

■ Verdrehtes Licht von rotierenden Schwarzen Löchern

Die direkte Beobachtung der Massemonster rückt in greifbare Nähe.

+) N. Scharrel und M. Ehle, Der Satellit mit den Röntgenaugen, Physik Journal, Oktober 2010, S. 29

#) Physik Journal, November 2009, S. 13

§) M. Brüggem, Das größte Teleskop der Welt, Physik Journal, Oktober 2008, S. 29

§) Physik Journal, März 2010, S. 16

Schwarze Löcher gehören schon länger zum Alltag in der Astrophysik. Die Kerne von Galaxien – erst Recht die aktiven – lassen sich ohne ihre Existenz nicht verstehen. Dabei vergisst man leicht, dass ihr direkter Nachweis noch aussteht: Phänomene wie der Lense-Thirring-Effekt („frame dragging“), welche die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) im Zusammenhang mit Schwarzen Löchern voraussagt, sind bis heute ausschließlich theoretisch und numerisch verifiziert, aber nicht experimentell. Dies ist auch kein Wunder, denn Schwarze Löcher lassen sich im Labor nicht herstellen und im All gehören sie zu den kompaktesten und seltensten Objekten. Sie sind daher direkten Beobachtungen bisher nicht zugänglich. Theoretische Arbeiten der letzten Jahre könnten dies ändern. Fabrizio Tamburini und seine Kollegen kommen zu dem Ergebnis, dass der Lense-Thirring-Effekt durch die Verzerrungen der Raumzeit dort durchlaufendes Licht merklich „verdreht“ [1]. Dies ließe sich unter Umständen mit modernen Radio- und Infrarot-Teleskopen messen, was es ermöglichen könnte, die Rotation eines Schwarzen Loches direkt zu bestimmen.

Die Größe des Ereignishorizonts skaliert linear mit der Masse des Schwarzen Loches. Als einziger Kandidat für abbildende Beobachtungen kommt deshalb nur Sagittarius A-Stern (Sgr A*) infrage, das supermassereiche Exemplar im Zentrum der Milchstraße [2].^{+) #)}

Bei vier Millionen Sonnenmassen und einem Abstand von 26 000 Lichtjahren nimmt sein Ereignishorizont einen Sichtwinkel von rund 50 Mikrobogensekunden ein. Dies wäre mit Radiointerferometrie großer Basislinien bei Terahertz-Frequenzen tatsächlich auflösbar [3]. Damit ließe sich die Existenz des Ereignishorizonts direkt nachweisen, indem man die Verteilung des heißen, ihn umgebenden Gases kartiert (Abb. 1). Dimitros Psaltis und sein Student Tim Johannsen haben zum Beispiel gezeigt, dass sich über die Emissionscharakteristik des Plasmas am Innenrand der Akkretionsscheibe ableiten lässt, ob eines der fundamentalen Theoreme der ART, das No-Hair-Theorem, tatsächlich stimmt [4]. Es besagt, dass Schwarze Löcher einzig und alleine durch ihre Masse, ihren Spin und ihre elektrische Ladung charakterisiert sind. Letztere ist im astrophysikalischen Kontext vernachlässigbar, Spin und Masse lassen sich aus Form und Größe des Ereignishorizonts ableiten. Mit ALMA, dem Atacama Large Millimeter Array, welches die Europäische Südsternwarte ESO derzeit in Chile errichtet, steht in wenigen Jahren tatsächlich ein Radioteleskop zur Verfügung, das zusammen mit anderen Radioteleskopen eine entscheidende Rolle bei solchen Beobachtungen spielen kann.^{#)} Auch im Infrarotbereich sollen Interferometer diese Auflösung in den nächsten Jahren erreichen. Diese werden zwar noch nicht in

der Lage sein, den Ereignishorizont direkt abzubilden, rücken aber bestimmte Tests der ART, die über den reinen Nachweis der Existenz des Ereignishorizonts hinausgehen, in den Bereich des Möglichen.

Wie gut man aber die Rotation des Schwarzen Loches aus direkten Beobachtungen ableiten kann, bleibt noch offen. Besser ist es sicherlich, eine davon unabhängige Methode zu entwickeln. Dies gelingt vielleicht über die Messung des Bahndrehimpulses des abgegebenen Lichts. Schon seit einiger Zeit ist bekannt, dass Photonen einen Drehimpuls besitzen, der nicht nur aus dem bekannten Spin besteht, sondern auch einen orbitalen Anteil hat. Dieser Bahndrehimpuls äußert sich zum Beispiel dadurch, dass er bei Absorption eines Photons ein Drehmoment auf das absorbierende Teilchen ausübt. Umgekehrt kann ein verwirbeltes Emissionsgebiet – wie die verdrehte Raumzeit am Ereignishorizont – einem Photon Drehimpuls mitgeben.

Bildlich kann man sich den Bahndrehimpuls als eine Helix von Punkten gleicher Phase entlang der Ausbreitungsrichtung des Lichts vorstellen (Abb. 2). In optischen Experimenten hat man den orbitalen Drehimpuls schon gemessen – auch bei einzelnen Photonen – und verbindet damit die Hoffnung, im Rahmen einer quantenoptischen Informationsübertragung zusätzliche Daten in einem einzelnen Photon zu kodieren.

Prof. Dr. Heino Falcke, Radboud Universität Nijmegen, Heijendaalseweg 135, NL-6525 AJ Nijmegen

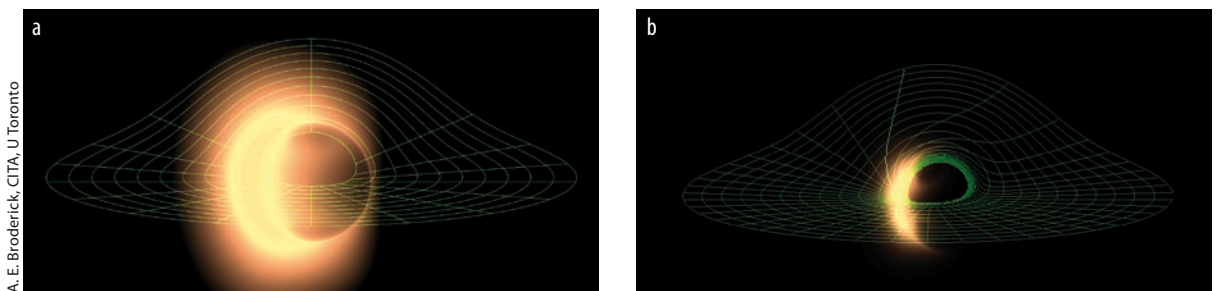
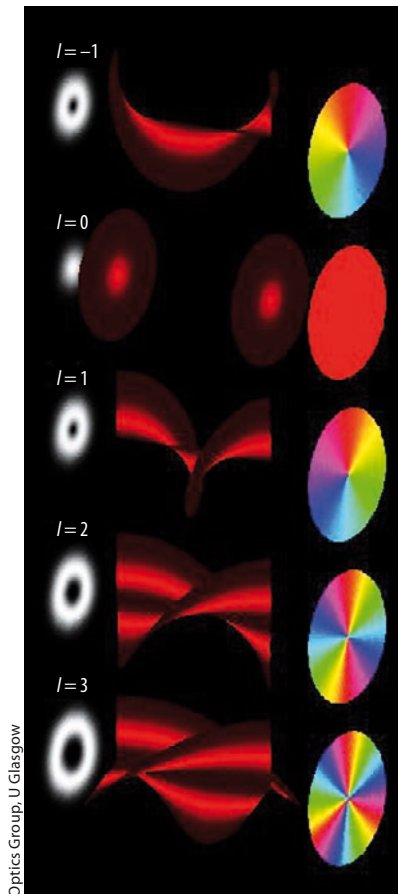


Abb. 1 Beim Blick auf die Akkretionsscheibe eines Schwarzen Lochs unter kleinem Winkel erscheint die ferne Seite „hochgebogen“ (grünes Liniengitter). Kreist ein „Plasma-Blob“ nahe am Ereignishorizont eines nicht-rotierenden (Schwarzschild-)

Loches, wird seine Gestalt und seine Emission auf charakteristische Weise verzerrt (a). Rotiert das Schwarze Loch hingegen, verdreht es die umgebende Raumzeit (Radien im Liniengitter) und die Verzerrung des Blobs hat eine deutlich andere Form (b).



Optics Group, U Glasgow

Abb. 2 Im Gegensatz zu Licht ohne Bahndrehimpuls ($l = 0$), bei dem Ebenen im Abstand der Wellenlänge die gleiche Phase aufweisen, äußert sich ein Bahndrehimpuls durch charakteristische Phasenverteilungen (mittlere Spalte: Flächen gleicher Phase; rechts: Verteilungen bei einem Querschnitt). Im Zentrum des Lichtprofils ist die Phase nicht definiert, die Intensität verschwindet und man erhält „Doughnut“-Moden (linke Spalte).

Tritt dieser Effekt aber auch bei astrophysikalischen Lichtquellen auf? Diese Frage stellte zuerst der Astrophysiker Martin Harwit 2003 [5]. In der Nähe eines Schwarzen Loches sei dies zu erwarten: Die zum Mitrotieren gezwungene Raumzeit sollte tatsächlich Photonen einen Bahndrehimpuls mitgeben. Die neuen numerischen Simulationen von Tamburini et al. zeigen, dass dies – unter gewissen Annahmen, die noch genauer untersucht und bestätigt werden müssen – eine Größenordnung erreicht, die detektierbar sein sollte [1]. Der Effekt bedeutet im Umkehrschluss, dass die Wechselwirkung mit dem orbitalen Drehimpuls des Lichts das Schwarze Loch abbremst – ein Phänomen, das noch kein Gegenstand bisheriger Untersuchungen war.

Am Ende stellen die Autoren die Frage, wie man dies nun in der Praxis messen kann. Möglich wäre es, ein Nahinfrarot-Teleskop mit einem speziellen Objektivfilter zu versehen. Im Radio- und Submillimeterbereich, wo man die Phase des Lichts digital bestimmen kann, würde unter Umständen sogar schon eine spezielle Korrelation der Daten eines Interferometers die Messung erlauben.

Der Plasmaphysiker Bo Thidé, einer von Tamburinis Ko-Autoren, betreibt schon seit einiger Zeit astronomische Experimente zur Detektion des Bahndrehimpulses, nicht nur in Hinblick auf Schwarze Löcher. Er nutzt dafür LOIS, eine der speziellen Außenstation des neuen digitalen Radioteleskops LOFAR, dem Low-Frequency Array.⁹⁾ Auch das geplante Square Kilometer Array (SKA), eine Weiterentwicklung von LOFAR, böte sich in Zukunft hervorragend dafür an, dieses neue Gebiet voranzutreiben.⁹⁾

Gleichzeitig könnte das SKA konkurrierende Beobachtungsperspektiven eröffnen: Denn wenn es auch nur einen einzelnen Radiopulsar in einem Orbit um Sgr A* entdeckt (oder Infrarotastronomen einen Stern mit ausreichend enger Umlaufbahn um Sgr A* nachverfolgen), ließe sich der Einfluss des Lense-Thirring-Effekts auf die Bahn des Pulsars vermessen. Auf diese Weise wäre es möglich, die Rotation des Schwarzen Lochs und das No-Hair-Theorem mit größerer Genauigkeit zu testen, als über den Bahndrehimpuls [6, 7].

Heino Falcke

- [1] F. Tamburini, B. Thidé, G. Molina-Teriza und G. Anzolin, *Nature Physics* 7, 195 (2011)
- [2] S. Gillessen, F. Eisenhauer, T.-K. Fritz, H. Bartko, K. Dodds-Eden, O. Pfuhl, T. Ott und R. Genzel, *Astrophys. J.* 707, L114 (2009)
- [3] H. Falcke, F. Melia und E. Agol, *Astrophys. J.* 528, L13-L16 (2000)
- [4] T. Johannsen und D. Psaltis, *Astrophys. J.* 718, 446 (2010)
- [5] M. Harwit, *Astrophys. J.* 597, 1266 (2003)
- [6] N. Wex und S. M. Kopeikin, *Astrophys. J.* 514, 388 (1999)
- [7] C. M. Will, *Astrophys. J.* 674, L25 (2008)



Max Rauner und Stefan Jorda

Big Business und Big Bang

Berufs- und Studienführer
Physik

2., aktualis. u. erw. Auflage,
X, 278 Seiten, 49 Abb.,
Broschur, 17,90 €
ISBN: 978-3-527-40814-6

Sie wollen studieren, aber was? Physik hat schlechte Karten – ein langes, schwieriges Studium, schlechte Berufsaussichten und geringes Gehalt, denken Sie. Mit der Realität auf dem Arbeitsmarkt haben diese Vorurteile wenig zu tun: Dass Physiker nicht ständig im Labor stehen oder gerade eine geniale Idee ausbrüten, hat sich kaum herumgesprochen. Dabei arbeiten sie nach dem Studium in Banken und Versicherungen, als Forschungsmanager und Patentanwalt, in der Automobilbranche und Telekommunikation, bei Optikfirmen und Unternehmensberatungen. Von Big Business bis Big Bang gibt es kaum ein Gebiet, auf dem sie nicht vertreten sind.

Diese zweite, ergänzte Auflage beinhaltet zusätzlich Medizinphysik, Chemie und die Energiebranche als Berufsportraits; darüber hinaus aktuelle Informationen über Bachelor-Master-Studiengänge sowie einen aktualisierten Serviceteil.

Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
E-Mail: service@wiley-vch.de
www.wiley-vch.de

 WILEY-VCH

Irrtum und Preisänderungen vorbehalten.