

Liebe Leserin, lieber Leser,

am ersten Weihnachtsfeiertag war es so weit: Der „Hubble-Nachfolger“, das James-Webb-Weltraumteleskop (JWST), trat seine einmonatige Reise zum Lagrange-Punkt L_2 im System Sonne-Erde an. Nun heißt es wieder warten. Die schwierigste Aufgabe, das Entfalten und Justieren des $6\frac{1}{2}$ -m-Spiegels, steht noch bevor. Vom L_2 -Punkt aus gesehen, in 1,5 Millionen Kilometern Entfernung, verbleibt die Erde ständig vor der Sonne. Die Schwerkraft, die von der nahen Erde ausgeht, hat den gleichen Effekt, wie eine Anhebung der Sonnenmasse um 10 000 Erdmassen, weil die Sonne 100mal weiter als die Erde vom L_2 entfernt ist und die Schwerkraft quadratisch mit dem Abstand fällt. Wegen dieser scheinbaren drei-prozentigen Zunahme der Sonnenmasse benötigt das Teleskop trotz der um ein Prozent vergrößerten Entfernung zur Sonne genau ein Jahr, um die Sonne zu umrunden. Die Erde verbleibt vor der Sonne! Mit *e i n e m* Schutzschild wappnet sich das Infrarotteleskop sowohl gegen die Wärmestrahlung der Sonne als auch die der Erde.

Am 2. Januar jährt sich zum 200. Male der Geburtstag von Rudolf Clausius. Der Physiker, der die technische Thermodynamik zu einer physikalischen Disziplin erhob, ist aus Cöslin (Koszalin) in Westpommern gebürtig, weilte und wirkte in Berlin, an der ETH in Zürich und in Würzburg. Er starb 1888 in Bonn, seiner langjährigen Wirkungsstätte. Er, der es liebte auf „eigenthümlichen Gedankenwegen zu wandeln“ (H. v. Helmholtz), schuf nicht nur den Entropiebegriff, er hinterließ der Nachwelt jenes Weltgesetz, welches die Physik von ihrer trauesten, lebensweltlichsten Seite zeigt: das 2. Wärmegesetz! Der sog. Entropiesatz sei „wichtig, weil so weit wir bis jetzt wissen, das genannte Gesetz eines der wenigen ist, die absolute Allgemeingültigkeit unabhängig von aller Verschiedenheit der Naturkörper beanspruchen können, und weil es die überraschendsten Verknüpfungen zwischen den entferntesten¹ Zweigen der Physik eröffnet“ so Hermann v. Helmholtz in seinem Nachruf. Falls es so etwas wie eine Zukunftsaufgabe für die Menschheit gibt, einen Imperativ weltlichen Handelns, dann müsste es aus physikalischer Sicht die

¹Prophetische Worte! Helmholtz wusste noch nichts von schwarzen Löchern, zu deren Beschreibung alle drei „Physiken“ gleichermaßen beitragen: Relativitätstheorie, Quantenmechanik und Wärmelehre.

Minimierung der Entropieproduktion sein! Also „Reibungsvermeidung“ im weitesten Sinne und wo auch immer. Da der Entropiebegriff auch nichtmaterielle Information einschließt, bietet er sich als der gemeinsame Nenner an, mit dem sich alle zivilisatorischen Aktivitäten, solche organisatorischer Art eingeschlossen, einheitlich bewerten lassen, vom Müllsortieren bis zum Artensterben. Egal, was wir tun (und selbst, wenn wir nichts tun), wir hinterlassen notwendigerweise Entropiemüll². Auch dieser Newsletter ist mit Wärmeproduktion verbunden, die vom Planeten ins All entsorgt werden muss! Das Beschwören einer „Kreislaufwirtschaft“ ist so gesehen nur ein Rückfall in die Zeit vor Clausius, als man noch von einem *perpetuum mobile* 2. Art glaubte träumen zu dürfen. Es ist die Fremdartigkeit des Entropiebegriffs, die seiner Verbreitung in maßgebenden gesellschaftlichen Kreisen entgegensteht. Charles Percy (C.P.) Snow (1905–1980), einer, der in „zwei Kulturen“ zuhause war, brachte es auf den Punkt: „Jeder zählt Shakespeare zur Bildung, nicht aber den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik“.

Auch Fachbegriffe feiern Geburtstag. Vom „weißen Zwerg“ war zum ersten Male vor 100 Jahren in einer astronomischen Kurzmitteilung vom 5. Januar 1922 die Rede, und das eher beiläufig. Autor und Namensgeber war Willem Jacob Luyten (1899–1994). Der gebürtige Niederländer aus Java (Holländisch Ostindien) war zu dem Zeitpunkt bereits in den USA an der Lick-Sternwarte tätig. Ihn hatten es schwache Sterne hoher Eigenbewegung angetan. Die scheinbar schnelle Bewegung verrät räumliche Nähe. Wenn es sich trotzdem um scheinbar schwache Sterne handelt, müssen diese auch in Wirklichkeit „müde Funzeln“ sein, zumal bei hoher Oberflächentemperatur, sprich weißem Leuchten. Berühmtester Vertreter dieser Sparte ist der Siriusbegleiter Sirius B. Luytens jahrzehntelange Durchmusterung des Himmels nach „toten Sternen“ – auf sein Konto gingen 80% aller Entdeckungen auf diesem Gebiet – brachten ihn den Ruf eines „Sternbestatters“ ein.

Wann wurde der erste Exoplanet entdeckt? Nein, nicht erst 1995! 51 Pegasi B war nicht der erste seiner Art. Bereits dreieinhalb Jahre zuvor, am 9. Januar 1992, vor 30 Jahren also, sorgten zwei Pulsarplaneten für Schlagzeilen. Es waren vergleichsweise kleine Himmelskörper, so um die vier Erdmassen, auf die Aleksander Wolszczan (geb. 1946) und Dale Andrew Frail (geb. 1961) bei ihrer Suche nach Millisekunden-Pulsaren am Arecibo-Radioobservatorium (Puerto Rico) mit seinem 305-m-Spiegel gestoßen sind. Mutterstern ist PSR 1257+12 (neuerdings PSR J1300+1240), ein schnell rotie-

²Extraterrestrische Zivilisationen sind am ehesten anhand der „Abwärme“ nachweisbar.

render Neutronenstern, in der Jungfrau.

Seltsamer noch als ein Pulsarplanet ist ein verwaister Exoplanet, einer ohne Mutterstern. Solch ein einsamer Wanderer könnte aus einem Planetensystem herauskatapultiert worden sein, Stichwort: *swing-by*. Allerdings fällt die Unterscheidung schwer zwischen einem jungen massereichen Planeten in freier Wildbahn und einem braunen Zwerg, einem „mißglückten“ Stern.

Schon von V838 Monocerotis gehört? Im Januar 2002, vor 20 Jahren, kam es im Sternbild Einhorn – ein Dutzend Grad nördlich vom Sirius – zu einem Nova-artigen Lichtausbruch. Man munkelt von einer Sternkollision in einem Sternentstehungsgebiet. Nach wenigen Monaten war zwar der Spuk vorbei, was aber blieb war das Lichtecho! Man konnte aus der Ferne quasi **zuschauen** (Quelle: NASA/ESA), wie der spektakuläre Lichtblitz im Laufe der Jahre immer entferntere Regionen der staubreichen und eigentlich dunklen Gegend erhellte. (Man sieht, wie man sich leicht überlegen kann, zu jedem Zeitpunkt auf die Innenwand eines sich vergrößernden Rotationsellipsoids, in dessen Brennpunkten sich Lichtquelle und Betrachter befinden.) Kennte man die Entfernung zum „Blitzlicht“, wäre anhand der Lichtechos die Staubverteilung dreidimensional rekonstruierbar. Umgekehrt ergibt sich bei Vorgabe einer plausiblen Staubverteilung die Entfernung von V838 Mon zu $19,2 \pm 1,3$ kLj (Kilolichtjahre) – und das basierend auf rein geometrischen Überlegungen. Wie nicht anders zu erwarten, befindet sich das Sternentstehungsgebiet nahe der galaktischen Ebene.

Ein spannendes Jahr steht an. Was wird uns das JWST über die ersten Sterne lehren? Auf das 2022. Jahr unseres christlichen Kalenders freut sich

Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Januar

Am 7. Januar geht Merkur wieder einmal auf maximale Distanz zur Sonne und sollte bereits Tage zuvor eine Stunde nach Sonnenuntergang knapp überm SW-Horizont sichtbar sein. Seine östlicher Elongation erreicht 19° .

Venus durchheilt am 9. Januar ihre untere Konjunktion. Aus dem Abend wird der Morgenstern. Lediglich 40 Millionen Kilometer trennen uns dann von ihr. Neuenus hat einen Winkeldurchmesser von gut einer Bogenminute. Bereits wenige Tage darauf wird der Morgenstern auch sichtbar – in der Morgendämmerung.

Mars ist ebenfalls der Morgendämmerung vorbehalten. Er überquert die Horizontlinie gegen 6 Uhr im OSO. Jupiter und Saturn hingegen bereichern die Abende, Saturn allerdings nur noch bis zur Monatsmitte. Wer nach dem Merkur Ausschau hält, bekommt auf jeden Fall Saturn und Jupiter zu sehen. Am 4. Januar, gegen 8 Uhr, kommt die Erde auf ihrer Jahresbahn der Sonne am nächsten. Ein Periheldurchgang steht an. Sonnen- und Erdmittelpunkt liegen diesmal lediglich 147,1 Millionen Kilometer auseinander. Das sind zwei Prozent weniger, als die Astronomische Einheit misst, welche sich an der Länge der großen Halbachse der Erdbahn orientiert. Die Sonne steht derzeit am Jahresanfang besonders groß am Firmament.

Der Jet von M87

Das Jet-Phänomen ist weit verbreitet in der Astrophysik. Jets, der kanalisierte Ausfluss von Material aus einem gravitativen Zentrum, gibt es in allen Größen. Das kann ein Protostern im Werden sein, ein Neutronenstern in einem Doppelsternsystem oder gar ein schwarzes Superloch im Zentrum einer Galaxie. Wie bei einer Düse strömt Gas bzw. Plasma mit hoher Geschwindigkeit gerichtet nach draußen.

Als erster stieß der US-Astronom Heber Doust Curtis (1872–1942) von der Lick-Sternwarte auf dieses Phänomen. 1918 fiel ihm auf einer kurzbelichteten Aufnahme der Galaxie M87 (NGC 4486) im Virgo-Galaxienhaufen ein „sonderbarer gerader Strahl“ von 1/4 Bogenminute Länge auf, der vom Zentrum der prominenten E-Galaxie auszugehen scheint. Allein die projizierte Länge errechnet sich bei einer Entfernung von 55 Millionen Lj zu 4000 Lj.

Die Erforschung extragalaktischer Jets, Kilo- bis Mega-Lichtjahre lang, oblag zunächst allein den Radioastronomen. Diese hatten 1953 Virgo A als eine der „lautesten“ Radioquellen am Himmel geortet. Bei der Radiostrahlung handelt es sich um Synchrotronstrahlung. Diese entsteht, wenn eine schnelle elektrische Ladung, meist ein Elektron, von einem Magnetfeld erfasst und in eine Spiralbahn gezwungen wird. Eine beschleunigte elektrische Ladung strahlt eine elektromagnetische Welle ab. Auch das von Curtis bemerkte optische Leuchten des M87 Jets ist Synchrotronstrahlung, wie man an ihrer Polarisation erkennt.

Doch auch der Röntgenastronom kommt auf seine Kosten. In seinen Kreisen spricht man von Virgo X-1, wenn M87 gemeint ist. Ein Großteil der Jet-Strahlung ist hochenergetischer Art. Aus dem Vergleich von zeitversetzten

Röntgenaufnahmen konnte aus der messbaren³ Bewegung heller Knoten in der Nähe des schwarzen Loches auf eine Auswurfgeschwindigkeit von 99 % der Lichtgeschwindigkeit geschlossen werden.

Als Quelle der vom Galaxienkern ausgehenden Aktivität wurde seit vier Jahrzehnten ein schwarzes Superloch⁴ vermutet. Wie erinnerlich, gelang es kürzlich durch Zusammenschalten⁵ von mehreren über den Globus verteilten Radioteleskopen zum EHT (*Event Horizon Telescope*) ein Radiobild der Kernregion von M 87 zu erstellen. Es zeigt den Schatten eines 6 1/2-Milliarden-Sonnenmassen-Black-Holes! Dieses „Foto“ war die astronomische Sensation von 2019.

Doch was hat es physikalisch auf sich mit dem **M 87-Jet** (Quelle: NASA/ESA)? Wie kommt's zum gebündelten Strahl?

Der Grund für das Ausströmen von Materie ist seltsamerweise das nach Innen, zum Zentrum gerichtete Einströmen von Materie in einer vergleichsweise dünnen, nach dem 3. Keplerschen Gesetz rotierenden Scheibe aus Gas und Staub. In dieser sog. Akkretionsscheibe wird durch Reibung Drehimpuls radial weggeschafft. Im Gegenzug wandert drehimpulsabgemagerter Stoff *peu à peu* nach Innen und landet am Ende im zentralen Objekt. Die Scheibenreibung ist magnetisch bedingt. Wie sich zeigt, kommt nicht alles auch im Zentrum an. Offenbar kann der Zustrom an Materie aus Drehimpulsgründen vom Zentrum nicht kontinuierlich verarbeitet werden. Ein Teil dessen, was die Akkretionsscheibe anliefert, wird vielmehr umgelenkt und in Gestalt zweier⁶ Gas- bzw. Plasmastrahlen senkrecht zur Akkretionsscheibe ausgestoßen, wodurch ebenfalls Drehimpuls abtransportiert wird. Magnetischen Kräften kommt dabei eine führende Rolle zu. Verankert⁷ in der differentiell rotierenden Scheibe verdrillen magnetische Feldlinie. Beim Ausströmen entsteht dann

³Die scheinbaren Geschwindigkeiten von zwei Röntgen-Knoten übertreffen die Lichtgeschwindigkeit um das 6,3- bzw. 2,4-Fache. Überlichtgeschwindigkeit ist bei relativistischen Jets normal. Es handelt sich um eine Illusion, die immer dann auftritt, weist der Jet in Richtung des Betrachters. Im Falle des M 87-Jets darf die Strömungsrichtung höchstens 20° von der Sichtlinie abweichen, will man keine wirkliche Überlichtgeschwindigkeit riskieren.

⁴Vermutlich hausen in allen Galaxienzentren schwarze Löcher. Die überwiegende Mehrheit „schläft“ allerdings. Nur wenn genügend drehimpulsarme „Nahrung“ im Angebot ist, was gelegentlich der Fall, kommt es zur Akkretion von Material und ggf. Kernaktivität.

⁵Man spricht von VLBI: *Very Long Baseline Interferometry*.

⁶Ein von uns weggerichtete Jet tritt kaum in Erscheinung. Er ist aber immer vorhanden.

⁷Magnetisches Feld kann auch unmittelbar an die sog. Ergosphäre eines schwarzen Lochs ankoppeln, wodurch diesem Rotationsenergie entzogen werden kann.

zwangsläufig eine schraubenförmige Struktur. Sie erinnert an die berühmte DNA-Doppelhelix der Genetiker. Allerdings ist der Jet streckenweise konisch, nicht zylindrisch.

Vor kurzem ist es einem Team von Radioastronomen gelungen, am VLA⁸ durch hochaufgelöste (0,1 Bogensekunden) Messungen die Struktur des magnetischen Feldes im M87-Jet aufzuklären. Dies gelingt, weil Synchrotronstrahlung polarisiert ist und die Schwingungsebene der einfallenden Radiowelle Rückschlüsse auf die Richtung des magnetischen Feldes im Jet erlaubt. Es handelt sich tatsächlich um eine Helix. Der ringförmige Anteil trägt zur Bündelung des Jets durch den Pinch-Effekt bei: Ein elektrischer Strom bedingt ein magnetisches Ringfeld, das (über die Lorentz-Kraft rückwirkend) wiederum den Stromleiter, das Jet-Plasma, einschnürt.

Bekanntestes Beispiel ist die Blitzentladung. Der Pinch-Effekt soll 1905 an einem implodierten röhrenförmigen Blitzableiter entdeckt worden sein. In den Anfangstagen der Kernfusionsforschung bewerkstelligte die einschnürungsbedingt hohe Stromdichte im Fusionsplasma durch Elektrowärme die erforderlichen Temperaturen.

Genaugenommen ähnelt die magnetische Struktur des M87-Jets einer Doppelhelix: Zwei magnetische Fäden oder Bänder umwinden einander. Helle Knoten im Jet entpuppen sich als Stellen, wo sich magnetische Feldlinienbündel überkreuzen. Durch den M87-Jet strömen mindestens 10^{36} W. Es ist diese Leistung von drei Milliarden Sonnen, welche die gigantische Magnetblase am Ende des Jets im Radiofrequenzbereich leuchten macht. Die Doppelquellennatur ist charakteristisch für Radiogalaxien. Die beiden äußeren Emissionsgebiete (*radio lobes*) zu beiden Seiten der Galaxie übertreffen an Ausdehnung dieselbe bei weitem.

⁸„Karl G. Jansky“ Very Large Array in New Mexico (USA). Gemessen wurde im cm-Bereich, zwischen 1,7 und 7,5 cm Wellenlänge.