

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Definition und Abgrenzung der Thematik	1
1.2 Stoffumfang, Gliederung und Literatur	4
1.3 Zur Geschichte der Weltraumforschung	6
2. Neutrale Hochatmosphäre	11
2.1 Zustandsgrößen von Gasen und ihre gaskinetische Deutung ..	11
2.1.1 Definition und Ableitung gaskinetischer Kenngrößen ..	13
2.1.2 Makroskopische Zustandsgrößen	18
2.2 Höhenverlauf der Zustandsgrößen und Gliederung der Atmosphäre	28
2.3 Barosphärische Dichteverteilung	33
2.3.1 Aerostatische Grundgleichung	33
2.3.2 Druckgradientkraft	36
2.3.3 Barometrische Höhenformel	38
2.3.4 Heterosphärische Dichteverteilung	40
2.3.5 Gaskinetische Interpretation der barometrischen Höhenformel	45
2.3.6 Homopausenhöhe	49
2.3.7 Atomarer Sauerstoff und Wasserstoff	53
2.4 Exosphärische Dichteverteilung	56
2.4.1 Exobasenhöhe	57
2.4.2 Entweichgeschwindigkeit	60
2.4.3 Geschwindigkeitsverteilung in Gasen	60
2.4.4 Entweichfluß und Stabilität der Atmosphäre	67
2.4.5 Exosphärische Dichteverteilung	70
3. Absorption und Dissipation von Sonnenstrahlungsenergie	79
3.1 Ursprung und Eigenschaften der Sonnenstrahlung	79
3.1.1 Aufbau der Sonne	80
3.1.2 Sonnenatmosphäre	85
3.1.3 Strahlungsspektrum	96
3.1.4 Variation der Strahlungsintensität	102

3.2	Extinktion von Sonnenstrahlung in der Hochatmosphäre.....	107
3.2.1	Absorptionsprozesse	107
3.2.2	Strahlungsextinktion in Gasen	109
3.2.3	Strahlungsextinktion in der Hochatmosphäre	111
3.2.4	Strahlungsabsorptionsbedingte Energieablagerung	114
3.3	Aufheizung und Temperaturverlauf	119
3.3.1	Wärmeerzeugung	119
3.3.2	Aufheizungsbedingter Temperaturanstieg	123
3.3.3	Wärmeverluste durch Abstrahlung.....	124
3.3.4	Wärmeverluste durch molekulare Wärmeleitung	125
3.3.5	Wärmebilanzgleichung und Temperaturverlauf	129
3.3.6	Abschätzung der Thermopausentemperatur	131
3.3.7	Temperatur- und Dichteschwankungen	132
3.3.8	Luftleuchten	135
3.4	Thermosphärische Winde	138
3.4.1	Tageszeitliche Windzirkulation: Beobachtungen	138
3.4.2	Bestandsaufnahme der zu berücksichtigenden Kräfte ..	139
3.4.3	Impulsbilanzgleichung.....	146
3.4.4	Thermosphärische Winde.....	149
3.5	Atmosphärische Wellen	152
3.5.1	Wellenparameter	152
3.5.2	Akustische Wellen	153
3.5.3	Auftriebsoszillationen	157
3.5.4	Schwerewellen.....	160
4.	Ionosphäre	165
4.1	Höhenverlauf ionosphärischer Zustandsgrößen	166
4.2	Produktion und Verlust von Ionisation	170
4.2.1	Ionisationsproduktion	170
4.2.2	Ionisationsverluste	177
4.2.3	Chemische Zusammensetzung	180
4.3	Dichteverlauf in der unteren Ionosphäre ($h < h_m$)	181
4.3.1	Dichtebilanzgleichung	181
4.3.2	Dichteverlauf in der E-Region	183
4.3.3	Dichteverlauf in der unteren F-Region	183
4.4	Dichteverlauf in der oberen Ionosphäre ($h > h_m$)	186
4.4.1	Barometrische Dichteverteilung	186
4.4.2	Polarisationsfeld.....	188
4.4.3	Transportgleichgewicht	189
4.4.4	Produktionsbedingter Sinkstrom	193
4.5	Dichtemaximum und ionosphärische Zeitkonstanten	194
4.5.1	Ionosphärische Zeitkonstanten	195
4.5.2	Ionisationsdichtemaximum.....	198
4.5.3	Ionoexosphäre	199
4.6	Systematische Variationen der Ionisationsdichte	200

4.7	Radiowellen in der Ionosphäre	203
4.7.1	Natürliche und erzwungene Schwingungen eines Plasmas	204
4.7.2	Die Ionosphäre als Dielektrikum	206
4.7.3	Die Ionosphäre als leitende Reflexionsschicht	209
4.7.4	Magnetfeldeinfluß	213
5.	Magnetosphäre	215
5.1	Grundlagen	215
5.2	Erdnahes Magnetfeld	217
5.3	Bewegung geladener Teilchen im Magnetfeld der Erde	225
5.3.1	Gyrationsbewegung ($\vec{F}_{j\perp} = 0, \vec{\mathcal{B}} = \text{homogen}$)	227
5.3.2	Oszillationsbewegung ($\vec{F}_{j\perp} = 0, \mathcal{B}\text{-Gradient} \parallel \vec{\mathcal{B}}$)	230
5.3.3	Driftbewegung	234
5.3.4	Zusammengesetzte Ladungsträgerbewegung	241
5.3.5	Coulomb-Stöße	243
5.4	Teilchenpopulationen der inneren Magnetosphäre	247
5.4.1	Strahlungsgürtel	248
5.4.2	Ringstrom	252
5.4.3	Plasmasphäre	257
5.5	Erdfernes Magnetfeld	262
5.5.1	Gestalt und Gliederung	262
5.5.2	Tagseitiger Magnetopausenstrom	265
5.5.3	Stromsystem des Magnetosphärenschweifis	272
5.6	Teilchenpopulationen der äußeren Magnetosphäre	274
5.6.1	Schweifplasmaschicht	276
5.6.2	Schweifflügelplasma	277
5.6.3	Magnetosphärenrenzschicht	278
5.7	Magnetoplasma-Wellen in der Magnetosphäre	279
6.	Interplanetares Medium	283
6.1	Der Sonnenwind	283
6.1.1	Eigenschaften des Sonnenwindes in Erdbahnnähe	286
6.1.2	Gasdynamisches Modell	288
6.1.3	Temperaturverlauf	294
6.1.4	Erweiterte gasdynamische Modelle	298
6.1.5	Exosphärisches Modell	299
6.1.6	Großräumige Sonnenwindstruktur in der Ekliptik	302
6.1.7	Sonnenwindeigenschaften außerhalb der Ekliptik	306
6.2	Interplanetares Magnetfeld	308
6.2.1	Beobachtungen	308
6.2.2	Einfaches Modell des interplanetaren Magnetfeldes	311
6.2.3	Magnetfeldstruktur außerhalb der Ekliptik	314
6.2.4	Heliosphärische Stromschicht	315
6.2.5	Sektorstruktur und \mathcal{B}_φ -Komponente	317

6.2.6	Interplanetares elektrisches Feld	319
6.2.7	Das interplanetare Medium als Magnetoplasma	322
6.3	Magnetoplasma-Wellen im interplanetaren Medium	325
6.3.1	Plasma-akustische Wellen	326
6.3.2	Alfvén-Wellen	327
6.3.3	Magnetosonische Wellen	331
6.4	Modifikation des Sonnenwindes	
	durch die terrestrische Bugstoßwelle	333
6.4.1	Zur Entstehung der Bugstoßwelle	334
6.4.2	Änderung der Sonnenwindeigenschaften beim Durchgang durch die Bugstoßwelle	336
6.4.3	Ergebnisse von Modellrechnungen	337
6.4.4	Druckgleichgewicht an der Magnetopause	339
6.4.5	Die Bugstoßwelle als magnetoplasmadynamisches Phänomen	342
6.5	Wechselwirkung Sonnenwind – interstellares Medium	344
6.6	Energiereiche Teilchen im interplanetaren Raum	349
6.6.1	Energiereiche Teilchen galaktischen Ursprungs	349
6.6.2	Energiereiche Teilchen interplanetaren Ursprungs	351
6.6.3	Energiereiche Teilchen solaren und planetaren Ursprungs	353
7.	Absorption und Dissipation von Sonnenwindenergie	357
7.1	Topologie der polaren Hochatmosphäre	357
7.2	Elektrische Felder und Plasmakonvektion	358
7.3	Ionosphärische Leitfähigkeit und Ströme	361
7.3.1	Modifikation der Ladungsträgerbewegung durch Stöße mit Neutralgasteilchen	361
7.3.2	Ionosphärische Transversalleitfähigkeit ($\vec{\mathcal{E}} \perp \vec{\mathcal{B}}$)	363
7.3.3	Parallelleitfähigkeit ($\vec{\mathcal{E}} \parallel \vec{\mathcal{B}}$)	366
7.3.4	Ionosphärische Ströme	369
7.3.5	Magnetfeldeffekte	370
7.4	Polarlichter	372
7.4.1	Morphologie	372
7.4.2	Dissipation der Polarlichtteilchenenergie	375
7.4.3	Ursprung der Polarlichtteilchen	382
7.5	Neutralatmosphärische Effekte	386
7.5.1	Driftinduzierte Winde	386
7.5.2	Aufheizung	387
7.5.3	Zusammensetzungsstörungen	388
7.6	Energietransfer Sonnenwind-Magnetosphäre	390
7.6.1	Sonnenwinddynamo	391
7.6.2	Offene Magnetosphäre	393
7.6.3	Plasmakonvektion in der offenen Magnetosphäre	394
7.6.4	Offene Magnetosphäre mit Schweif	396

7.6.5	Rekonnexion	398
7.6.6	Ursprung der Birkeland-Ströme	400
7.6.7	Plasmaflankendynamo	405
8.	Geosphärenstürme	409
8.1	Magnetische Stürme	410
8.1.1	Reguläre Variationen	410
8.1.2	Magnetische Aktivität in niedrigen Breiten	414
8.1.3	Magnetische Aktivität in hohen Breiten	417
8.1.4	Magnetische Aktivität in mittleren Breiten	421
8.2	Polarlichtteilstürme	422
8.3	Magnetosphärische Teilstürme	425
8.3.1	Wachstumsphase	426
8.3.2	Expansionsphase	427
8.4	Thermosphärenstürme	431
8.4.1	Zusammensetzungsstörungen in mittleren Breiten ...	431
8.4.2	Dichtestörungen in niedrigen Breiten	434
8.5	Ionosphärenstürme	437
8.5.1	Negative Ionosphärenstürme	437
8.5.2	Positive Ionosphärenstürme	440
8.6	Die Sonne als Ursprungsort von Geosphärenstürmen	443
8.6.1	Solare Massenauswürfe und magnetische Wolken ...	445
8.6.2	Korotierende Wechselwirkungsregionen	448
8.6.3	Sonneneruptionen	449
8.7	Technische Störungen	453
A.	Formeln, Tabellen und Ableitungen	457
A.1	Ausgewählte mathematische Formeln	457
A.2	Erdparameter	462
A.3	Planetendaten	462
A.4	Modellatmosphäre	463
A.5	Diffusionsgleichung für Gase	466
A.6	Ableitung der Impulsbilanzgleichung aus der Boltzmann-Gleichung	467
A.7	Energiebilanzgleichung einer adiabatischen Gasströmung ...	471
A.8	Bernoulli-Gleichung	476
A.9	Rankine-Hugoniot-Gleichungen	477
A.10	Maxwell-Gleichungen	480
A.11	Krümmung einer Dipolfeldlinie	481
A.12	Gradientdriftgeschwindigkeit	483
A.13	Gleichungssystem der idealen Magnetoplasmodynamik ...	485
A.13.1	Bilanzgleichungen eines Magnetoplasmas	485
A.13.2	Maxwell-Gleichungen und das verallgemeinerte Ohmsche Gesetz	489
A.13.3	Überprüfung der Approximationen	492

XII Inhaltsverzeichnis

A.14	Zwei Theoreme der Magnetoplasmodynamik	494
A.15	Magnetoplasma-Wellen	497
A.15.1	Vereinfachung des Gleichungssystems	497
A.15.2	Wellenausbreitung parallel zu einem vorgegebenen Magnetfeld	500
A.15.3	Wellenausbreitung senkrecht zu einem vorgegebenen Magnetfeld	504
A.15.4	Überprüfung der Approximationen	505
A.16	Plasma-Instabilitäten	507
B.	Abbildungsreferenzen	511
	Sachverzeichnis	515