

---

## EXPONATTEXTE *MS EINSTEIN*

---

### AUSGANGSPUNKT FASZINATION

#### **C1: „Erster Kompass“**

I. Kann ein einziges Erlebnis das ganze Leben beeinflussen – einen Menschen auf eine Spur setzen, die er nie mehr verlässt? Vielleicht wäre aus Albert Einstein ein passabler Musiker oder Kaufmann geworden. Vielleicht hätte die Welt auch nie von ihm gehört, wenn er als fünfjähriger Junge nicht krank geworden wäre. Um seinen Sohn aufzumuntern, bringt ihm sein Vater damals einen Kompass mit. Das Gerät beeindruckt Albert zutiefst: Wie kann es sein, dass eine Nadel, von unsichtbaren Kräften gezogen, immer in dieselbe Richtung zeigt – egal, wie man den Kompass dreht? Vielleicht ahnte Einstein schon in seinem kindlichen Staunen, welche Schönheit, welche Einfachheit und welches Glück in den Gesetzen verborgen ist, die unser Universum regieren. Die Faszination für die Wunder des Universums wird Einstein bis zu seinem Tod nicht verlassen.

II. Der Magnetismus blieb für unsere Vorfahren lange eine rätselhafte Kraft. Erst dem schottischen Naturwissenschaftler James Maxwell gelang es im 19. Jahrhundert, das Phänomen in seinen "Maxwell-Gleichungen" zu beschreiben und zu erklären. Trotzdem orientieren sich die Menschen in Europa schon 700 Jahre vorher mit Magnetkompassen. Ihre Funktionsweise ist sehr einfach: Sie besitzen einen beweglichen Zeiger aus magnetischem Material, der sich entlang des Magnetfeldes der Erde ausrichtet. Kompass zeigen deshalb immer in Richtung des magnetischen Nordpols der Erde, nicht auf den geographischen Nordpol.

#### **C2: „Der Kreiselkompass“**

I. Rund 30 Jahre nach seinem Kindheitserlebnis beschäftigt sich Einstein wiederum mit einem Kompass. 1914, er ist inzwischen Professor in Berlin, wird er als Gutachter in einem Patentstreit hinzugezogen. In dem Fall geht es um einen Kreiselkompass, den der Kieler Fabrikant Hermann Anschütz-Kämpfe entwickelt hat. Einstein unterstützt Anschütz-Kämpfe, der den Prozess gewinnt. Nach dem ersten Weltkrieg hilft er ihm bei der Konstruktion eines besseren Modells. Für den Wissenschaftler ist es eine lohnende Arbeit: Einstein bekommt dafür 20.000 Mark, die er in bar kassiert, um die Steuer zu sparen. Außerdem bleibt er sein Leben lang mit einem Prozent an den Einnahmen beteiligt.

II. Heute werden Kreiselkompass zur Navigation in Schiffen und Flugzeugen verwendet. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Kompassen zeigen sie die Fahrtrichtung des Schiffes – bezogen auf den geographischen Norden – an, ohne das Magnetfeld der Erde zu nutzen. Sie können auch durch andere Magnetfelder nicht gestört werden. Wie der Name andeutet, dreht sich in den Instrumenten ein Kreisel mit 330 Umdrehungen pro Sekunde. Einmal nach Norden ausgerichtet, behält der drehende Körper seine Richtung im Raum. Das gleiche Prinzip können sie schon bei einem einfachen Kinderkreisel beobachten: Solange sich dieser schnell genug dreht, bleibt er aufrecht stehen.

III. Wir danken der Firma Raytheon Marine GmbH (ehem. Anschütz & Co. GmbH) für ihre freundliche Leihgabe.

## PHOTOELEKTRISCHER EFFEKT

### E1: „Welle und Teilchen“

Schauen Sie durch den Sehschlitz. Verändern Sie mit dem Stellhebel die Perspektive. Was sehen Sie von der anderen Seite? Wie sehen Sie das Licht?

I. Kaum eine Sache kommt uns so normal vor wie das Licht. Doch für Wissenschaftler war es lange Zeit ein Phantom – rätselhaft und einfach nicht zu fassen. Newton hielt Licht im 17. Jahrhundert für einen Strom von Teilchen. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren fast alle Wissenschaftler überzeugt, dass es eine Welle sei und sich in seinem eigenen Medium fortbewege, dem Äther. Es gab nur ein Problem: Niemand konnte diesen rätselhaften Stoff entdecken. Einstein durchschnitt den gordischen Knoten 1905: Nach seinem Verständnis brauchte das Licht keinen Äther, um sich auszubreiten.

Er fragte, ob man Licht nicht als etwas auffassen könne, das Welle und Teilchen zugleich sei. Mehr als 15 Jahre wurde Einstein für diese Interpretation angefeindet und verspottet. Doch 1922 bekam er dafür den Nobelpreis für Physik. Heute ist die "Doppelnatur" des Lichtes unter Wissenschaftlern akzeptiert und in vielen Experimenten nachgewiesen.

II. Wie sich Licht verhält, hängt immer von der Situation und der Perspektive ab. Diese schemenhafte Natur ist im Exponat dargestellt: Wenn Sie auf der einen Seite hineinschauen, sehen Sie Licht als Teilchen. Von der anderen Seite als Welle. Wenn beide Blenden geöffnet sind, erkennen Sie beide Perspektiven gleichzeitig. Wohlgemerkt: Licht ist **weder** Welle **noch** Teilchen – dies sind nur zwei Erscheinungsformen eines faszinierenden "Verwandlungskünstlers". Letzten Endes gleicht Licht nur sich selbst, es ist in der Natur absolut einzigartig.

### E2/1: „Der photoelektrische Effekt“

Laden Sie den Stab elektrisch auf, indem Sie mit dem Nylontuch daran reiben. Streifen Sie die Ladung auf der Platte des Elektroskops ab. Sie beobachten einen Ausschlag. Entfernen Sie die Abdeckung vor der UV-Lampe. Was geschieht?

I. Eines der rätselhaftesten Phänomene der Physik ist um das Jahr 1900 der photoelektrische Effekt: Wenn man die Oberfläche von Metallen mit UV-Strahlung beleuchtet, lösen sich daraus Elektronen. Bei sichtbarem Licht geschieht nichts. Wenn man Licht nur als Welle ansieht, wie damals üblich, lässt sich der Effekt nicht erklären. Albert Einstein löst das Rätsel 1905: Er stellt sich vor, dass die Strahlung aus Teilchen besteht. UV-Teilchen haben viel Energie und „schießen“ Elektronen aus dem Material heraus. Die Teilchen des sichtbaren Lichts sind hingegen zu schwach dafür. 1921 bekommt Einstein für seine Erklärung den Nobelpreis. Seither spricht man Licht eine Doppelnatur zu: Manchmal verhält es sich wie eine Welle, manchmal wie ein Strom aus Teilchen.

II. Die UV-Lampe sendet in jeder Sekunde Aberbillionen von Strahlungsteilchen (Photonen oder Lichtquanten) aus. Wenn sie auf die Platte des Elektroskops treffen, schlagen sie aus der Oberfläche negative Ladungen heraus. Das aufgeladene Elektroskop wird entladen – der Zeigerausschlag geht zurück. Falls der Versuch nicht funktionieren sollte, seien Sie nicht enttäuscht. Dann ist im Moment die Luftfeuchtigkeit an Bord der MS Einstein zu hoch.

III. BESSY in Berlin ist die derzeit hellste Quelle für vakuumultraviolette und weiche Röntgenstrahlung in Europa. Das Leibniz-Institut BESSY stellt seinen etwa 1000 internationalen Nutzern Synchrotronstrahlung zur Verfügung. Dieses Licht entsteht, wenn Elektronen mit annähernder Lichtgeschwindigkeit auf eine Kreisbahn gelenkt werden.

[www.bessy.de](http://www.bessy.de)

## **E2/2: „Der Photoelektronen-Analysator“**

Bestrahlen Sie die Platten mit Licht unterschiedlicher Farbe und Helligkeit und legen Sie eine Spannung an. Kommen immer gleich viele Elektronen an? Beobachten sie den roten Balken am blauen Strommessgerät.

I. Wenn man Metalloberflächen mit Licht bestrahlt, lösen sich ab einer bestimmten Frequenz Elektronen aus der Oberfläche. Einstein erklärte diesen "photoelektrischen Effekt" 1905, indem er das Licht als Strom von Teilchen ansah. Je nach Farbe des Lichts haben die Teilchen mehr oder weniger Energie – und können deshalb Elektronen herausschlagen oder nicht. Mit dem Effekt untersuchen Forscher heute zum Beispiel Halb- und Supraleiter, Katalysatoren oder magnetische Schichten. Die Proben werden mit Licht bestrahlt. Anschließend misst man die Energie der Photoelektronen. Diese liefert viele Informationen über die Eigenschaften der Stoffe.

II. Mit dem Analysator, den Sie hier geöffnet sehen, lässt sich die Energie der Photoelektronen messen. An die beiden Halbkugeln wird eine Spannung angelegt. Es entsteht ein elektrisches Feld, das die Elektronen aus der Probe ablenkt. Elektronen mit einer hohen Energie werden wenig abgelenkt, energiearme hingegen stark. Den Spalt zwischen den Halbkugeln passieren folglich nur Elektronen, deren Energie genau „passt“. Ihre Bahn ist rot dargestellt. Im Versuch verändert man das elektrische Feld und zählt jeweils die Elektronen mit der passenden Energie.

III. BESSY in Berlin ist die derzeit hellste Quelle für vakuumultraviolette und weiche Röntgenstrahlung in Europa. Das Leibniz-Institut BESSY stellt seinen etwa 1000 internationalen Nutzern Synchrotronstrahlung zur Verfügung. Dieses Licht entsteht, wenn Elektronen mit nahezu Lichtgeschwindigkeit auf eine Kreisbahn gelenkt werden.

[www.bessy.de](http://www.bessy.de)

## **E 3 : „Strom der vom Himmel fällt – Photovoltaik“**

Wieviel Photovoltaik braucht welche Anwendung? Üben Sie sich als Solarstromexperte

I. 1921 erhält Einstein den Nobelpreis in Physik für seine Erklärung des Photoelektrischen Effekts. Er erklärt, warum Licht aus der Oberfläche vieler Stoffe Elektronen herausschlagen kann. Damit wird auch ein verwandter Effekt verständlich, den der französische Physiker Becquerel bereits 1839 beobachtet hatte: In manchen Stoffen entsteht bei der Bestrahlung mit Licht eine elektrische Spannung. Offenbar werden auch darin Elektronen aus ihren Bindungen befreit. Sie verlassen den Stoff jedoch nicht wie beim Photoeffekt. Stattdessen gelangen sie in ein "Leitungsband" – einen Bereich, in dem sie frei in eine Richtung fließen können. Die Folge: Durch die Trennung der negativ geladenen Elektronen von ihren positiven Atomkernen entsteht eine Spannung. Diesen Effekt nutzen Wissenschaftler 1954 bei der Entwicklung der ersten Solarzelle, die Sonnenlicht in Strom umwandelt. Heute nimmt die Nutzung der Photovoltaik einen zunehmend wichtigen Stellenwert im Mix der erneuerbaren Energien ein. Mehr als 90% aller Solarzellen bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium.

II. Bei vielen Photovoltaik (PV)-Anlagen wird der erzeugte Strom in das Stromnetz eingespeist, bei anderen in Batterien gespeichert. Experimentieren Sie: Ändern Sie zum Beispiel die Größe der PV-Anlage oder die Kapazität der Batterie. Wie können Sie ihre stromverbrauchenden Geräte optimal mit Energie beliefern?

III. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg ist das größte Solarforschungsinstitut in Europa.

[www.ise.fhg.de](http://www.ise.fhg.de)

#### **E4: „Untersuchung von Oberflächen mit XPS“**

Die Animation zeigt Ihnen den photoelektrischen Effekt am Beispiel eines modernen Verfahrens: der Röntgen-Photoelektronenspektroskopie (XPS).

**I.** Bis zum Jahr 1905 war der Photoeffekt ein ungelöstes Rätsel: Beleuchtet man Oberflächen mit energiereicher Strahlung, so lösen sich Elektronen und fliegen davon. Einstein erklärte das Phänomen, indem er Licht als Strom von Teilchen auffasste. Diese Teilchen treffen wie Geschosse auf die Oberfläche und schlagen die Elektronen heraus. Eine der Methoden, die auf dem Photoeffekt basieren, ist die Röntgen-Photoelektronenspektroskopie (abgekürzt: XPS): Dabei bestrahlen Wissenschaftler unbekannte Materialien mit Röntgenstrahlung. Dann messen sie mit einem Spektrometer die Energie der herausgeschlagenen Elektronen. Weil diese Energie für jedes Element unterschiedlich ist, kann man schließen, woraus die Oberfläche besteht.

**II.** Heute basieren verschiedene Methoden in der Grundlagenforschung und den angewandten Wissenschaften auf dem Photoeffekt. Mit der XPS untersuchen Forscher, welche chemischen Elemente und Verbindungen sich auf einer Oberfläche befinden. Am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden wird das Verfahren zur Entwicklung neuer Materialien genutzt. Etwa für selbstreinigende Oberflächen oder für blutverträgliche Werkstoffe, die bei Implantaten in der Medizin eingesetzt werden können. Auch die Haftung von Lacken und Druckfarben wird mit XPS untersucht.

**III.** Das Exponat präsentiert Ihnen das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.  
[www.ipfdd.de](http://www.ipfdd.de)

### **SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE**

#### **G1: „Gleichzeitigkeit“**

Lassen Sie sich für dieses Spiel ins Weltall versetzen! Sobald in jeder der beiden Kabinen ein Spieler sitzt, kann es losgehen – folgen Sie einfach den Anweisungen auf dem Monitor!

**I.** Der Ausgangspunkt der Speziellen Relativitätstheorie Einsteins war die scheinbar einfache Frage: Wie kann man feststellen, ob zwei Ereignisse gleichzeitig stattfinden? Um sie zu beantworten, muss man sich Gedanken darüber machen, wie sich das Licht ausbreitet und was das für unsere Wahrnehmung bedeutet: Unter anderem, dass wir die Dinge nie so sehen, wie sie jetzt sind. Unser Blick ist immer in die Vergangenheit gerichtet: Wenn Sie in den Himmel schauen, sehen Sie die Sonne immer nur so, wie sie vor acht Minuten aussah. Diese Zeit benötigt das Licht, um von der Sonne zu Ihnen zu gelangen.

**II.** Unser Exponat versetzt Sie und Ihren Spielpartner in zwei weit voneinander entfernte Raumschiffe. Die Raumschiffe stehen in direktem Funkkontakt – Radiowellen übertragen Bild und Ton von einem Raumschiff in das andere. Gelingt es Ihnen, anhand der Videoübertragung die Entfernung zu bestimmen? Und sich mit Ihrem Spielpartner so zu koordinieren, dass Sie beide gleichzeitig auf einen Knopf drücken? Wenn ja, dann haben Sie damit bereits Einsteins grundlegende Gedanken zu Licht und Gleichzeitigkeit nachvollzogen.

**III.** Ein Exponat des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut). Mehr zu Einsteins relativistischer Gedankenwelt auf [www.einstein-online.info](http://www.einstein-online.info).

## **G2: „Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“**

Schon vor mehr als 80 Jahren versuchte man, Einsteins Theorien einem breiten Publikum zu erklären. Manchmal auch mit Revolvern.

**I.** Eine aus der Alltagserfahrung vollkommen unverständliche Tatsache der Speziellen Relativitätstheorie ist die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Sie beträgt im Vakuum immer 299.792,458 km/s, ganz egal, wie schnell sich der Beobachter bewegt, der sie misst. Selbst wenn wir fast mit Lichtgeschwindigkeit auf eine Lichtquelle zu oder von ihr wegflögen, stets würden wir den selben Wert für die Lichtgeschwindigkeit messen. Dies wurde bereits 1887 von den beiden Physikern Michelson und Morley experimentell bestätigt. Als eine Konsequenz daraus gehen bewegte Uhren langsamer und sind bewegte Maßstäbe verkürzt.

**II.** Am 2. April 1922 wird in Berlin der erste Film zu Einsteins Spezieller Relativitätstheorie aufgeführt, um die Theorie einem breiten Publikum anschaulich darzustellen. Ein damals sowohl inhaltlich als auch technisch schwieriges Unterfangen. Erhalten geblieben ist nur eine gekürzte englische Version des deutschen Originals. Der hier gezeigte Ausschnitt soll die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit am Beispiel zweier auf einem Rad rotierenden Pistolen verdeutlichen. Während die abgefeuerten Kugeln zu unterschiedlichen Zeiten ihr Ziel erreichen, kommt das dabei ausgesandte Licht stets gleichzeitig an.

**III.** Zur Verfügung gestellt vom Historischen Museum Bern. In Zusammenarbeit mit der Theoretischen Astrophysik Tübingen.

[www.tat.physik.uni-tuebingen.de](http://www.tat.physik.uni-tuebingen.de).

## **G3: „Die Flugspur kosmischer Myonen“**

Sehen Sie auf die Funkenkammer. Erkennen Sie die hellen Blitze? Das sind die Flugspuren von Myonen!

**I.** In seiner Speziellen Relativitätstheorie leitet Einstein 1905 her, dass die Zeit keine absolute Größe ist. Sie vergeht umso langsamer, je schneller sich ein Objekt bewegt. Eine Möglichkeit, den unheimlichen Effekt zu beobachten, bieten Myonen. Sie entstehen in der Atmosphäre in einer Höhe von 10 bis 50 Kilometern, wenn Teilchen aus dem Weltall mit den Atomkernen der Luft zusammenstoßen. Dabei bilden sich viele meist instabile Teilchen, die fast mit Lichtgeschwindigkeit in Richtung Erde fliegen. Myonen "leben" nur kurz: Im Mittel zerfallen sie bereits nach 2,2 Mikrosekunden (= 2,2 Millionstel Sekunden). Liefere die Zeit für sie "normal", dürften die Teilchen in dieser Spanne nur rund 660 Meter weit kommen. Doch durch ihr hohes Tempo vergeht die Zeit für die Myonen langsamer. Viele erreichen die Erde, wo man sie nachweisen kann.

**II.** Funkenkammern wurden in den 50er Jahren entwickelt und in zahlreichen Experimenten der Kern- und Teilchenphysik verwendet. In ihnen befindet sich eine Reihe von parallelen Metallplatten in einer Edelgasatmosphäre. Zwischen den Platten liegt eine hohe Spannung. Wenn ein Myon auf ein Edelgasatom trifft, schlägt es Elektronen aus dessen Hülle heraus. Die Elektronen werden durch die Spannung beschleunigt und treffen auf andere Teilchen. Diese Kettenreaktion kann man als Funkenentladung mit bloßem Auge sehen.

**III.** Das Institut für Kernphysik des Forschungszentrums Karlsruhe, Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, freut sich, Ihnen dieses Exponat vorzustellen. Das Institut erforscht in internationalen Großexperimenten fundamentale Rätsel der Natur an der Schnittstelle von Kosmologie, Astrophysik und Elementarteilchenphysik.

[www.fzk.de](http://www.fzk.de)

#### **G4: „Streuexperiment“**

Klicken Sie die Schaltfläche auf dem Bildschirm an und beobachten Sie das Muster. Dann wechseln oder drehen Sie den Streukörper und starten Sie den Versuch erneut. Wie verändert sich das Bild?

**I.** In seiner Speziellen Relativitätstheorie formulierte Einstein, dass sich kein Objekt schneller als das Licht bewegen kann. Wenn man einen Körper beschleunigt, wird er zunächst immer schneller. Nahe der Lichtgeschwindigkeit wandelt sich die hineingesteckte Energie in Masse um: Der Körper wird kaum noch schneller, aber immer schwerer. In großen Teilchenbeschleunigern können Protonen leicht 97 Prozent der Lichtgeschwindigkeit erreichen. Bei diesem Tempo sind sie aus der Sicht des Forschers viermal so schwer wie in Ruhe. Aus der Sicht der Protonen ist umgekehrt der Forscher viermal schwerer, denn Raum, Zeit und auch die Masse hängen vom Standpunkt (Bezugssystem) des Beobachters ab. Nur die Relativbewegungen sind messbar – niemand kann entscheiden, welches Bezugssystem ruht.

**II.** Um die Kräfte zwischen den Bausteinen der Materie zu studieren, verwenden Forscher oft Streuexperimente: Sie schießen annähernd lichtschnelle, energiereiche Teilchen (im Modell: Stahlkugeln) in einem Beschleuniger (im Modell: Rampe) auf Atomkerne (den "Streukörper"). Dabei werden die Teilchen abgelenkt und bilden spezifische Streumuster. Aus diesem Muster erhalten die Wissenschaftler Informationen über die innere Struktur des Streukörpers (im Modell: die Form). Dabei muss die relativistische Masse der Teilchen berücksichtigt werden.

**III.** Wissenschaftler am Forschungszentrum Jülich, Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, und an der Universität Mainz studieren die Kräfte zwischen den Bausteinen der Materie. Dazu benutzen sie ihre Beschleunigeranlagen COSY (Jülich) und MAMI (Mainz).

[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)

#### **P1: „Radfahrt mit Lichtgeschwindigkeit“**

Setzen Sie sich auf das Fahrrad und radeln Sie auf einem Rundkurs interaktiv durch die Gassen der Altstadt von Tübingen. Beschleunigen Sie bis fast auf Lichtgeschwindigkeit und erleben Sie die ungewohnte relativistische Wirklichkeit.

**I.** In seiner Speziellen Relativitätstheorie beschreibt Albert Einstein 1905, dass Raum und Zeit nichts Absolutes sind. Im Gegensatz zur Theorie Newtons und unserer Alltagserfahrung gehen bewegte Uhren langsamer als ruhende, und bewegte Körper werden kürzer. Die Effekte werden allerdings erst bei einem Tempo nahe der Lichtgeschwindigkeit deutlich. Diese beträgt im Vakuum genau 299.792,458 km/s.

**II.** Aufgrund der hohen Lichtgeschwindigkeit kommen wir im Alltag nie in den Genuss, relativistische Effekte zu erleben. Aber dank moderner Computer und schneller Grafikkarten können wir heute vergnügt mit 99% der Lichtgeschwindigkeit durch ein dreidimensionales Modell von Tübingen radeln. Solche Programme enthüllen uns eine fremdartige Welt: Die Häuserfronten muten stark verzerrt an, Häuser scheinen sich zunächst zu entfernen, wenn wir auf sie zubeschleunigen. Und nicht zuletzt sehen wir Dinge vor uns, die eigentlich schon hinter uns liegen! Weil Radfahrer bei Lichtgeschwindigkeit Tübingen in einem Sekundenbruchteil durchquert hätten, verwendet die Simulation einen Trick: Sie setzt die Geschwindigkeit des Lichtes auf 30km/h herab. Auf diese Weise erkennen wir die Effekte der Speziellen Relativitätstheorie schon bei gemächlichem Radfahrertempo.

**III.** Visualisierung relativistischer Effekte durch die Theoretische Astrophysik Tübingen, zur Verfügung gestellt von Wissenschaft im Dialog.

[www.tat.physik.uni-tuebingen.de](http://www.tat.physik.uni-tuebingen.de)

## MASSE-ENERGIE-ÄQUIVALENZ

### H1.1: „Kernfusion: Energie aus Masse“

I. Mit seiner berühmten Gleichung  $E = mc^2$  beschreibt Einstein, dass Energie und Masse ineinander umwandelbar sind: Aus elektromagnetischer Strahlung können Teilchen entstehen – und Materie kann sich in Strahlungsenergie auflösen. Der zweite Prozess läuft in unserer Sonne ab: In ihrem Kern verschmelzen die Atomkerne des Wasserstoffs zu Heliumkernen, wobei sich ein winziger Teil der Masse in die Sonnenstrahlen umwandelt, die unsere Erde wärmen. Physiker und Ingenieure in aller Welt sind dabei, diesen Vorgang auf der Erde nachzubilden und damit eine schier unerschöpfliche Energiequelle nutzbar zu machen.

II. Der Film zeigt Ihnen eine Reihe neuer Technologien, die das Forschungszentrum Karlsruhe für ein zukünftiges Fusionskraftwerk entwickelt. Spezielle Mikrowellenröhren ermöglichen beispielsweise, den Brennstoff auf 100 Millionen Grad aufzuheizen. Supraleitende Magnetspulen halten den heißen Brennstoff, auch Plasma genannt, von der Wand des Behälters fern – denn kein Werkstoff könnte derartige Temperaturen aushalten.

III. Dieser Film wurde vom Forschungszentrum Karlsruhe, Mitglied der Helmholtz Gemeinschaft, produziert, um einer breiteren Öffentlichkeit einen Einblick in die Technologieentwicklung für die Kernfusion zu geben. Im Internet finden Sie unsere Aktivitäten zur Kernfusion unter <http://www.fzk.de/fusion>.

### H1.2: Kernfusion „Sonnenfeuer auf der Erde“

Bedienungsanleitung

Schalten Sie zuerst mit der linken und dann mit der rechten Taste das leuchtende Plasma im Glastorus ein. Drehen Sie langsam an der Kurbel, um die Magnete rotieren zu lassen. Erkennen Sie, wie die Leuchterscheinung eingeschnürt wird?

I. Eines der großen Rätsel Anfang des letzten Jahrhunderts war die Frage, wie die Sonne ihre Wärme erzeugt. Den Grundstein zur Erklärung legte Albert Einstein 1905 in seiner Speziellen Relativitätstheorie. Er zeigte, dass in jeder Masse eine riesige Energie steckt – die Äquivalenz beschrieb er in seiner berühmten Formel  $E = mc^2$ . Diese Energie wird in der Sonne freigesetzt. Dort verschmelzen Wasserstoffkerne bei etwa zehn Millionen Grad zu Helium. Bei der Reaktion wandelt sich ein Teil der Masse in elektromagnetische Strahlung um. Dabei wird etwa zehn bis einhundert Millionen mal mehr Energie frei, als bei jedem Verbrennungsprozess.

II. Seit Anfang der 50er Jahre versuchen Physiker, die Kernfusion zur Energieerzeugung zu nutzen. Ein Erfolg versprechender Ansatz ist der Tokamak: In einem ringförmigen Gefäß, dem Torus, wird Wasserstoffgas mit elektrischen Strömen, elektromagnetischen Wellen und Atomstrahlen auf 100 Millionen Grad aufgeheizt, bis seine Atomkerne verschmelzen. Starke Magnetfelder halten die Fusionsmaterie von den Wänden fern. Der Glastorus des Exponats ist mit Argon- und Heliumgas gefüllt, das durch eine verborgene Antenne gezündet wird. Vier kleine Magnete am inneren Rand des Glastorus schnüren das Plasma ein.

III. Dieses Exponat wird zur Verfügung gestellt vom Institut für Plasmaphysik des Forschungszentrums Jülich. Das Zentrum ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft. Im Internet finden Sie unsere Aktivitäten zur Kernfusion unter <http://www.fz-juelich.de/ipp/>

## H2: „Energie gewinnen mit $E = mc^2$ “

Gelingt Ihnen die Kernverschmelzung am Computer? Je mehr Wissenspunkte Sie zuvor eingesammelt haben, desto leichter geht es! Drücken Sie einfach auf Start!

I. In seiner speziellen Relativitätstheorie leitet Einstein 1905 auch seine berühmte Formel  $E=mc^2$  her. Sie besagt, dass in jeder Masse  $m$  eine riesige Energie  $E$  steckt. Mit der Entwicklung eines Fusionskraftwerks versucht man, dieses Erkenntnis zu nutzen. Die Wasserstoffteilchen Deuterium und Tritium sollen hier zu Helium verschmelzen. Das Endprodukt ist um fast 4 Promille leichter als die Ausgangsteilchen. Der winzige Massenunterschied verwandelt sich in Energie. Kaum zu glauben: Ein Gramm Fusionsbrennstoff könnte soviel Energie freisetzen wie die Verbrennung von 11 Tonnen Kohle!

II. Folgen sie der Präsentation. Sie erfahren Interessantes über Einstein, seine berühmte Formel, die Kernverschmelzung in der Sonne und in einem Kraftwerk. Je mehr sie lesen, desto mehr Wissenspunkte erhalten sie. Wenn sie genug Punkte gesammelt haben, probieren sie sich doch einmal als Physiker aus: Schließen Sie den Fusionsbrennstoff in einem Magnetkäfig ein und heizen sie ihn auf hohe Temperaturen auf. Gelingt Ihnen eine Fusionsreaktion? Zugegeben: Ganz einfach ist es nicht!

III. Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching und Greifswald ist eines der großen Fusionszentren in Europa. Es ist Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft, assoziiertes Mitglied der Helmholtz-Gesellschaft und dem Europäischen Fusionsprogramm angeschlossen. Das Institut wünscht Ihnen viel Vergnügen bei Info und Spiel.

[www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de)

## H4: Antimaterie-Animation: „Urknall und Antimaterie“

Tauchen Sie ein in die Welt von Urknall und Antimaterie – und lernen Sie mehr über den Anbeginn der Zeit.

I. Vor circa 14 Milliarden Jahren wird unser Universum in einer gewaltigen Explosion, dem Urknall, aus einem einzigen Punkt geboren. Anfangs gibt es darin keine Sterne, Planeten oder Atome – sondern nur Strahlung. Wie Einstein in seiner berühmten Gleichung  $E=mc^2$  beschrieben hat, wandelt sich diese Strahlung dann in Materie um. In den ersten Minuten des Alls entstehen zwei ganz verschiedene Grundformen: Einmal die Materie, die wir kennen. Außerdem aber Antimaterie – ein exotischer Stoff: Wenn er auf Materie trifft, vernichten sich beide in einer Explosion. Weil es ein winziges Übergewicht an Materie gegenüber Antimaterie gibt, bleibt davon schließlich ein milliardstel Teil übrig. Daraus bildet sich unser Universum. Die „verschwundene“ Antimaterie bleibt für Wissenschaftler ein aufregendes Forschungsgebiet.

II. Die Präsentation zeigt Ihnen, wie unsere Welt entstanden sein könnte und gibt eine Einführung in die seltsame Welt der Elementarteilchen: Was ist Antimaterie? Wie wird Antiwasserstoff hergestellt? Folgen Sie der geführten Präsentation, oder stöbern Sie selbst auf den Seiten.

III. Im Forschungszentrum Jülich werden mit dem Beschleuniger COSY leichte Teilchen und Antiteilchen erzeugt. Antiwasserstoff wird am CERN bei Genf produziert. Das Zentrum ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft.

[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)

### **H5: Antimaterie-Simulator: Exotische Spiegelwelt**

Sie sind Bordingenieur und transportieren in Ihrem Raumschiff Antimaterie (im Exponat Elektronen). Achten Sie darauf, dass diese nicht die Wand berührt. Verändern Sie mit dem Magnetfeld den Bahnradius und mit dem elektrischen Feld die seitliche Ausdehnung.

I. In seiner berühmten Gleichung  $E = mc^2$  beschreibt Albert Einstein, dass in einem Körper mit der Masse  $m$  eine riesige Energie  $E$  steckt und beide ineinander umwandelbar sind. Diese Energie wird freigesetzt, wenn Materie auf Antimaterie trifft. Antimaterie bildet eine Art Spiegel zur Materie, aus der unsere Welt besteht. Die Antiteilchen der Elektronen etwa sind positiv geladen und heißen Positronen, die "Antiprotonen" sind negativ. Astrophysiker vermuten, dass es kurz nach dem Urknall fast genau soviel Antimaterie wie Materie gab. Weil sich beide Stoffe bei Kontakt aber sofort in einem Strahlungsblitz vernichten, können sie nicht in einer gemeinsamen Welt existieren.

II. In den großen Teilchen-Beschleunigern erschaffen Physiker heute Antiteilchen, indem sie verschiedene Partikel mit großer Geschwindigkeit aufeinanderprallen lassen. Bei der Kollision entstehen Paare aus Elektronen und Positronen sowie aus Protonen und Antiprotonen. Die Antiteilchen lassen sich abtrennen und zu "Antiwasserstoff" vereinen. Dabei dürfen sie die Wände ihres Behälters nicht berühren. Mit magnetischen Feldern halten die Wissenschaftler die Antiteilchen auf einer Kreisbahn. Elektrische Felder können sie in eine bestimmte Richtung lenken.

III. Im Forschungszentrum Jülich werden mit dem Beschleuniger COSY leichte Teilchen und Antiteilchen (Mesonen) erzeugt. Antiwasserstoff wird am CERN bei Genf produziert. Das Zentrum ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft.

[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)

## **ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE**

### **J1: „Momente der Schwerelosigkeit“**

Stellen Sie sich auf das Sprungbrett. Peilen Sie das Ziel an. Springen Sie!

I. Was geschieht, wenn Sie in die Luft springen? Richtig, für einen kurzen Moment sind Sie ebenso schwerelos wie ein Astronaut im Weltall! Dann sind Sie bereit für eines von Albert Einsteins bekanntesten Gedankenexperimenten: Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich in einem fensterlosen Fahrstuhl und schweben. Was können Sie über die Außenwelt folgern? Es gibt offenbar zwei Möglichkeiten: Der Fahrstuhl kann im Weltall schweben – oder im freien Fall in Richtung Erde rasen. Ganz ähnlich ist es, wenn Sie Ihr normales Gewicht spüren. Dann stehen Sie entweder auf dem Boden, oder Ihr Fahrstuhl beschleunigt gerade im All. Einstein folgert daraus, dass Beschleunigung und Gravitation äquivalent sind. Dieser Gedanke hilft ihm sehr bei der Formulierung seiner Allgemeinen Relativitätstheorie: Weil die Zeit in einem beschleunigten Raumschiff langsamer vergeht, schließt er zum Beispiel, dass auch die Gravitation Uhren langsamer laufen lässt. Auch dieser Effekt ist heute durch Messungen bestätigt.

II: Fallexperimente interessieren heute nicht nur Theoretiker. Für Wissenschaftler sind sie auch eine preiswerte Möglichkeit, den Einfluss der Schwerelosigkeit auf Lebewesen und Dinge zu untersuchen. Im Falltum in Bremen etwa stürzen Kapseln samt ihres Inhalts knapp fünf Sekunden in die Tiefe, bis sie abgebremst werden. Es gibt sogar Flugzeuge, die als "fallende Labors" eingesetzt werden und auf einer Parabelbahn durch die Atmosphäre fliegen: Immer abwechselnd aufwärts, dann im freien Fall nach unten. Nichts für Wissenschaftler mit empfindlichem Magen.

## **J2: Wie misst man Gravitationswellen?**

Betätigen Sie den Schieberegler. Dadurch wird ein Spiegel der Anordnung um höchstens 0,0000015 Meter verschoben. Beobachten Sie die Veränderungen des Lichtmusters!

**I.** Als Konsequenz seiner Allgemeinen Relativitätstheorie sagt Einstein 1916 die Existenz von Gravitationswellen voraus: Wo Massen beschleunigt werden, können "Raumverzerrungs-Wellen" entstehen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Wo sie vorbeifliegen, werden Abstände zwischen Körpern gestreckt und gestaucht. Selbst die Wellen gewaltiger kosmischer Ereignisse wie der Verschmelzung Schwarzer Löcher sind freilich extrem schwach, wenn sie die Erde erreichen. Mit Detektoren wie dem deutsch-britischen GEO 600 in Ruthe bei Hannover versucht man, die entsprechenden Abstandsänderungen nachzuweisen.

**II.** Unser "Michelson-Interferometer" zeigt Ihnen, wie Gravitationswellendetektoren wie GEO 600 arbeiten: Ein Laserstrahl wird von einem halbdurchlässigen Spiegel geteilt und läuft zwei verschiedene Wege entlang. Die Teilstrahlen werden reflektiert. Sie laufen ihren Weg zurück und überlagern sich wieder. Laserstrahlen sind Wellen, mit Bergen und Tälern, genau wie Wasserwellen. Trifft bei der Überlagerung Wellenberg auf Wellenberg, kommt es zur Verstärkung. Trifft Berg auf Tal, zur Auslöschung der Teilstrahlen. Das Resultat ist das Ringmuster auf dem Schirm. Laufen Gravitationswellen durch GEO 600, oder verschiebt sich im Modell ein Spiegel, ändern sich die Abstände im Interferometer. Damit ändert sich auch die Art und Weise der Überlagerung. Hier können Sie es an der Änderung des Musters direkt verfolgen.

**III.** Ein Exponat des Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) und der Universität Hannover. Mehr zu Gravitationswellen auf **[www.einstein-online.info](http://www.einstein-online.info)**.

## **J3: Gravitationswellen im Computer**

Meereswellen sieht man mit dem bloßen Auge – Gravitationswellen immerhin im Computer. Sehen Sie sich den Film an!

**I.** Seit Albert Einstein seine Allgemeine Relativitätstheorie veröffentlichte, sind 90 Jahre vergangen. Aber einige seiner Vorhersagen beschäftigen die Wissenschaftler noch heute. Eine Folgerung der Theorie sind Gravitationswellen: Wenn Materie beschleunigt wird, wie bei der Explosion eines Sterns, sollten laut Einstein mit Lichtgeschwindigkeit Verzerrungen des Raums durch das All laufen. Wo immer diese Wellen vorbeilaufen, führen sie zu winzigen Stauchungen und Streckungen der Abstände zwischen Körpern.

**II.** Der Nachweis von Gravitationswellen ähnelt allerdings der Suche nach einer Nadel im Heuhaufen. Denn ihr Einfluss auf den Detektor ist so gering, dass er von vielen Störungen überlagert wird: etwa von fernen Erdbeben, ja, sogar von der Gravitation vorbeifahrender Autos! Wer zwischen all diesen Störungen den Einfluss von Gravitationswellen nachweisen will, sollte genau wissen, wonach er sucht. Dabei helfen heute Computersimulationen. Sie zeigen beispielsweise die Eigenschaften von Wellen, wie sie bei der Kollision Schwarzer Löcher freigesetzt werden. Die Ergebnisse sind in den Filmen dargestellt.

**III.** Ein Exponat des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut); Visualisierung W. Benger, Zuse-Institut Berlin/AEI. Mehr zu Gravitationswellen, Schwarzen Löchern und Neutronensternen auf **[www.einstein-online.info](http://www.einstein-online.info)**.

#### **J4: „Der Krümmung auf der Spur“**

Die Winkelsumme im Dreieck beträgt immer 180 Grad, oder? Vielleicht sollten Sie Ihre alten Matheweisheiten mal überprüfen! Stecken Sie aus den Schnüren Dreiecke und messen Sie die drei Winkel. Wie groß ist die Summe?

**I.** 1915 veröffentlicht Albert Einstein seine Allgemeine Relativitätstheorie. Darin beschreibt er, wie Materie, zum Beispiel ein Stern im Weltall, Raum und Zeit um sich herum verzerren kann. Aber wie kann man das vorstellen? Eine Möglichkeit ist, sich eine Kugeloberfläche vorzustellen, etwa unsere Erde: Nehmen Sie an, zwei Flugzeuge starten vom Äquator aus nach Norden und fliegen dann immer geradeaus. Diese Flugzeuge kommen sich immer näher. Nicht, weil irgendeine Kraft sie zueinander hin zöge, sondern weil sie der Krümmung der Erdoberfläche folgen. Entsprechend erklärt Einstein die Bewegung von Körpern im Weltall: Wenn sie sich beschleunigt aufeinander zu bewegen, dann nicht, weil eine "Schwerkraft" am Werk wäre. Sie folgen einfach der Krümmung von Raum und Zeit.

**II.** Wie stark eine Oberfläche gekrümmt ist, lässt sich leicht an der Winkelsumme eines Dreiecks erkennen. In der Ebene beträgt diese immer 180 Grad, auf einer Kugel nicht: Stecken Sie ein Dreieck, messen Sie Winkel, summieren Sie auf! Welches ist der größte Winkel, den Sie abstecken können?

**III.** Ein Exponat des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut). Mehr zur Allgemeinen Relativitätstheorie gibt's auf [www.einstein-online.info](http://www.einstein-online.info).

#### **J5: „GPS“**

**I.** Uhren scheinen für uns immer gleich schnell zu gehen. Doch das ist ein Irrtum. In seiner Speziellen Relativitätstheorie beschreibt Einstein, dass etwa bewegte Uhren langsamer laufen als ruhende. In der Allgemeinen Relativitätstheorie, dass die Schwerkraft den Gang der Zeit verlang

samt – deshalb ticken Uhren auf Bergen geringfügig schneller als im Tal. Diese Effekte sind im Alltag winzig. Bei GPS, dem Satellitennavigationssystem im Auto, werden Sie allerdings wichtig: Ohne die Relativitätstheorie würden die Geräte so schlecht funktionieren, dass Sie alsbald von der Straße abkämen.

**II.** Die 24 GPS-Satelliten bewegen sich auf sechs unterschiedlichen Bahnen in einer Höhe von etwa 26.560 km um die Erde. An Bord haben sie hochgenaue Atomuhren, die miteinander synchronisiert sind. Zur exakten Positionsbestimmung auf der Erde genügen die Funksignale dreier Satelliten. Aus der Zeit bis zum Eintreffen der Signale beim Empfänger lässt sich dann die Entfernung zwischen Satellit und Autofahrer berechnen – und damit seine genaue Position. Durch die Höhe der Umlaufbahn und ihre Geschwindigkeit gehen die Uhren anders als auf der Erde. Würde das System die relativistischen Effekte nicht berücksichtigen, würde es ständig einen falschen Standpunkt berechnen.

**III.** Animationen erstellt durch die Theoretische Astrophysik Tübingen, zur Verfügung gestellt von Wissenschaft im Dialog.

[www.tat.physik.uni-tuebingen.de](http://www.tat.physik.uni-tuebingen.de)

## **J5.2: GPS**

Einen Ort auf Meter genau bestimmen – wie geht das? Drücken Sie auf Start und sehen Sie sich unsere Animation an.

**I.** Kaum ein Phänomen hat Albert Einstein so sehr beschäftigt wie die Zeit. In seiner Speziellen Relativitätstheorie beschreibt er 1905, wie sich ihr Fluss in bewegten Bezugssystemen verlangsamt. In seiner Allgemeinen Relativitätstheorie untersucht er 1915 den Einfluss der Gravitation. Das Ergebnis: Je größer die Schwerkraft an einem Ort ist, desto langsamer ticken Uhren. Die Effekte spielen in unserem Alltag keine Rolle. Bei dem Satellitennavigationssystem GPS müssen Ingenieure die Abweichungen jedoch berücksichtigen.

**II.** Das GPS-System basiert auf 24 Satelliten, die auf sechs unterschiedlichen Bahnen um die Erde kreisen. An Bord haben sie hochgenaue Atomuhren, die miteinander synchronisiert sind. Zur Positionsbestimmung auf der Erde funken mehrere Satelliten den Empfänger an. Aus der Zeit bis zum Eintreffen der Signale lässt sich die Entfernung berechnen – und damit die genaue Position des Empfängers. Durch die Höhe der Umlaufbahn und ihre Geschwindigkeit gehen die Uhren anders als auf der Erde. Würde das System die relativistischen Effekte nicht berücksichtigen, käme es nach einer Woche zu Fehlern von rund 70 Kilometern – statt in Hamburg würde sie ihr GPS vielleicht irgendwo bei Lübeck vermuten.

**III.** Kunstraum GfK

## **J6: „Die Gravitationskartoffel“**

Die Erde ist eine Kugel? Von wegen! Sehen Sie selbst (die unregelmäßige Form ist 15 000-fach überhöht dargestellt).

**I.** Die Anziehung unseres Planeten ist sehr ungleichmäßig: An einigen Stellen ist sie stärker, es entstehen auf der Ozeanoberfläche bis zu 110 Meter tiefe Täler. An anderen ist sie schwächer, sodass sich über 80 Meter hohe Wasserberge auftürmen. Diese Gravitationsschwankungen sind auch im All zu spüren. Die Folge: Satelliten fliegen nicht auf einer Kreisbahn, sondern auf einer Berg-Tal-Bahn um die Erde. 1915 beschreibt Einstein in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie, wie Raum und Zeit durch die Gravitation gekrümmt werden. Diese Krümmung beeinflusst den Flug von Satelliten um die Erde. Eine andere Störung, die Einstein vorhersagt, ist der Lense-Thirring-Effekt. Drehende Körper wie unsere Erde verwirbeln die Raumzeit um sich – ähnlich wie ein Löffel, den man im Honig dreht. Dadurch sollte sich die Bahn von Satelliten um zwei Metern pro Jahr verschieben.

**II.** Diesen winzigen Effekt haben Ignazio Ciufolini (Universität di Lecce) und Erico Pavlis (University of Maryland) vor kurzem in der Umlaufbahn zweier LAGEOS-Satelliten nachgewiesen. Ein kniffliges Problem. Denn die Bahn dieser Satelliten in 6000 Kilometern Höhe ändert sich allein schon durch das unregelmäßige Schwerfeld der Erde um mehrere Kilometer pro Jahr. Diesen Effekt mussten die Forscher abziehen. Ohne die präzisen Messungen der Erdanziehung durch das GeoForschungsZentrum Potsdam wäre dies nicht möglich gewesen.

**III.** Das GFZ Potsdam erstellte das erforderliche hochgenaue Geoid, die „Potsdamer Gravitationskartoffel“, dessen Modell Sie vor sich sehen.

[www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)

## STIMULIERTE EMISSION

### K1: Messen per Laser-Lichtschnitt

Drücken Sie „Messen“ und anschließend „Messung starten“. Sehen Sie die Laserlinie auf dem Rad aus Plexiglas? Bringen Sie nun mit dem Handrad ein Messobjekt unter die Laserlinie. Auf dem Bildschirm erkennen Sie die Form des Gegenstandes.

I. Atome und Moleküle können – etwa, durch elektrische oder optische Anregung – Energie aufnehmen. Diese überschüssige Energie geben sie nach kurzer Zeit von selbst wieder ab, indem sie Licht aussenden. Wissenschaftler nennen diesen Vorgang spontane Emission. Einstein sagte 1917 voraus, dass angeregte Atome ihre Energie auch durch einen anderen Mechanismus abgeben können, durch die stimulierte Emission: Wenn man sie mit Licht bestrahlt, sollten sie unmittelbar Lichtwellen aussenden. Diese Lichtwellen sollten die gleiche Wellenlänge und Richtung haben wie das eingestrahlte Licht und es so verstärken. Einsteins Vorhersage wurde 1960 in einer technischen Anwendung umgesetzt, als Maiman den ersten Laser baute – ein Gerät, das mit stimulierter Emission arbeitet.

II. Heute finden sich Laser in jedem Haushalt: In CD- und DVD-Playern etwa lesen kleine Halbleiterlaser Daten aus. Solche Geräte verwendet man auch in der Messtechnik, um Bauteile mit einer Genauigkeit von einigen tausendstel Millimeter zu vermessen. Der gezeigte Laser-Lichtschnittsensor wird in der Industrie zur Messung verschiedenster Objekte benutzt. Die über den Bildschirm abrufbaren Informationen erläutern das Messprinzip und zeigen Anwendungen.

III. Das Fraunhofer ILT in Aachen freut sich, Ihnen dieses Exponat vorzustellen. Nähere Informationen finden Sie unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de).

### K3: „Innovative Lasermedizin“

Befördern Sie einen Stein in den Probenraum. Wenn sich der Stein vor der Laserfaser befindet, lösen Sie mit dem Fußschalter die Laserschüsse aus. Schießen Sie solange, bis der Stein zerstört ist.

I. Bereits 1917 sagte Albert Einstein voraus, dass es außer der gewöhnlichen Lichtaussendung, wie wir sie zum Beispiel aus Glühlampen kennen, noch einen zweiten lichterzeugenden Effekt gibt: die stimulierte Emission. Bestrahlt man Stoffe auf eine bestimmte Weise mit Licht, so wird dieses extrem verstärkt. Das Prinzip wurde 1960 von Maiman zum Bau des ersten Lasers genutzt. Heute werden Laser in der Medizin vielseitig eingesetzt: Je nach Wellenlänge und Leistung der Strahlung schneiden Mediziner damit zum Beispiel Gewebe, töten Tumorgewebe durch Wärme, stillen Blutungen oder korrigieren die Sehschärfe.

II. Der ausgestellte Laser ist ein Seriengerät für den täglichen Einsatz, mit dem Steine in Niere, Harnleiter, Harnblase oder im Gallengang zerstört werden. Die Behandlung geschieht über eine Faser, die endoskopisch bis an den Stein geschoben wird. Dann werden die Laserpulse ausgelöst. Die Laserpulsenergie wird in eine mechanische Stoßwelle umgesetzt und zerschlägt den Stein in kleine Stücke. Das Verfahren ist äußerst schonend: Das umliegende Gewebe wird nicht geschädigt. Das Verfahren gehört zur minimal-invasiven Chirurgie, auch „Schlüsselloch-Chirurgie“ genannt.

III. Die W.O.M. World of Medicine AG und die CLYXON Laser GmbH, beide Berlin, freuen sich, Ihnen dieses Exponat vorzustellen. Nähere Informationen finden Sie im Internet [www.world-of-medicine.com](http://www.world-of-medicine.com) und [www.clyxon.de](http://www.clyxon.de) sowie im hinteren Bereich dieser Ausstellung.

## KOSMOLOGIE

### L3: „Interaktives Schwarzes Loch“

Wie sehen Sterne und Galaxien aus, die sich hinter einem schwarzen Loch befinden? Stellen Sie auf dem Bildschirm die Position und die Größe des Schwarzen Lochs ein. Als Hintergrundobjekt können Sie zwischen Saturn, dem Rosetta-Nebel, dem Andromeda-Nebel oder dem Abell-Galaxienhaufen wählen.

I. In seiner Allgemeinen Relativitätstheorie beschreibt Albert Einstein 1915, wie die Gravitation Raum und Zeit beeinflusst. Eine wichtige Vorhersage der Theorie ist die Ablenkung von Lichtstrahlen durch schwere Massen. Dieses Phänomen wird 1919 bei einer Sonnenfinsternis beobachtet. Der bis dahin nur in Fachkreisen bekannte Einstein und seine Ideen werden über Nacht weltberühmt. Heute ist die Allgemeine Relativitätstheorie durch zahlreiche Experimente bestätigt.

II. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie krümmen schwere Himmelskörper den Raum um sich. Sie drücken quasi eine "Delle" hinein – fast wie eine Kugel, die auf einer Bettdecke liegt und diese eindrückt. Durch diese Raumkrümmung werden Lichtstrahlen abgelenkt. Bei der Sonne mit ihren zwei Quadrilliarden Tonnen ist der Effekt gering. Er beträgt nur wenige Bogen Sekunden, das entspricht etwa einem Tausendstel des Monddurchmessers. Bei Schwarzen Löchern, die mehrere Sonnenmassen auf kleinstem Raum konzentrieren, kann die Ablenkung jedoch sehr groß werden. Sie verändern die Richtung des Lichtes ähnlich einer Linse: Befindet sich ein Schwarzes Loch direkt vor einem hellen Stern, dann wird dieser Stern als heller Kreis abgebildet. Es entsteht ein "Einstein-Ring", den Sie auch in der Simulation sehen können.

III. Visualisierung relativistischer Effekte durch die Theoretische Astrophysik Tübingen, zur Verfügung gestellt vom Forschungszentrum Jülich.  
[www.tat.physik.uni-tuebingen.de](http://www.tat.physik.uni-tuebingen.de)

## AUF DER SUCHE NACH DER „WELTFORMEL“

### L5: „Strukturentwicklung im Universum“

Starten Sie eine der Animationen durch Anklicken mit der Maus! Die Supercomputer-Simulationen zeigen Ihnen, wie sich das Universum entwickelt hat.

I. Um das Jahr 1900 glaubten Wissenschaftler noch an ein statisches Universum, in dem Raum und Zeit unveränderlich sind. Als Albert Einstein die Allgemeine Relativitätstheorie 1915 vollendet hatte, stellte er schnell fest, dass seine Theorie weitreichende Konsequenzen hatte. Sie besagte nämlich, dass das Universum sich entweder ausdehnen oder zusammenziehen sollte! Als der Astronom Edwin Hubble Ende der 20er Jahre dann die Ausdehnung des Universums nachwies, war damit der Beginn der modernen kosmologischen Forschung eingeleitet. Aufgrund neuer astronomischer Messungen glaubt man heute sogar, dass sich das Universum in Zukunft immer schneller ausdehnen wird. Der Grund liegt in einer weiteren brillianten Idee Einsteins, der "kosmologischen Konstante" – eines rätselhaften, abstoßenden Energiefeldes.

II. Mit Computersimulationen können Astrophysiker heute die Entwicklung des Universums vom Urknall bis zur heutigen Zeit nachvollziehen. Sie zeigen, wie die Schwerkraft aus winzigen Dichtestörungen mit der Zeit Galaxien unterschiedlicher Größe formt. Im ersten Film sehen wir das Wachstum der Strukturen über einen Zeitraum von 13 Milliarden Jahren, vom Urknall bis heute. Der zweite Film zeigt den Kosmos auf unterschiedlichen Längenskalen; in der maximalen Vergrößerung sehen wir einen Galaxienhaufen, der über eintausend Galaxien enthält. Im dritten

Film fliegen wir durch dieses simulierte Universum. Während dieser utopischen Reise legen wir eine Distanz zurück, für die selbst das Licht mehr als 2,4 Milliarden Jahre benötigen würde.

**III.** Das Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching freut sich, Ihnen diese Computeranimationen unserer aktuellen Forschungsarbeit präsentieren zu können.  
[www.mpa-garching.mpg.de](http://www.mpa-garching.mpg.de)

### **L6. „Expansion des Universums“**

In regelmäßigen Abständen können Sie hier eine Demonstration erleben, die zeigt, wie man sich die Expansion des Universums vorstellen kann. Bei Fragen wenden Sie sich einfach an einen der Lotsen!

**I.** Die Allgemeine Relativitätstheorie hat eine Konsequenz, die Einstein selbst zunächst nicht sah. Wenn Masse den Raum verändert, wenn also alle Körper gleichermaßen „Dellen“ im Raum verursachen – warum ist dann nicht längst alle Materie in einem Punkt zusammengefallen? Gibt es eine Gegenkraft, die alles auseinander treibt?

Einstein hatte angenommen, unser Kosmos sei unbegrenzt, ewig und unveränderlich. Daran hielt er auch noch fest, als man ihn auf das Problem aufmerksam machte – er „erfand“ die kosmologische Konstante, ein Stück Formel, das dafür sorgen sollte, dass die Allgemeine Relativitätstheorie ein statisches Universum beschreiben konnte. Später nannte er diese Konstante „die größte Eselei meines Lebens“.

**II.** Ein Gummiband, ein katholischer Geistlicher und mehrere Luftballons spielen die Hauptrollen bei dieser Demonstration. Lassen Sie sich überraschen!

### **M2: „Unvereinbares vereinen“**

Puzzeln Sie gern? Dann sind Sie hier richtig!

**I.** Wissenschaft ist oft wie ein Puzzlespiel – zum Beispiel, wenn es darum geht, scheinbar unvereinbare Teile zusammenzufügen. Als der schottische Physiker Maxwell im 19. Jahrhundert Licht, Strom und Magnetismus in einer einzigen Theorie zusammenfügte – dem „Elektromagnetismus“, hatte er ein wichtiges Teil des Puzzles gelöst.

Ein besonders kniffliges Beispiel in der modernen Physik ist die Quantengravitation. Sie soll zwei große Theorien der Physik vereinen: Die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) Albert Einsteins und die Quantentheorie. Denn mit der ART können Forscher heute zwar viele interessante Phänomene erklären, etwa warum Lichtstrahlen durch Sterne oder Galaxien abgelenkt werden. Sie versagt aber unter extremen Bedingungen, wie sie kurz nach dem Urknall geherrscht haben. Die Verbindung dieser Theorien hat Einstein mehr als 30 Jahre lang beschäftigt – und noch heute ist sie das vielleicht größte ungelöste Rätsel der Physik.

**II.** Versuchen Sie, alle Stücke im Sandkasten am Puzzle unterzubringen. Seien Sie einfallsreich: Versuchen Sie verschiedene Techniken und arbeiten Sie zusammen – ohne Kooperation erreichen Sie gar nichts. Tasten Sie sich zur unbekanntenen Form des Puzzles vor. Und vor allem: Lassen Sie sich durch Misserfolge nicht frustrieren. Das Spiel ist höllisch schwer, genau wie die Suche nach der Quantengravitation.

### **M3: „Quantengravitation“**

Einsteins Gravitationstheorie ist die Grundlage der heutigen Astrophysik. Aber wie verträgt sie sich mit den grundlegenden Gesetzen der Mikrowelt? Ein Film über eine der spannendsten Fragen der modernen Physik.

**I.** In seiner Allgemeiner Relativitätstheorie beschreibt Einstein 1915 die Verknüpfung von Raum, Zeit und Gravitation. Mit ihr können Wissenschaftler heute viele Phänomene erklären: Warum zum Beispiel Sterne Lichtstrahlen ablenken. Oder warum die Uhren im Tal geringfügig langsamer gehen als auf dem Berg. In einigen hochinteressanten Situationen stößt die Theorie jedoch an ihre Grenzen: Im Inneren Schwarzer Löcher und im frühen, heißen Universum, Sekundenbruchteile nach dem Urknall, existieren Bereiche unvorstellbarer Dichte und extrem konzentrierter Energie. Bei solchen Bedingungen kommt eine andere Theorie ins Spiel: die Quantentheorie. Sie beschreibt die Mikrowelt der Atome, Moleküle und Elementarteilchen. Bislang ist es den Physikern nicht gelungen, die beiden großen Theorien zu vereinen – und eine Theorie der "Quantengravitation" zu entwickeln, mit der sich solche Extremsituationen beschreiben lassen.

**II.** Der Film stellt zwei erfolgversprechende Kandidaten für eine Theorie der Quantengravitation vor: Die Stringtheorie, in der die Elementarteilchen sich als winzige, schwingende Saiten entpuppen. Und die Schleifen-Quantengravitation.

**III.** Ein Exponat des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut). Weitere Informationen zur Quantengravitation gibt's auf **[www.einstein-online.info](http://www.einstein-online.info)**.

## **EINSTEIN UND ICH**

### **X3: „Gedankenexperimente“**

„Was wäre wenn ...?“ – Denken Sie wie Einstein und testen Sie sich in unserem Quiz! Suchen Sie sich einen Partner und wählen Sie den Schwierigkeitsgrad. Wie viele Fragen können Sie beantworten?

**I.** Nehmen Sie an, Sie seien Forscher und untersuchen den Fluss der Zeit bei Lichtgeschwindigkeit. Aber selbst die schnellsten Flugzeuge erreichen nur ein paar Hundert Kilometer pro Stunde – ein Experiment ist also unmöglich. Was tun? Wo viele Wissenschaftler aufgegeben hätten, zeigte sich Albert Einsteins Genialität: Er verlegte das Experiment einfach in seine Gedanken: Schon als 16-jähriger radelte er in seiner Fantasie mit Lichtgeschwindigkeit durch die Gegend. Später schoss er, eingeschlossen in einen fensterlosen Lift, auf die Erde zu! Aus verblüffend einfachen Überlegungen, die selbst Laien nachvollziehen können, leitete er so revolutionäre Schlussfolgerungen her. Beweisen konnte er seine Postulate natürlich nicht. Diesen Teil der Arbeit müssen Experimentalphysiker übernehmen. Sie tun das bis heute mit Erfolg. Aber Gedankenexperimente sind noch immer eines der wichtigsten „Denkwerkzeuge“, wenn man keine Experimente durchführen kann.

**II.** Um die Quizfragen zu beantworten, müssen Sie sich in die Welt von Einsteins Gedankenexperimenten begeben. Vergessen Sie für kurze Zeit Sätze wie: "das ist unrealistisch", oder: "das geht doch nicht". Hier ist nicht Realitätssinn gefragt, sondern Ihre Fantasie und Intuition.

### **X4: Gedankenspiele:**

Wie soll das gehen? Lassen Sie sich nicht abschrecken und stellen Sie sich verschiedenen Rätseln, Puzzles und Tüfteleien. Sie haben mehr mit Physik zu tun, als Sie vielleicht denken.

**I.** Wie lösen Wissenschaftler Probleme, wie finden Sie Antworten auf offene Fragen? Am Ende muss alles logisch und korrekt sein, doch der Weg dahin ist oft verschlungen und voller Überraschungen.

Kreativität und Intuition gehören genauso zur Wissenschaft wie klares Denken. Manchmal muss man dabei alte Vorstellungen über Bord werfen. Die Fähigkeit, über Selbstverständliches neu nachzudenken, war eine der größten Leistungen Einsteins – wie zum Beispiel in der Speziellen Relativitätstheorie: Er nahm an, die Geschwindigkeit des Lichts sei immer und unter allen Bedingungen gleich. Daraus folgt jedoch, dass Raum und Zeit veränderlich sein mussten – relativ eben. So weit war niemand zuvor gegangen, obwohl viele über die gleichen Fragen nachdachten wie Einstein.

**II.** Rätsel lösen, neue Wege ausprobieren, Beobachtungen verallgemeinern, Größenordnungen abschätzen, Unbekanntes auf Bekanntes zurückführen – all das müssen Naturwissenschaftler immer wieder tun, um den Rätseln der Welt auf die Spur zu kommen. Sechs Spiele laden Sie dazu ein, es Ihnen gleich zu tun.

Wie gehen Sie vor? Helfen Ihnen ihre Hände dabei, die Lösung zu finden? Oder schaffen Sie es durch reine Kopfarbeit?

#### **X5.1: „Möbiusband“**

Schauen Sie sich das Band über dem Tisch genau an, berühren Sie es und versuchen Sie, seine Form zu begreifen.

Mit Schere und Klebstoff können Sie ihr eigenes Möbiusband basteln. Was entsteht, wenn Sie es dann entlang der Mitte durchschneiden?

**I.** In der modernen Physik wimmelt es von Dingen, die der menschliche Verstand kaum zu fassen vermag: Unsichtbar kleine Teilchen, viele Dimensionen und schier unendliche Entfernungen. Albert Einstein beschrieb das Universum zum Beispiel als dreidimensional und endlich, aber grenzenlos – so etwas kann sich nicht einmal ein Genie vorstellen. Um ihre Ergebnisse zu veranschaulichen, benutzen Wissenschaftler deshalb oft Modelle, die einfach sind, aber das wesentliche verdeutlichen: einen gepunkteten Luftballon für das expandierende Universum. Oder ein Möbiusband als Sinnbild der Unendlichkeit. Wie unser All ist es räumlich begrenzt, und doch können Sie ewig darauf entlang fahren, ohne jemals an ein Ende zu kommen.

**II.** Ein Möbiusband ist ein verschlungenes Gebilde, das nur eine Seite und eine Kante hat. Wenn Sie mit einem Stift darauf losfahren, kommen Sie bald wieder an Ihrem Startpunkt an. Können Sie das seltsame Konstrukt basteln? Wenn Sie Hilfe brauchen, orientieren Sie sich am Band über dem Tisch! Was geschieht, wenn Sie eine Mittellinie einzeichnen, und das Band entlang dieser Linie aufschneiden? Und was geschieht, wenn Sie das ein weiteres Mal tun?

#### **X5.2: „Der Drehwürfel“**

Beobachten Sie den Würfel. Halten Sie abwechselnd Ihr linkes und Ihr rechtes Auge zu. Was beobachten Sie?

**I.** Was ist die Wirklichkeit? Was verraten uns unsere Sinne, was leistet unser Gehirn? Um die Welt zu erforschen, muss man Sie aus verschiedenen Perspektiven betrachten und den Erscheinungen auf den Grund gehen. Denken Sie nur an Einsteins Interpretation des Lichts: Mal verhält es sich wie ein Teilchenstrom, mal wie eine Welle. Oft täuschen uns unsere Sinne und unser Verstand sogar ganz. Oder hätten Sie gedacht, dass die grünen Blätter am nächsten Baum gar nicht grün sind – sondern nur das Licht der Sonne reflektieren?

**II.** Der Drehwürfel zeigt, wie leicht unser Gehirn in die Irre zu führen ist, wenn ihm in der Natur vorkommende Anhaltspunkte wie der Schatten fehlen. Es hat nun zwei Interpretationsmöglichkeiten des Bildes: Es kann die Ecke, die sich von links zur Mitte bewegt, als vordere Ecke ansehen – dann nehmen wir eine Drehung des Würfels nach rechts wahr. Oder als hintere Ecke – dann scheint sich der Würfel nach links zu drehen. Wenn es erst einmal beide Möglichkeiten entdeckt hat, schaltet es scheinbar wahllos hin- und her.

**Die *MS Einstein* ist ein Projekt von Wissenschaft im Dialog, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft. Die Exponate werden von der Fraunhofer Gesellschaft, der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, der Leibniz-Gemeinschaft und der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften zur Verfügung gestellt. Daneben haben zahlreiche weitere Institute, Firmen und Partner Beiträge für die Ausstellung geleistet und sich engagiert.**

**Kontakt:**

Wissenschaft im Dialog gGmbH  
Markgrafenstr. 37  
10117 Berlin  
Telefon 0 30/ 20 64 92 00  
Mail [info@w-i-d.de](mailto:info@w-i-d.de)