

Liebe Leserin, lieber Leser,

ein führendes Wissenschaftsjournal präsentierte als „Bild der Woche“ eine Infrarotaufnahme (Quelle: NASA/APOD) des Jupiter, gewonnen mit dem James-Webb-Weltraumteleskop (JWST). Es zeigt neben dem atmosphärisch turbulenten Jupiter mit Nord- bzw. Südlichtern, einen Staubring und – nebst einem weiteren Minimond – die „Ziege“. Amalthea, so die Fachbezeichnung, war just vor 130 Jahren, am 9. September 1892, von Edward Emerson Barnard (1857–1923) aufgefunden worden. Der Fotografenlehrling aus Nashville, Tennessee, war ein begnadeter Beobachter und Himmelfotograf. Auf sein Konto gehen Kometen und Globulen und – „Barnards Pfeilstern“, dem „Fixstern“, der am schnellsten übers Firmament eilt. (Seit 1916 hat er sich um $0,3^\circ$ im Schlangenträger fortbewegt – das sind $3/5$ Vollmonddurchmesser.) Doch zurück zur „Himmelsziege“. Der Name spielt an auf eine Episode im Leben des Göttervaters Zeus (Jupiter). Klein-Zeus war einst von Mutter Rhea vor seinem Vater Kronos (Saturn) versteckt worden. Kronos hatte aus Angst, eines seiner Kinder entthronte ihn, die Angewohnheit angenommen, seine Kinder zu fressen. Rhea reichte ihm statt des schreienden Säuglings einen Stein, der Kreta-Touristen gerne gezeigt wird. Mutterstelle vertrat eine Ziege. (Ein Amalthea-Horn hat in der Kunstgeschichte als Füllhorn überlebt.) Sie umkreist nun als Trabant Nr. V den Jupiter. Von unregelmäßiger Gestalt, etwa 80 km groß, gilt das Mönchchen als rötestes Objekt im Planetensystem. Vermutlich wird es vom Jupiter geheizt, jedenfalls strahlt Amalthea mehr ab, als sie von Sonne und Jupiter an Strahlung erhält. Als Wärmequelle kommen elektrische und Gezeitenheizung in Betracht. (Jupiters Magnetfeld induziert Ströme im Mondesinnern.) E. E. Barnards Amalthea war die erste Neuentdeckung nach fast drei Jahrhunderten. Die Monde I–IV waren allesamt von Galileo Galilei (1564–1642) gesichtet worden, am 7. Januar 1610.

Vor 350 Jahren nutzte Giovanni Domenico Cassini (1625–1712) eine Perihelopposition des Mars, um die astronomische Einheit, die AE, zu bestimmen. Alle 15 bis 17 Jahre kommt uns der Mars bis auf $0,37$ AE nahe. (Die Venus schafft es auf $0,27$ AE, doch stört zur unteren Konjunktion die Sonne. Venusdurchgangsbeobachtungen vor der Sonnenscheibe konnten erstmals 1761 und 1769 zur Bestimmung der AE herangezogen werden.) Die Erdkugel erscheint

dann, vom Mars aus betrachtet, unter einem Winkel von 47 Bogensekunden. Zwei Beobachter auf der Erde, die einen Erddurchmesser voneinander entfernt zur gleichen Zeit den Mars betrachten, sehen diesen an versetzten Stellen des Himmels. Der parallaktische Unterschied macht maximal 47 Bogensekunden aus. (Man käme mit einem Beobachter aus, machte man sich die Rotation der Erde zunutze. Allerdings verstriche dabei ein halber Tag zwischen den Ortsmessungen.) Giovanni Domenico Cassini und sein Mitarbeiter Jean Richer (1630–1696), der sich im Auftrag der Akademie nach Cayenne in Französisch-Guayana begeben hatte, konnten, da die exakte Größe der Erde kurz zuvor bestimmt worden war, die Entfernung des Mars von der Erde rein geometrisch ermitteln. Ist die Entfernung im Sonnensystem in Kilometern bekannt, sind es dank des 3. Keplergesetzes alle – insbesondere also auch die AE, der mittlere Abstand der Erde von der Sonne. Der damals ermittelte Wert war überraschend genau, lediglich 7% zu klein.

Wie Richer bemerkte, ist ein Sekundenpendel am Äquator kürzer als eines in Paris. Dies spielt eine Rolle, geht es um die Figur der Erde. Richers Beobachtung stützte (sofern man die Fliehkraft außen vorlässt) Newtons Ansicht von einem an den Polen abgeplatteten Rotationsellipsoid.

Zurück zum JWST. Das erste Bild, welches der Öffentlichkeit am 11. Juli feierlich enthüllt wurde, offenbarte einen Kosmos im zarten Alter von wenigen Hundert Millionen Jahren. Und es wimmelte an Galaxien, die fleißig Sterne produzierten. Ein Foto genügte, unsere Vorstellungen vom frühen Universum zum Wanken zu bringen: Es zeigt deutlich mehr Galaxien – und reifere – als erwartet.

Mehr dazu nach dem „Septemberhimmel“. Eine erquickliche Lektüre wünscht Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im September

Venus ist noch bis Ende des Monats Morgenstern. Mars inspiziert Anfang des Monats die Gefilde zwischen Hyaden und Plejaden. Er ist bereits heller als der gleichfalls rötlich strahlende Aldebaran (α Tauri). Der Riesenstern markiert auf alten Sternkarten das Auge des Stiers und befindet sich vor den Hyaden.

Nach einem zweimonatigen Abstecher in den Walfisch kehrt Jupiter wieder zurück in die Fische. Am 26. September steht er in Opposition zur Sonne, ist

also die ganze Nacht über sichtbar. Näher kommt er uns in diesem Jahr nicht. Jupiter ist nur 33 Lichtminuten von uns entfernt. Südlich des Wassermanns, im Steinbock, zieht Saturn seine Schleife. Seine Opposition liegt einen Monat zurück.

Erwähnt werden soll eine Bedeckung des Uranus durch den Mond in der Nacht vom 14. auf den 15. September. Das Ereignis zieht sich von 23 Uhr bis 20 Minuten nach der MESZ-Mitternacht hin. Die genauen Ein- und Austrittszeiten sind vom Ort des Beobachters abhängig und einem astronomischen Jahrbuch entnehmbar. Der leicht grünliche Planet sollte im Feldstecher gut zu sehen sein, insbesondere nach der Bedeckung, wenn er wieder hinter dem dann unbeleuchteten Rand des Mondes hervortritt. Er ist 5,7ter Größe.

Am 23. September, vier Minuten nach Drei (MESZ), ist Herbstbeginn. Ohne allzu große Abstriche an astronomischer Genauigkeit gilt: Tag und Nacht sind gleich lang, weshalb man von Tag-und-Nacht-Gleiche spricht. Die Sonne geht genau im Osten auf und im Westen unter. Und die Äquatorebene der Erde passiert, von „unten“ kommend, den Sonnenmittelpunkt.

Wenn auch unbeobachtbar, so doch nicht ohne Interesse: Am 6. September nähert sich zum 13. Male die Sonnensonde „Parker“ unserem Zentralgestirn. Von der Sonde aus gesehen, erscheint die Sonnenscheibe 16-mal größer als wir sie kennen. Die Fläche am Himmel macht gar das 258-fache aus. Entsprechend hoch ist die thermische Belastung, der „Parker“ trotzen muss.

Webb-Ära

Mit dem James-Webb-Weltraumteleskop beginnt eine neue Ära der beobachtenden Astronomie. JWST's 6,5-m-Kompositspiegel übertrifft an lichtsammelnder Fläche den 2,4-m-Primärspiegel des Hubble-Weltraumteleskops (HST) um das gut Sechsfache – und es handelt sich beim JWST um ein Infrarotteleskop, was besonders Kosmologen freut. Wie man seit Edwin Powell Hubbles (1889–1953) bahnbrechender Entdeckung von 1929 weiß, bedingt die kosmologische Expansion eine Rotverschiebung des Lichtes. Man spricht von „Galaxienflucht“ und Hubble-Effekt. Bei einer Rotverschiebung von, beispielsweise, $z = 15$ wanderte das Maximum der Sonnenausstrahlung von $0,5\ \mu\text{m}$ Wellenlänge, also im Sichtbaren, ins unsichtbare Infrarot (IR) von $8\ \mu\text{m}$. JWST ist mithin das Teleskop fürs frühe Universum, was nicht heißt, dass nicht auch Nicht-Kosmologen vom Hubble-Nachfolger profitie-

ren. Die Atmosphärenchemie von Exoplaneten beispielsweise hinterlässt ihre Spuren hauptsächlich im IR-Spektrum.

Bereits die erste 12,5-Stunden-Aufnahme des Galaxienhaufens SMAC 0723 offenbarte jede Menge ferner Hintergrundgalaxien. HST's Rekordrotverschiebung lag bei $z \approx 11$, entsprechend einem Weltalter¹ von rund 400 Millionen Jahren. JWST überbot auf Anhieb mit $z \geq 13$ diese Marke. Eine Galaxie könnte gar eine Rotverschiebung von $z \approx 16$ aufweisen, was einem Weltalter von nur 250 Millionen Jahren entspräche. Noch gibt es Vorbehalte: Bislang basieren Rotverschiebungen auf der gemessenen Galaxienfarbe, und die ist zwar ein Indikator, aber nicht bindend (und kann zudem durch vorgelagerten Staub verfälscht sein). Ob die z -Werte zutreffen, muss erst noch spektrografisch – ebenfalls mit dem JWST – bestätigt werden, was weit anspruchsvoller ist, als Fotos mit unterschiedlichen Filtern zu schießen, muss doch dazu das schwache Glimmen einer Galaxie spektral aufgefächert werden, was auf eine zusätzliche Verdünnung des Lichtes hinausläuft. Auf jeden Fall sind auf den ersten Blick deutlich mehr Galaxien auszumachen, als erwartet. Die Bildung kurzlebiger Population-III-Sterne vollzog sich ziemlich heftig.

Was nicht einer gewissen Ironie entbehrt. Vor Jahrzehnten standen die Astronomen vor dem Problem, den „Bremsen“ bei der Sternentstehung zu entlarven. Fielen alle die kalten Riesen- H_2 -Wolken in der galaktischen Scheibe im freien Fall in sich zusammen, also ungebremst, wäre demnächst mit einem wahren Feuerwerk an Sternentstehung zu rechnen, was aber sicherlich ausbleibt². Es ist das „eingefrorene“ Magnetfeld, das erst (durch ambipolare Diffusion) verdrängt werden muss, welches dem freien Fall entgegensteht und damit die Sternentstehung zeitlich streckt.

Und noch etwas irritiert: Man hatte mit chaotisch ausschauenden – irregulären – Galaxien gerechnet, statt dessen findet man wohlorganisierte Scheibengalaxien, wie man sie aus der Nachbarschaft kennt. Wie das in der Kürze der Zeit möglich und welcher Dämpfungsmechanismus am Werk war, beschäftigt nun erneut die Denker.

Darüber sollten Theoretiker sich freuen. Erst der Misserfolg einer Vorhersage garantiert in der Naturwissenschaft Fortschritt, eine Bestätigung tut es nicht. Vielleicht hilft ja Abwarten. Es könnte ja sein, dass JWST zufällig in eine fürs frühe Universum höchst untypische Region geblickt hat.

¹Zur groben Orientierung: Für die seit dem Urknall verflossene Zeit $t(z)$ gilt in einem kritischen Friedmann-Kosmos $t(z) = t_0/(1+z)^{3/2}$, mit $t_0 = 13,8$ Milliarden Jahren als heutigem Weltalter.

²Es widerspräche dem Kopernikanischen Prinzip, wonach kein Beobachtungszeitpunkt irgendwie ausgezeichnet sein sollte. Eine kosmische „Zeitenwende“ wäre verdächtig.

Ein Problem mit den G-Zwergen

Das JWST blickt direkt in die Kinderstube von Galaxien. Was man anhand langlebiger Relikte wie den G-Zwergen sowie plausibler Annahmen indirekt über die Vergangenheit erfährt, sei an einem Beispiel illustriert.

Galaxien durchlaufen u. a. eine chemische Entwicklung. Im Laufe der Zeit kam (und kommt) es zu einer Anreicherung mit schweren Elementen. Das interstellare Gas, aus dem jetzt Sterne hervorgehen, ist relativ metallreich³. Als die allerersten Sterne aus dem Dunkel der Schöpfungsfrühe hervortraten und das Universum erhellten, war das noch anders. Damals, vor gut 13 Milliarden Jahren, wenige hundert Millionen Jahre nach dem Urknall, gab es kaum Atome schwerer als Helium. Die primordiale Elementsynthese ließ das nicht zu⁴. Aus dem Urknall gingen (an baryonischem Material) Wasserstoff (^1H) und Helium (^4He) hervor, mit einer Prise Deuterium (^2H) und Lithium (^7Li). Jedes zehnte Atom war ein Heliumatom. Schwerere Elemente, wozu Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, aber auch Eisen gehören, wurden erst danach im heißen Innern massereicher Sterne synthetisiert. So kann bei 10^8 Grad die Natur aus drei Heliumatomkernen einen Kohlenstoffatomkern machen, aus vieren einen Sauerstoffatomkern. Sterne, die noch weit gewichtigere Atomkerne, z. B. Eisen, thermonuklear aus leichteren Atomkernen „schmieden“ können, sind Schwergewichte und haben ein kurzes Leben. Kaum geboren, quasi sofort, explodieren die massereichsten als Supernovae. (Masseärmere, wozu auch unsere Sonne zählt, lösen sich auf, indem sie starke Sternwinde entfachen und sich farbenprächtig als sog. Planetarischer Nebel aus dem Dasein verabschieden.) Sterbende Sterne geben einen Teil des in ihrem heißen Innern synthetisierten Materials an das interstellare Gas zurück. Es ist diese kosmische „Umweltverschmutzung“, welche zu einer allmählichen „Metall“anreicherung führt.

Elemente jenseits des Eisens entstehen erst im allerletzten Moment, bei Supernovaexplosionen durch schnellen Neutroneneinfang. Einige Schwermetalle, u. a. Gold, könnten ihre Existenz sogar dem Zusammenstoß von Neutronensternen verdanken.

Doch worin äußert sich das G-Zwerg-Problem?

Stellte man sich vor, die skizzierte Anreicherung des interstellaren Gases mit „Metallen“ vollzöge sich von Anbeginn an in einem geschlossenen Kasten von

³Astronomen bezeichnen unbelehrbar jedes chemische Element ab dem Kohlenstoff als „Metall“.

⁴Es lag an der Kurzlebigkeit von Beryllium-8.

– sagen wir – Millionen Kubiklichtjahren mit anfänglich Abertausenden Sonnenmassen reinen metallfreien Gases (also noch ohne Sterne!), erlebte man eine Überraschung. Wie man mit Schulmathematik zeigen kann, müssten – unabhängig davon, wie sich die Sternentstehungsrate zeitlich entwickelt – viele G-Zwerges noch einen niedrigen Metallgehalt aufweisen. Das aber ist nicht der Fall, worauf vor 60 Jahren der in Kanada wirkende gebürtige Niederländer Sidney van den Bergh (geb. 1929) hinwies. Metallarme G-Zwerges sind vielmehr extrem selten. Also muss entweder die Vorstellung vom *geschlossenen* Kasten falsch sein, oder aber die Sternmischung, der Anteil massereicher Sterne bei einem „Wurf“ – Sterne entstehen immer in Haufen –, muss sich mit der Zeit geändert haben. So könnten anfänglich bevorzugt massereiche Sterne entstanden sein, was zu einer schnellen Anreicherung mit Metallen geführt hätte. Vermutlich trifft beides zu. Eine Großgalaxie⁵ wie die unsrige saugt ständig metallarmes Gas aus der Nachbarschaft auf. Akkretion aber, das Aufsammeln von Material, spricht gegen Isolation. Und die allerersten Sterne, die der sog. Population III, dürften sich von heutigen jungen Sternen unterschieden haben: Sie werden (i) extrem massereich und mithin kurzlebig gewesen sein – ansonsten gäbe es sie ja noch – und sie waren (ii) noch „metallfrei“.

Ein Stern entsteht, fällt eine kühle interstellare Wolke, getrieben von der Schwerkraft, nahezu druckfrei in sich zusammen. Damit sich die kollabierende Wolke nicht über Gebühr durch Kompression erhitzt, was fatal wäre, muss sie die gravitativ freigesetzte Energie rasch loswerden, und zwar durch Abstrahlung der inneren Wärme. Dabei sind schwere Elemente hilfreich. Reiner Wasserstoff ist dazu nicht fähig. Er strahlt schlecht. Aber „Dreck“ kühlt! Ohne diese „Verschmutzung“ können massearme Sterne wie die Sonne nicht entstehen.

⁵Kleinere Galaxien haben kein so gravierendes G-Zwerges-Problem.