

Erklärungen zu Physik-Quiz T13



Quiz von Physikstudierenden der ETH Zürich zu Naturphänomenen

Caroline Haug/Reto Küng

1 Warum ist der Himmel tagsüber blau?

Wie wird Licht gestreut?

Um das Phänomen des blauen Himmels zu verstehen, müssen wir uns mit der Streuung von Licht an Luftteilchen beschäftigen. Nicht alle Anteile des Sonnenlichts werden gleich stark gestreut. Dadurch entstehen die Phänomene von Himmelblau und Abendrot.

Wie wird Licht gestreut? Das Licht aus der Sonne ist aus allen Regenbogenfarben zusammengesetzt. (Siehe: Wie entsteht ein Regenbogen?) Das Sonnenlicht wird an den Luftteilchen unserer Atmosphäre gestreut, resp. abgelenkt. Dabei wird der blaue Anteil am meisten gestreut, das heisst stark seitlich abgelenkt. Am Tag, wenn die Sonne hoch am Himmel steht, legt das Licht nur eine kurze Strecke durch die Atmosphäre zurück. Dabei wird nur wenig blaues Licht in andere Richtungen gestreut. Deshalb erscheint die Sonne gelb.

Blicken wir neben die Sonne in den Himmel gelangt das Licht zu uns, das auf seinem Weg durch die Atmosphäre an den Luftteilchen gestreut wurde. Der blaue Anteil des Sonnenlichtes wird also am stärksten gestreut. Daher ist der wolkenfreie Himmel tagsüber blau. Auf dem Mond, welcher keine dichte Atmosphäre hat, erscheint der Himmel dagegen tagsüber schwarz. Bei tiefem Sonnenstand (Abend- oder Morgensonne) ist der Weg des Lichts durch die Atmosphäre so viel länger, dass durch die Streuung des blauen Lichts auf dem langen Weg bis zu uns dieser Anteil stark vermindert wird. Der Anteil des roten Lichts nimmt überhand und der bekannte rote Sonnenauf- bzw. -untergang entsteht.

Siehe Bildnummer 7/8

2 Warum ist der Himmel nachts schwarz?

Wieso ist ein Blick in den Nachthimmel auch ein Blick in die Vergangenheit?

Was ist die kosmische Hintergrundstrahlung?

Weshalb brauchen Astrophysiker Infrarot-Kameras?

Eine einfache Frage, die aber tiefe Einblicke in die Physik mit sich bringt. Denn von der Frage des schwarzen Himmels gelangen wir zur Erklärung, warum ein Blick in den Nachthimmel auch ein Blick in die Vergangenheit ist. Ausserdem lernen wir, dass der Nachthimmel eigentlich gar nicht so dunkel ist – wir können das Licht bloss nicht sehen. Zu diesem unsichtbaren Nachtlicht gehört auch

die kosmische Hintergrundstrahlung. Sie ist ein Überbleibsel des Urknalls. So verstehen wir auch, weshalb Astrophysiker für ihre Beobachtungen spezielle Infrarot-Kameras brauchen.

Die Antwort scheint offensichtlich – die Sonne scheint nicht! Aber der Grund, dass der Himmel tagsüber blau ist liegt darin, dass Licht an unserer Atmosphäre gestreut wird (siehe: Warum ist der Himmel blau?) Hätten wir keine Atmosphäre (wie beispielsweise der Mond) wäre der Himmel immer schwarz, auch wenn die Sonne scheint. Aber warum ist das Weltall schwarz? Wir gehen heute davon aus, dass das Weltall unendlich gross ist. Und wenn das ganze Weltall mit Sternen gefüllt ist, die alle etwa so hell sind wie die Sonne, sollten wir immer einen Stern sehen. Egal, in welche Richtung wir schauen. Der ganze Himmel sollte also auch nachts hell sein.

Wieso ist ein Blick in den Nachthimmel auch ein Blick in die Vergangenheit? Obwohl wir heute davon ausgehen, dass das Universum unendlich gross ist, ist es nicht unendlich alt. Vor dem Urknall (dem Big Bang) vor 13.7 Milliarden Jahren war das Universum so komprimiert und zerknittert, dass unsere Vorstellungen von Raum und Zeit zusammenbrechen. Weil seit diesem «Anfang» nur eine endliche Zeit vergangen ist, hat uns das Licht von weit entfernten Sternen schlicht noch nicht erreicht. (siehe Lichtgeschwindigkeit) Und das Licht von Sternen, das uns gerade jetzt erreicht, war also Millionen oder Milliarden Jahre unterwegs. Das heisst also, wenn wir weit entfernte Sterne beobachten, blicken wir nicht nur in die Ferne, sondern auch in die Vergangenheit. Das Licht aus dem Weltall ist eine Zeitkapsel! (Ausstellungsstand an der Scientifica: P13)

Was ist die kosmische Hintergrundstrahlung? Blicken wir an allen nahen Sternen vorbei, finden wir in der weitesten Ferne trotzdem noch Licht – die kosmische Hintergrundstrahlung. Sie ist ein Überbleibsel des Urknalls und wir können sie in allen Richtungen etwa in gleicher Stärke messen. Der Himmel ist nachts also eigentlich gar nicht dunkel? Eigentlich nicht – aber wir können das Licht der Hintergrundstrahlung und der entfernten Sterne nicht sehen, weil es nicht im sichtbaren Bereich liegt!

Weshalb brauchen Astrophysiker Infrarot-Kameras? Weit entfernte Sterne und Galaxien bewegen sich von uns weg, weil sich das Universum ausdehnt. Je weiter die Sterne entfernt sind, desto schneller bewegen sie sich weg. Das Phänomen kennen wir: es ist wie wenn wir zwei Punkte auf einem Luftballon markieren und diesen dann aufblasen. Bewegt sich ein Stern aber von uns weg, wird die Wellenlänge seines ausgesandten Lichts ins Rötliche verschoben. Warum das? Wie bei einem Gummiband werden die Lichtwellen auseinandergezogen und werden dadurch langwelliger. Würde sich ein Stern auf die Erde zu bewegen, sähen wir ihn bläulich, weil die Lichtwellen gestaucht und damit kurzwelliger werden. Langwelliges Licht sehen wir rot – infrarot ist so langwellig, dass wir es nicht mehr sehen. Die Sehzellen unserer Augen haben sich im Laufe der Evolution so entwickelt, dass wir nur Licht mit gewissen Wellenlängen sehen können. Dieses sichtbare Spektrum zwischen ca. 400 nm (violett) und 750 nm (rot). Diese Wellenlängen sind sehr klein, 100 Nanometer (nm) sind 0.0001 mm. Das ist auch gerade der Bereich, in dem das meiste Licht der Sonne liegt. Daher können wir gewisse Lichtquellen im All nicht sehen, obwohl ihr Licht auf die Erde scheint. Diesen Effekt nennt man Dopplereffekt des Lichts. Er ist im Prinzip der gleiche wie die sich verändernde Tonhöhe bei einer vorbeifahrenden Sirene. Je weiter weg also ein Stern, umso mehr ins Rote verschoben ist also sein Licht, bis ins sogenannte Infrarot. Wir können zwar infrarotes Licht nicht mit blossem Auge sehen, können aber Kameras bauen, die das Licht im infraroten Bereich aufnehmen. Wenn das Hubble Weltraumteleskop Bilder von weit entfernten Sternen und Galaxien macht, arbeitet es mit einer Infrarot-Kamera.

Siehe Bildnummer 9/10

3 Warum ist es schwierig, einen Marsrover fernzusteuern?

Wie lange braucht das Licht vom Weltall zu uns?

Was ist eigentlich ein Lichtjahr?

Kann man Licht überholen?

Die riesigen Distanzen im Weltall machen die Kommunikation mit Raumfahrzeugen schwierig. Denn Signale können sich nicht unendlich schnell ausbreiten, sondern höchstens mit Lichtgeschwindigkeit. Von dieser Idee der endlichen Lichtgeschwindigkeit gelangen wir zu den Fragen «Wie lange braucht das Licht vom Weltall zu uns?», «Was ist ein Lichtjahr?» und «Kann man Licht eigentlich überholen?».

Wie lange braucht das Licht vom Weltall zu uns? Ob wir ein Auto hier auf der Erde oder auf dem Mars fernsteuern, das Prinzip ist bei beiden das gleiche: Die Steuerbefehle gelangen mittels elektromagnetischer Wellen von der Fernsteuerung zum Auto. Diese elektromagnetischen Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, das sind 300 000 km/s. Ein Steuersignal könnte die Erde also fast acht Mal pro Sekunde umrunden. Für ferngesteuerte Autos auf der Erde ist die Zeit zwischen Senden und Empfangen des Signals also so klein, dass wir keine Verzögerung spüren. Beim Marsrover ist das anders! Die Kamera des Marsrovers schickt über einen Sender Bilder, die aufgrund der riesigen Distanz erst einige Minuten später auf der Erde eintreffen. Steuerbefehle in Gegenrichtung zum Mars brauchen ebenfalls einige Minuten. Bis man weiss, was man bewirkt hat, vergehen also gut und gerne 10 oder mehr Minuten.

Die Distanz zwischen Erde und Mars variiert je nach Stellung der beiden Planeten. Der kleinste Abstand beträgt 78 Mio. km, das ist eine Lichtlaufzeit von 4.3 Minuten. Der grösste Abstand beträgt 377 Mio. Kilometer, das ist eine Lichtlaufzeit von 21 Minuten. Man sagt auch, der Mars ist maximal 21 Lichtminuten von uns entfernt.

Was ist eigentlich ein Lichtjahr? Ein Lichtjahr ist also nicht die Angabe einer Zeit, sondern einer Distanz. Ein Lichtjahr ist die Strecke, die ein Lichtstrahl in einem Jahr zurücklegt. Das sind 9 461 Billionen Kilometer – eine unfassbar grosse Distanz! In der Astronomie sind die Distanzen jedoch so gross, dass die Längenmessung mit Lichtjahren eine angenehme Einheit ist. Der sonnennächste Stern, Proxima Centauri, ist zum Beispiel ca. 4,2 Lichtjahre entfernt. Der Durchmesser unserer Galaxie, der Milchstraße, beträgt ungefähr 100 000 Lichtjahre.

Kann man Licht überholen? Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist nach Einsteins Relativitätstheorie die Geschwindigkeitsobergrenze in unserem Universum: Kein Objekt kann diese Geschwindigkeitsgrenze überschreiten. Breitet sich Licht jedoch in einem Medium (Luft, Wasser, Glas, ...) aus, ist die Ausbreitung des Lichts langsamer als im Vakuum. (Siehe: Wie wird Licht gebrochen?) In einem Medium können deshalb Teilchen, zum Beispiel negativ geladene Elektronen, schneller sein als das Licht! Geschieht dies, ist eine bläuliche Leuchterscheinung zu beobachten. Man spricht dann von der sogenannten Tscherenkow-Strahlung, benannt nach ihrem Entdecker, dem sowjetischen Physiker Pawel Alexejewitsch Tscherenkow. Tscherenkow-Strahlung ist beispielsweise in Abklingbecken von Kernkraftwerken zu beobachten, wo ausgetauschte Brennstäbe gelagert werden. Die Brennstäbe sind immer noch radioaktiv: durch Beta-Zerfälle werden schnelle Elektronen frei, welche für den leuchtenden Effekt verantwortlich sind.

Siehe Bildnummer 11/12

4 Warum kann man im Alltag um die Ecke hören, aber nicht um die Ecke sehen?

Besteht Licht nun aus Teilchen (Photon) oder ist es eine Welle?

Wie wird Licht gebeugt? Was ist Interferenz?

Warum haben Sterne ihre Form?

Die Welleneigenschaft des Lichts bringt spannende Phänomene mit sich. Durch einen Spalt geschickt, breitet sich eine Welle auch im geometrischen Schattenraum des Hindernisses aus – man spricht von Beugung. Wellen können sich auch gegenseitig überlagern, dann redet man von Interferenz. Aber war jetzt Licht nicht auch ein Teilchen – das Photon? Auch diese Frage wollen wir beantworten.

Schall und Licht breiten sich beide als Wellen aus. Der Schall nutzt dabei die Luft als Ausbreitungsmedium, das Licht als elektromagnetische Welle braucht keinen Träger. Obwohl sich die beiden Arten von Wellen ziemlich fundamental unterscheiden, teilen sie doch viele Eigenschaften, die durch den Wellencharakter hervorgerufen werden. Wellen können um Hindernisse herumlaufen, wenn die Wellenlänge im Grössenbereich des Hindernisses ist. Dabei spricht man von Beugung. Beugung findet beispielsweise statt, wenn Schall mit einer typischen Wellenlänge von einem Meter durch eine Tür geht, die eben- falls etwa diese Grösse hat. Wir können um die Ecke hören. Beugungseffekte sind nicht messbar, wenn Licht mit einer sehr kleinen Wellenlänge im Nanometer-Bereich durch die Tür geht. Wir können nicht um die Ecke sehen!

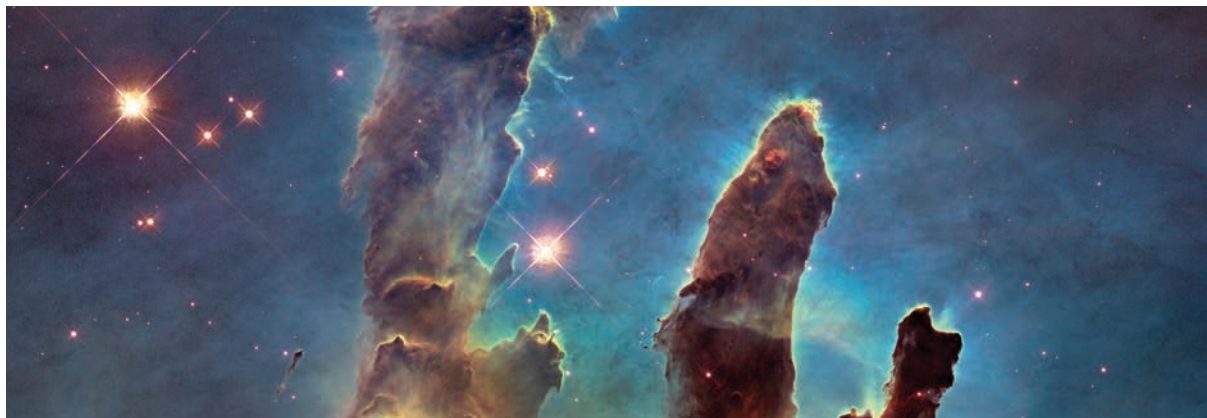
Besteht Licht nun aus Teilchen (Photon) oder ist es eine Welle? Eigentlich ist Licht beides – sowohl Welle als auch Teilchen. Man nennt diese Eigenschaft, sowohl Welle als auch Teilchen zu sein, Welle-Teilchen-Dualismus. Um die Eigenschaften des Lichtes auf tiefster Ebene zu beschreiben, braucht man die Gesetze der Quantenmechanik. In der Welt der Quantenmechanik stossen unsere alltäglichen Vorstellungen von Gesetzmässigkeit an ihre Grenzen. Denn je nachdem, welche Eigenschaften eines Objekts man misst, zeigt es sich mehr als Teilchen oder mehr als Welle. Die Beschreibungen bestimmter Phänomene im Wellen- oder im Teilchenbild sind immer nur Vereinfachungen, um es unserer Anschauung leichter zu machen. In der Tat betrifft dies alle Objekte – nur sind bei makroskopischen Objekten die Wellenlängen so klein, dass man deren Welleneigenschaften vernachlässigen kann.

Wie wird Licht gebeugt? Was ist Interferenz? Die Beugung oder Diffraktion ist die Ablenkung von Wellen (wie Licht- und anderen elektromagnetischen Wellen, Wasser- oder Schallwellen) an einem Hindernis. Bei Beugungserscheinungen kann sich die Welle im geometrischen Schattenraum des Hindernisses (Spalt, Gitter, Fangspiegel usw.) ausbreiten. Zur Beugung kommt es durch Entstehung neuer Wellen entlang einer Wellenfront gemäss dem sogenannten Huygens-Fresnelschen Prinzip. Diese neu entstandenen Wellen können sich gegenseitig überlagern – die Wellen «interferieren». Diese Interferenzerscheinungen sind in Mustern sichtbar, die sich hinter dem Hindernis bilden. Je nach Form des Hindernisses unterscheiden sich die entstehenden Muster.

Warum haben Sterne ihre Form? Bittet man jemanden, einen Stern zu zeichnen, wird man meistens einen fünf- oder sechseckigen Stern erhalten. Dies scheint willkürlich, da wir ja wissen, dass Sterne wie unsere Sonne eigentlich riesige glühende Plasmabälle sind. Mit genügend Abstand werden diese Plasmabälle zu winzigen Punkten am Nachthimmel. Wieso zeichnen wir also Sterne mit Ecken? Dies hängt ebenfalls mit dem Phänomen der Beugung zusammen. Egal ob wir Sterne mit unseren Augen betrachten oder mit Kameras fotografieren, das Licht muss dabei Hindernisse wie die Kameraöffnung oder unsere Augenlinse passieren. In unsere Linse gibt es leichte Imperfektionen, welche für das auftretende Licht ein Hindernis darstellen. Die Beugung an diesen Imperfektionen lässt auf unserer Netzhaut

ein «sternförmiges» Beugungsmuster entstehen. Ähnliches sehen wir bei Bildern des Hubble Weltraum Teleskops. Dieses hat bei der Öffnung vier Stangen, welche eine Linse fixieren. Dadurch entstehen bei den Aufnahmen des Hubble Teleskops bei Sternen vier wegführende Strahlen.

Siehe Bildnummer 1/13/14/15



1

5 Warum leuchten die fluoreszierenden Sterne im Kinderzimmer?

Wie wechselwirkt Licht mit Materie?

Wie kann ein Material «Licht speichern»?

Um zu verstehen, was in den fluoreszierenden Sternen geschieht, damit sie leuchten, müssen wir uns anschauen, wie Licht mit Materie interagiert. Was passiert, wenn Licht auf einen fluoreszierenden Stern trifft. Kann der Stern dieses Licht speichern?

Wie wechselwirkt Licht mit Materie? Der Kunststoff, aus dem die Dekorations-Sterne gemacht sind, ist fluoreszierend. Dafür verantwortlich sind kleinste Teilchen-Pigmente aus einem Mineral, die dem Kunststoff beigemischt werden. Dieses Mineral ist Zinksulfid. Das Spezielle an Zinksulfid ist: es leuchtet im Dunkeln. Diese Pigmente ermöglichen es dem Stern, überhaupt zu leuchten. Ist solch ein Stern an einem hellen Ort, so kann er das Licht in den Pigmenten «speichern». Das Licht wird vom Stern nach und nach wieder abgegeben. Wenn es dabei dunkel ist, können wir den Stern leuchten sehen. Irgendwann hat der Stern das ganze gespeicherte Licht wieder abgegeben, so dass er nicht mehr leuchtet.

Die Strahlung der fluoreszierenden Sterne ist völlig ungefährlich für Menschen. Anders ist es bei den Leuchtzeigern alter Uhren. Diese enthalten ein radioaktives Material und sind nach heutigem Kenntnisstand krebserzeugend. Daher sind sie heute verboten.

Wie kann ein Material «Licht speichern»? Nicht jedes Material kann «Licht speichern». Dank den Zinksulfid Pigmenten können die Sterne im Kinderzimmer leuchten. Das funktioniert wie folgt: Wenn ein fluoreszierender Stern Licht ausgesetzt ist, gehen manche Elektronen der Zinksulfid Pigmente in höhere Energieniveaus. Das Licht «gibt» also den Elektronen der Pigmente Energie. Das Licht kann so in den Sternen «gespeichert» werden. Wenn die Elektronen der Pigmente wieder in die tieferen Energieniveaus fallen, strahlen sie Licht aus. Ein fluoreszierender Stern leuchtet also solange Elektronen in tiefere Energieniveaus fallen. Wenn es dunkel genug ist, sehen wir die fluoreszierenden Sterne leuchten.

Siehe Bildnummer 16/17

6 Wie überträgt man Daten mit einem Glasfaserkabel?

Was ist Totalreflektion?

Wie werden Licht und Daten über eine Glasfaser übertragen?

Kann man gleichzeitig mehrere Informationen über eine Glasfaser übertragen?

Wann wählt man elektrische, wann optische Signalübertragung?

Um zu verstehen, wie man Daten mit Licht übertragen kann, müssen wir uns mit den Eigenschaften von Licht auseinandersetzen.

Was ist Totalreflektion? Wenn sich Licht in einem Medium wie zum Beispiel Glas, Wasser oder Luft ausbreitet und dann an eine Grenzfläche zu einem anderen Medium stösst, so wird ein Teil des Lichtes an dieser Grenzfläche reflektiert und der andere Teil durchdringt sie. Dies lässt sich an einer spiegelnden Wasseroberfläche beobachten: Hält man den Kopf unter die Wasseroberfläche so wird man sehen, dass Licht ins Wasser eindringt. An der Grenzfläche Luft/Wasser wird also nicht alles einfallende Licht reflektiert. Man nennt dies eine Teilreflektion.

Wie stark das Licht reflektiert wird, hängt einerseits vom sogenannten Brechungsindex der Materialien ab und andererseits vom Winkel unter welchem das einfallende Licht auf die Grenzfläche trifft. Den gleichen Effekt beobachtet man, wenn das Licht aus dem Wasser auf die Grenzfläche zur Luft stösst. Unterschreitet der Einfallswinkel des Lichtes jedoch auf diesem Weg einen materialabhängigen, bestimmten Winkel, so ist es sogar möglich, dass es ganz reflektiert wird, das heisst eine Totalreflektion eintritt. Eine Totalreflektion ist immer dann möglich, wenn das Licht aus einem optisch dichteren Medium (grosser Brechungsindex) auf ein optisch dünneres Medium trifft (kleiner Brechungsindex); zum Beispiel von Wasser auf Luft.

Wie werden Licht und Daten über eine Glasfaser übertragen? Bei der Übertragung von Informationen über ein Glasfaserkabel (oder Lichtwellenleiter) macht man sich die Totalreflexion zu nutze. Der Kern des Glasfaserkabels besteht aus einem Material mit einem grösseren Brechungsindex, der Mantel aus einem Material mit einem geringeren Brechungsindex. Leitet man nun Licht in das eine Ende der Glasfaser, so wird es am Kabelrand immer wieder Totalreflektiert, bis es am andere Ende des Kabels wieder austritt. Mit einem Laser und einer Glasfaser können Informationen ohne Verstärkung gut 100 km übermittelt werden. Die Glasfaser kann auch gebogen sein, sofern das Licht immer noch genügend flach (das heisst mit kleinem Einfallswinkel) auf die Grenzfläche, hier den Kabelrand, trifft. Das Licht bewegt sich also in gewisser Weise durch einen perfekt verspiegelten Tunnel.

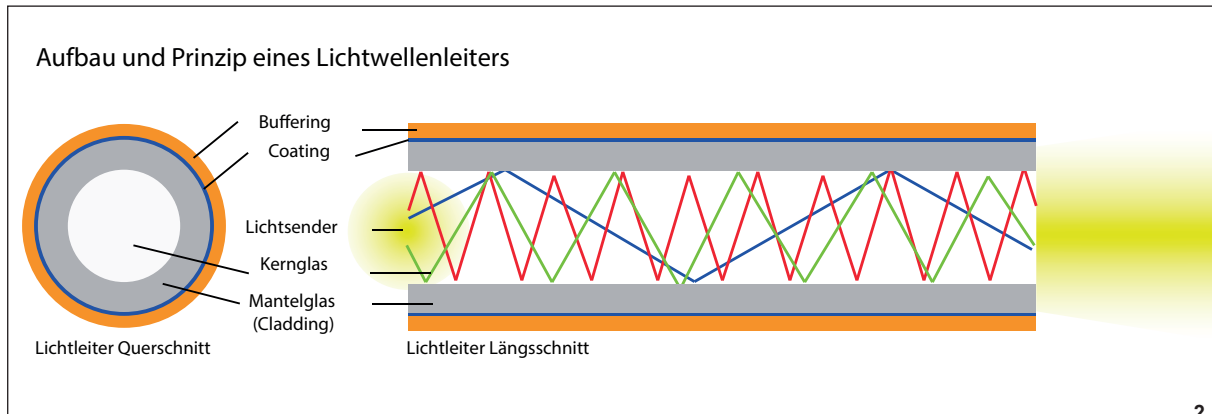
In der digitalen Kommunikation übersetzt man eine Nachricht in eine Abfolge von Nullen und Einsen. Jede Zahl und jeder Buchstabe lässt sich damit in einem sogenannten Binärcode darstellen. Eine solche Nachricht lässt sich durch einfaches An- und Abschalten eines Lasers am einen Ende einer Glasfaser ans andere übertragen. Dabei entspricht zum Beispiel ein Lichtpuls einer Eins und kein Lichtpuls einer Null.

Kann man gleichzeitig mehrere Informationen über eine Glasfaser übertragen?

Ja, das kann man! Licht welches wir täglich wahrnehmen, besteht aus vielen verschiedenen Farben. In der Physik spricht man von der Wellenlänge oder Frequenz des Lichtes. Durch einen Laser lässt sich sehr starkes gebündeltes Licht erzeugen, welches eine ganz spezielle Wellenlänge (Farbe) hat. Mit Lasern, die Licht mit unterschiedlicher Farbe erzeugen, lassen sich nun verschiedene Nachrichten gleichzeitig übermitteln. Am Ende des Glasfaserkabels kann das einfallende Licht auf eine Art Prisma geleitet werden, sodass die verschiedenen Farben aufgetrennt und ausgelesen werden können.

Wann wählt man elektrische, wann optische Signalübertragung? Früher setzte man zur Signalübertragung elektrische Leiter ein, wie zum Beispiel Kupferkabel. Für kurze Distanzen von wenigen μm bis m werden Kupferkabel auch noch heute eingesetzt, da die Glasfaserkabeltechnik teurer ist als herkömmliche Kabel. Für längere Distanzen und grosse Mengen an Daten haben Glasfaserkabel jedoch grosse Vorteile. So lassen sich über ein Glasfaserkabel über eine einzige Wellenlänge (Farbe) mehrere tausend Telefongespräche gleichzeitig übertragen. Elektrische Signale in einem Kupferkabel stören elektrische Signale in benachbarten Kupferkabeln.

Siehe Bildnummer 2/18



7 Wie entsteht ein Regenbogen?

Wann sehen wir einen doppelten Regenbogen?

Wie ist Licht zusammengesetzt? Kann man es mischen?

Wie wird Licht gebrochen?

Um zu verstehen wie Regenbogen entstehen, ist ein Blick auf reflektierendes Licht, Lichtbrechung, Farbanteile des Lichts oder gemischtes Licht wichtig. Damit sind wir schon mitten in der Beobachtung der Natur und der Physik.

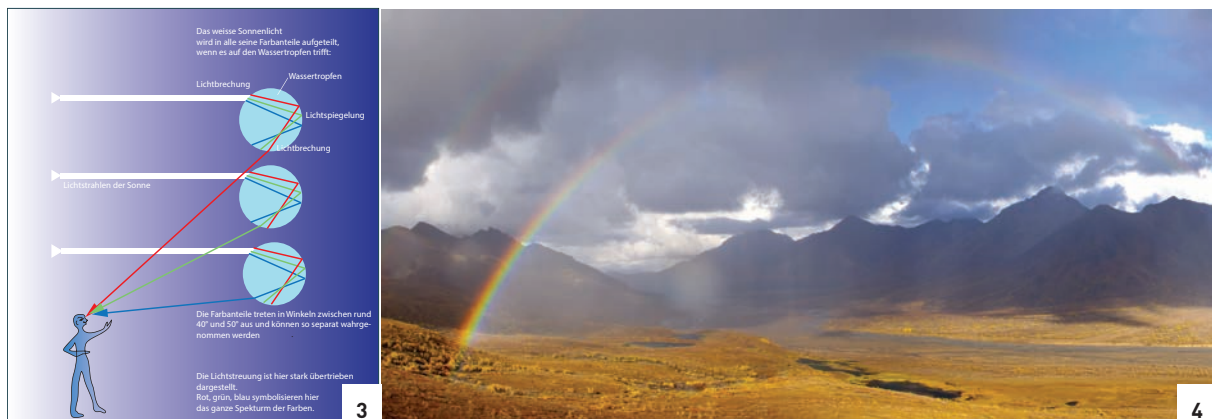
Damit wir einen Regenbogen sehen können, muss die Sonne hinter dem Betrachter stehen. Das Sonnenlicht trifft auf Wassertropfen in der Luft vor dem Betrachter. Es dringt in den Wassertropfen ein, wird an der Rückwand des Tropfens reflektiert und verlässt den Tropfen wieder. Wie in einem Prisma werden die Farben (mit unterschiedlichen Wellenlängen – siehe Farbspektrum) unterschiedlich stark abgelenkt beim Ein- und Austritt, so dass wir die einzelnen Farben sehen können. Jeder annähernd kugelförmige Regentropfen bricht das Sonnenlicht beim Ein- und Austritt und reflektiert es innen an seiner Rückwand. Blau wird stärker abgelenkt als rot. Die Farbe rot ist immer die äusserste Farbe beim Regenbogen.

Wann sehen wir einen doppelten Regenbogen? Wird das Licht zweimal im Wassertropfen reflektiert, so sehen wir zusätzlich zum Hauptregenbogen auch einen schwächeren Nebenregenbogen. Der Nebenregenbogen hat eine umgekehrte Farbfolge im Vergleich zum Hauptregenbogen. Der Nebenregenbogen ist innen rot und aussen blau.

Wie ist Licht zusammengesetzt? Kann man es mischen? Licht von der Sonne wird «weisses Licht» genannt. «Weisses Licht» ist eine Mischung aus allen sichtbaren Wellenlängen, also aus allen Farben. Durch Brechung am Prisma gelingt es «weisses Licht» in Spektralfarben zu zerlegen: rot, orange, gelb, grün, blau, violett.

Wie wird Licht gebrochen? Das Brechungsgesetz beschreibt wie Licht abgelenkt wird, wenn es in ein anderes Medium übergeht, also beispielsweise von Luft in Wasser oder von Luft in Glas. Dabei kommt es auf den Einfallswinkel an und wie schnell sich Licht in den Medien ausbreiten kann. In Vakuum ist Licht am schnellsten mit 300 000 Kilometern pro Sekunde (km/s.) In Wasser hat Licht eine Geschwindigkeit von 225 000 km/s. In einem Diamant schafft Licht bloss noch 124 000 km/s. Der Faktor, um den das Licht im Medium langsamer ist als in Vakuum wird Brechungsindex genannt. Beim gleichen Einfallswinkel wird jede Farbe leicht unterschiedlich gebrochen. Das bedeutet, dass in gebrochenem weissem Licht die verschiedenen Farben sichtbar werden können. Genau so werden die Farben des Regenbogens sichtbar, wenn weisses Sonnenlicht in den Wassertropfen gebrochen wird.

Siehe Bildnummer 3/4/18



8 Was sind Nordlichter und woher kommen sie?

Was ist ein Sonnensturm?

Wieso ist das Erdmagnetfeld auch eine Schutzweste?

Nordlichter kommen eigentlich aus der Sonne: bei Sonnenstürmen werden riesige Mengen geladener Gasteilchen ins Weltall geschleudert. Wie ein Schutzschild lenkt unser Erdmagnetfeld die geladenen Teilchen um die Erde herum. Aber wie entstehen diese Sonnenstürme und wie funktioniert diese natürliche Schutzweste der Erde?

In arktischen Nächten sieht man oft das wunderschöne Phänomen der Nordlichter. Deren Ursprung liegt – vielleicht etwas überraschend – in unserer Sonne. Die Sonne ist das riesige Kraftwerk unseres Sonnensystems. In ihrem Kern vereinen sich Wasserstoff-Atome zu Helium-Atomen. Bei dieser Fusions-Reaktion wird Energie frei, die nach aussen gelangen will. In den äusseren Schichten der Sonne bewegt sich die Energie in riesigen Kreisläufen von geladenen Gasen, sogenannten Konvektionszellen.

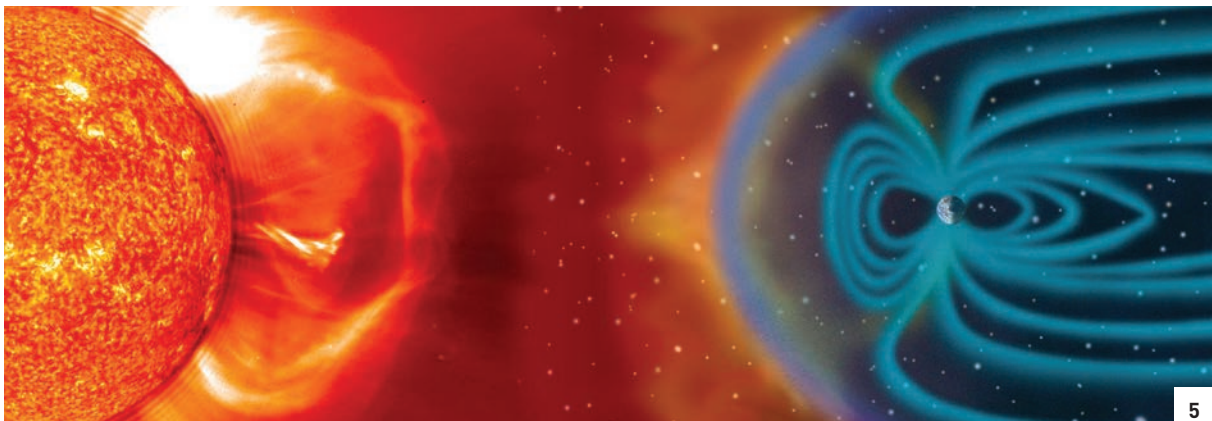
Auszug aus der Arbeit von Caroline Haug und Reto Küng im Rahmen ihrer didaktischen Ausbildung im Physikstudium 2014, Nr. 6: Nicolas Bocherens, Physikstudent, Auszug und Zusammenstellung: Regina Moser, Outreach Departement Physik der ETH Zürich

Was ist ein Sonnensturm? Diese Ströme von geladenen Gasteilchen erzeugen magnetische Felder innerhalb der Sonne. An manchen Orten können starke magnetische Felder durch die Oberfläche aus der Sonne gelangen. Dadurch können von Zeit zu Zeit riesige Mengen von diesen heißen geladenen Gasen (Plasma) aus der Sonne gerissen und ins Weltall geschleudert werden. Dies nennt man einen Sonnensturm. Mit einer Geschwindigkeit von bis zu 8 Millionen Stundenkilometer (km/h) fegt ein solcher Sonnensturm auf die Erde zu. Trotzdem dauert es 18 Stunden, bis er uns erreicht. (Siehe auch «Warum ist es schwierig, einen Marsrover fernzusteuern?»)

Wieso ist das Erdmagnetfeld auch eine Schutzweste? Würde der Sonnensturm ungestört auf die Erde treffen, hätte dies verheerende Folgen für Mensch und Technik. Glücklicherweise besitzt die Erde einen natürlichen Schutzschild gegen Sonnenstürme – das Erdmagnetfeld. Durch das Erdmagnetfeld werden die Teilchen des Sonnensturms entlang der magnetischen Feldlinien um die Erde gelenkt.

In den Polarregionen, wo die magnetischen Feldlinien in die Erde dringen, können die geladenen Gasteilchen des Sonnensturms auf unsere Atmosphäre treffen. Dort treffen sie auf Sauerstoff und Stickstoff-Moleküle der oberen Atmosphärenschichten und deren Elektronen werden angeregt. Nach kurzer Zeit springen die Elektronen wieder in ihren Grundzustand zurück und senden dabei Licht aus. Diesen Effekt nennt man Fluoreszenz. (Siehe «Wie funktionieren die fluoreszierenden Sterne?») Dieses Licht können wir dann in klaren Polarnächten bewundern. Das Nordlicht am Nordpol heisst wissenschaftlich Aurora borealis, das Südlicht am Südpol Aurora australis.

Siehe Bildnummer 5/19

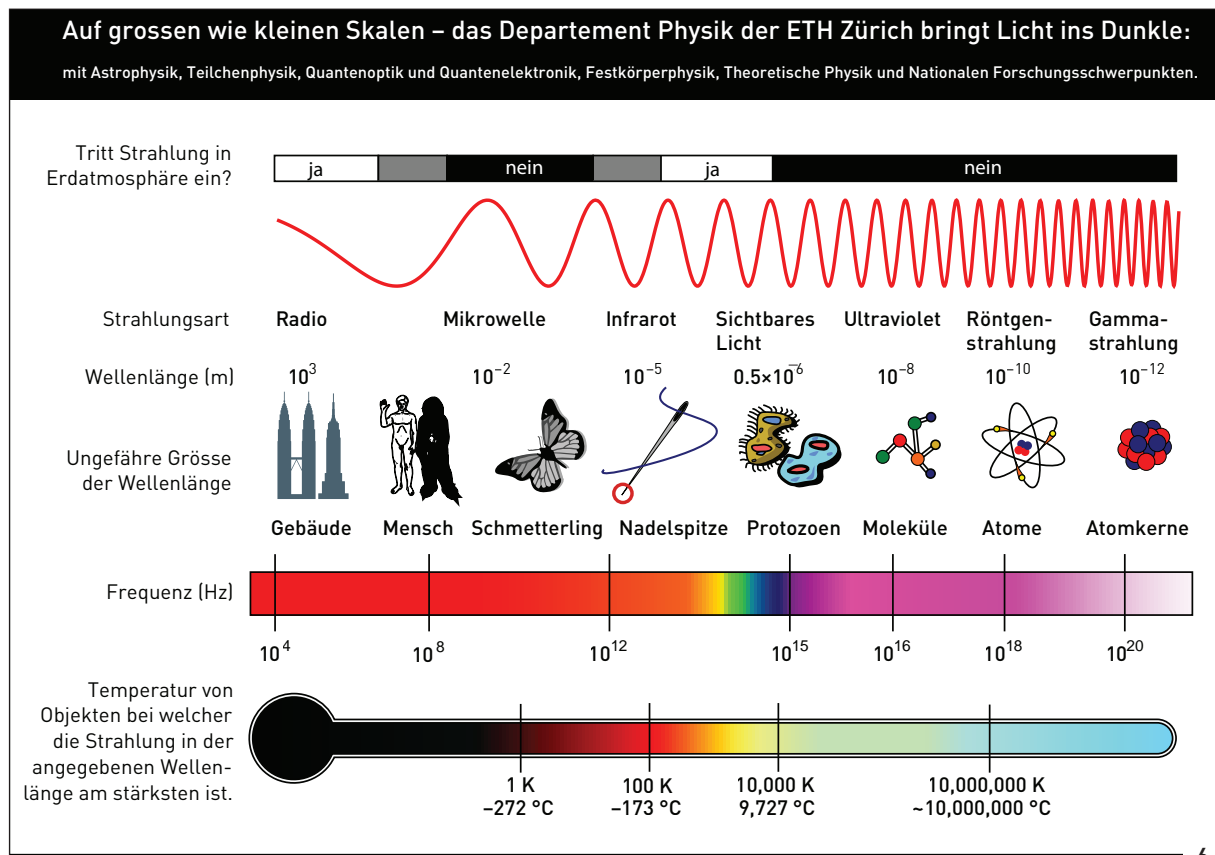


Bildlegenden und Quellenangabe

- 1 Adlernebel mit strahlenden Sternen, Aufnahme des Hubble Space Teleskops
NASA, ESA/Hubble and the Hubble Heritage Team
 - 2 Aufbau und Prinzip eines Lichtwellenleiters, InfoTip Service GmbH Hattingen/Ruhr
 - 3 Lichtbrechung im Regentropfen, Illustration Regina Moser, ETH Zürich
 - 4 Regenbogen: Grant Eaton, 2010
 - 5 Wie Sonnenstürme das Weltraumwetter und das Erdmagnetfeld (blaue Linien) beeinflussen.
Künstlerische Darstellung zum Weltraumwetter: NASA
-
- 6 Inductiveload, NASA (nachträglich übersetzt)
 - 7 Pyrat Wesly, 2015
 - 8 Moser ETH
 - 9 Ultra Deep Field: Lauter Galaxien wie die unsere. Aufgenommen mit dem Hubble Space Teleskop. NASA and the European Space Agency
 - 10 Temperaturschwankungen in der Hintergrundstrahlung, aufgenommen durch die Raumsonde WMAP (Mission 2001–2010). NASA / WMAP Science Team

Auszug aus der Arbeit von Caroline Haug und Reto Küng im Rahmen ihrer didaktischen Ausbildung im Physikstudium 2014, Nr. 6: Nicolas Bocherens, Physikstudent, Auszug und Zusammenstellung: Regina Moser, Outreach Departement Physik der ETH Zürich

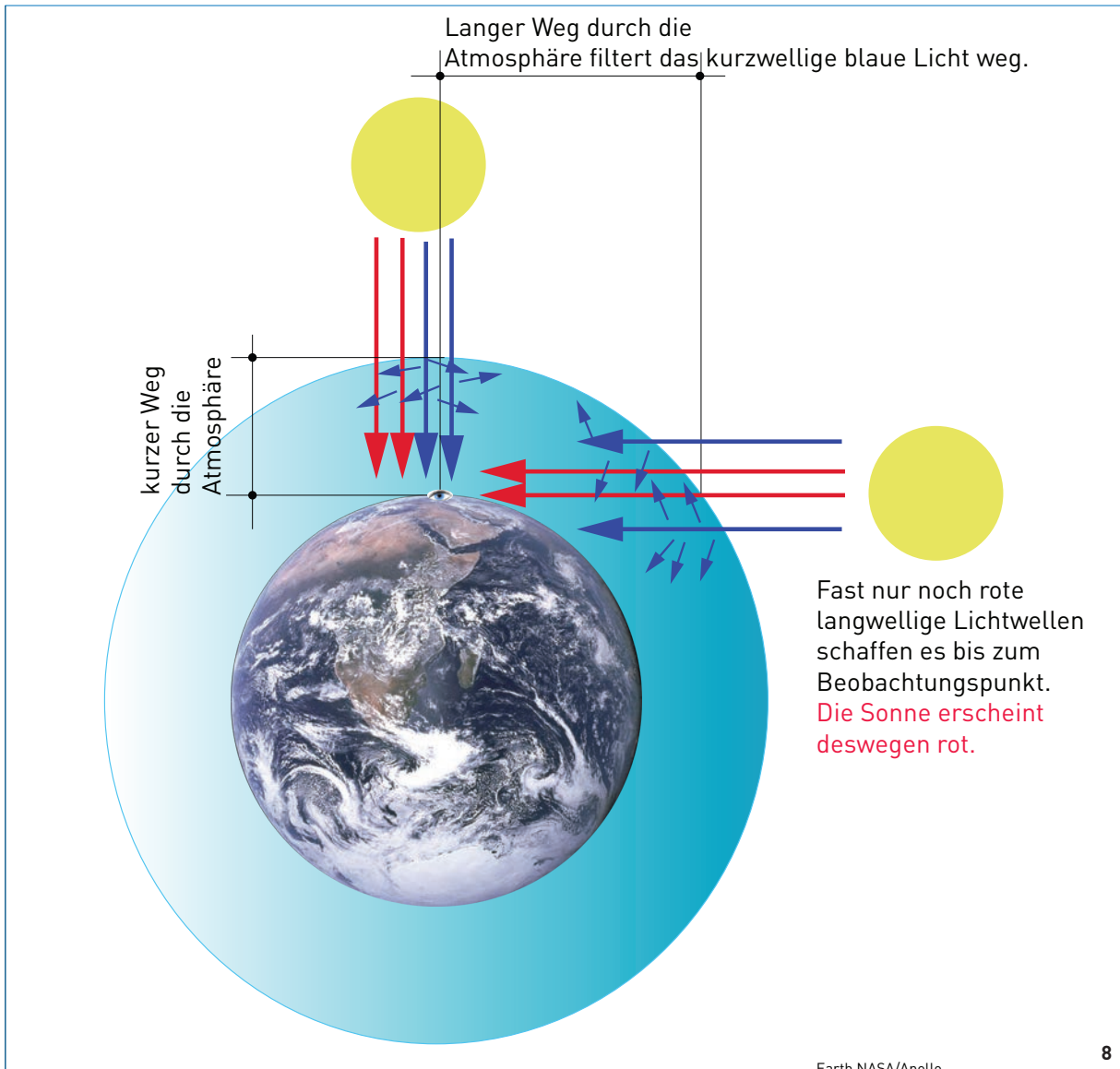
- 11 NASA/JPL/Cornell University 2003
- 12 Tscherenkow-Strahlung in einem Abklingbecken. Pieck Darío 2007
- 13 esa www.spacetelescope.org/videos
- 14 Cepheiden, 2008
- 15 Arne Nordmann, 2007
- 16 Didier Descouens, Fluorescing fluorite from Boltsburn Mine, England
- 17 Moser ETH
- 18 Reflektionswinkel am Übergang von einem Medium ins andere, zum Beispiel von Luft ins Wasser
- 19 Senior Airman Joshua Strang, US Air Force



Auszug aus der Arbeit von Caroline Haug und Reto Küng im Rahmen ihrer didaktischen Ausbildung im Physikstudium 2014, Nr. 6: Nicolas Bocherens, Physikstudent, Auszug und Zusammenstellung: Regina Moser, Outreach Departement Physik der ETH Zürich



7

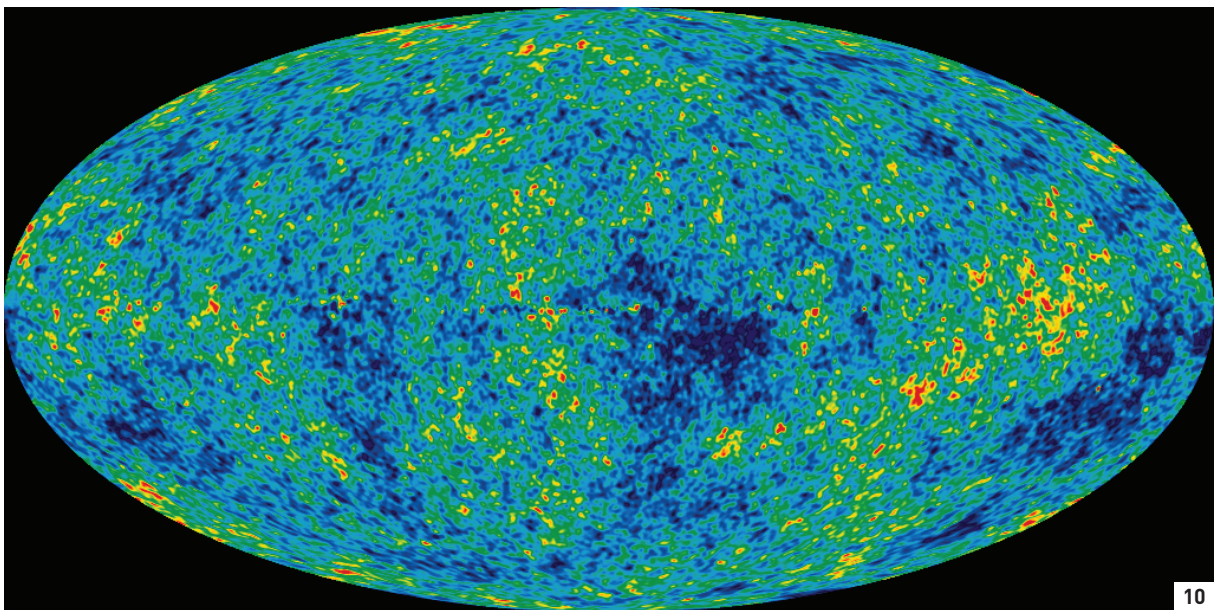


8

Auszug aus der Arbeit von Caroline Haug und Reto Küng im Rahmen ihrer didaktischen Ausbildung im Physikstudium 2014, Nr. 6: Nicolas Bocherens, Physikstudent, Auszug und Zusammenstellung: Regina Moser, Outreach Departement Physik der ETH Zürich

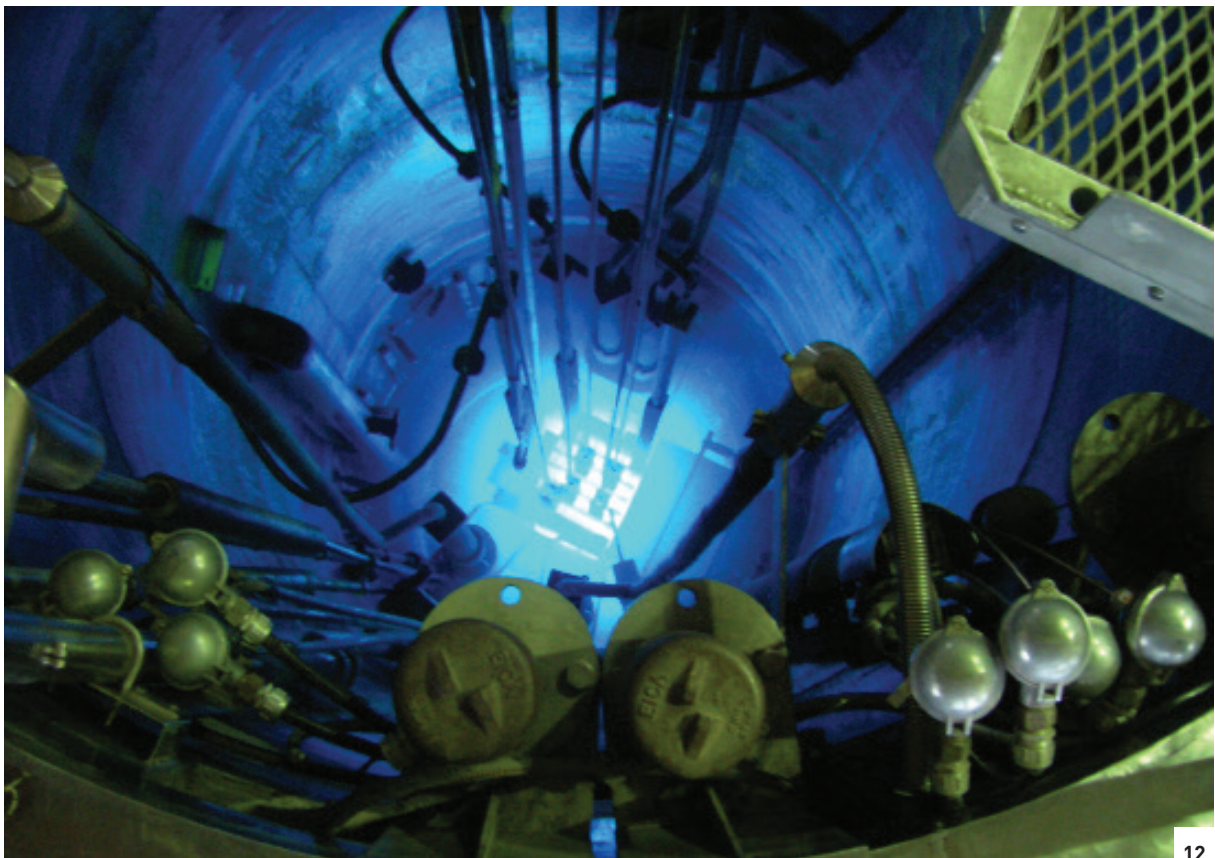
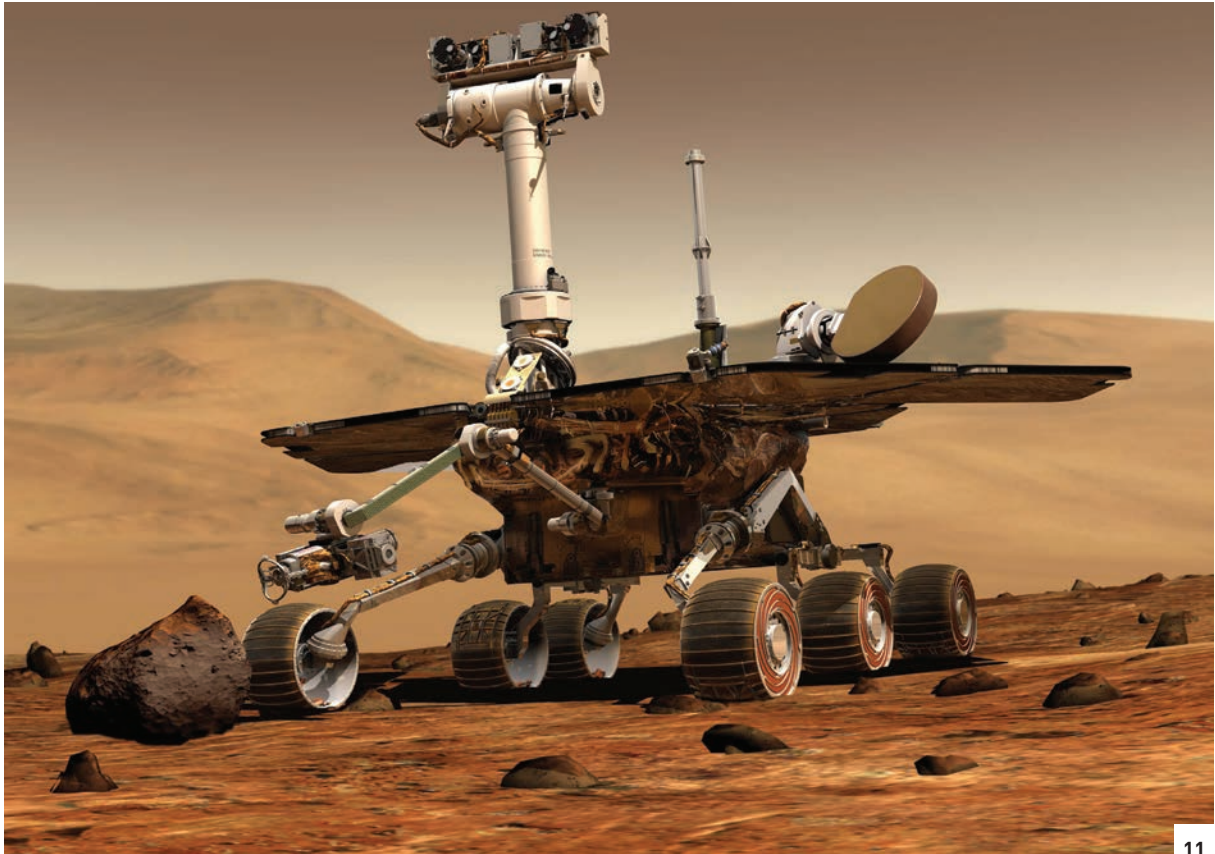


9

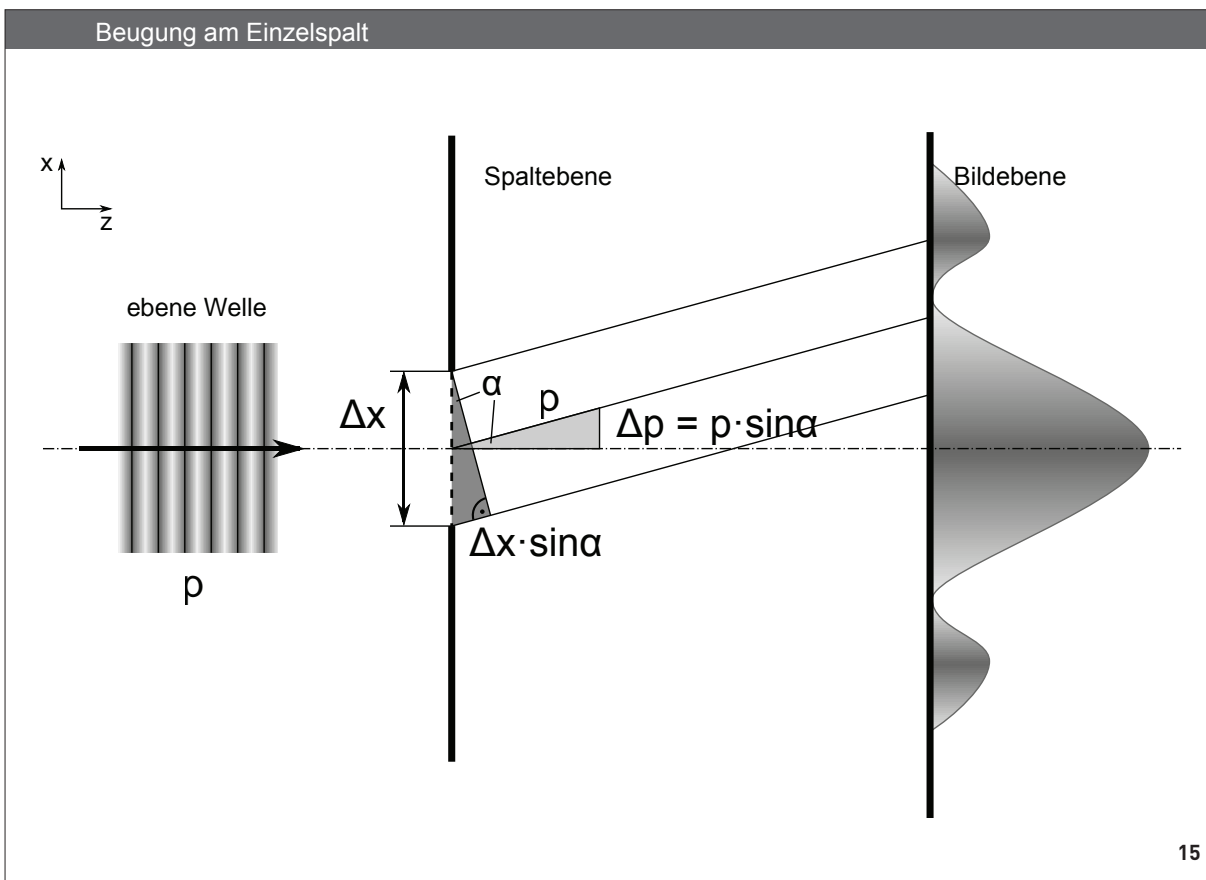
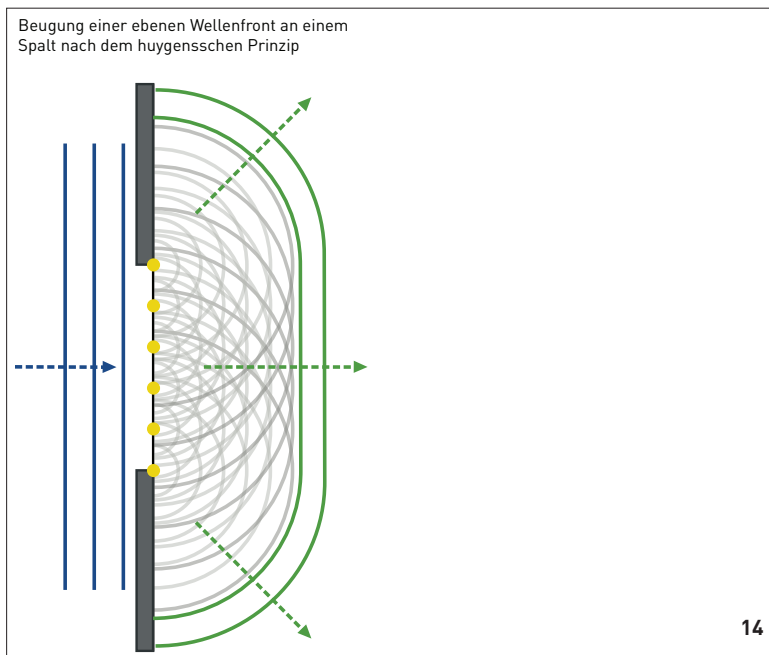
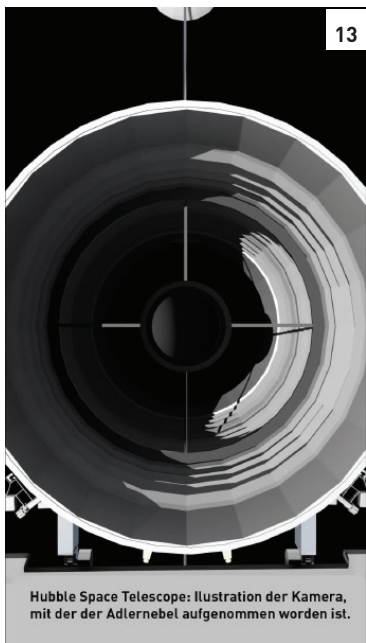


10

Auszug aus der Arbeit von Caroline Haug und Reto Küng im Rahmen ihrer didaktischen Ausbildung im Physikstudium 2014, Nr. 6:
Nicolas Bocherens, Physikstudent, Auszug und Zusammenstellung: Regina Moser, Outreach Departement Physik der ETH Zürich

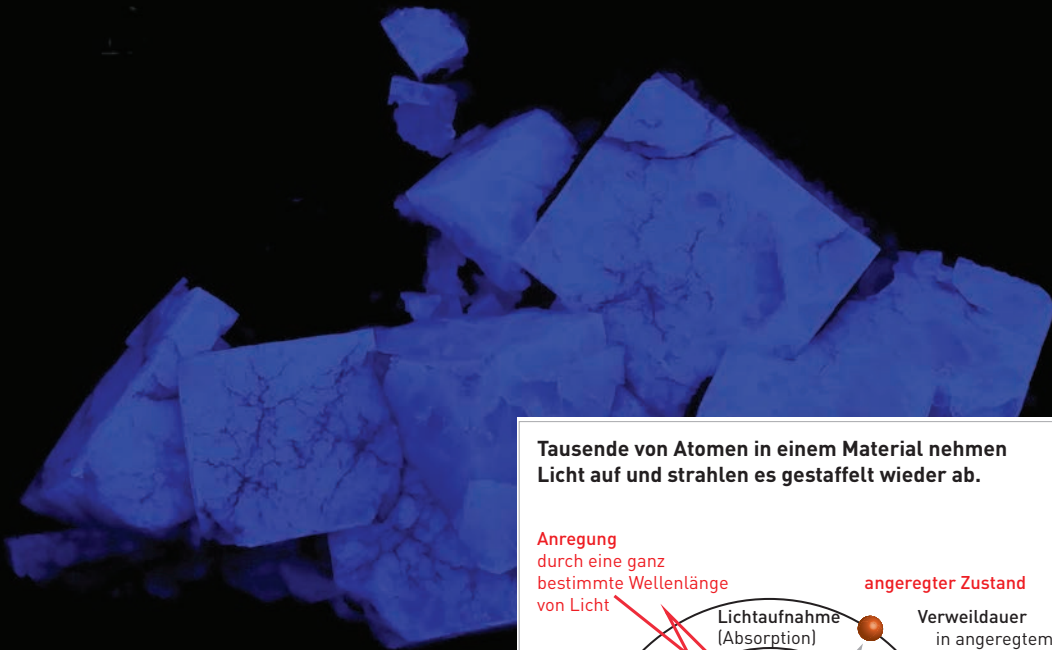


Auszug aus der Arbeit von Caroline Haug und Reto Küng im Rahmen ihrer didaktischen Ausbildung im Physikstudium 2014, Nr. 6:
Nicolas Bocherens, Physikstudent, Auszug und Zusammenstellung: Regina Moser, Outreach Departement Physik der ETH Zürich





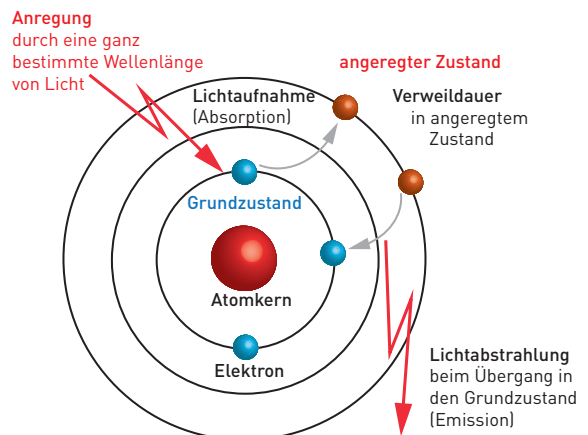
Fluorit bei Tageslicht

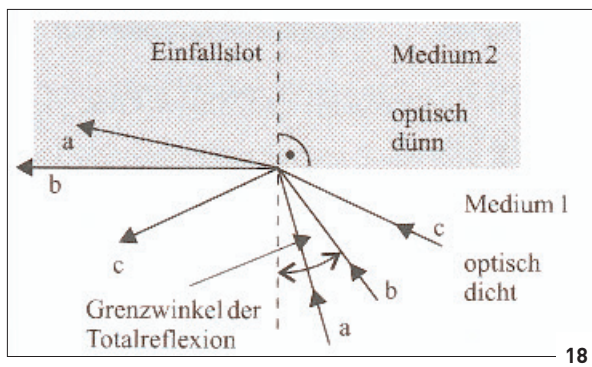


Fluorit bei UV-Licht



Tausende von Atomen in einem Material nehmen Licht auf und strahlen es gestaffelt wieder ab.





18



19

Weiterführende Links aus dem Internet

1) Himmelblau und Abendrot

2 ½ Min. English

Minute Physics: Why is the Sun Yellow and the Sky Blue? <http://youtu.be/NafbGOQB1Qs>

http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/licht_streuung/lichtstreuung_streueffekte.htm (ganz unten)

2) Beugungs Effekte Hubble

1 Min. ohne Sprache

3D Animation of Hubble Space Telescope http://www.spacetelescope.org/videos/hubble_earth_4k_hubble/

3 ½ Min. English

Why are Stars Star-Shaped? <http://youtu.be/VVAKFJ8Vp4?t=1m40s>

12 Min. Deutsch ab ca. 12 Jahren

Beugung am Einzelspalt: <http://www.sofatutor.ch/physik/videos/beugung-und-interferenz>

Huygensches Prinzip: <http://www.sofatutor.ch/physik/videos/huygens-sches-prinzip-ausbreitung-mechanischer-wellen>

Doppler-Effekt: <http://www.spacetelescope.org/videos/hubblecast43f/> (esa)

<http://www.spacetelescope.org/videos/archive/category/3d/> (esa)

3) Marsrover – Lichtgeschwindigkeit

7 Min. Deutsch für alle

www.lichtgeschwindigkeit.org/bedeutung.html

Zur Relativitätstheorie:

www.multimedia.ethz.ch/campus/treffpunkt/?doi=10.3930/ETHZ/AV-fd2956d1-b369-4dce-ba6e-5963594c1bfe&autostart=false
Sequenz 00:9 bis 00:16

6 Min. Deutsch für Kinder

Wie man Lichtgeschwindigkeit messen kann, weshalb man mind. 6 Min. warten muss bis man vom Mars Antwort bekommt, weshalb Sterne schon erloschen sein können, die wir noch sehen. (Evtl. muss man sich anmelden)

<http://www.sofatutor.com/physik/videos/lichtgeschwindigkeit>

6) Glasfaser und 7) Regenbogen

Zerlegung in Spektralfarben www.helles-koepfchen.de/artikel/606.html

Brechung eines Laserstrahls an Wasseroberfläche: <http://wikis.zum.de/zum/Brechungsgesetz>

8) Nordlichter

1 Min. Deutsch Kurzfassung 17. Sept. 2011, Aufnahmen von der ISS aus: <https://www.youtube.com/watch?v=CC8yFRGAnCs>

1 Min. Kurzfassung ohne Sprache

<http://video.golem.de/wissenschaft/5951/polarlichter-von-der-iss-aus-gesehen.html>

11 Min. Deutsch

www.hyperraum.tv/2012/03/13/aurora/

5 Min. English

This video explains how particles originating from deep inside the core of the sun creates northern lights, also called aurora borealis, on our planet. <http://vimeo.com/25811412>