

Liebe Leserin, lieber Leser,

am 14. Januar schießt *Messenger* knapp an seinem Ziel vorbei, dem Merkur. Mit nur 200 km wird die Sonde dichter am Merkur dran sein als damals vor über 30 Jahren *Mariner 10*. Das ist das erste von insgesamt drei *swing-by* Manövern, bevor der „Bote“ im März 2011 in eine Umlaufbahn um den Götterboten einschwenken wird. Um Treibstoff zu sparen wird die Sonde wiederholt himmelsmechanisch gebremst. Das kostet Reisezeit.

Dann gibt es zwei Jubiläen:

Vor 30 Jahren wurde an einem 26. Januar IUE gestartet, der *International Ultraviolet Explorer*, fünf Jahre darauf, vor einem Vierteljahrhundert also, an einem 25. Januar, der *Infrared Astronomical Satellite* IRAS, ein Satellit für den Infrarothimmel. Beide Observatorien weiteten unseren Blick auf den Kosmos. Von der Erde aus, im Optischen, ist, eingeengt durch die Atmosphäre, sozusagen nur der „lauwarme“ Kosmos zu sehen. (Alles, was einige Tausend Grad heiß ist.) IUE zeigte uns seine heiße Seite, IRAS seine kühle. IUE, der Hubble-Vorläufer, war außerordentlich erfolgreich. Statt der anvisierten drei bis fünf Jahre, beobachtete er fast 19 Jahre lang spektroskopisch den UV-Himmel. Er musste 1996, hauptsächlich aus finanziellen Erwägungen heraus, abgeschaltet werden! Am Ende seines ersten Jahrzehnts schaute er auf das Jahrhundertereignis, die Supernova 1987A in der Großen Magellanschen Wolke. Dank IUE konnte der Vorgängerstern als blauer Überriese identifiziert werden, was allgemein überraschte. Gerechnet hatte man mit einem roten! Das von IUE wahrgenommene Lichtecho der Supernova konnte später zur exakten Entfernungsbestimmung herangezogen werden. Bevorzugtes Forschungsobjekt von IUE waren die heißen Sterne mit ihren stürmischen Winden. Aber auch Kometen. IUE maß beispielsweise den Wasserdampfausstoß des Halleyschen Kometen bei seiner Annäherung an die Sonne 1986: 15 t/s.

Die Lebensdauer von IRAS war technisch bedingt kurz. Das Infrarotteleskop musste durch flüssiges Helium auf wenige Grad Kelvin gekühlt werden, damit die eigene Wärmestrahlung nicht die Messungen im langwelligen IR zunichte macht. Der Heliumvorrat reichte leider nicht ganz ein Jahr. IRAS hat

in dieser Zeit viermal fast den gesamten Himmel in vier IR-Bändern abgetastet. Zu seinen Entdeckungen zählen die Staubscheiben um junge Sterne, wie Wega, Infrarot-Protosterne, Infrarot-Galaxien und die Infrarot-Staubzirren oberhalb und unterhalb der galaktischen Scheibe.

Am 29. Januar saust der Apollo-Asteroid 2007 TU24 in 1 1/2-facher Mondentfernung an uns vorbei. Er ist ein NEO, ein *Near-Earth Object*. Eine unmittelbare Gefahr geht nicht von diesem 400-m-Brocken aus.

Astronomie ist zu einem Großteil Entfernungsbestimmung. Wie man von der zweidimensionalen Projektion an die Himmelskugel zu einem dreidimensionalen „Abbild“ des Kosmos gelangt, damit befasst sich dieser Newsletter.

Die UNESCO hat 2008 zum Internationalen Jahr des Planeten Erde erklärt. Was die Erde letztlich ist, wird sich erst im größeren Kontext enthüllen, wenn wir sie demaleinst mit anderen „Erden“ in Beziehung setzen können.

Einen guten Start ins Schaltjahr 2008 wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Januar

Anfang Januar durchläuft die Erde ihr Perihel. Sie kommt dann der Sonne auf ihrer leicht elliptischen Jahresbahn auf 0,983 AE nahe. Nie steht die Sonne so groß am Himmel wie ausgerechnet Anfang Januar. Uns Bewohnern der Nordhalbkugel schenkt dies fast eine Woche Sommer! Das Sommerhalbjahr (Frühlings- bis Herbstanfang) ist für uns länger als das Winterhalbjahr. Dieser Vorteil schwindet: Die Erdbahn wird z. Z. immer kreisähnlicher.

Merkur ist gegen Monatsende in der Abenddämmerung sichtbar. Am 22. Januar erreicht er mit $18,6^\circ$ seinen größten östlichen Winkelabstand zur Sonne. Venus bleibt noch Morgenstern. Sie nähert sich allerdings mit Riesenschritten der Sonne. Ab Monatsende geht sie in der Morgendämmerung auf. Venusanbeter werden sie dann lange entbehren müssen. Ab November beherrscht Venus als Abendstern den nächtlichen Westhimmel.

Mars hatte gerade seine Opposition und ist den ganzen Januar über noch gut sichtbar.

Saturn hat seine Opposition noch vor sich, am 24. Februar, und ist bereits jetzt fast die ganze Nacht über sichtbar.

Kosmische Weiten

Die moderne Astronomie wurde möglich, als man die Trennung zwischen irdischer und himmlischer Physik aufhob. Der sprichwörtliche Apfel, der vom Baume fällt, folgt dem gleichen Gesetz der Schwere wie die Planeten, die um die Sonne „fallen“.

Der Prozess der Entmythisierung der Wirklichkeit, eingeleitet vor 400 Jahren durch europäische Astronomen, er ist noch voll im Gange. Der Kampf tobt diesmal allerdings an der Neuro-Front: Das uralte Leib-Seele-Problem harret einer Lösung. Und diesmal werden Ethik und Moral nicht ungeschoren davon kommen. Nach der Vertreibung des Menschen aus dem Mittelpunkt eines gottgegebenen Kosmos und der Rückstufung zum vernunftbegabten Tier steht das letzte (?) Vorurteil zur Disposition: seine Willensfreiheit.

Die Astronomische Einheit

Keplers Gesetze der Planetenbewegung sind eine Konsequenz des Newtonschen $1/r^2$ -Gesetzes für die Schwerkraft. Das Dritte Keplersche Gesetz verknüpft die Umlaufzeiten der Planeten mit ihren Bahnradien. Erstere sind beliebig genau messbar, also liegen die Radien (genauer: die großen Halbachsen der Bahnellipsen) fest. Seit Kepler verfügen wir über ein maßstabsgetreues Bild des Sonnensystems! Der Grund: Alle Planeten fallen unter dem Einfluss der gleichen Sonne. (Die Planetenmassen sind verglichen mit der Masse der Sonne vernachlässigbar klein.) Ist eine einzige Entfernung, ein einziger Abstand bekannt, z. B. der zwischen Venus und Erde zum Zeitpunkt der unteren Konjunktion, sind alle anderen ebenfalls bekannt! Doch wie bestimmt man die Länge des Maßstabs, den mittleren Abstand der Erde von der Sonne, die sog. Astronomische Einheit (AE)? Von der Sonne aus gesehen, erscheint die Erdkugel unter einem Winkel von weniger als 0,005 Grad! Oder anders ausgedrückt: Die größte uns zugängliche Basislänge in Kilometern, der Erddurchmesser, ist fast 12 000 mal kleiner als die AE. Den Abstand zur Sonne durch Triangulation bestimmen zu wollen, was bereits in der Antike von Aristarch von Samos versucht wurde, ist aussichtslos und scheitert an der Kleinheit des parallaktischen Winkels.

Aber, wie gesagt, andere Himmelskörper kommen uns näher. Mars und Venus beispielsweise. Die Venus ist uns günstigstenfalls viermal näher als die Sonne (zur unteren Konjunktion). Kleine Planeten, wie Eros oder der Apollo-

Asteroid Hermes, sind noch geeigneter. (Zu nahe dürfen sie uns allerdings nicht kommen. Die Keplerschen Gesetze gelten nur, solange die Sonne gravitativ dominiert, die Erde also nicht stört.)

Heutzutage sind die Abstände im Sonnensystem kilometergenau bekannt. Das verdanken wir Radarbeobachtungen, insbesondere der Venus, und der interplanetaren Raumfahrt. Aus der Echolaufzeit von Radarwellen (bzw. der noch viel genauer messbaren Dopplerverschiebung) ergibt sich exakt die Entfernung in Kilometern. Um nicht andauernd die AE an die neuesten Messungen anpassen zu müssen, hat man sie 1976 behördlich festgelegt: $1 \text{ AE} = 149\,597\,870\,691 \text{ m}$. Das sind ein paar hundert Kilometer weniger als die gegenwärtige große Halbachse der Erdbahn.

Nur am Rande sei erwähnt, dass wir zwar das Produkt aus Gravitationskonstante und Sonnenmasse sehr genau kennen, nicht aber die Sonnenmasse selbst. Die Gravitationskonstante ist notorisch die relativ ungenaueste Naturkonstante! Das ist der Grund dafür, dass Astronomen immer noch Planetenmassen vorzugsweise in Einheiten der Sonnenmasse angeben und nicht in Kilogramm.

Sternparallaxen

Mit der Kenntnis der Größe der Erdbahnhalfachse wird der nächste Schritt möglich: die Bestimmung der Entfernung zu den Nachbarsternen. Dass diese Entfernungen unermesslich groß sein müssen, ahnte schon Kopernikus. Die Bewegung der Erde um die Sonne spiegelt sich in den Bahnschleifen der Planeten am Himmel wider, sie muss sich auch in einem periodischen Hin und Her der Sterne spiegeln mit einer Periode von einem Jahr. Der Nachweis dieses parallaktischen Effekts gelang erstmals in den Jahren 1837/38 durch den Königsberger Astronomen Friedrich Wilhelm Bessel. Das war der schlagendste Beweis dafür, dass sich die Erde um die Sonne bewegt und nicht umgekehrt! (Den ultimativen Beweis für die Richtigkeit der Kopernikanischen Lehre kann man der kosmischen Hintergrundstrahlung entlocken: Die Umlaufbewegung der Erde um die Sonne von 30 km/s spiegelt sich mit ihrer jährlichen Periode in der Hintergrundstrahlung wider. Sie „erzeugt“ eine scheinbare Temperaturschwankung, die 10-mal jene stochastischen Schwankungen übertreffen, nach denen man gesucht hat.)

Die Fixsternparallaxe gab Anlass für eine neue Entfernungseinheit: das Parsek. Ein Parsek (pc) ist die Entfernung, bei der der Halbmesser einer Kugel

von 1 AE Radius unter einem Winkel von einer Bogensekunde erscheint, $1 \text{ pc} = 206264,8 \text{ AE} = 3,2616 \text{ Lj}$.

Das trigonometrische Verfahren basiert auf der Euklidischen Geometrie und ist mithin hypothesenfrei. Leider reicht es nicht allzu weit. Der Astrometrie-Satellit Hipparcos vermochte, parallaktische Winkel auf 0,001 Bogensekunden ($0,0000003^\circ$) genau zu bestimmen. Damit konnte man die Entfernungen von Sternen ermitteln, die Hunderte von Lichtjahren von uns entfernt durch den Raum treiben. GAIA (Starttermin 2011) wird noch 40-mal genauer sein, also auf $0,000000007^\circ$ genau messen. Damit käme man mindestens Zehntausend Lichtjahre weit, aber noch nicht bis zum Milchstraßenzentrum.

Ein weiteres geometrisches Verfahren nutzt aus, dass viele Sterne sog. Sternströmen angehören. Sterne eines solchen Stroms bewegen sich wie ein Fischschwarm: alle mit der gleichen Geschwindigkeit und alle in die gleiche Richtung. Befinde ich mich inmitten eines Sternstroms, gibt es immer den einen oder anderen Stromstern, der genau auf mich zukommt oder sich von mir entfernt. Von einem solchen vermag ich mittels des Dopplereffekts meine Geschwindigkeit (in km/s) relativ zum Strom zu bestimmen. Ist diese erst einmal mit Richtung und Betrag bekannt, kann von jedem anderen Mitglied des Stroms, der sich nicht gerade auf mich zu oder von mir hinweg bewegt, aus seiner Eigenbewegung am Himmel auf seine Entfernung geschlossen werden. Der Vorteil: Je länger der Zeitraum, der mir zur Verfügung steht, desto genauer die Eigenbewegung. Das Verfahren gewinnt an Genauigkeit, wenn ich die Zeit für mich arbeiten lasse. Natürlich eignet solchen Sternstromparallaxen ein statistisches Element. Nicht jedes vermutliche Strommitglied gehört wirklich dem Strom an, und dann vollführen ja die Sterne auch noch ihre eigenen Bewegungen. Sie bewegen sich also nicht völlig parallel zueinander.

Standardkerzen

Will man weiter hinaus, muss man auf fotometrische Verfahren ausweichen. Die Idee: Die Intensität einer Lichtquelle verringert sich mit dem Quadrat des Abstandes. Die Helligkeit, mit der ein Stern die Erde beleuchtet (in Watt/m^2), ist messbar. Doch wie sieht man einem Stern seine wahre Leuchtkraft (in Watt) an? Nun, wenn ein Sternspektrum sich in nichts von dem der Sonne unterscheidet, kann man davon ausehen, dass es sich um einen Hauptreihenstern von der Masse, der chemischen Zusammensetzung und dem Alter der Sonne handelt. Ein solcher Stern hätte natürlich die gleiche Leucht-

kraft wie die Sonne. Hauptreihensterne, also solche, die sich im Zustande des Wasserstoffbrennens befinden, aber nicht vom Spektraltyp der Sonne sind, kann man ebenfalls eichen. Angenommen, wir finden einen Stern wie unsere Sonne in einem Sternhaufen. Da alle Sterne dieses Haufens gleich weit von uns entfernt sind, wissen wir mit einem Schlag von allen Mitgliedsternen die Leuchtkräfte. Eine wichtige Rolle kommt in diesem Zusammenhang den Hyaden zu. Die Hyaden sind ein Bewegungssternhaufen, ein Sternstrom. Die Entfernung ist ziemlich genau bekannt. Die Hyadensterne fungieren als Standardkerzen. Jeder Fehler in der Hyadenparallaxe wirkt sich automatisch auf fast alle fotometrisch ermittelten Entfernungen aus.

Cepheiden

Die Sonne ist als Standardstern reichlich ungeeignet, sie ist zu lichtschwach. Man kann einen Stern wie unsere Sonne einfach nicht weit genug sehen. Riesensterne sind da viel interessanter. Eine spezielle Art von Riesen zeichnen sich dadurch aus, dass sie pulsieren, periodisch sich aufblähen und wieder zusammensacken. Diese δ -Cephei-Sterne gehorchen, wie man seit fast 100 Jahren weiß, einer Perioden-Leuchtkraft-Beziehung. Aus der Periode ihres Lichtwechsels ergibt sich mit 5-prozentiger Genauigkeit ihre mittlere Leuchtkraft. Da diese Riesensterne bis zu 10 000 mal heller als die Sonne sind, kann man sie noch in Nachbargalaxien als solche ausmachen. Der Astronom ist hocheifrig über jeden echten Cepheiden, den er findet, ist dieser doch wie ein „Leuchtturm“ im All, dem man seine Entfernung ansieht. (Es hatte eine Weile gedauert, bevor man lernte, echte Cepheiden von „falschen“ zu unterscheiden.)

Natürlich ist die fotometrische Eichung von Riesensternen nicht leicht. Riesensterne sind selten. In der Sonnennachbarschaft findet man leider keinen einzigen Cepheiden.

Abgesehen von den Schwierigkeiten der Eichung hat die fotometrische Entfernungsbestimmung noch einen weiteren Nachteil. Der Raum ist nicht völlig leer. Interstellarer Staub verschluckt Licht und täuscht damit oft eine viel zu große Entfernung vor. Allerdings sorgt der Staub auch für eine Verrötung des Sternenlichts. Aus der gemessenen Verrötung – der Spektraltyp ist davon nicht betroffen – kann man auf die Absorptionswirkung schließen und somit die Entfernung korrigieren.

Diese interstellare Extinktion ist insbesondere hinderlich, geht es ums Ver-

messen des Milchstraßensystems. Das Zentrum unserer Milchstraße verbirgt sich hinter optisch undurchdringlichen staubigen Gaswolken. Dass sich dort so etwas wie ein Zentrum befindet, darauf deutet optisch nur die hohe Konzentration von Kugelsternhaufen in jener Region hin. Erst im Infraroten wird das Zentrum erforschbar. Allerdings gibt's ein paar Grad neben dem eigentlichen Zentrum ein „Fenster“ geringer Extinktion, durch das man zumindest am galaktischen Zentrum vorbei sehen kann. Das reicht aus, mittels Pulsationsveränderlicher vom RR-Lyrae-Typ die Entfernung zum galaktischen Zentrum zu bestimmen.

Das Thema Entfernungsbestimmung mit Pulsationsveränderlichen ist unerschöpflich. Unbedingt zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang die Baade-Wesselink-Methode. Die Leuchtkraft eines Sterns ist proportional der strahlenden Oberfläche, also dem Quadrat des Radius, und der vierten Potenz der Oberflächentemperatur. Aus Leuchtkraft- und Temperaturvariation ergibt sich für zwei Zeitpunkte t_1 und t_2 sofort das Radienverhältnis $R(t_2)/R(t_1)$. Andererseits kann mittels des Dopplereffekts die Geschwindigkeit, mit der sich der Stern aufbläht bzw. zusammenzieht, spektroskopisch gemessen werden. Durch Aufintegration der Geschwindigkeit über die Zeit ergibt sich die Radiendifferenz $R(t_2) - R(t_1)$ in Kilometern. Wir haben zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten. Aufgelöst ergeben sich die beiden Radien $R(t_2)$ und $R(t_1)$ und daraus wiederum, über die Temperaturen, die wahren Leuchtkräfte zu den beiden Zeitpunkten. Dieses Verfahren, benannt nach Walter Baade (1893–1960) und Adriaan Jan Wesselink (1909–1995), ist geradezu genial und für alle undurchsichtigten pulsierenden oder expandierenden leuchtenden Kugeln geeignet, insbesondere auch für Supernovae.

Walter Baade war es auch, der erkannte, dass Pulsationsveränderlicher nicht gleich Pulsationsveränderlicher ist. Es gibt unterschiedliche Sternpopulationen! Diese Erkenntnis hat um 1950 herum den Wert für den „Weltradius“ (und für das Weltalter!) schlagartig verdoppelt, weil alle zuvor gemessenen Cepheiden-Distanzen wegen eines Eichfehlers zu klein ausgefallen waren.

Ia-Supernovae

Die klassischen Cepheiden sind zwar hell, aber noch längst nicht hell genug. Für kosmologisch interessante Entfernungen sind selbst sie viel zu lichtschwach. Doch mit ihnen kann man Ia-Supernovae eichen! Das sind Weiße Zwerge, die ihre ihnen von der Quantenphysik diktierte Grenzmasse über-

schreiten und thermonuklear detonieren. Für Tage und Wochen strahlt so eine Explosionswolke milliardenfach heller als die Sonne! Man muss davon ausgehen, dass alle diese Supernovae in etwa die gleiche Maximalhelligkeit erreichen. Damit sind sie ideale Standardkerzen für kosmologische Untersuchungen. Sie machen sich noch in den entferntesten Galaxien bemerkbar. Damit wäre die oberste Stufe der kosmischen Entfernungsleiter erklommen. Genaugenommen geht es bei hoch-rotverschobenen Galaxien gar nicht mehr um ihre Entfernung – das bei weitem geeignetste Maß dafür ist ihre kosmologische Rotverschiebung! –, man möchte vielmehr mit ihnen den Verlauf der Expansion des Universums rekonstruieren. So ein Kosmologe schaut ja in die Vergangenheit zurück und kann die damalige Expansionsrate mit der heutigen vergleichen. (Voraussetzung ist natürlich, dass sich die heutigen Ia-Supernovae in nichts von den damaligen unterscheiden.)

„quinta essentia“

Die Verwendung von Ia-Supernovae als „Standardkerzen“ in hoch-rotverschobenen Galaxien hat eine bemerkenswerte Entdeckung gezeitigt. Die kosmologische Expansion ist zwar zunächst gebremst verlaufen – die Anziehungskraft der Materie zehrt natürlich an der Galaxienflucht –, vor wenigen Jahrtausenden scheint sich jedoch der Trend umgekehrt zu haben. Heutzutage verläuft die kosmologische Expansion offenbar beschleunigt. Als Quelle der „Antigravitation“ wird eine Substanz vermutet, die wesentlich aus Zugspannung besteht, mithin einen negativen Druck erzeugt. Das klingt paradox und verlangt nach einer Erklärung: Druck ist eine Energiedichte, und seit Einstein wissen wir, dass auch Energie Masse hat und gravitativ anziehend wirkt. (Das macht schwarze Löcher unvermeidlich: Je mehr Druck in einem Neutronenstern aufgebaut wird, um sich gegen die Schwerkraft zu behaupten, desto stärker trägt gerade der Druck zur Schwerkraft bei, was den ultimativen Gravitationskollaps ab einer gewissen Masse unvermeidlich werden lässt.) Nur ein negativer Druck, Zugspannung also, vermag die beobachtete Abstoßung zu erklären. Der völlig gleichmäßig verteilte ominöse „Stoff“ wird als *dunkle Energie* oder auch als *Quintessenz* bezeichnet. Neben ihren vier Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft, hatten die alten Griechen noch ein „fünftes Wesen“ parat, womit das Wesentliche einer Sache bezeichnet wurde. Für Aristoteles war diese Essenz der Äther, heute ist es die dunkle Energie.