.3.3	Polarisation	30
1.3.4	Polarisation des Himmels	32
1.4	Kohärenz	32
1.4.1	Auf die Phase kommt es an	32
1.4.2	Laser und Maser	33
1.4.3	Kosmische Maser	35

<b>2</b>	<b>Das Licht einsammeln: Teleskope</b>	37
2.1	Teleskope: Grundprinzip	37
2.1.1	Das Licht bündeln: Linsen	37
2.1.2	Von der Linse zum Teleskop	39
2.1.3	Linsen- oder Spiegelteleskope	40
2.1.4	Teleskop: Kenngrößen	45
2.1.5	Montierungen	46
2.2	Moderne erdgebundene Observatorien	48
2.2.1	Die Wahl des Beobachtungsstandortes	48
2.2.2	Sonnenteleskope	48
2.2.3	Großteleskope zur Nachtbeobachtung	54
2.2.4	Die Erdatmosphäre überlisten	57
2.2.5	Zukünftige Großteleskope	59
2.3	Teleskope im Weltraum	61
2.3.1	Vor- und Nachteile von Weltraumteleskopen	61
2.3.2	Das Hubble-Weltraumteleskop, HST	62
2.3.3	Das Kepler-Teleskop	66
2.3.4	Gaia	68
2.3.5	Das James-Webb-Teleskop	68
2.3.6	Vergleich der modernen Großteleskope	71
<b>3</b>	<b>Licht – die Botschaft der Sterne</b>	73
3.1	Das elektromagnetische Spektrum	73
3.1.1	Das menschliche Auge	73
3.1.2	Das Spektrum: Wir zerlegen das Licht	74
3.2	Von den Röntgenstrahlen zu den Radiowellen	76
3.2.1	Röntgenstrahlung	76
3.2.2	Röntgenteleskope	78
3.2.3	Radioteleskope	80
3.3	Farbe: heiße und kalte Sterne	81
3.3.1	Die Strahlung beschreiben, schwarzer Körper	81
3.3.2	Die Strahlungsgesetze	81
3.3.3	Warum Exoplaneten so schwer zu finden sind	83
3.4	Emissions- und Absorptionslinien	84
3.4.1	Zerlegung des Lichtes	84
3.4.2	Das Wasserstoffspektrum	84
3.4.3	Verschobene Linien: Der Doppler-Effekt	87
3.4.4	Das Universum dehnt sich aus	88
3.5	Helligkeiten und Strahlung der Sterne	89
3.5.1	Die Helligkeiten der Sterne	89
3.5.2	Aus Licht die Entfernung bestimmen	90
3.5.3	Die Temperaturen der Sterne messen	91
3.5.4	Zusammensetzung der Sterne	92
3.6	Sterne nach ihrer Strahlung klassifizieren	93
3.6.1	Das Hertzsprung-Russell-Diagramm	93
3.6.2	Spektralklassen	94

3.6.3	Lebensdauer eines Sternes . . . . .	95
3.6.4	Masse-Leuchtkraft-Beziehung und Entwicklung der Sterne . . . . .	95
<b>4</b>	<b>Woher kommt das Licht der Sonne?</b> . . . . .	<b>97</b>
4.1	Die Sonne – ein normaler Stern . . . . .	97
4.1.1	Die Oberfläche der Sonne . . . . .	97
4.1.2	Dunkle Flecken – helle Fackeln . . . . .	98
4.1.3	Konvektion . . . . .	99
4.2	Der Aufbau der Sonne . . . . .	101
4.2.1	Das Sonneninnere . . . . .	101
4.2.2	Die Sonne – ein Fusionsreaktor . . . . .	101
4.2.3	Energietransport durch Strahlung . . . . .	103
4.2.4	Die Mitte-Rand-Variation oder; Es wird nach innen hin heißer . . . . .	104
4.3	Eine Tomografie der Sonne . . . . .	105
4.3.1	Die Atmosphäre der Sonne . . . . .	105
4.3.2	Atome verlieren Elektronen . . . . .	105
4.3.3	Temperaturverlauf in der Sonnenatmosphäre . . . . .	107
4.4	Die aktive Sonne . . . . .	109
4.4.1	Sonnenaktivitätszyklus . . . . .	109
4.4.2	Das Weltraumwetter . . . . .	111
<b>5</b>	<b>Eine Reise in die Vergangenheit</b> . . . . .	<b>113</b>
5.1	Sterne und Entfernungen . . . . .	113
5.1.1	Entfernungen der Sterne . . . . .	113
5.1.2	Vermessung von einer Milliarde Sterne . . . . .	115
5.2	Unsere Nachbarschaft . . . . .	116
5.2.1	Der nächste Stern . . . . .	116
5.2.2	Eine Reise zu Alpha Centauri . . . . .	118
5.2.3	Die Umgebung der Sonne . . . . .	119
5.3	Galaxien-Bausteine des Universums . . . . .	121
5.3.1	Wie groß ist das Universum? . . . . .	121
5.3.2	Die Milchstraße . . . . .	125
5.3.3	Durch den Staub hindurchsehen: das galaktische Zentrum . . . . .	125
5.3.4	Das Licht und das Alter der Sterne . . . . .	128
5.3.5	Galaxien und Galaxienhaufen . . . . .	129
5.3.6	Galaxien stoßen zusammen . . . . .	131
5.4	Die jüngsten Objekte im Universum . . . . .	133
5.4.1	Von der Erde zum Mond . . . . .	133
5.4.2	Entfernungen im Sonnensystem . . . . .	135
5.4.3	Junge Galaxien und Rotverschiebung . . . . .	135
5.4.4	Entfernungen und Expansion . . . . .	136
5.5	Blick zum Rande des Universums? . . . . .	139
5.5.1	Das Hubble Deep Field . . . . .	139
5.5.2	Wie weit sieht man Galaxien . . . . .	142

5.6	Wie weit sieht man? . . . . .	144
5.6.1	Das Alter des Universums . . . . .	144
5.6.2	Das Universum und der Kühlschrank . . . . .	144
5.6.3	Als das Universum durchsichtig wurde . . . . .	145
5.6.4	Die Hintergrundstrahlung wird gemessen . . . . .	146
<b>6</b>	<b>Lichtgeschwindigkeit und Relativitätstheorie . . . . .</b>	<b>151</b>
6.1	Die Messung der Lichtgeschwindigkeit . . . . .	151
6.1.1	Erste Versuche von Galilei . . . . .	151
6.1.2	Die Zahnradmethode von Fizeau . . . . .	152
6.1.3	Verfinsterung der Jupitermonde . . . . .	153
6.1.4	Eine Tafel Schokolade und die Lichtgeschwindigkeit . . . . .	155
6.1.5	Die Aberration . . . . .	156
6.2	Relativitätstheorie und Lichtgeschwindigkeit . . . . .	157
6.2.1	Wie breitet sich Licht aus? . . . . .	157
6.2.2	Grundpostulate der Relativitätstheorie . . . . .	159
6.2.3	Schwarze Löcher . . . . .	159
6.2.4	Sind schwarze Löcher endgültig? . . . . .	162
6.2.5	Hohe Geschwindigkeiten und Zeitdilatation? . . . . .	163
6.2.6	Reise zu den Sternen . . . . .	165
6.2.7	Längenkontraktion . . . . .	165
6.2.8	Lorentz-Transformation . . . . .	166
6.2.9	Addition von Geschwindigkeiten . . . . .	167
6.2.10	Reisen durch Raum und Zeit . . . . .	167
6.2.11	Relativistische Massenzunahme . . . . .	168
6.2.12	Doppler-Effekt . . . . .	168
6.3	Relativitätstheorie und Raumkrümmung . . . . .	170
6.3.1	Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie . . . . .	170
6.3.2	Raumkrümmung . . . . .	170
<b>7</b>	<b>Das dunkle Universum . . . . .</b>	<b>173</b>
7.1	Dunkle Materie beobachten . . . . .	173
7.1.1	Erste Vermutungen der Existenz dunkler Materie . . . . .	173
7.1.2	Galaktische Rotation . . . . .	174
7.1.3	Gravitationslinsen . . . . .	175
7.2	Was ist dunkle Materie? . . . . .	177
7.2.1	Eigenschaften dunkler Materie . . . . .	177
7.2.2	Baryonische dunkle Materie . . . . .	178
7.2.3	Nichtbaryonische dunkle Materie . . . . .	178
7.2.4	MOND-Hypothese . . . . .	179
7.3	Neutrinos . . . . .	179
7.3.1	Eigenschaften der Neutrinos . . . . .	179
7.3.2	Neutrinos von der Sonne . . . . .	180
7.3.3	Neutrinos von Supernovae . . . . .	182

---

7.4	Gravitationswellen . . . . .	183
7.4.1	Was ist eine Gravitationswelle? . . . . .	183
7.4.2	Das Spektrum der Gravitationswellen . . . . .	185
7.4.3	Messung von Gravitationswellen . . . . .	186
7.4.4	Wurden Gravitationswellen gefunden? . . . . .	188
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>193</b>
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>195</b>