

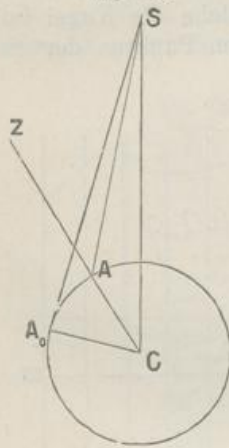
Vierter Abschnitt.

Das Sonnensystem.

A. Die Sonne.

§ 370. Abstand der Sonne von der Erde, Größe der Sonne. Die Sonne erscheint, von der Erde aus gesehen, als eine in blendendem Licht strahlende, kreisförmige Scheibe, deren mittlerer Durchmesser (§ 362)

Fig. 313.



32' 2,5" beträgt. Aus der Ortsveränderung gewisser dunklen Flecke auf ihr, von denen in § 372 genauer die Rede sein wird, läßt sich auf eine Axenumdrehung der Sonne schließen; weil aber trotzdem die Sonne unveränderlich die Kreisform zeigt, so muß sie die Gestalt einer Kugel ohne merkliche Abplattung besitzen. Um aus ihrem scheinbaren Durchmesser auf ihre Größe schließen zu können, muß ihre Entfernung von der Erde bekannt sein. Diese aber selbst ergibt sich (angenähert) aus der Größe der Erde und dem Winkel, unter welchem die Erde von der Sonne aus gesehen erscheint.

Man nennt den Winkel $ASC = \alpha_1$, welchen die Verbindungslinien eines Punktes S am Himmel, z. B. des Mittelpunktes der Sonne mit einem Punkt A der Erde und mit deren Mittelpunkt C bilden, die Parallaxe des Punktes S , und wenn Winkel SA_0C ein Rechter ist, was eintritt, wenn SA_0 eine Tangente der Erdkugel wird, so daß S im Horizont des Punktes A_0 liegt, Winkel A_0SC die Horizontalparallaxe. Demnach ist die Horizontalparallaxe α_0 eines Gestirns S der Winkel, unter welchem der Radius der Erde von S aus gesehen erscheint. In den Dreiecken SAC und SA_0C ergibt sich:

$$\frac{AC}{SC} = \frac{\sin ASC}{\sin SAC} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin ZAS}$$

und:

$$\frac{A_0C}{SC} = \sin A_0SC = \sin \alpha_0,$$

folglich:

$$1. \quad \sin \alpha_0 = \frac{\sin \alpha_1}{\sin ZAS},$$

wo Winkel ZAS die Zenithdistanz des Gestirnes im Beobachtungspunkt A ist.

Aus den Parallaxen α_1 und β_1 eines Gestirns S für zwei Stationen A und B desselben Meridians die Horizontalparallaxe des Gestirns zu berechnen. Von A und B aus gesehen projiziert sich S auf die Himmelskugel bezüglich in den Punkten a und b (Fig. 314); demnach erscheint S von A und B aus um den Bogen ab auf der Himmelskugel verschoben. In A und B sei gleichzeitig, etwa um Mitternacht, die Höhe des Gestirns S beobachtet worden (§ 353), (die Sonnenhöhe etwa um Mittag) und demnach die Zenithdistanzen α_2 und β_2 gefunden worden. Nunmehr ist:

$$\alpha_1 = \alpha_2 - \alpha \quad \text{und} \quad \beta_1 = \beta_2 - \beta,$$

folglich:

$$\alpha_1 + \beta_1 = \alpha_2 + \beta_2 - (\alpha + \beta),$$

wo $\alpha + \beta$
ist, z. B.
ihrer Brei
Es ergie

sin
und ange
für die So
sin β_1 s
 $\alpha + \alpha_1 =$

2.

Liege
demselben
Zenithdis
ihrer Ver
Orte auf

Dur
rizonta
funden
thoden
stimmt v
der So
Erdradiu
axe 8,8"
Die Entf
oder 20
messer
697 000

Der
Erde fast

Die
Erdmass
um wele
etwa 46
Das Vol
Erde un
Viertel
Beobacht
ist die S

Der
0,05" gen
von etwa
sind die
für die S
fernung d
würde, un
das Licht
ist 6 milli
geteilt un
solchen B
seinen Ur
entfernt
Grade, da

wo $\alpha + \beta$ aus der geographischen Breite der Orte A und B leicht zu bestimmen ist, z. B. wenn diese Orte auf verschiedenen Halbkugeln liegen, gleich der Summe ihrer Breiten, also bekannt ist. Darum ist auch $\alpha_1 + \beta_1$ als bekannt anzusehen. Es ergibt sich aber:

$$\frac{CA}{CS} = \frac{CB}{CS} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin(\alpha + \alpha_1)} = \frac{\sin \beta_1}{\sin \alpha_1 + \sin \beta_1}$$

$$\frac{\sin(\beta + \beta_1)}{\sin(\alpha + \alpha_1) + \sin(\beta + \beta_1)}$$

und angenähert, weil α_1 und β_1 für die Gestirne, auch für die Sonne, sehr kleine Winkel sind, also $\sin \alpha_1$ und $\sin \beta_1$ sich durch α_1 und β_1 ersetzen lassen, und $\alpha + \alpha_1 = \alpha_2$, $\beta + \beta_1 = \beta_2$ sind:

$$2. \frac{CA}{CS} = \frac{\alpha_1 + \beta_1}{\sin \alpha_2 + \sin \beta_2} = \sin \alpha_0 \quad (\text{Gl. 1}).$$

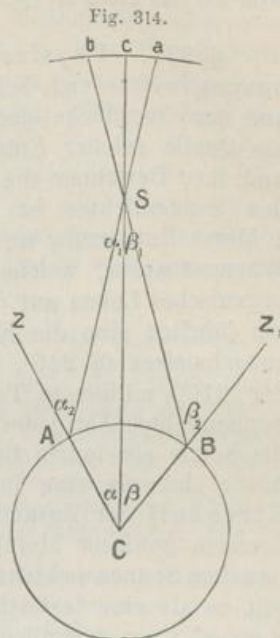
Liegen die Stationen A und B nicht genau auf demselben Meridian, so kann man doch leicht die Zenithdistanzen α_2 und β_2 von S mit Berücksichtigung ihrer Veränderung infolge der Längendifferenz beider Orte auf dieselbe Zeit reduzieren.

Durch ein derartiges Verfahren ist die Horizontalparallaxe der Sonne angenähert gefunden und später durch andere indirekte Methoden (§ 376) auf den Wert $8,8''$ genauer bestimmt worden. Die Entfernung der Erde von der Sonne ergibt sich jetzt, indem man den Erdradius durch den Sinus der Horizontalparallaxe $8,8''$ dividiert, d. h. mit $23\,439$ multipliziert. Die Entfernung beträgt demnach $149\,500\,000$ km oder $20\,140\,000$ geogr. Meilen. Hieraus ergibt sich weiter der Halbmesser der Sonne durch Multiplikation mit $\sin 16' 1,25''$, also gleich $697\,000$ km oder $93\,900$ Meilen.

Der Halbmesser der Sonne ist fast doppelt so groß, ihre Entfernung von der Erde fast 400 mal so groß als die Entfernung des Mondes von der Erde (§ 381).

Die Masse der Sonne ist (nach Leverrier) das $324\,439$ fache der Erdmasse (§ 387), und darum liegt der Schwerpunkt von Sonne und Erde, um welchen sie sich bewegen, noch innerhalb der ersteren, nämlich nur etwa 460 km oder 62 geogr. Meilen vom Mittelpunkt derselben entfernt. Das Volumen der Sonne ist etwa $1,3$ Millionen mal größer als das der Erde und ihre mittlere Dichtigkeit darum nur $0,249$ oder fast ein Viertel der Dichtigkeit der Erde, folglich, da sich die letztere aus den Beobachtungen von Reich und Cavendish (§ 58) gleich $5,6$ ergeben hat, ist die Sonne durchschnittlich nur $1,4$ so dicht als das Wasser.

Der Wert der Horizontalparallaxe der Sonne $8,8''$ ist wahrscheinlich bis auf $0,05''$ genau: diesem Winkel aber entspricht eine Änderung für den Sonnenabstand von etwa $70\,000$ km und für den Sonnenhalbmesser von etwa 4000 km, und darum sind die obigen Werte in der abgerundeten Form dargestellt. (Die Zahl $324\,439$ für die Sonnenmasse ist dem *Annuaire pour l'an 1882* entnommen.) Die Entfernung der Sonne ist so groß, daß eine Kanonenkugel etwa 10 Jahre brauchen würde, um die Sonne mit gleich bleibender Geschwindigkeit (500 m) zu erreichen, das Licht 8 Min., obschon es $300\,000$ km in der Sekunde zurücklegt. Die Sonne ist 6 Millionenmal größer als der Mond; denkt man sich die Sonne in zwei Hälften geteilt und in jeder Hälfte eine möglichst große Hohlkugel, so würde in einer solchen Hohlkugel, die Erde in deren Mitte angenommen, der Mond nahezu frei seinen Umlauf um die Erde machen können, obschon er $384\,000$ km von der Erde entfernt ist. In ihrem Volumen übertrifft die Sonne die Planeten in so hohem Grade, daß alle Planetenkugeln zusammengenommen noch nicht den 560 sten Teil

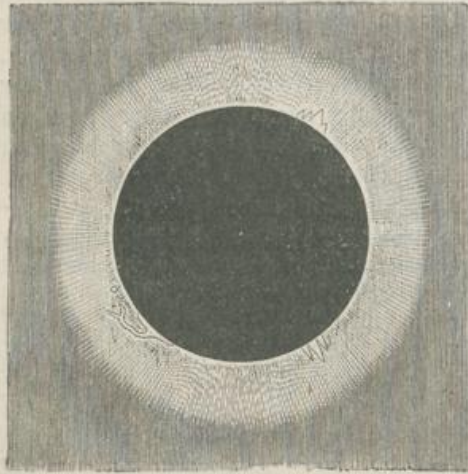


der Sonnenkugel an Raum einnehmen. Ein frei fallender Körper würde auf der Sonne eine mehr als 27 mal größere Beschleunigung erhalten als auf der Erde, also innerhalb der ersten Sekunde die Geschwindigkeit 267 m erlangen; ebenso würde auch das Gewicht eines Körpers an der Sonnenoberfläche 27 mal größer sein, als das eines Körpers von gleicher Masse auf der Erde.

§ 371. *Physische Beschaffenheit der Sonne.* Die Erscheinungen, welche sich bei sorgfältigen, jahrelang fortgesetzten Beobachtungen auf der Oberfläche der Sonne kundgegeben haben, sind in neuerer Zeit die Quelle reicher Entdeckungen geworden. Die Sonne ist für die Erde und ihre Bewohner die vorzüglichste Licht- und Wärmequelle. Die Stärke des Sonnenlichtes ist (§ 132) gleich der von 60000 Stearinkerzen in 1 Meter Entfernung und 600 000 mal so groß als die des Vollmondes. Die Wärmestrahlen, welche die Erde von der Sonne erhält, und ohne welche organisches Leben auf der Erde nicht möglich sein würde, sind hinreichend, um jährlich eine die Erde in der Dicke von 30 m umgebende Eisschicht zu schmelzen (§ 240), und doch gelangt von den Strahlen der Sonne nur der 2160 millionste Teil auf die Erde. Die prismatische Zerlegung des Sonnenlichtes hat jedes Bedenken beseitigt in betreff der Annahme, daß die Sonne ein feurig flüssiger Körper ist, oder wenigstens, daß ihre Oberfläche sich als eine feurige Dampfatmosphäre darstellt. Ja seitdem von Kirchhoff der Zusammenhang nachgewiesen ist zwischen den beim Verbrennen gewisser Metalle im Spektrum sich zeigenden, hellen Linien und den dem Sonnenspektrum charakteristischen, dunklen Fraunhoferschen Linien, gilt es als eine feststehende Thatsache, daß in der den lichtaussendenden Sonnenkörper umhüllenden, glühenden Dampfschicht Natrium, Eisen, Calcium, Mangan, Nickel in gasförmigem Zustande enthalten sind (§ 150).

Von Frankland ist beobachtet worden, daß Wasserstoff in Sauerstoff bei hohem Druck brennend mit hellem Licht leuchtet und ein kontinuierliches Spektrum liefert, während das Wasserstoffspektrum unter gewöhnlichen Umständen aus drei scharf begrenzten hellen Linien besteht (§ 149). Demnach hat Zöllner als wahrscheinlich dargestellt, daß die sichtbare Oberfläche der Sonnenscheibe durch eine Wasserstoffatmosphäre gebildet wird, deren Spektrum durch gesteigerten Druck kontinuierlich geworden ist.

Fig. 315.



finsternis vom 28. Juli 1851 dargestellt ist.) Bald nach der totalen Sonnenfinsternis vom 18. August 1868 gelang es dem französischen Physiker

Weitere Entdeckungen haben sich an eine während der kurzen Dauer einer totalen Sonnenfinsternis (§ 383) hervortretende Erscheinung angeschlossen. Nämlich die die Sonne ganz verdeckende, dunkle Mondscheibe erscheint alsdann von einem hellen Strahlenkranz (corona) umgeben, und außerdem zeigen sich an einzelnen Stellen Hervorragungen (Protuberanzen) von eigentümlichem matteren, rosenfarbenen Licht, welche sich Tausende von Meilen über die Oberfläche der Sonne hinaus erstrecken. (Vgl. Fig. 315, in welcher die totale Sonnen-

Janss
zufinde
häufig
Stellen
Spektra
Eruption
stellen,
welche
N
peratur
Innern
aus der
Atmosph
Gle
sich die
Locky
über ein
Guntoor
Man hat
rand hin
25° bis
eine sol
bis drei
Ma
erfährt
Ausstral
Erde se
finden i
Meteorn
der Ber
dem Ve
lebendig
Temper
die Erh
des Wa
groß ist
oberfläch
von auf
Druck a
genüge
messer
Zeit zu
letzten
700 km
nur um
besten
§
Erfindu
schon
von seh
West z
sind, v
Man ha
um ein
dieser
Neigung

Janssen, die Protuberanzen auch an der nicht verdunkelten Sonne aufzufinden, und seitdem hat man dieses Phänomen, welches sich in ebenso häufigem Wechsel von Form und Größe, sowie an den verschiedensten Stellen der Sonnenoberfläche wiederholt, vielfach beobachtet. Durch die Spektralanalyse hat sich herausgestellt, daß sich in den Protuberanzen Eruptionen von glühenden Gasen, vorzugsweise von Wasserstoffgas, darstellen, ja daß die ganze Sonne von einer glühenden Hülle solcher Gase, welche Chromosphäre genannt wird, umgeben ist.

Nach Berechnungen von Zöllner ergibt sich als die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre $27\,000^{\circ}$ C. und als die Temperatur im Innern der Sonne etwa $70\,000^{\circ}$ C., ferner daß im Innern der Räume, aus denen die Protuberanzen hervorbrechen, ein Druck von über 4 Mill. Atmosphären herrscht.

Gleiche Ansprüche mit Janssen hat auf die Priorität der Entdeckung, daß sich die Protuberanzen jederzeit beobachten lassen, der englische Physiker Lockyer, der die Grundidee dazu schon 1866 gefaßt hatte, und dessen Bericht über eine am 22. Oktober 1868 gelungene Beobachtung gleichzeitig mit dem aus Guntoor eingetroffenen Janssenschen Bericht in Paris zur Veröffentlichung gelangte. Man hat Protuberanzen beobachtet, welche sich bis über 10 Min. über den Sonnenrand hinaus, also bis zu einer Höhe von fast $\frac{1}{3}$ des Sonnendurchmessers und auf 25° bis 30° des Umfangs der Sonnenscheibe erstreckt haben, und dabei brauchte eine solche Flammenwelle, um bis zur Höhe von 2 Min. aufzuwirbeln, nur zwei bis drei Sekunden Zeit.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob die Sonne auf irgend eine Weise Ersatz erfährt für den ungeheuren Verlust an Wärme, den sie fortwährend durch ihre Ausstrahlung in den Weltenraum erleidet, da doch ihre Wärmewirkung auf die Erde seit Jahrhunderten ungeändert geblieben ist, und glaubt diesen Ersatz zu finden in der Entwicklung neuer Wärme, welche durch das Hineinfallen von Meteor Massen in den Sonnenkörper bedingt ist. Derartige Massen (§ 393) erreichen, der Berechnung nach, die Sonne mit einer Geschwindigkeit von 400–600 km, mit dem Verlust dieser ungeheuren Geschwindigkeit beim Eintreten in die Sonne wird lebendige Kraft frei, welche, in Wärme übergeführt, der stürzenden Masse eine Temperaturerhöhung von etwa 50 Mill. Graden C. oder der millionfachen Masse die Erhöhung von etwa 50° C. erteilt, die spezifische Wärme der Masse gleich der des Wassers vorausgesetzt, während die des Eisens z. B. in der That nur $\frac{1}{9}$ so groß ist. Außerdem hat Helmholtz darauf hingewiesen, daß, wenn die Sonnenoberfläche durch ihre Wärmeausstrahlung wirklich erkaltet, sich der Sonnenkörper von außenher zusammenzieht und demnach auf die inneren Teile ein erhöhter Druck ausgeübt wird, der eine erneute Wärmeentwicklung zur Folge hat; es genüge eine Zusammenziehung des Sonnenkörpers um wenige Meter im Durchmesser während eines Jahres, um den gesamten Wärmeverbrauch innerhalb dieser Zeit zu decken. Wenn aber in der That der Sonnendurchmesser innerhalb der letzten zwei Jahrhunderte, seitdem er genauer beobachtet worden ist, sogar um 700 km abgenommen haben sollte, so würde sich ihr scheinbarer Durchmesser doch nur um eine Sekunde vermindert haben, d. h. um eine Größe, über welche die besten Beobachtungsinstrumente noch jetzt im Zweifel lassen.

§ 372. Sonnenflecke, Umdrehungszeit der Sonne. Bald nach Erfindung des Fernrohrs sind auf der Sonnenscheibe (von Fabricius schon 1611) dunklere Flecke bemerkt worden, welche, im allgemeinen von sehr veränderlicher Natur, eine fortschreitende Bewegung von Ost nach West zeigen, zum Teil auch, nachdem sie am Westrande verschwunden sind, von neuem als am Ostrand wiederkehrend beobachtet werden. Man hat daraus einen Schluß auf die regelmäßige Umdrehung der Sonne um eine in ihrer Richtung unveränderliche Axe gemacht, und die Dauer dieser Umdrehung ist 1886 von Spörer auf 25 Tage 5^h 28^m , sowie die Neigung des Sonnenäquators und der Ekliptik zu 6° $57'$ bestimmt worden.

Größere Sonnenflecke, die selbst dem bloßen Auge sichtbar sind, übertreffen an Ausdehnung die Oberfläche der Erde; nur wenige überdauern eine oder mehrere Umdrehungen der Sonne, sie verschwinden nach und nach spurlos und werden durch andere, neu entstehende wieder ersetzt. Bisweilen ist die Sonne ganz fleckenfrei. Man hat für die Zu- und Abnahme in ihrer Zahl und GröÙe eine sehr ausgesprochene Periodicität von 11,1 Jahren beobachtet, nämlich für die Zunahme durchschnittlich 3,7 Jahre, für die Abnahme 7,4 Jahre. In der Nähe der Sonnenflecke zeigen sich oft Stellen, die durch ein helleres Licht vor den übrigen Teilen der Sonnenoberfläche hervortreten und Sonnenfackeln genannt werden. Dieselben sind gewöhnlich von beträchtlichen Protuberanzen begleitet und vielleicht mit diesen zu identifizieren, so daß die Protuberanzen am Sonnenrande erscheinende Fackeln sind.

Fig. 316.



22. Sept. 1870.

Fig. 316a.



19. Sept.

Fig. 316b.



20. Sept.

Fig. 316c.



21. Sept.

In Fig. 316 ist die Sonne dargestellt, wie sie sich dem bewaffneten Auge am 22. Sept. 1870 gezeigt hat; das allmähliche Vorrücken der Fleckengruppe auf der linken Seite, während der vorhergehenden Tage, ist in den Figuren 316a—c zur Anschauung gebracht.

Die Sonnenflecke sind keineswegs ganz dunkel; vielmehr hat Zöllner gefunden, daß sie noch 4000mal soviel Licht ausstrahlen, als gleich große Flächen

des V
eines s
diese V
und
Sonne
genann
Schlach
schwim
strahlu
welche
stellen
die Son
nten,
kühlun
Gleichz
äußere
werden

W
Nähe o
Breiten
und ve
so ist o
Axe s
hervorg
etwa 2
folgend
länger
rande,
rande o
Zeit d
der Ek
selbst
gemach
Umdre
der Pr

woraus

Die
richtu
verschi
schein
stellen
Am 4.
punkte
3. Sep

S
nen si
Licht
sichtb
auch
sie, i
schnel
bezeic
Saturn
skopis
Aster

des Vollmondes. Um ihre wahre Farbe zu erkennen, erzeugte Busolt, mittelst eines sechsfüßigen Fernrohrs, ein Sonnenbild auf einer weißen Fläche; er fand auf diese Weise die Sonnenscheibe selbst farblos, aber durchweg hellviolett gesprenkelt und die Flecke von dunkelvioletter Farbe. Bei genauer Beobachtung zeigen die Sonnenflecke einen dunkleren Kern, der von einem weniger dunklen Hof, der sogenannten *Penumbra*, umgeben ist. Nach Zöllner sind die Sonnenflecke Schlackenmassen zu vergleichen, welche auf der feurig flüssigen Sonnenoberfläche schwimmen. Über ihnen bilden sich dann, wegen der durch sie verminderten Ausstrahlung der Wärme, wolkenartige Verdichtungen der Sonnenatmosphäre, durch welche hindurch die Schlackeninseln als Kerne erscheinen; die Wolken selbst stellen sich als *Penumbra* für einen oder mehrere Kerne dar. Nach Lockyer ist die Sonnenkugel von einer Atmosphäre umgeben, in der sich die schweren Gase unten, die leichteren oben befinden. Durch die an der Oberfläche erfolgende Abkühlung sinken die kälteren Massen nach unten und erzeugen so die Sonnenflecke. Gleichzeitig erfolgen Strömungen heißer Massen nach oben, die zum Teil die äußere Hülle durchbrechen und in Form von Protuberanzen emporgeschleudert werden.

Weil die Sonnenflecke eine eigene Bewegung zeigen, die vorzugsweise in der Nähe des Sonnenäquators als übereinstimmend und in höheren heliographischen Breiten als entgegengesetzt der Umdrehungsbewegung der Sonne beobachtet wird, und vermöge deren sich im allgemeinen die Sonnenflecke vom Äquator entfernen, so ist die genauere Bestimmung der Umdrehungszeit der Sonne um ihre Axe sehr schwierig und in der That auch erst aus langjährigen Beobachtungen hervorgegangen. Im allgemeinen vergehen etwa 27 Tage zwischen den auf einander folgenden Zeiten des Hervortretens eines länger andauernden Sonnenfleckes am Ost- oder seines Verschwindens am West- rande der Sonne; weil nun während dieser Zeit die Erde selbst um ungefähr 27° in der Ekliptik vorgedrückt ist, muß die Sonne selbst 27° mehr als eine volle Umdrehung gemacht haben. Man erhält also die wahre Umdrehungszeit der Sonne angenähert aus der Proportion

$$x : 27 \text{ Tage} = 360^\circ : 387^\circ$$

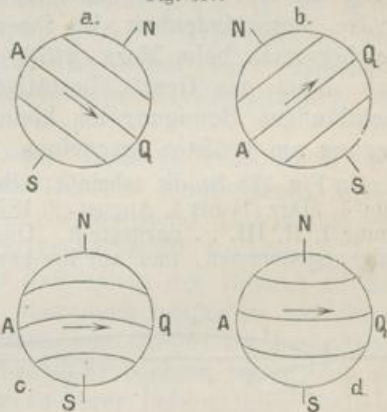
woraus:

$$x = 25 \text{ Tage.}$$

Die Unveränderlichkeit der Axenrichtung der Sonne ergibt sich aus den verschiedenen Formen, in denen sich die scheinbaren Bahnen der Sonnenflecke darstellen, wie aus den Figuren 317 hervorgeht.

Am 4. Juni (a) und am 6. Dezember (b) befindet sich die Erde in den Schnittpunkten der Äquatorialebene der Sonne mit der Erdbahn, am 5. März (c) und am 3. September (d) in der Projektionsebene der Sonnenaxe auf die Ekliptik.

Fig. 317.



B. Die Planeten.

§ 373. Scheinbare Bewegung der Planeten. Die Planeten zeichnen sich unter den Gestirnen durch ihr ruhiges, zum Teil auch matteres Licht aus und dadurch, daß sie, wenigstens alle, die mit bloßem Auge sichtbar sind, sich in guten Fernrohren scheibenförmig zeigen, zum Teil auch mit Phasen, welche denen des Mondes gleichen; ferner verändern sie, in auf einander folgenden Nächten beobachtet, mehr oder weniger schnell ihre Lage zu den anderen Gestirnen. Als hell leuchtend sind zu bezeichnen die Planeten Venus, Mars, Jupiter und in matterem Lichte Saturn, dem unbewaffneten Auge aber nur selten sichtbar Merkur, teleskopisch (nahezu) Uranus, Neptun, Ceres, Pallas und die übrigen sogenannten Asteroiden.