

Gerd W. Prölss

Physik des erdnahen Weltraums

Eine Einführung

Zweite Auflage

Mit 263 Abbildungen, davon 4 in Farbe
und 15 Tabellen



Springer

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	28
2.3 Barosphärische DichteVerteilung	33
2.3.1 Aerostatische Grundgleichung	33
2.3.2 Druckgradientkraft	36
2.3.3 Barometrische Höhenformel	37
2.3.4 Heterosphärische DichteVerteilung	40
2.3.5 Gaskinetik der barometrischen Höhenformel	45
2.3.6 Homopausenhöhe	49
2.3.7 Atomarer Sauerstoff und Wasserstoff	54
2.4 Exosphärische DichteVerteilung	57
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 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	110
3.2.3 Strahlungsextinktion in der Hochatmosphäre	112

3.2.4	Strahlungsabsorptionsbedingte Energieablagerung	114
3.3	Aufheizung und Temperaturverlauf	119
3.3.1	Wärmeerzeugung	120
3.3.2	Aufheizungsbedingter Temperaturanstieg	124
3.3.3	Wärmeverluste durch Abstrahlung	125
3.3.4	Wärmeverluste durch molekulare Wärmeleitung	125
3.3.5	Wärmebilanzgleichung und Temperaturverlauf	129
3.3.6	Abschätzung der Thermopausentemperatur	132
3.3.7	Temperatur- und Dichteschwankungen	133
3.3.8	Luftleuchten	136
3.4	Thermosphärische Winde	138
3.4.1	Tageszeitliche Windzirkulation: Beobachtungen	139
3.4.2	Bestandsaufnahme der zu berücksichtigenden Kräfte . .	140
3.4.3	Impulsbilanzgleichung	147
3.4.4	Thermosphärische Winde	150
3.5	Atmosphärische Wellen	152
3.5.1	Wellenparameter	153
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	Dichtevertlauf in der unteren Ionosphäre	181
4.3.1	Dichtebilanzgleichung	181
4.3.2	Dichtevertlauf in der E-Region	183
4.3.3	Dichtevertlauf in der unteren F-Region	183
4.4	Dichtevertlauf in der oberen Ionosphäre	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	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	217
5.1	Grundlagen	217
5.2	Erdnahes Magnetfeld	219
5.3	Bewegung geladener Teilchen im Magnetfeld der Erde	227
5.3.1	Gyrationsbewegung	229
5.3.2	Oszillationsbewegung	233
5.3.3	Driftbewegung	237
5.3.4	Zusammengesetzte Ladungsträgerbewegung	244
5.3.5	Coulomb-Stöße	244
5.4	Teilchenpopulationen der inneren Magnetosphäre	250
5.4.1	Strahlungsgürtel	252
5.4.2	Ringstrom	255
5.4.3	Plasmasphäre	260
5.5	Erdfernes Magnetfeld	265
5.5.1	Gestalt und Gliederung	265
5.5.2	Tagseitiger Magnetopausenstrom	268
5.5.3	Stromsystem des Magnetosphärenschweifs	275
5.6	Teilchenpopulationen der äußeren Magnetosphäre	277
5.6.1	Schweifplasmaschicht	279
5.6.2	Schweifflügelplasma	280
5.6.3	Magnetosphärengrenzschicht	281
5.7	Magnetoplasma-Wellen in der Magnetosphäre	282
6.	Interplanetares Medium	287
6.1	Der Sonnenwind	287
6.1.1	Eigenschaften des Sonnenwindes in Erdbahnnahe	289
6.1.2	Gasdynamisches Modell	292
6.1.3	Temperaturverlauf	298
6.1.4	Erweiterte gasdynamische Modelle	302
6.1.5	Exosphärisches Modell	302
6.1.6	Großräumige Sonnenwindstruktur in der Ekliptik	306
6.1.7	Sonnenwindeigenschaften außerhalb der Ekliptik	310
6.2	Interplanetares Magnetfeld	312
6.2.1	Beobachtungen	312
6.2.2	Einfaches Modell des interplanetaren Magnetfeldes	315
6.2.3	Magnetfeldstruktur außerhalb der Ekliptik	318
6.2.4	Heliosphärische Stromschicht	319
6.2.5	Sektorstruktur und B_φ -Komponente	321
6.2.6	Interplanetares elektrisches Feld	323
6.2.7	Das interplanetare Medium als Magnetoplasma	326
6.3	Magnetoplasma-Wellen im interplanetaren Medium	329
6.3.1	Plasma-akustische Wellen	330
6.3.2	Alfvén-Wellen	331

6.3.3	Magnetosonische Wellen	335
6.4	Modifikation des Sonnenwindes durch die Bugstoßwelle	337
6.4.1	Zur Entstehung der Bugstoßwelle	338
6.4.2	Änderung des Sonnenwindes durch die Bugstoßwelle . .	340
6.4.3	Ergebnisse von Modellrechnungen	341
6.4.4	Druckgleichgewicht an der Magnetopause	343
6.4.5	Die Bugstoßwelle als plasmodynamisches Phänomen .	346
6.5	Wechselwirkung Sonnenwind - interstellares Medium	348
6.6	Energiereiche Teilchen im interplanetaren Raum	353
6.6.1	Energiereiche Teilchen galaktischen Ursprungs	353
6.6.2	Energiereiche Teilchen interplanetaren Ursprungs	355
6.6.3	Energiereiche Teilchen solar-planetaren Ursprungs . .	358
7.	Absorption und Dissipation von Sonnenwindenergie	361
7.1	Topologie der polaren Hochatmosphäre	361
7.2	Elektrische Felder und Plasmakonvektion	362
7.3	Ionosphärische Leitfähigkeit und Ströme	365
7.3.1	Stoßmodifizierte Ladungsträgerbewegung	365
7.3.2	Ionosphärische Transversalleitfähigkeit	367
7.3.3	Parallelleitfähigkeit	370
7.3.4	Ionosphärische Ströme	373
7.3.5	Magnetfeldeffekte	374
7.4	Polarlichter	376
7.4.1	Morphologie	376
7.4.2	Dissipation der Polarlichtteilchenenergie	379
7.4.3	Ursprung der Polarlichtteilchen	386
7.5	Neutralatmosphärische Effekte	390
7.5.1	Driftinduzierte Winde	390
7.5.2	Aufheizung	391
7.5.3	Zusammensetzungsstörungen	392
7.6	Energietransfer Sonnenwind-Magnetosphäre	394
7.6.1	Sonnenwinddynamo	395
7.6.2	Offene Magnetosphäre	397
7.6.3	Plasmakonvektion in der offenen Magnetosphäre	398
7.6.4	Offene Magnetosphäre mit Schweif	400
7.6.5	Rekonnektion	402
7.6.6	Ursprung der Birkeland-Ströme	404
7.6.7	Plasmaflankendynamo	409
8.	Geosphärenstürme	413
8.1	Magnetische Stürme	414
8.1.1	Reguläre Variationen	414
8.1.2	Magnetische Aktivität in niedrigen Breiten	418
8.1.3	Magnetische Aktivität in hohen Breiten	421
8.1.4	Magnetische Aktivität in mittleren Breiten	425

8.2	Polarlichtteilstürme	427
8.3	Magnetosphärische Teilstürme	429
8.3.1	Wachstumsphase	430
8.3.2	Expansionsphase	431
8.4	Thermosphärenstürme	435
8.4.1	Zusammensetzungsstörungen in mittleren Breiten	436
8.4.2	Dichtestörungen in niedrigen Breiten	438
8.5	Ionosphärenstürme	441
8.5.1	Negative Ionosphärenstürme	442
8.5.2	Positive Ionosphärenstürme	444
8.6	Die Sonne als Ursprungsort von Geosphärenstürmen	447
8.6.1	Solare Massenauswürfe und magnetische Wolken	449
8.6.2	Korotierende Wechselwirkungsregionen	452
8.6.3	Sonneneruptionen	453
8.7	Technische Störungen	457
A.	Formeln, Tabellen und Ableitungen	461
A.1	Ausgewählte mathematische Formeln	461
A.2	Erdparameter	466
A.3	Planetendaten	466
A.4	Modellatmosphäre	467
A.5	Diffusionsgleichung für Gase	470
A.6	Ableitung der Impulsbilanzgleichung	471
A.7	Energiebilanzgleichung einer adiabatischen Gasströmung	475
A.8	Bernoulli-Gleichung	480
A.9	Rankine-Hugoniot-Gleichungen	481
A.10	Maxwell-Gleichungen	483
A.11	Krümmung einer Dipolfeldlinie	485
A.12	Gradientdriftgeschwindigkeit	487
A.13	Gleichungssystem der idealen Magnetoplasmadynamik	488
A.13.1	Bilanzgleichungen eines Magnetplasmas	489
A.13.2	Maxwell-Gleichungen und Ohmsches Gesetz	493
A.13.3	Überprüfung der Approximationen	496
A.14	Zwei Theoreme der Magnetoplasmadynamik	498
A.15	Magnetoplasma-Wellen	501
A.15.1	Vereinfachung des Gleichungssystems	501
A.15.2	Magnetfeldparallele Wellenausbreitung	503
A.15.3	Magnetfeldsenkrechte Wellenausbreitung	508
A.15.4	Überprüfung der Approximationen	509
A.16	Plasma-Instabilitäten	511
B.	Abbildungsreferenzen	515
	Sachverzeichnis	519