

## ■ Wenn die Gravitation Wellen schlägt...

Der Physik-Nobelpreis geht zur Hälfte an Rainer Weiss und zu je einem Viertel an Barry Barish und Kip Thorne für entscheidende Beiträge zum LIGO-Detektor und die Beobachtung von Gravitationswellen.

In diesem Jahr hat die Entscheidung der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften zur Verleihung des Physik-Nobelpreises wohl niemanden überrascht: Die diesjährige Auszeichnung erhalten die beiden LIGO-Gründer Rainer Weiss und Kip Thorne sowie der frühere LIGO-Direktor Barry Barish für entscheidende Beiträge zum LIGO-Detektor und die Beobachtung von Gravitationswellen. Seit der aufsehenerregenden Pressekonferenz der LIGO-Kollaboration am 11. Februar 2016, in welcher der direkte Nachweis des ersten Gravitationswellensignals verkündet wurde, hat wohl jeder in Wissenschaft und Öffentlichkeit mit dieser Auszeichnung gerechnet.<sup>\*)</sup>

Hundert Jahre zuvor hatte Albert Einstein Gravitationswellen vorhergesagt. Diese ergeben sich beispielsweise beim Verschmelzen zweier Schwarzer Löcher zu einem massiven Schwarzen Loch. Die dabei frei werdende Energie wird in Form von Gravitationswellen abgestrahlt. Ein solches Signal haben die LIGO-Detektoren in Livingston (Louisiana) und Hanford (Washington) am 14. September 2015 um 5:51 US-Ostküstenzeit registriert.

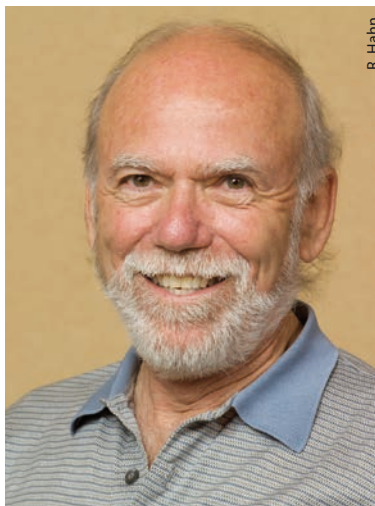
In den darauffolgenden Monaten sammelte die Kollaboration weitere Daten, prüfte, wertete akribisch aus und hielt Stillschweigen. Danach war klar, dass es sich um ein echtes Signal mit einer statistischen Signifikanz von 5,1 Standardabweichungen handelte. Es stammte von zwei Schwarzen Löchern mit einer Masse von rund 29 bzw. 36 Sonnenmassen, die vor 1,3 Milliarden Jahren zu einem einzigen Schwarzen Loch einer Masse von etwa 62 Sonnenmassen verschmolzen sind. Demnach ist in einem Bruchteil einer Sekunde die Energie von rund drei Sonnenmassen in Form von Gravitationswellen frei geworden.

Der Weg bis zum erfolgreichen Nachweis war weit: Das erste Konzept eines interferometrischen Detektors zur Gravitationswellen-



B. Vickmark

Rainer Weiss (links) wurde 1932 in Berlin geboren und floh mit seiner Familie vor den Nationalsozialisten erst nach Prag, 1938 in die USA. Er studierte am MIT, wo er bis zu seiner Emeritierung 2001 Professor war. Barry Barish (unten links) wurde 1936 in Omaha, Nebraska, geboren und studierte an der University of California in Berkeley. Von 1962 bis 2005 war er Professor am Caltech. Kip Thorne (unten rechts) wurde 1940 in Logan, Utah, geboren und studierte in Princeton. Er promovierte 1965 bei John Archibald Wheeler und war bis zu seiner Emeritierung 2009 Professor am Caltech.



R. Hahn



Caltech

detektion stammt aus den frühen 60er-Jahren. 1972 veröffentlichte Rainer Weiss den ersten ausgearbeiteten Vorschlag für ein Laserinterferometer. Sein Vorschlag wurde anfangs durch das MIT finanziert, 1974 stellte er einen Antrag bei der National Science Foundation, um seinen Prototypen vergrößern zu können. Zeitgleich entwickelten Gruppen um Heinz Billing in Garching und um Ronald Drever und James Hough in Glasgow eigene Prototypen.

Einige Jahre später entstand am Caltech unter Leitung von Kip Thorne ein weiterer Prototyp. Thorne hatte mit seiner Gruppe in den 70er-Jahren die Theorie der Gravitationswellen entscheidend vorangebracht. Später gelang es ihm, am Caltech eine experimentel-

le Gravitationswellengruppe unter Leitung von Ronald Drever zu initiieren. 1983 wurde das „Blue Book“ veröffentlicht – das Ergebnis einer von Rainer Weiss geleiteten Designstudie für kilometerlange Interferometer. 1984 fiel der Startschuss für das LIGO-Projekt unter Leitung von Weiss, Thorne und Drever.

Sechs Jahre später gab die National Science Foundation grünes Licht für den Bau zweier Detektoren mit jeweils drei Kilometer langen Armen. Um die erfolgreiche Umsetzung des Projekts zu gewährleisten, stellte das Caltech 1994 Barry Barish als ersten LIGO-Direktor ein. Heute gehören mehr als tausend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 15 Ländern zu der Kollaboration, darunter viele deutsche Forscher, die im Rahmen

\*) Weiterführende Artikel zu Gravitationswellen und ihrer Detektion finden sich in unserem Dossier „Gravitationswellen“, [www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?cid=10643621](http://www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?cid=10643621)

der GEO600-Kollaboration südlich von Hannover einen Gravitationswellendetektor betreiben. Viele technologische Entwicklungen aus Hannover wie die monolithische Spiegelaufhängung oder das Hochleistungslasersystem haben die notwendige hohe Empfindlichkeit der LIGO-Detektoren erst ermöglicht.

Im Dezember 2015 registrierte die LIGO-Kollaboration das zweite Gravitationswellensignal zweier verschmelzender Schwarzer Löcher, im Januar 2017 das dritte. Das vierte Gravitationswellensignal detektierten die LIGO- und VIRGO-Detektoren am 14. August 2017 erstmals gemeinsam. Diese drei-

fache gemeinsame Messung verbesserte die Genauigkeit, mit der sich die Position und Entfernung der Schwarzen Löcher bestimmen ließen, signifikant. Die Gravitationswelle erreichte zuerst den Detektor in Livingston, acht Millisekunden später den Detektor in Hanford und weitere 14 Millisekunden später den italienischen VIRGO-Detektor in der Nähe von Pisa. Damit ließ sich der Ursprung der Gravitationswelle auf einen Bereich von 60 Quadratgrad (das 300-Fache der scheinbaren Größe des Vollmondes) am Südhimmel zwischen den Sternbildern Eridanus und Horologium lokalisieren.

Am 16. Oktober sorgten die LIGO- und VIRGO-Kollaborationen erneut mit einer Pressekonferenz für Aufsehen: Am 17. August zeichneten sie das Gravitationswellensignal von zwei verschmelzenden Neutronensternen auf.<sup>1)</sup> Zudem registrierten insgesamt 70 astronomische Observatorien auf der Erde und im All die elektromagnetische Strahlung, die bei dem Ereignis und dessen Folge entstand. Mit dieser kombinierten Messung hat eine völlig neue Ära der Astronomie begonnen, maßgeblich initiiert durch die diesjährigen Physik-Nobelpreisträger.

Maïke Pfalz

## ■ Gefrorene Biomoleküle hochaufgelöst abbilden

Jacques Dubochet, Joachim Frank und Richard Henderson erhalten den Chemie-Nobelpreis 2017 für die Entwicklung der Kryo-Elektronenmikroskopie.



Jacques Dubochet (links) wurde 1942 in der Schweiz geboren und studierte in Lausanne und Genf, von 1978 bis 1987 arbeitete er in Heidelberg, bevor er in Lausanne Professor wurde. Joachim



Frank (Mitte) wurde 1940 in Weidenau an der Sieg geboren. Er wurde an der TU München promoviert. Nach zahlreichen Stationen wurde er 2003 Professor an der Columbia University in New



York City. Richard Henderson (rechts) wurde 1945 in Edinburgh geboren und studierte in Edinburgh und Cambridge. Nach 1973 arbeitete er am Medical Research Council in Cambridge.

Die Geheimnisse von Biomolekülen wie Proteine oder Viren lassen sich am besten entschlüsseln, wenn es hochaufgelöste dreidimensionale Bilder ihrer Struktur gibt. Bis ein allgemein anwendbares, einfaches Verfahren vorlag, haben drei Forscher mit ihren Arbeitsgruppen über Jahrzehnte die Grundlagen der Kryo-Elektronenmikroskopie entwickelt und verbessert. Dafür zeichnet die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften Jacques Dubochet, Joachim Frank und Richard Henderson zu jeweils gleichen Teilen mit dem Nobelpreis für Chemie 2017 aus.<sup>1)</sup>

Richard Henderson versuchte nach seiner Promotion an der Cambridge University 1969, die Struktur von Proteinen mithilfe der Röntgenkristallographie darzustellen. Er scheiterte aber daran, ausreichende Mengen der Proteine aus ihrer natürlichen Umgebung zu extrahieren oder sie in ihrer natürlichen Struktur zu kristallisieren. Daher kam er auf die Idee, als bildgebendes Verfahren die Elektronenmikroskopie einzusetzen. 1975 gelang es ihm, das Protein Bacteriorhodopsin mit einer Auflösung von 7 Ångström darzustellen. Dabei kam ihm zugute, dass dieses Protein im Organis-

mus so regelmäßig angeordnet ist, dass es für die Untersuchung nicht extrahiert werden muss. In den folgenden Jahren nutzte Henderson die immer bessere Technik aus, um schließlich 1990 die Struktur von Bacteriorhodopsin mit atomarer Auflösung darzustellen.

Um die Elektronenmikroskopie allgemein als bildgebendes Verfahren für Biomoleküle zu etablieren, waren noch die Arbeiten von Joachim Frank und Jacques Dubochet notwendig. Der in Deutschland geborene Joachim Frank suchte nach einem Algorithmus, um aus den Aufnahmen tausender ver-

1) Vgl. Dossier „Nobelpreis“, [www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?qid=1417689](http://www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?qid=1417689)