



Holger Ziegler

Holger Ziegler konnte am 29. August 2009 diesen prachtvollen Regenbogen über Berlin aufnehmen. Wie könnten Regenbögen wohl auf anderen Welten aussehen?

Regenbögen auf fremden Planeten oder Monden?

Mir stellt sich die Frage, ob es auf anderen Welten vergleichbare Phänomene wie den irdischen Regenbogen gibt, und wie diese aussehen könnten. In unserem Sonnensystem ist Titan wohl der einzige Himmelskörper mit einem komplexen Wettergeschehen, bei dem sich ein Regenbogen ausbilden könnte – wenn denn ein Sonnenstrahl die dichte Atmosphäre durchdringen und an einer Regenwand aus Methan oder Äthan gebrochen und reflektiert würde. Allerdings haben diese Kohlenwasserstoffe auch in flüssiger

Form eine geringere Dichte als Wasser, so dass der Brechungskoeffizient wahrscheinlich kleiner ist. Auch die Dispersion, also die Änderung des Brechungskoeffizienten mit der Wellenlänge des Lichts, ist mir unbekannt, so dass solche Regenbögen vermutlich weniger kräftig als auf der Erde ausfielen.

Aber bei der Vielfalt neu entdeckter Exoplaneten mag es Welten mit anderen Kohlenwasserstoffen, mit Regen aus Ammoniak- oder Schwefelwasserstoffwolken oder mit eisigem Niederschlag

aus flüssigem Stickstoff geben. Gibt es deshalb sogar Welten mit eindrucksvolleren Regenbögen als auf der Erde? Oder wie sähe es auf Wasserwelten wie unserer Erde aus, die um Mehrfachsonnen kreisen und dadurch mehrere »verschachtelte« Regenbögen aufweisen könnten?

Vielleicht motivieren meine »spinner-ten Ideen« jemanden zu einem Artikel über diese Fragen, oder wenigstens zu einer kurzen sachkundigen Antwort. Ich würde mich sehr freuen.

ULRICH SANDKÜHLER, HAGEN

Kosmologie-Berechnungen für Nichtmathematiker

Ich beschäftige mich mit den Beobachtungsmöglichkeiten für sehr ferne Galaxien. Dazu meine Frage an Sie: Besteht für mich als Nichtmathematiker die Möglichkeit, aus den gemessenen Rotverschiebungen selbstständig Angaben zur Lichtlaufzeit von der Galaxie bis zu uns, zu dem damaligem Weltalter bei der Abstrahlung des heute beobachteten Lichts und zur heutigen Entfernung einer Galaxie zu errechnen? Vielleicht gibt es dafür bereits eine Software?

WOLFRAM FISCHER,
LEIPZIG

Ja, die gibt es, und zwar in Ned Wrights »Javascript Cosmology Calculator«: www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html

Das ist ein wirklich köstliches Werkzeug! Hier sollten Sie allerdings ein klein wenig Englisch können. Sie müssen/dürfen dort »Ihr eigenes« Universum frei wählen: Sie geben eine heutige Hubble-Konstante (H_0), einen heutigen Materieanteil (Ω_M) und entweder eine Geometrie (»offen«, »flach«) oder eine heutige

Dunkle Energie (Ω_{vac} dann Geometrie = »general«) an sowie eine Rotverschiebung des beobachteten Objekts (z), und dann kriegen Sie all die von Herrn Fischer gewünschten Daten auf Knopfdruck ausgerechnet. Das damalige Weltalter erhalten Sie aus der Differenz des heutigen Weltalters (wird vom Programm berechnet) und der Lichtlaufzeit (wird ebenfalls vom Programm berechnet).

Die Werte von 69,6, 0,286 und 0,714, die Ihnen das Programm für die drei genannten Parameter anbietet, können Sie beibehalten – oder auch durch aktuellere ersetzen. Für ein nach gegenwärtigem Kenntnisstand realistisches Universum sollten sich die beiden letzteren zu 1,00 ergänzen, oder Sie sollten als Geometrie »flat« wählen.

U. B.



Ned Wrights »Javascript Cosmology Calculator«:
<http://goo.gl/vpYmw>

Weitere Einsendungen finden Sie auf unserer Homepage unter www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe, wo Sie auch Ihren Leserbrief direkt in ein Formular eintragen können. Zuschriften per E-Mail: leserbriefe@sterne-und-weltraum.de

Verschmelzung von Schwarzen Löchern

Jeden Monat genieße ich Ihre Zeitschrift. Heute habe ich, angeregt durch Ihren Artikel über die Gravitationswellen des GW150914 in der Ausgabe 4/2016, S. 24, eine Frage:

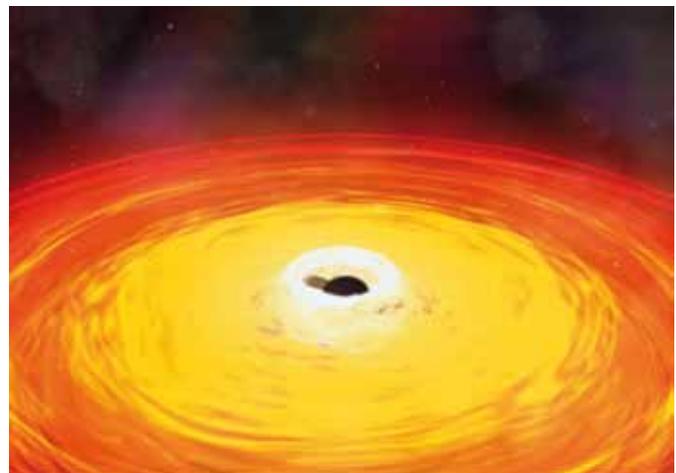
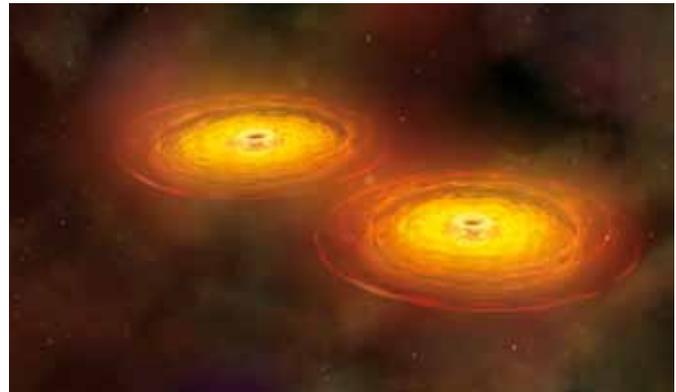
Bei einer einfachen Rechnung zeigt sich, dass zum Beispiel zwei Kugelmassen gleichen Volumens eine bestimmte Oberfläche aufweisen. Denkt man sich die beiden Kugeln zu einer größeren Kugel mit dem Volumen der beiden ideal verschmolzen, so beträgt die neue Oberfläche nicht den doppelten Wert, sondern ist kleiner als die Summe der beiden kleinen Oberflächen.

Nun gibt es aber einen Herrn Hawking, der in seinem »Black Hole Area Theorem« behauptet, dass die Oberfläche eines aus zwei Vorgängern entstandenen Schwarzen Lochs größer ist als die Summe der beiden Vorgänger! Und das trotz des Massenverlusts durch die Freisetzung der Gravitationsenergie – wie zum Beispiel bei GW150914, wo rund drei Sonnenmassen abgestrahlt wurden. Wie ist das zu erklären? ROMAN JAKOB, FRANKENTHAL

Aus den Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie ergibt sich, dass der Radius Schwarzer Löcher proportional zu ihrer Masse ist, und eben nicht das Volumen. Daran gibt es Nichts zu rütteln. Die Rechnung von Herrn Jakob geht davon aus, dass sich einfach das Volumen addiert, also sozusagen die Dichte bei der Verschmelzung erhalten bleibt. Das ist aber nicht so.

Anders herum betrachtet bedeutet das, dass die »Dichte« von Schwarzen Löchern – wenn man sie ganz schlicht als Quotient von Masse zu Volumen berechnet – mit der Masse stark abnimmt. Während ein Schwarzes Loch von, sagen wir, 10 Sonnenmassen (beispielsweise das im Doppelstern Cygnus-X1) bei einem Radius von 30 Kilometern die fantastisch hohe »Dichte« von rund 2×10^{14} Gramm pro Kubikzentimeter besitzt, ist die »Dichte« eines Lochs von 10 Milliarden Sonnenmassen (zum Beispiel im Quasar OJ 287) ungeheuer gering: nur 0,0002 Gramm pro Kubikzentimeter. Es sei hier allerdings betont, dass diese Werte an keiner Stelle in den jeweiligen Schwarzen Löchern einer echten Materiedichte entsprechen. U. B.

So kann man sich die Vereinigung zweier Schwarzer Löcher vorstellen, die jeweils von einer Akkretionsscheibe aus Gas und Staub umgeben sind. Nach Millionen von Jahren gemeinsamen Umkreisens verschmelzen die beiden Schwarzen Löcher zu einem Objekt und geben dabei große Energiemengen in Form von Gravitationswellen ab.



NASA / CXO / A. Hobart

Akzeptanz des Fernrohrs im islamischen Raum

Ich fand den Artikel über mögliche Vorläufer des Fernrohrs in SuW 4/2016, S. 36, sehr interessant. Das Fernrohr ist um 1600 erfunden worden. Soweit ich weiß, gab es damals italienische Handelsstationen im islamischen Raum. Meine Frage: Wurde das Fernrohr von den muslimischen Gelehrten angenommen, oder gab es Hindernisse? DETLEV FREIENSTEIN, BERLIN

Wir geben diese Frage an unsere Leserschaft weiter. Im christlichen Abendland gab es anfangs erhebliche Widerstände von manchen Gelehrten und dem Klerus gegen die Verwendung optischer Hilfsmittel zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn. U. B.

Sternbeobachtung mit Nachtsichtgerät möglich?

Hat schon mal jemand versucht, bei Nacht die Sterne mit einem Nachtsichtgerät zu beobachten? Konkret: Gibt es Erfahrungen mit dem Bestguarder 6×50 ? DAVID BRAUN, MECKELN

Wir weisen auf die Diskussion auf www.astrotreff.de und auf die Beratung durch Fachhändler. RED.

Merkurperihel-Präzession ohne Schwarzschildlösung

Wie ist es möglich, die berühmte relativistische Merkurperihel-Präzession zu berechnen, ohne die Schwarzschild-Lösung der einsteinschen Feldgleichungen der Gravitation zu kennen? Man liest immer, dass Einstein 1915 die allgemeine Relativitätstheorie veröffentlicht hat und sofort die Merkurperihel-Präzession als den zentralen Beobachtungsbefund zur Unterstützung seiner Theorie deklariert hat. Aber andererseits hat doch Schwarzschild seine Metrik erst 1916 gefunden und publiziert. Und man kann überall lesen, dass dies die erste interessante Lösung der Feldgleichungen gewesen sei und dass sie das Schwerefeld der Sonne perfekt beschreibt.

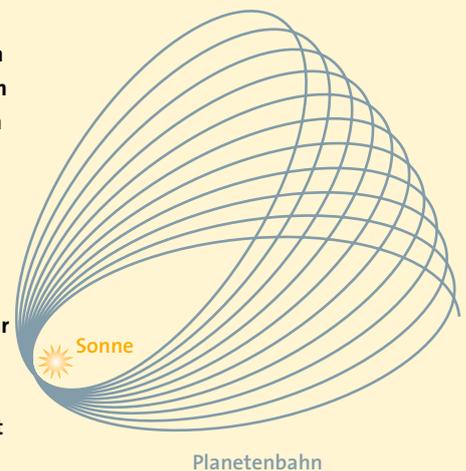
MAX BAUER, HILDESHEIM

In Einsteins Theorie werden die Schwerkraft und die krummen Bewegungen der Himmelskörper dadurch erklärt, dass Massen die vierdimensionale physikalische Raumzeit, bestehend aus drei räumlichen Richtungen plus der Zeit, »krümmen«. In einem gekrümmten Raum ist zum Beispiel die Winkelsumme im Dreieck nicht mehr 180 Grad, der Umfang eines Kreises mit dem Radius r nicht mehr $2\pi r$, und es gibt keine echten Parallelen. Das Prinzip der allgemeinen Relativitätstheorie könnte man so ausdrücken: Die Materie sagt der Raumzeit, wie sie sich krümmen soll, und die Raumzeit sagt der Materie, wie sie sich bewegen soll.

Es ist gut vorstellbar, dass die Schwarzschildlösung als erste »interessante« Lösung bezeichnet wird. Sie ist genau gesagt die erste exakte Lösung der Feldgleichungen der Gravitation, die mehr beschreibt als einfach nur eine flache Raumzeit ohne jegliche Gravitation. Die leere, ungekrümmte Raumzeit ist ebenfalls eine exakte Lösung der Feldgleichungen, aber sie ist gewissermaßen langweilig. Die Schwarzschildlösung enthält erstmals Effekte, die sich stark von den Voraussagen der newtonschen Gravitationstheorie unterscheiden – wie zum Beispiel Ereignishorizonte bei Schwarzen Löchern.

Zur Berechnung der Planetenbewegung im Sonnensystem ist die Schwarzschildlösung jedoch nicht zwingend erforderlich, da die Sonne und die Planeten die Raumzeit nur sehr, sehr schwach

Diese Grafik zeigt die berechnete Bahn eines »Planetens« um einen sehr schweren Zentralkörper. Zur Verdeutlichung der Periheldrehung ist hier im Vergleich zu Merkur die Exzentrizität der Bahn sehr verstärkt und die Masse seiner »Sonne« stark vergrößert worden.



krümmen und sich die Planeten im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit sehr langsam bewegen.

Einstein konnte daher die Bestimmung der Periheldrehung stark vereinfachen, indem er die Gravitation der Sonne nur als ganz kleine Störung – Krümmung – der flachen Raumzeit ansah. Unter dieser Annahme konnte er dann in der Rechnung guten Gewissens einige Näherungen machen. Am Ende einer schlaun Kette von Rechenschritten kam er zu handhabbaren mathematischen Ausdrücken für die Beschreibung der Planetenbahnen, die zu den bekannten newtonschen Ellipsen lediglich eine sehr kleine Korrektur enthalten. Aus diesem Ergebnis konnte er leicht eine Formel für die Periheldrehung ableiten und erhielt für Merkur genau die gemessenen 43 Bogensekunden pro hundert (Erd-)Jahren. Der extrem kleine Wert der Periheldrehung – Merkur muss etwa 35 000-mal um die Sonne laufen, damit sich seine Ellipse um ein Grad dreht – verdeutlicht nochmals, wie klein die relativistischen Effekte im Sonnensystem sind, und rechtfertigt Einsteins anfängliche Annahme, dass man zu ihrer Beschreibung keine exakte Lösung wie zum Beispiel die Schwarzschildlösung benötigt.

Kleiner Nachtrag für mathematisch besonders Interessierte: In seinen Gleichungssystemen hat Einstein alle Terme weggelassen, welche die kleine Störung der flachen Raumzeit zu mehr als der zweiten Potenz enthalten.

Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie.

Von A. EINSTEIN.

In einer jüngst in diesen Berichten erschienenen Arbeit, habe ich Feldgleichungen der Gravitation aufgestellt, welche bezüglich beliebiger Transformationen von der Determinante 1 kovariant sind. In einem Nachtrage habe ich gezeigt, daß jenen Feldgleichungen allgemein kovariante entsprechen, wenn der Skalar des Energietensors der »Materie« verschwindet, und ich habe dargetan, daß der Einführung dieser Hypothese, durch welche Zeit und Raum der letzten Spur objektiver Realität beraubt werden, keine prinzipiellen Bedenken entgegenstehen¹.

In der vorliegenden Arbeit finde ich eine wichtige Bestätigung dieser radikalsten Relativitätstheorie: es zeigt sich nämlich, daß sie die von LEVERNIER entdeckte sikuläre Drehung der Merkurbahn im Sinne der Bahnbewegung, welche circa 43" im Jahrhundert beträgt qualitativ und quantitativ erklärt, ohne daß irgendwelche besondere Hypothese zugrunde gelegt werden müßte².

Ausschnitt aus der Titelseite von Einsteins Artikel in den Sitzungsberichten der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin), S. 831–839, vom Oktober 1915.

SVEN MEYER forscht am Institut für Theoretische Astrophysik der Universität Heidelberg über die Strukturbildung in relativistischen Kosmologien.

Senden Sie uns Ihre Fragen zu Astronomie und Raumfahrt! Wir bitten Experten um Antwort und stellen die interessantesten Beiträge vor.

Simulation von Björn-Malte Schäfer, Astronomisches Recheninstitut, Universität Heidelberg / SuW-Grafik

Aus: Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, S. 831–839, 1915

Stargate-500P Synscan

Die spektakuläre Erfahrung des „Finden und Sehens“

Mitgeliefertes Zubehör:

Spiegelabdeckungen für Haupt- und Fangspiegel

Streulichtschutz

Technische Spezifikationen:

Extrem Lichtstark: freie Öffnung 508mm (f:2000mm)

Synscan Goto für effiziente und automatische Himmelstouren

Patenterte Dual-Encoder Technologie für gemischten Betrieb – Manual und motorisch

Sehr verwindungssteif und dennoch ein Leichtgewicht

Betrieb mit 12V DC

Sky-Watcher[®]

Be amazed.

www.skywatcher.com

