
Inhaltsverzeichnis

1	Licht – was ist das eigentlich?	1
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

2	Das Licht einsammeln: Teleskope	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
3	Licht – die Botschaft der Sterne	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
4	Woher kommt das Licht der Sonne?	97
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
5	Eine Reise in die Vergangenheit	113
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
6	Lichtgeschwindigkeit und Relativitätstheorie	151
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
7	Das dunkle Universum	173
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
	Literaturverzeichnis	193
	Sachverzeichnis	195