

[...] nur ganz zuletzt, da scheint's schnell zu gehen und schnell gegangen zu sein, – aber das ist so lange hin [...], dass es der Rede und des Darandenkens nicht wert ist.

aus „Doktor Faustus“ von Thomas Mann

Liebe Leserin, lieber Leser,

wie man hört, ist die Jupitersonde Juno in die vorgesehene langgestreckte Umlaufbahn um den Riesenplaneten eingeschwenkt. Ein Foto des Galileischen „Planetensystems“ *en miniature*, allerdings ohne die Kallisto, hat die JunoCam aus einem Abstand von über vier Millionen Kilometern aufgenommen und bereits zur Erde gefunkt. Nun werden die Geräte aktiviert und für Beobachtungen und Messungen fit gemacht.

Vor 100 Jahren, am 31. August 1916, kam in Indien Robert Hanbury Brown (gest. 2002) zur Welt. Er wurde ein bekannter Radioastronom und entwickelte zusammen mit seinem Kollegen Richard Twiss (1920–2005) das *Intensitätsinterferometer*. Damit gelang in den 60er Jahren in Narrabri (Australien) das schier Unmögliche: die Messung der Winkeldurchmesser heller sonnenähnlicher Sterne – also von vergleichsweise **k**l**e**i**n**e**n** Sternen, keine Sternriesen! Kennt man den **s**c**h**e**i**n**b**a**r**e**n** Durchmesser einer Sonne, errechnet sich aus der **s**c**h**e**i**n**b**a**r**e**n** Helligkeit ohne weitere Annahmen – hypothesenfrei! – die Flächenhelligkeit der Sonnenoberfläche. Diese aber ist ein Maß für die (effektive) Oberflächentemperatur. So gesehen ist das Hanbury Brown-Twiss-Intensitätsinterferometer eine Art „Sternthermometer“. Hanbury Brown und Richard Twiss waren „Quanten-Optiker“ bevor die Disziplin akademisch etabliert war. Man glaubte ihnen zunächst nicht.

Von der Gravitationswellenfront gibt es Neuigkeiten. GW-Astronomen konnten am 26. Dezember vergangenen Jahres an beiden LIGO-Observatorien mit einem kleinen Zeitverzug ein Signal empfangen, das auf ein Verschmelzen zweier schwarzer Löcher von einigen Sonnenmassen hinzuweisen scheint. Nach dem spektakulären Erstnachweis eines Gravitationswellenausbruchs am 14. September wäre dies nun bereits der zweite Fall.

Stimmt die Interpretation, kündigt das GW 151226-Ereignis von der letzten Sekunde im Dasein eines Doppellochs, als alles sehr „schnell gegangen zu sein“ scheint. Der Vorgang, der die Raum-Zeit heftig schwingen machte, ereignete sich vor über einer Milliarde Jahre. 55 Schwingungen des charakteristischen Chirp-Signals¹ wurden im Rauschen von dem Suchalgorithmus binnen 70 Sekunden – also quasi in Echtzeit – entdeckt. Das Signal war anders als das GW 150914-Ereignis vom 14. September u n t e r s c h w e l l i g. Wüsste man nicht, wonach man suchen soll, man hätte es nicht gefunden.

Viele Auguststernschnuppen wünscht
Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im August

Merkur ist trotz $27,5^\circ$ Abstand zur Sonne am 16. August, zum Zeitpunkt der größten östlichen Elongation, hierzulande nicht sichtbar. Dafür taucht Venus am Abendhimmel auf. In der Nacht vom 27. zum 28. August zieht sie nördlich am Jupiter vorbei. Leider ist das Planetenpaar zum Zeitpunkt des engsten Kontaktes ($0^\circ,07$) bereits untergegangen.

Mars (gr. Ares) wandert am 24. August nördlich am Antares vorbei. Auf seinem Weg gen Osten überholt er den Saturn, der nur wenige Grad nördlich gemächlich dahin zieht.

Jupiter ist dem Mars um über vier Stunden voraus und strebt der Sonne zu. Am 10. August geht er 22 Uhr MESZ unter.

Saturn beendet am 13. August seine diesjährige Oppositionsphase und wandert danach wieder rechtläufig unter den Sternen. Am Monatsende geht er um 23:30 MESZ unter – wenige Minuten nach dem Mars.

Auch das Unbemerkbare hat seinen Reiz! Es geht um die Halbschatten-Finsternis am 18. August. Sie ist nicht sichtbar, (a) weil der Vollmond bereits untergegangen ist, wenn man das so sagen darf, und (b) weil nur 2% des Mondes, sein südlichster Rand, überhaupt in den Halbschatten eintauchen. Auf der NASA-Finsternis-Seite findet diese „Finsternis“ gar nicht statt! Man fragt sich, ab wann eine Finsternis eine Finsternis ist? Zählt man sie

¹Bei dem GW 151226-„Piepser“ wuchs die Schwingungsfrequenz immer schneller von 35 auf 450 Hz an – wie bei dem bekannten Physik-Spielzeug, der Euler’schen Scheibe.

mit, so ist es die „letztete“ eines Saroszyklus² von 72 Mondfinsternissen, der am 27. Juni des Jahres 736 mit einer sicherlich unbemerkt gebliebenen Halbschatten-Finsternis begann.

Das Maximum der Perseidenaktivität wird für den 11./12. August erwartet.

Das GW 151226-Ereignis

Da es logisch nicht möglich ist, auf *induktivem* Wege von einem gemessenen Signal auf das zugrunde liegende Ereignis zu schließen, bleibt nur der *deduktive* Schluss: Man geht von einem *m a t h e m a t i s c h e n M o d e l l* aus – zwei einander umkreisende schwarze Löcher, deren Abstand infolge des Abstrahlens von Gravitationswellen (GW) immer schneller schrumpft – und berechnet mittels der Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) von Albert Einstein das zu erwartende Signal in einem GW-Detektor. Im wesentlichen wird der Zeitablauf der Katastrophe durch zwei Größen bestimmt, die beiden beteiligten Massen, die da aufeinander zuspieren. Hinzu kommen weitere Unbekannte, u. a. eine mögliche Rotation der schwarzen Löcher. Diese Berechnungen sind zeitaufwendig und erfordern Supercomputer. Für die Online-Suche nach GW, die von verschmelzenden Doppel-Löchern ausgehen, ist deshalb ein Musterkatalog von „Todesschreien“ erforderlich, den man vorab erstellt und der viele Fälle umfasst.

Ist man auf ein Signal gestoßen, auf das ein Katalogmuster passt, kann man sich die Messungen im Nachhinein in Ruhe anschauen und das Modell präzisieren. Wie sieht es aus, das Modell? Zwei schwarze Löcher von $14,2_{-3,7}^{+8,3} M_{\odot}$ und $7,5_{-2,3}^{+2,3} M_{\odot}$ (Sonnenmassen) sind nach 27 Umrundungen zu einem schwarzen Loch von $20,8_{-1,7}^{+6,1} M_{\odot}$ verschmolzen. Eine Angabe wie $20,8_{-1,7}^{+6,1} M_{\odot}$ beinhaltet ein Vertrauensintervall und ist folgendermaßen zu verstehen: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 1/2 ist die Masse kleiner als $20,8 M_{\odot}$ (bzw. größer). Die 20,8 sind so etwas wie die „fifty-fifty“³ Masse. Darüber hinaus liegt die Masse mit 90 % Wahrscheinlichkeit zwischen 19,1 (= $20,8 - 1,7$)

²Auf 223 synodische Monate entfallen ziemlich genau 242 drakonitische, so dass sich Sonnen- und Mondfinsternisse für eine Weile aller 18 Jahre und 11 bzw. 10 Tagen nahe dem gleichen Knoten der Mondbahn wiederholen. Irgendwann ist der Vollmond dann zu weit vom Knoten entfernt als dass er noch in den Erdschatten eintreten könnte. Diesen Rhythmus kannten und nutzten schon die chaldäischen Sternkundigen im antiken Babylon.

³Der Forscher spricht vom Median der marginalisierten Posterior-Wahrscheinlichkeitsverteilung, falls das interessiert.

und 26,9 (= 20,8 + 6,1) Sonnenmassen. 19,1 und 26,9 markieren die Grenzen des 90 %-Vertrauensbereiches.

Doch das ist noch nicht alles. Die beiden Massewerte sind anti-korreliert. Sollte der erste im oberen Bereich liegen, so wird der zweite höchstwahrscheinlich im unteren Bereich zu finden sein (also unterhalb von $7,5 M_{\odot}$) und umgekehrt. Auf jeden Fall überschreitet die Masse diejenige für kalte Neutronensterne. Es handelt sich, nach allem, was man weiß, selbst bei dem masseärmeren Objekt um ein schwarzes Loch.

Insgesamt sind bei der Verschmelzung $1,0_{-0,2}^{+0,1} M_{\odot}$ in Form von Gravitationswellen „verschwunden“. Das verbliebene schwarze Loch ist leichter als die Summe der beiden schwarzen Löcher, aus denen es hervorgegangen ist. Die GW-Strahlungsleistung ist „astronomisch“. Kurzzeitig erreichte sie $(3,3_{-1,6}^{+0,8}) \cdot 10^{49}$ Watt. Das entspricht energetisch der Strahlung von 100 Trilliarden Sonnen bzw. einer Billion Milchstraßensysteme. Dieser Spitzenwert wird allerdings erst im letzten Sekundenbruchteil erreicht.

Als weiteres Ergebnis ist zu nennen, dass zumindest eines der beiden schwarzen Löcher merklich rotiert haben muss. Ansonsten ist das gemessene Signal im Einklang mit den Voraussagen der ART. Die Einsteinsche Gravitationstheorie wurde damit zum zweiten Male bestens bestätigt – und zwar in ihrer mathematisch vollgültigen Gestalt, ohne irgendwelche Abstriche (wie Schwach-Feld-Näherung). Ob sich Herr Einstein darüber gefreut hätte? Er schreckte bekanntlich vor der Konsequenz seiner Theorie, dem „Dunkelstern“, wie man das schwarze Loch damals nannte, zurück.

Die Interpretation des GW 151226-Signals setzt stillschweigend voraus, dass das mathematische Modell des Vorgangs, ein einwärts spirales Doppel-Loch, zutrifft! Getestet wurde lediglich, inwieweit diese Idee in der Lage ist, das gemessene Signal zu erklären. Dass dem Modell in der realen Welt etwas entspricht, das dieser Vorstellung nahekommt, kann man nur hoffen! Sollte das Signal eine andere Ursache haben (oder gar keine), sind alle Schlussfolgerungen Makulatur, d. h., wir haben uns narren lassen.

Mit den hienieden verfügbaren GW-Detektoren lässt sich lediglich das Verschmelzen von schwarzen Löchern nachweisen, deren Vorgänger massereiche Sterne waren, also bis zu, sagen wir, $100 M_{\odot}$ schwer sind. In den Kernen mancher Galaxien aber lauern gigantische Superlöcher. Unsere eigene Galaxie, die Galaxis, beherbergt beispielsweise ein 4-Millionen-Sonnenmassen-Monster.

Von LISA zu eLISA

Womit wir beim LISA-Projekt wären. Das Akronym steht für *Laser Interferometer Space Antenna*. Dieses weltraumgestützte Interferometer zum Nachweis langwelliger GW übertrifft erdgebundene Geräte um Größenordnungen. Die beiden LIGO-Arme beispielsweise sind nur etwa 4 km lang. Der Abstand zwischen den drei in Formation fliegenden LISA-Komponenten ist millionenfach größer! Dadurch werden GW von Superlöchern nachweisbar. Entsprechend niederfrequent sind die Signale: von 0,1 mHz bis etwa ein Herz. Auf der Erde ist der Niederfrequenzbereich wegen der Mikroseismik (Meeresbrandung etc.) für GW-Experimente tabu.

Ursprünglich war die NASA mit im Boot. Nachdem die US-Amerikaner aus Kostengründen ausgestiegen sind, wird unter dem Kürzel eLISA (*Evolved LISA*) eine abgespeckte Variante mit nur zwei Laser-Armen von jeweils einer Million Kilometer Länge diskutiert, etwas, was Europa, sprich die ESA, allein stemmen kann. Frühester Starttermin ist 2034.

Um das Konzept, frei-fallende Testmassen (TM), deren Abstand präzise gemessen wird, unter Weltraumbedingungen zu testen, brachte Ende Januar die ESA den LISA-Pathfinder (LPF) am Lagrange-Punkt⁴ L_1 im System Erde-Sonne in Stellung.

Das Prinzip ist einfach: Zwei frei-fallende TM von jeweils 2 kg Masse⁵ sind 37,6 cm voneinander entfernt in einem Gehäuse untergebracht, welches störende Kräfte von den TM fernhält. Der Testmassenabstand wird laser-interferometrisch gemessen – und zwar auf 10 pm (1 Pikometer = 10^{-12} m) genau. Atome sind größer! Ingenieurkunst korrigiert den Flug des Gehäuses, das auch nicht-gravitativen Kräften (z. B. Sonnenwindböen) ausgesetzt ist, derart, dass sich die schwebenden TM in Ruhe⁶ wähen und nicht an ihre Kammerwände anstoßen. Dieser Grad von erzwungener „Ruhe“ kostet: Von 400 Millionen Euro ist die Rede. Das Experiment verlief zu höchster Zufriedenheit: fünfmal besser als erhofft! Damit scheint eLISA technisch durchführbar.

⁴ L_1 befindet sich rund 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt auf der Verbindungsgeraden Sonne-Erde.

⁵Das Material spielt dabei eigentlich keine Rolle, da alle Körper gleich schnell fallen. (Es handelt sich um Würfel von 46 mm Kantenlänge aus einer Gold-Platin-Legierung.)

⁶Dies gilt nur für TM_1 . TM_2 muss hin und wieder durch elektrische Kräfte neu adjustiert werden, etwas, was bei eLISA entfällt.