

VSAO Journal

Das Journal des Verbandes Schweizerischer Assistenz- und Oberärztinnen und -ärzte

Durchbruch

Wellen, Start-ups,
Ausserirdisches Leben

Seite 24

Bakteriologie

Alternativen zu Antibiotika

Seite 36

Orthopädie

Unterschenkelfrakturen
bei Kindern

Seite 38

Politik

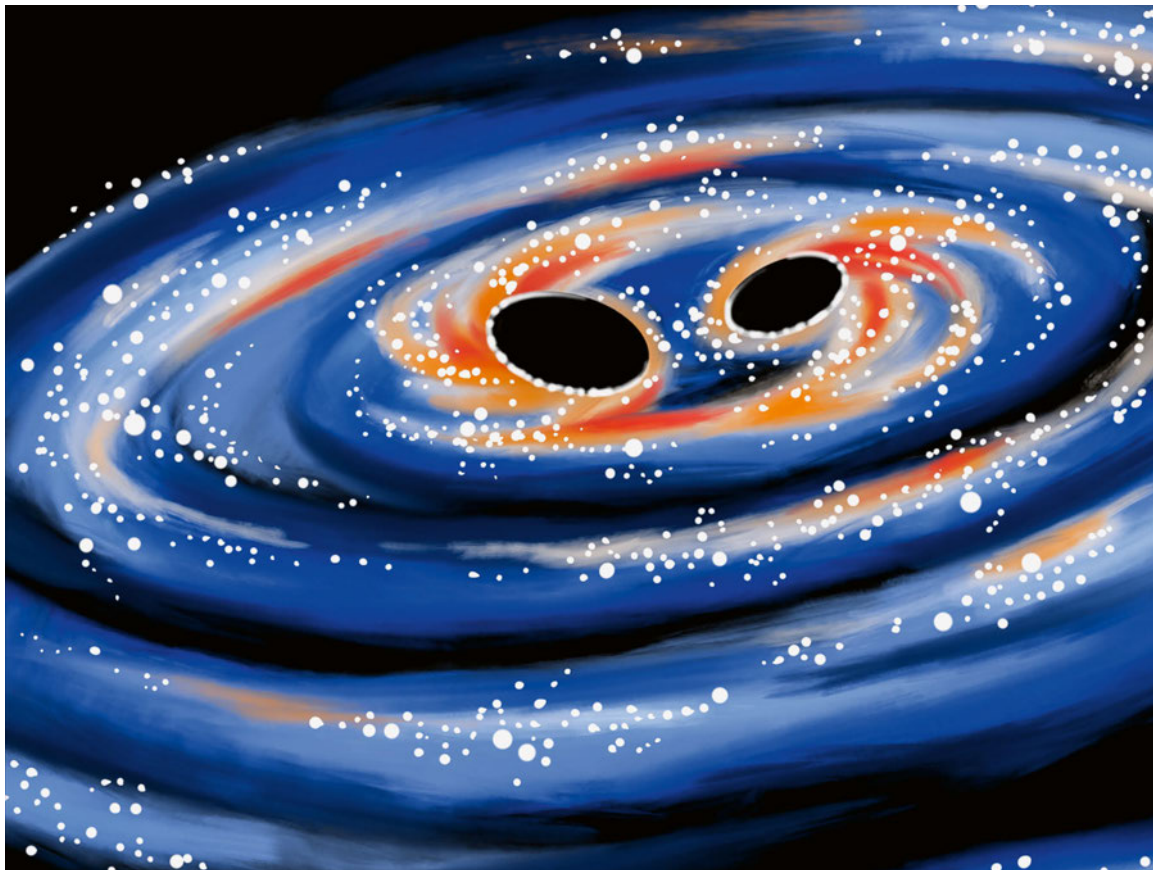
Wahljahr 2019 – die Ärzte
haben ein Imageproblem

Seite 6

Die Welle, die die Welt verändert

Dass sich die Gravitation ähnlich wie Licht oder Schall in Wellen bewegt, wurde seit langem vermutet. Der erste direkte Nachweis von Gravitationswellen ist ein Durchbruch in der und für die Physik.

Prof. Dr. Thomas Feurer, Institut für Angewandte Physik, Universität Bern;
Prof. Dr. Matthias Blau, Institut für Theoretische Physik, Universität Bern



Sehr schwer und sehr schnell: Zwei sich umkreisende schwarze Löcher setzen unglaubliche Energien frei. (© Hannah Bock)

Man könnte sagen, dass am 14. September 2015 Fenster und Spiegel wackelten, und zwar überall auf der Welt. Aber ausser an zwei Orten in den USA bemerkte niemand etwas davon. Was war passiert? Eine Gravitationswelle mit epischen Ausmassen war über die Erde gefegt. Und obgleich sie die Energie von drei Sonnen enthielt, hatte sie uns nahezu

unbemerkt passiert. Fenster, Spiegel und natürlich alles andere wackelten zwar, aber so wenig, dass man ganz spezielle Apparaturen brauchte, um es überhaupt zu bemerken. Physiker nennen solche Apparaturen Interferometer, und die beiden mit Abstand empfindlichsten je von Menschen gebauten Interferometer standen damals in Hanford (Washington) und in Livingston (Louisiana). Dort löste das Wa-

ckeln der Spiegel dann auch überschwängliche Freude aus, denn zum ersten Mal waren Gravitationswellen direkt nachgewiesen worden.

Heute weiss man, dass sie aus der Richtung der Magellan'schen Wolken gekommen waren, ihre Quelle war aber viel weiter als diese entfernt. Schnell war man sich einig darüber, dass die Gravitationswellen bei der Verschmelzung zweier

schwarzer Löcher entstanden waren. Die beiden 29 und 36 Sonnenmassen schweren schwarzen Löcher kreisten umeinander, verloren Energie und kamen sich dadurch immer näher. Mit kleiner werdendem Abstand umkreisten sie sich schneller und schneller und strahlten mehr und mehr Gravitationswellen ab, bis sie schliesslich ineinanderstürzten und zu einem einzigen schwarzen Loch verschmolzen. In der letzten Viertelsekunde ihres Lebens umkreisten sich die beiden noch fünf Mal. Die dabei ausgestrahlten Gravitationswellen waren 50 Mal heller als alle Sterne im sichtbaren Universum zusammen. Wahrlich ein episches Ereignis! Und zum Glück für uns so gewaltig, dass es messbar war.

Wunder der Technik

Erste Überlegungen zur Messung von Gravitationswellen mit Interferometern wurden bereits in den 1960er-Jahren von Gertsenshtein, Pustovoit und Braginskiĭ angestellt. Etwa zehn Jahre später nahmen erste Prototypen von Forward und Weiss konkrete Gestalt an. Es sollten aber noch weitere 40 Jahre vergehen, bis es nach zahlreichen Änderungen und Verbesserungen am 14. September 2015 schliesslich zum Durchbruch kam. Warum, mag man sich fragen, dauerte es so lange, ein Interferometer zu bauen, welches Gravitationswellen messen kann? Um diese Frage zu beantworten, muss man verstehen, wie sich Gravitationswellen bemerkbar machen. Stark vereinfacht kann man sagen, dass Gravitationswellen den Raum deformieren, sie strecken ihn in die eine und stauchen ihn in die andere Richtung und das in gleichen Zeitabständen abwechselnd immer wieder. Aber selbst bei einem so epischen Ereignis wie dem am 14. September 2015 ist das relative Streckverhältnis extrem klein, es beträgt nur etwa 10^{-20} . Um dies in eine halbwegs fassbare Relation zu setzen, betrachte man den Durchmesser der Milchstrasse, der etwa 10^{21} Meter beträgt. Eine relative Änderung von 10^{-20} heisst nun, dass sich der Durchmesser der Milchstrasse um zehn Meter ändert, also um nicht wirklich viel. Ein Interferometer, welches in der Lage ist, eine solch unvorstellbar kleine relative Längenänderung bequem messen zu können, müsste etwa 10^{14} m gross sein. Das entspricht der zehnfachen Grösse des Sonnensystems. Selbstredend ist es unmöglich, ein solches Interferometer zu bauen. Für Physiker jedoch kein Grund, in Verzweiflung zu verfallen. Im Gegenteil, je

grösser die Herausforderung, desto grösser die Geister, die sich an ihr messen. Dazu kommt, dass in der Vergangenheit viele Tricks und Kniffe entdeckt wurden, mit Hilfe derer man das Problem dann doch noch lösen konnte: Man kann Interferometer schachteln, d.h. Interferometer im eigentlichen Interferometer unterbringen, ähnlich einer russischen Matrjoschka. Man kann intensive und hochstabile Laser als Lichtquelle nutzen. Man kann das ganze Interferometer in eine Hochvakuumkammer stecken, um Luftbewegungen zu eliminieren. Und zu guter Letzt kann man die Interferometerspiegel seismisch von der Umgebung entkoppeln, indem man ähnliche Techniken wie bei einem «Noise Cancellation»-Kopfhörer nutzt. Die Entwicklung all dieser kleinen technischen Wunder dauerte aber eben 40 Jahre. Ohne sie wäre der Durchbruch nie geglückt.

Dem Urknall auf der Spur

Über die Existenz von Gravitationswellen spekulierte Oliver Heaviside bereits 1893. Er liess sich bei seinen Überlegungen von der formalen Analogie zwischen Gravitation und Elektrostatik leiten. Wenn das eine Gesetz elektromagnetische Wellen beschreibt und das andere formal gleich aussieht, warum sollte es nicht auch Wellen beinhalten? Aus ähnlichen Überlegungen heraus postulierte Henri Poincaré wenige Jahre später, dass beschleunigte Massen Gravitationswellen aussenden, genauso wie beschleunigte Ladungen elektromagnetische Wellen aussenden. Als Einstein 1915 seine Allgemeine Relativitätstheorie veröffentlichte, konnten diese Vermutungen erstmals solide begründet werden. Die Generationen nach Einstein suchten nach Objekten, die messbare Gravitationswellen aussenden. Man ahnte schon, sie sollten schwer sein und sich möglichst schnell bewegen. Sich umkreisende Objekte, wie Neutronensterne oder schwarze Löcher, aber auch Supernovae oder der Urknall selbst boten sich als mögliche Kandidaten an.

Warum stellt diese Messung einen Durchbruch für die Physik dar? Nur schon die Existenz der Gravitationswellen zu beweisen, war ein Durchbruch. Endlich war es gelungen, heureka, und mit welchem Ereignis! Niemand hatte bis dahin auch nur geahnt, dass der Kollaps von Sternen zu schwarzen Löchern mit so ungeheurer Masse führen kann. Es ist aber auch der Beginn einer neuen Astronomie. Endlich können wir Gravitationswellen

beobachten und damit etwas über ihre Quellen lernen. Wenn zwei schwere schwarze Löcher umeinander kreisen, wird die Gravitation in den letzten Momenten ihres Lebens derart stark, dass man Abweichungen von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie finden könnte, vielleicht gar einen Hinweis auf die seit langem gesuchte Quantengravitation. Zudem kommen wir dem Urknall ein ganzes Stück näher. Beobachten wir Licht, so sehen wir bestenfalls Ereignisse, die 100 000 Jahre nach dem Urknall passiert sind, beobachten wir Neutrinos, tasten wir uns bis auf eine Sekunde an den Urknall heran, messen wir jedoch Gravitationswellen, so können wir uns dem Urknall bis auf die unvorstellbar kleine Zeitspanne von 10^{-43} Sekunden nähern.

Was bringt die Zukunft? Sicherlich werden in nicht allzu ferner Zukunft weitere Interferometer gebaut werden, wahrscheinlich wird es etwa fünf geben, die über den ganzen Globus verteilt sind. Damit kann man dann die Richtung, aus der die Gravitationswellen kommen, sehr viel genauer bestimmen. Darüber hinaus können ihre Eigenschaften detailliert untersucht werden. Zukünftige Interferometer werden auch grösser und damit empfindlicher sein. Auf der Erde geht das sicherlich nur in begrenztem Masse, aber welt-raumbasierte Systeme, wie das geplante LISA, können ganz andere Dimensionen erreichen. Schon bald, so hoffen wir, wird die Beobachtung von Gravitationswellen einige der grossen Rätsel der Astrophysik lösen.