



**2019**  
highlights der **physik**

# ZEIG DICH!

**DAS UNSICHTBARE  
SICHTBAR MACHEN**

**AUFGABENHEFT ZUR AUSSTELLUNG**

# ALLGEMEINE HINWEISE

Das große Ausstellungszelt ist Dienstag von 11:00 Uhr bis 18:00 Uhr, Mittwoch und Freitag von 10:00 Uhr bis 18:00 Uhr, Donnerstag bis 20:00 Uhr sowie Samstag bis 17:00 Uhr geöffnet und bietet an über 50 interaktiven Ausstellungsständen spannende Einblicke, wie die Physik in vielen Themenfeldern Unsichtbares sichtbar macht: Von der Teilchenphysik bis zur Astronomie und Kosmologie.

## DIE AUSSTELLUNG GLIEDERT SICH IN VIER BEREICHE:

- ▶ Bereich A: DIE WELT IM ALLERKLEINSTEN
- ▶ Bereich B: DIE WELT IM ALLERGRÖßTEN
- ▶ Bereich C: DIE WELT DER QUANTEN
- ▶ Bereich D: DIE WELT, IN DER WIR LEBEN

## ÜBERSICHT DER EXPONATE AUF SEITE 4–5!

Hier können eure Lehrkräfte für euch wichtige Exponate markieren. Dieses Heft ist nicht als eigenständiges Lehrbuch zu verstehen, sondern es soll zur Auseinandersetzung mit der Thematik am Ausstellungsstand anregen. Erst durch die dort gebotenen Experimente, die Ausstellungstafeln und die Gespräche mit den Standbetreuerinnen und -betreuern ergibt sich ein vollständiges Bild.

---

### INFORMATIONEN

Die Highlights der Physik im Internet:  
[www.highlights-physik.de](http://www.highlights-physik.de)

---

Aufgabenheft (ab sofort) und Lösungen (ab dem 23.9.2019)  
als PDF zum Download unter:  
[www.highlights-physik.de/kids-schule/lehrkraefte](http://www.highlights-physik.de/kids-schule/lehrkraefte)



# ORIENTIERUNG GESUCHT?

## FOLGEN SIE EINEM DER SIEBEN THEMATISCH FOKUSSierten RUNDWEGE:

### 1) Wie setzt sich unsere Welt zusammen?

#### Bausteine-Weg:

A1, A2, A4, A6, A8, B3, B10, C1, C2 und C3

### 2) Wie liefern Messgeräte immer genauere Daten?

#### Detektoren-Weg:

A4, A10, A11, B3, B4, B11, D2 und D6

### 3) Ganz kleines kommt groß heraus!

#### Mikroskope-Weg:

C4, C7, C8, C9, C10, C11 und D3

### 4) Wie werden nicht ganz alltägliche Dinge sichtbar?

#### Messmethoden-Weg:

B1, B13, C7, D1, D7, D9 und D10

### 5) Mit Riesen auf der Suche nach kleinsten Teilchen!

#### Großgeräte-Weg:

A3, A5, A6, A8, A9, B6, B9, B11, B2, B12, B5, C9 und D8

### 6) Verwirrende und erstaunliche Forschungsergebnisse!

#### Überraschungs-Weg:

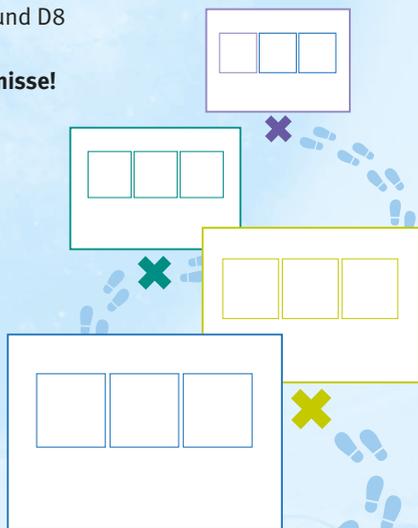
A7, B7, B8, C3, D4, D5, D6 und D12.

### 7) Rechnen, simulieren oder verschlüsseln?

#### IT-Weg:

A7, A12, B10, C5, C6 und D11

- **Zu den Wegen erhalten Sie am Infostand auch Postkarten als Orientierungshilfe.**



# ÜBERSICHT ALLER EXPONATE

## Bereich A DIE WELT IM ALLERKLEINSTEN

A	Titel	Seite	X
1	Was die Welt im Innersten zusammenhält	6	
2	Deutschland sucht die kleinsten Teilchen	7	
3	Physikalische Ursuppe	8	
4	Wieviel wiegt ein Geist?	9	
5	Struktur der Materie	10	
6	Masse aus dem Nichts?	11	
7	Von Quarks zum Leben	12	
8	Higgs & Co.	13	
9	Vollgas voraus	14	
10	Bitte recht freundlich!	15	
11	Teilchen sichtbar machen	16	
12	Fang mich, wenn Du kannst	17	

## Bereich B DIE WELT IM ALLERGRÖßTEN

B	Titel	Seite	X
1	Strukturen am Himmel	18	
2	IceCube	19	
3	Das Netzwerk Teilchenwelt	20	
4	Wasserstoff: der Baustein des Universums	21	
5	Vom Himmel hoch	22	
6	Der Röntgenblick auf das Universum	23	
7	Wie man Dunkle Materie sichtbar macht	24	
8	Neue Einblicke für die Astronomie	25	
9	Mit Radiowellen den Geheimnissen des Universums auf der Spur	26	
10	Wo Licht ist, ist auch Schatten	27	
11a	SOFIA – Das Infrarotteleskop in der Luft	28	
11b	Ich sehe was, was Du nicht siehst	29	
12	Aus klein mach groß	30	
13	Das Neutron – unendliche Möglichkeiten	31	
14	Dahinter steckt immer ein kluger Kopf	32	

## Bereich C DIE WELT DER QUANTEN

C	Titel	Seite	
1	$h$ – wie hilfreich	33	
2	Quanten im Experiment	34	
3	Das Photon und seine zwei Gesichter	35	
4	Alles so schön bunt hier	36	
5	Rechenkunst mit Quantentricks	37	
6	ML4Q: „Matter & Light for Quantum Computing“	38	
7	Mit dem Quant durch die Wand	39	
8	Röntgenaugen für Strukturen	40	
9	Tanz der Moleküle	41	
10	Elektronen: Teilchen oder Wellen?	42	
11	Atome sichtbar gemacht	43	

Hat ein Thema Dich besonders interessiert? Für diesen Fall ist auf jedem Poster ein QR-Code abgebildet, mit dessen Hilfe Du die Ausstellungstafel als pdf-Datei herunterladen kannst.



**VIEL SPAß  
IN DER AUSSTELLUNG!**

## Bereich D DIE WELT IN DER WIR LEBEN

D	Titel	Seite	
1	Mit Hochspannung den Untergrund durchleuchten	44	
2	...sieht nach Regen aus	45	
3	Seh- und Tastsinn die Zellen unseres Körpers erkunden	46	
4	Weniger Eis, mehr Meer	47	
5	Leuchtende Wolken – Starke Winde	48	
6	Keine Chance dem Nuklearschmuggel	49	
7	Physik-Nobelpreis 2018	50	
8	Treibhausgasen auf der Spur	51	
9	Scheibchenweise	52	
10	Spürnasen im Weltraum	53	
11	Klrmes – Mobile Shows und Märkte für Menschen und Maschinen	54	
12	Mind Ball – Fußball spielen mit dem Kopf	55	
13	AstroMedia – zugeschaut und mitgebaut	56	
14	Astronomische Inhalte im Unterricht spannend gestalten	57	
15	Ganz hoch hinaus	58	

# Was die Welt im Innersten zusammenhält

Elementarteilchen. Elementarteilchen! Elementarteilchen?

Mit dem Standardmodell der Teilchenphysik haben Physikerinnen und Physiker ein mächtiges Werkzeug zur Hand, mit dem sich die Welt der Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen erklären lässt. Doch das überaus erfolgreiche Modell lässt immer noch einige Punkte offen, die auf eine experimentelle Bestätigung warten.



## 1. Aus welchen Teilchen sind Atome aufgebaut?

Proton, Neutron, Elektron



## 2. Welche der folgenden Teilchen sind Hadronen?

- (A)  Proton (B)  Elektron (C)  Neutrino  
 (D)  Neutron (E)  Quark



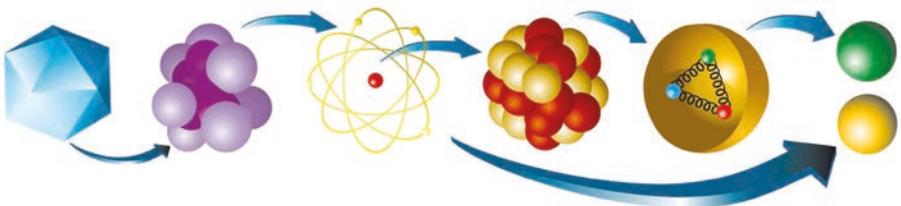
## 3. Aus was besteht ein Proton?

Protonen, (ebenso wie Neutronen), bestehen aus drei Quarks (und Gluonen).



## 4. Was können Austausch- oder Botenteilchen bewirken?

- (A)  Teilchen ziehen sich an  
 (B)  Teilchen stoßen sich ab  
 (C)  Teilchen wandeln sich um



Kristall

$10^{-2}$  m

Molekül

$10^{-9}$  m

Atom

$10^{-10}$  m

Atomkern

$10^{-14}$  m

Proton/Neutron

$10^{-15}$  m

Quark  
Elektron

$< 10^{-18}$  m

# Deutschland sucht die kleinsten Teilchen

## Axionen und die Dunkle Materie

Theoretische Physikerinnen und Physiker sagen Effekte voraus, die Zaubereien nahekommen. So könnte sich in einem Magnetfeld Licht in Materie und Materie in Licht verwandeln. Ob es so etwas tatsächlich gibt und was solche Effekte mit Sternen, Galaxien und der Geschichte des Universums zu tun haben, wollen Forscherinnen und Forscher mit neuen Experimenten bei DESY erkunden. Können wir so dunkle Materie sichtbar machen?



### 1. Woher wissen wir, dass es „Dunkle Materie“ gibt?

 Im Universum treten – beispielsweise bei der Rotation von Galaxien – Gravitationskräfte auf, die nicht durch bekannte Materieformen erklärt werden können.

### 2. Wieso heißt es „Dunkle Materie“?

 Die dunkle Materie emittiert und absorbiert kein Licht, sie ist daher unsichtbar.

### 3. Welcher Anteil der Materie im Universum wird von der „Dunklen Materie“ gebildet?

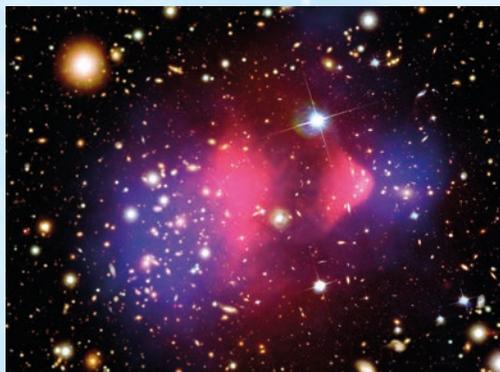
 85 %

### 4. Wofür steht ALPS (nicht ALPs)?

 Any Light Particle Search

### 5. Wie wollen wir Axionen finden?

 Axionen können unter bestimmten Bedingungen so wirken, also ob Licht durch eine eigentlich undurchsichtige Wand dringen. Dazu sind Magnetfelder notwendig



# Physikalische Ursuppe

ALICE-Detektor am LHC

Begleiten Sie uns auf eine Reise zurück zum Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren. Am weltgrößten Teilchenbeschleuniger LHC können wir künstlich den Materiezustand herstellen, wie er einige Milliardstel Sekunden nach dem Urknall geherrscht hat. Mit den dortigen Messgeräten – groß wie ganze Häuser (!) – kann man diese exotische Materie erforschen.



## 1. Woraus besteht ein Neutron?



Das Neutron besteht aus zwei Down-Quarks und einen Up-Quark, die von Gluonen zusammengehalten werden.



## 2. Was ist das Quark-Gluon-Plasma?



Ein Zustand der Materie, in dem sich Quarks und Gluonen frei bewegen, d. h. sie sind nicht mehr in Hadronen (Kernbestandteile, also Protonen und Neutronen) eingeschlossen.

## 3. Können sich Quarks im Sonneninnern frei bewegen?



Nein. Dafür müsste es dort heißer als eine Billion  $^{\circ}\text{C}$  sein, die Temperatur im Sonneninnern beträgt aber „nur“ etwa 15 Millionen  $^{\circ}\text{C}$ .

## 4. Welchen Vorteil bringt der Ausbau der ALICE Zeit-Projektions-Kammer (TPC)?



100 Mal mehr Daten. Statt 2D-Bilder kann 3D-Filme von Teilchenkollisionen erstellen.

## 5. Welche Form und welche Größe hat die ALICE TPC und wo befinden sich die Auslesekammern?



Zylinderförmig (bzw. zwei Zylinder ineinander) mit einer Länge von 5 Metern und einem Kreisdurchmesser von ebenfalls 5 Metern.  
Die Auslesekammern befinden sich an beiden Enden (Grundflächen) des Zylinders. Jede Grundfläche ist geteilt in 18 Sektoren.

# Wieviel wiegt ein Geist?

## KATRIN-Experiment

Mit dem KATRIN-Experiment wird die Masse des leichtesten Elementarteilchens, dem Neutrino, gemessen. Elektronen, die beim Beta-Zerfall von Tritium entstehen, werden mithilfe von supraleitenden Magneten zum Spektrometer geführt. Dort werden die zu langsamen Elektronen von den schnellen getrennt, die am Ende im Detektor gezählt werden. Überzeugen Sie sich von den Dimensionen des größten Ultrahochvakuum-Tanks der Erde.



### 1. Was ist der Beta-Zerfall?



Der Beta-Zerfall ist eine der Möglichkeiten für einen instabilen Kern, sich in einen stabilen Kern umzuwandeln (Radioaktivität). Hierbei wandelt sich im Kern ein Neutron in ein Proton um, dabei entsteht ein zusätzliches Elektron (Beta-Teilchen).

### 2. Wieso wird ein drittes Teilchen beim Beta-Zerfall benötigt?



Bei einem Zerfall in zwei Teilchen (Kern und Elektron) ist die finale Energie beider Teilchen genau bestimmt. Um eine Verteilung verschiedener möglicher Energien zu erhalten (kontinuierliches Beta-Spektrum), muss diese auf drei Teilchen verteilt werden.

### 3. Was weiß man bislang über die Masse des Neutrinos?



Das Neutrino muss sehr leicht sein, seine Masse ist kleiner als  $2,2 \text{ eV}/c^2$ , aber größer als genau null.

### 4. Was wird beim KATRIN-Experiment gemessen?



Durch genaue Messung der Energie der Elektronen aus ganz vielen Beta-Zerfällen kann die Masse des Neutrinos (das zeitgleich beim Zerfall entsteht) bestimmt werden.

### 5. Warum wird das große Vakuum im KATRIN-Experiment benötigt?



Elektronen verlieren Energie, wenn sie mit Atomen oder Molekülen zusammenstoßen. Da sie das gemessene Beta-Spektrum verfälschen würden, müssen solche Zusammenstöße durch Reduzierung der Teilchenzahl (Abpumpen) reduziert werden.

# Struktur der Materie

FAIR: das Universum im Labor

Wie man winzigste Teilchen in einem Teilchenbeschleuniger auf Touren bringt, können Besucherinnen und Besucher am mechanischen Linearbeschleuniger-Modell selbst ausprobieren. Was im Modell mechanisch passiert, geschieht in Großanlagen durch elektrische Spannung – und die bringt die Teilchen bis fast auf Lichtgeschwindigkeit. Im neuen Teilchenbeschleuniger FAIR ist der Linearbeschleuniger des GSI Helmholtz-Zentrums für Schwerionenforschung die erste Beschleunigungsstufe: Er jagt die Teilchen auf eine Geschwindigkeit von 60.000 Kilometer pro Sekunde. Eines der Forschungsziele: Die Erforschung der Starken Kraft. Wie die wirkt, können Besucherinnen und Besucher am Teilchen-Expander selbst ausprobieren.



## 1. Wie ist ein Atom aufgebaut, wie ein Nukleon?



Atom: positiver Kern aus Nukleonen, negative Hülle aus Elektronen, die um den Kern kreisen. Nukleon: Protonen (positiv) und Neutronen (neutral), bestehen jeweils aus 3 Quarks, die mit Kraftaustauschteilchen (Gluonen) zusammenhalten. [Posterrückwand-Grafik zu PANDA]

## 2. Warum beschleunigt man in einem Teilchenbeschleuniger geladene Atome (=Ionen)?



Elektrisch geladene Teilchen (z. B. Ionen und Elektronen) kann man einem elektrischen Feld beschleunigen, elektrisch ungeladene nicht. (Ausstellungsobjekt Linearbeschleuniger)

## 3. Wo entstehen die schwersten Elemente?



In Supernova-Explosionen oder in Kollisionen von Neutronensternen: Dazu sind hohe Energie und viele Neutronen notwendig. [Posterrückwand-Foto zu NUSTAR]

## 4. Wie behandelt man Krebs mit schweren Ionen?



Ionenstrahlung bremst – abhängig von Energie (Geschwindigkeit) – in bestimmter Gewebetiefe plötzlich ab und setzt dabei lokal Energie frei, die zu DNA-Doppelstrangbrüchen führt, die wiederum Zelltod auslösen. GSI: Kohlenstoffionen-Therapie entwickelt. [Posterrückwand-Foto zu APPA]

## 5. Was passiert mit dichter, heißer Materie im Innern von Neutronensternen?



Die Atome sind so stark verdichtet, dass wahrscheinlich ein Quark-Gluon-Plasma entsteht, in dem bei hoher Materiedichte Quarks und Gluonen nicht mehr als Nukleonen gebunden sind. [Posterrückwand-Grafik zu CBM]

# Masse aus dem Nichts?

Von leichten Quarks zu schweren Teilchen – Das PANDA Experiment an FAIR

All die sichtbare Materie um uns herum besteht aus Atomen, welche aus Protonen und Neutronen im Atomkern und Elektronen aufgebaut sind. Während das Elektron elementar – also unteilbar – ist, ist das Proton ein Zusammenschluss von drei Quarks. Überraschenderweise sind die drei Quarks jedoch nur für einen sehr kleinen Teil der Masse des Protons verantwortlich. Daher stellt sich nun die Frage, wie entsteht hier „Masse aus dem Nichts?“



**1. Aus welchen kleinsten, nach heutigem Verständnis nicht weiter teilbaren Bausteinen, setzt sich die sichtbare Materie (z. B. Steine, aber auch Pflanzen und Tiere), die uns umgibt, zusammen?**



Aus Elektronen und Quarks (up- und down-Quarks).

**2. Der Higgsmechanismus erklärt u. a., wie Quarks ihre Masse erhalten. Erklärt er auch die Masse des Protons?**



Nein, nur ein kleiner Teil der Masse des Protons geht tatsächlich auf die Quarks zurück. Der Rest der Masse ist auf die starke Wechselwirkung selbst zurückzuführen.

**3. Kann es Bindungszustände der starken Wechselwirkung geben, die aus a) 4 Quarks und einem Antiquark bestehen?**



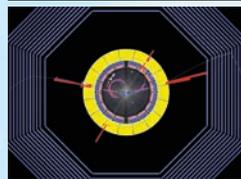
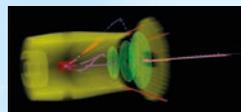
Ja

**b) 2 Antiquarks und einem Quark bestehen?**

Nein – in dieser Konfiguration ist kein farbneutraler Zustand möglich

**c) 3 Antiquarks bestehen?**

Ja, diese Konfiguration würde z.B. dem Antiproton (anti-up, anti-up, anti-down) entsprechen, das PANDA als Strahlteilchen für seine Experimente nutzt



**4. Quarks existieren nicht als freie Teilchen. Was passiert, wenn man versucht, das Quark und das Antiquark eines Mesons voneinander zu trennen?**



Es entsteht ein neues Quark-Antiquark-Paar aus dem Vakuum, es gibt keine freien Quarks, sondern immer nur farbneutrale Zustände in der Natur (ein Quark hat „Farbladung“, ist aber nicht wirklich „bunt“).

**5. Was passiert, wenn ein hochenergetisches Photon (Lichtteilchen) mit z. B. 2 GeV, auf Materie, wie z.B. den Kristall eines Kalorimeters (Energiesmessgerät für Photonen) trifft?**



Es entwickelt sich ein elektromagnetischer Schauer aus Elektron-Positron-Paaren und Photonen.

# Von Quarks zum Leben

Mit numerischen Simulationen auf den Spuren unserer Existenz

Mit aufwendigen numerischen Simulationen können wir berechnen, dass z.B. die Massen der Quarks (Bausteine der Kernbausteine) von ihren heutigen Werten nur um wenige Prozent abweichen dürften, ohne dass die Produktion der Bausteine unseres Lebens im Universum empfindlich gestört würde. Ist unser Leben auf der Erde also ein Zufall? Rechentechnisch einfacher sind dagegen numerische Simulationen von Planetenbahnen.



## 1. Wie viele fundamentale Bausteine des Standardmodells sind notwendig, um die uns umgebende Natur zusammzusetzen?



Nur drei: Das up-Quark, das down-Quark und das Elektron.

## 2. Welche fundamentalen Kräfte/Wechselwirkungen sind dabei relevant?

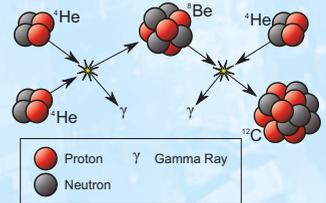


Strukturbildend sind Elektromagnetismus (bindet die Elektronen und die Atomkerne und hält Moleküle, Festkörper, etc. zusammen) und starke Wechselwirkung (hält die Quarks in Proton und Neutron, aber auch Proton und Neutron im Kern).

## 3. Warum haben schwere Kerne einen Überschuss an Neutronen gegenüber Protonen, die leichten Kerne jedoch nicht?



Die Kerne werden durch die starke Wechselwirkung zusammengehalten, die zwischen Proton und Neutron noch etwas stärker anziehend ist als zwischen Proton und Proton bzw. Neutron und Neutron. Allerdings wirkt die elektromagnetische Abstoßung zwischen den Kernen der Kernbindung entgegen und bei sehr schweren Kernen ist diese recht groß.



## 4. Wie sind im Universum mittelschwere Kerne wie z.B. der Kohlenstoff entstanden?

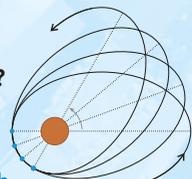


Durch Kernfusion in Sternen – sie wurden dann in Supernovae im All verteilt.

## 5. Wenn man den Einfluss der Planeten untereinander herausgerechnet hat, ist die Bahn der meisten Planeten eine raumfeste Ellipse – lediglich die des Merkur dreht sich in messbarem Maße mit der Zeit. Was ist die Ursache dafür?



Die Ursache ist, dass die Allgemeine Relativitätstheorie ein etwas anderes Kraftgesetz vorhersagt als das Newton'sche Gravitationsgesetz. Allerdings nimmt diese Abweichung mit zunehmendem Abstand von der Sonne schnell ab, sodass der Effekt nur beim sonnennächsten Planeten messbar ist.



# Higgs & Co.

Experimente am ATLAS-Detektor des LHC



ATLAS ist einer von zwei ähnlich aufgebauten Teilchendetektoren am Large Hadron Collider (LHC). Er besteht aus verschiedenen Lagen von verschiedenen Sensoren, die die Bahnen der Teilchen vermessen können. Diese Teilchen entstehen in der Mitte des Detektors bei der Kollision hochenergetischer Hadronen. Aus den Teilchenspuren kann man auf die Existenz ungewöhnlicher oder schwierig zu erzeugender Teilchen zurückschließen.

**1. Wie viele Kollisionen müssen die Detektoren von ATLAS pro Sekunde registrieren?**



40 Millionen

**2. Wie genau kann der Ort der Teilchenkollision gemessen werden?**



Bis auf wenige Mikrometer genau.

**3. Wie schwer ist das Higgs-Teilchen?**



125 GeV/c<sup>2</sup>.

**4. Nenne einen möglichen Zerfall des Higgs-Teilchens.**

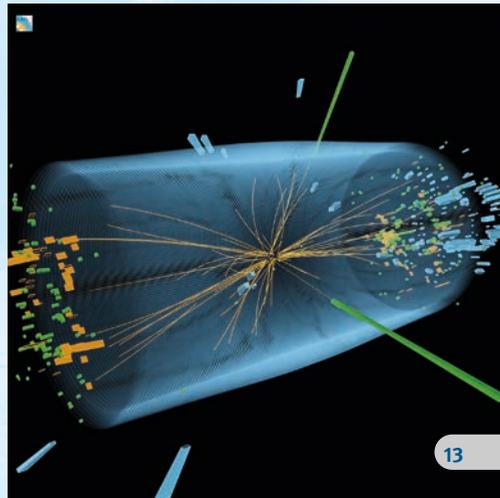


Zerfall in zwei Photonen, oder:  
Zerfall in mehrere Elektronen und Myonen.

**5. Wieviel Prozent der Materie des Universums bildet die uns bekannte Materie?**



Circa 15%.



# Vollgas voraus

Teilchenbeschleuniger (von ELSA bis zum LHC)

Teilchenbeschleuniger spielen auch außerhalb der Grundlagenforschung eine immer größere Rolle. Sie werden zum Beispiel auch in der Medizin oder in der industriellen Fertigung eingesetzt. Am Beispiel des Bonner Elektronenbeschleunigers ELSA werden die Grundlagen der Beschleunigerphysik und deren Einsatzgebiet aufgezeigt.



## 1. Welche Teilchen können beschleunigt werden?



Alle geladenen Teilchen (Elektronen, Protonen, Ionen, ...).

## 2. Wozu braucht man Quadrupolmagnete im Beschleuniger?



Zum fokussieren des Strahls, als Linse für den Teilchenstrahl.

## 3. Wie kann man Teilchen Energie zuführen?



Durch elektrische Felder.

## 4. Wie werden Teilchen auf Kreisbahnen abgelenkt?

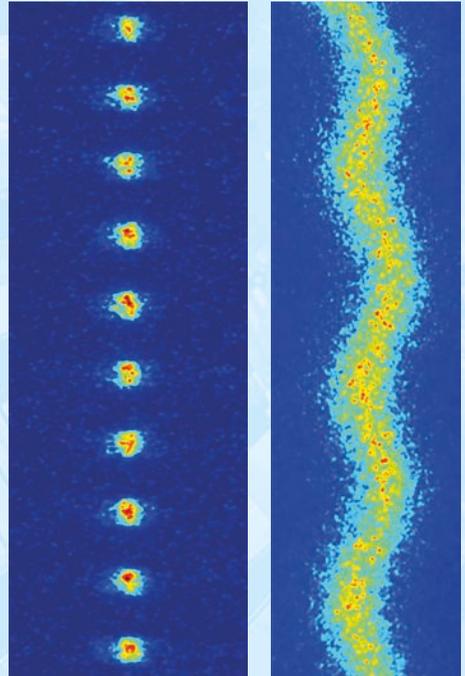


Durch magnetische Felder.

## 5. Warum baut man Beschleuniger meist unterirdisch?



Große Beschleuniger brauchen viel Platz, außerdem muss die von ihnen erzeugte Strahlung abgeschirmt werden – diese Aufgabe kann das Erdreich übernehmen.



# Bitte recht freundlich!

## Pixeldetektoren für Teilchen und Medizin...

Pixeldetektoren werden zur orts aufgelösten Messung von Licht und geladenen Teilchen eingesetzt. Sie bestehen aus Millionen von winzigen sensitiven Elementen (Pixeln) mit einer Pixelgröße einiger 100  $\mu\text{m}$  (zum Vergleich: Der Durchmesser eines menschlichen Haares beträgt etwa 40 bis 120  $\mu\text{m}$ ). Möglich werden Pixeldetektoren durch die moderne Halbleitertechnologie, mit welcher komplizierte elektronische Schaltkreise in Silizium mit winzigen Strukturgrößen (kleiner als 100 nm) gebaut werden können. Der Einsatzbereich von Pixeldetektoren ist vielfältig: Jede Digitalkamera ist ein Pixeldetektor! Pixeldetektoren werden aber vor allem in der Grundlagenforschung der Teilchenphysik und für biomedizinische Bildgebungsverfahren eingesetzt. Zum Beispiel erlauben moderne Röntgengeräte mit Pixeldetektoren schnelle Bildfolgen, Aufnahmen in Echtzeit und Aufnahmen bei geringerer Strahlenbelastung.



### 1. Wie viele Pixel haben Pixeldetektoren in Handykameras?

Je nach Modell bis etwa 50 Millionen Pixel („50 Megapixel“). Mega ist ein Einheitenpräfix und steht für „Million“.

### 2. Wieviel schneller nimmt der ATLAS-Pixeldetektor Bilder im Vergleich zu einer Handykamera auf?

Der ATLAS-Pixeldetektor macht 40 Millionen Aufnahmen pro Sekunde. Eine Handykamera schafft etwas mehr als 100 Bilder pro Sekunde. Damit ist der Pixeldetektor 400.000 mal schneller.

### 3. Welche Teilchen kann ein Pixeldetektor detektieren?

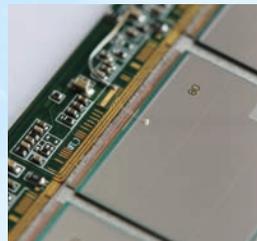
Ein Pixeldetektor detektiert elektrisch geladene Teilchen und Licht (Photonen).

### 4. Wie viele Lagen an Pixeldetektoren braucht man mindestens, um eine Teilchenspur zu messen?

Eine Gerade benötigt mindestens zwei Punkte, um diese im Raum eindeutig zu verorten. Daher werden für das Messen einer geraden Teilchenspur mindestens zwei Lagen benötigt.

### 5. Wie viele elektrisch geladene Teilchen aus der Atmosphäre treffen pro Sekunde auf einer Fläche von einem Quadratmeter auf?

Etwa 100 Teilchen pro Sekunde.



# Teilchen sichtbar machen

Von der Nebelkammer zu Zeitprojektionskammer und Szintillationsdetektor

Teilchendetektoren reagieren sowohl auf künstlich als auch auf natürlich entstehende Teilchen. Sie zeigen sowohl die kosmische als auch die radioaktive Untergrundstrahlung. Im Laufe der Zeit wurden die Teilchendetektoren von einfachen, sogar mit Haushaltsmitteln zu bauenden Geräten hin zu komplizierten elektronischen Detektoren mit höchster Präzision weiterentwickelt.



## 1. Welchem bekannten Phänomen entspricht die Teilchenspür in der Nebelkammer?



- (A)  einem Kondensstreifen  
 (B)  Zigarettenrauch  
 (C)  Farbe aus einer Sprühdose

## 2. Was ist der Unterschied zwischen den meisten Detektionsverfahren vor 1960 und heutigen Methoden?



Damals wurden bei vielen Systemen die Messdaten optisch erfasst (zunächst mit dem Auge, bald danach durch Fotos). Heute werden die Informationen elektronisch aufgezeichnet und ausgewertet.

## 3. Welcher physikalische Prozess wird in der Nebelkammer genutzt, um Teilchen zu registrieren?



Ionisation

## 4. Welchen Anteil an der natürlichen und an der gesamten Strahlenbelastung macht die kosmische Strahlung durchschnittlich aus?

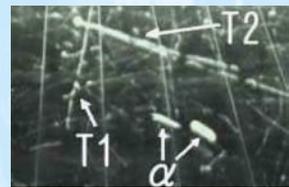
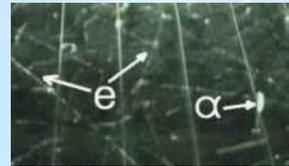
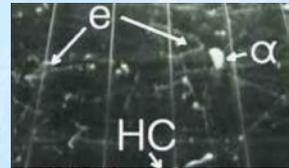


Ca. 1/7 der natürlichen bzw. 1/13 der gesamten Strahlenbelastung.

## 5. Was soll mit einem CsJ-Szintillationskristall in erster Linie bestimmt werden?



CsJ-Kristalle werden in Kalorimetern eingesetzt. Diese sollen die Energie von Teilchen messen.



# Fang mich, wenn Du kannst

Pixeldetektoren für Teilchen und Medizin...

Künstliche Intelligenz (KI) wird auch in der Teilchenphysik eingesetzt. So helfen künstlichen neuronale Netze bei der Entscheidung, ob die Daten einer Teilchenkollision Hinweise auf das Higgs-Teilchen enthalten oder nicht. Für solche Aufgaben der Mustererkennung sind künstliche neuronale Netze sehr gut geeignet. Diese KI muss dafür trainiert werden.



## 1. Was bedeutet der Begriff Künstliche Intelligenz?

Künstliche Intelligenz ist ein Teilgebiet der Informatik, in dem Programme erstellt werden, die kognitive Leistungen vollbringen.

## 2. Wie wird Künstliche Intelligenz in der Teilchenphysik unter anderem eingesetzt?

Zur Unterscheidung von Teilchenkollisionen unterschiedlichen Ursprungs.

## 3. Nenne einige Beispiele für die Anwendung Künstlicher Intelligenz außerhalb der Teilchenphysik.

Spracherkennung, Gesichtserkennung, Erkennung von Handschriften, Einkaufsempfehlungen, Schach.

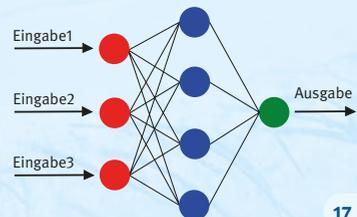


## 4. Wie trainiert man ein künstliches neuronales Netz?

Die Netzeigenschaften werden verändert bis der Trainingsfehler möglichst klein wird.

## 5. Welchen Ausgabewert liefert ein künstliches neuronales Netz, wenn man die Daten einer Higgs-ähnlichen Kollision ins Netz eingibt?

Im Idealfall eins oder ein Wert sehr nahe eins („100% sicher“).



# Strukturen am Himmel

## Neue Teleskope für die Gamma-Astronomie

Mit dem Cherenkov Telescope Array (CTA) werden kosmische Quellen energiereicher Gammastrahlung in unserer Milchstraße und in anderen Galaxien erforscht. Solche Quellen sind zum Beispiel Supernova-Explosionen, Schwarze Löcher, Pulsare, Doppelsternsysteme und Sternentstehungsgebiete, wo die Gesetze der Physik unter extremsten Bedingungen studiert werden können, wie man sie auf der Erde im Labor meist nicht künstlich erzeugen kann.



### 1. Wie entsteht Gammastrahlung?

In unserem Universum werden hochenergetische subatomare Teilchen produziert. Bei der Wechselwirkung dieser beschleunigten Teilchen mit ihrer Umgebung entsteht Gammastrahlung.

### 2. Was ist die Rolle der Atmosphäre bei Gammastrahlen-Teleskopen?

Treffen hochenergetische Gammastrahlen auf die Erdatmosphäre, entstehen Teilchenschauer. Diese erzeugen ein schwaches blaues Leuchten, das sogenannte Tscherenkow-Licht. Nur in dunklen Nächten können große Spiegelteleskope dieses schwache Licht messen.

### 3. Welche Ziele verfolgt man mit CTA?

Mit CTA sollen neue, detaillierte Informationen über die Anzahl und Art kosmischer Beschleuniger gewonnen werden. CTA wird mehr als 1000 neue Quellen entdecken und variable Phänomene besonders gut erfassen.

### 4. Wo und was sind die Quellen der hochenergetischen Gammastrahlung?

In unserer Milchstraße und in anderen Galaxien: Stoßwellen von explodierten Sternen, Magnetfeldern schnell rotierender Neutronensterne oder in sogenannten „Jets“ in der Umgebung supermassereicher Schwarzer Löcher.

### 5. Warum will man zwei Observatorien bauen und wo werden sie aufgebaut?

Um Nord- und Südhimmel zu überdecken, werden ca. 100 Teleskope auf der Südhalbkugel in der Atacama Wüste in Chile und im Norden auf La Palma aufgebaut.



# IceCube

Geisterteilchen kalt erwischt



IceCube ist eines der größten Teleskope der Welt. Es ist am geographischen Südpol aufgebaut und misst unaufhörlich kleinste Teilchen aus dem Weltall. Einige von ihnen, die Neutrinos, sind das Ziel der Forschenden: Mit ihnen wollen sie Quellen im fernen Universum auf die Spur kommen. Das IceCube-Modell am Stand ist zwar riesig, aber ein Zwerg im Vergleich zum wirklichen Detektor tief im ewigen Eis der Antarktis.

## 1. Wievielmals größer ist der echte IceCube Detektor am Südpol im Vergleich zu dem Modell der Ausstellung?



~ 500-mal größer

## 2. Wie tief im Eis sind die tiefsten Sensoren von IceCube verborgen?



2,5 km

## 3. Wie wurden die Sensoren so tief ins Eis gebracht?



- (A)  Mit großen Bohrern  
 (B)  Das Eis wurde darüber gestapelt  
 (C)  Sie wurden mit warmem Wasser eingeschmolzen

## 4. Wann ist es IceCube erstmals gelungen, astrophysikalische Neutrinos nachzuweisen?



2013

## 5. Was misst IceCube am häufigsten?



Teilchen aus der kosmischen Strahlung – keine Neutrinos.

## 6. Woher kommen die Neutrinos, die IceCube misst?



Die meisten aus der Atmosphäre, andere von irgendwo aus unserem Universum (woher genau, ist nicht bekannt, TXS ist eine wahrscheinliche Quelle von vielen).



# Das Netzwerk Teilchenwelt

Teilchen- und Astroteilchenphysik zum Anfassen

Im Netzwerk Teilchenwelt machen WissenschaftlerInnen aus 24 Forschungsinstituten in ganz Deutschland und CERN aktuelle Wissenschaft in der Astroteilchen- und Teilchenphysik zugänglich für Jugendliche und Lehrkräfte. Mit Originaldaten aus der Forschung am CERN und aus der Astroteilchenphysik können die Teilnehmenden die faszinierende Welt der kleinsten Teilchen und die damit verbundenen großen Forschungsfragen kennenlernen.



## 1. Wie kann man in der Schule aktuelle Forschung in der Teilchen- und Astroteilchenphysik erleben?



In den sogenannten Masterclasses der Netzwerk Teilchenwelt mit Daten des LHC und aus der Astroteilchenphysik. Außerdem kann man Experimente zur Messung der Kosmischen Strahlung kostenlos ausleihen.

## 2. Kann man mit Wasser einen Teilchendetektor bauen?



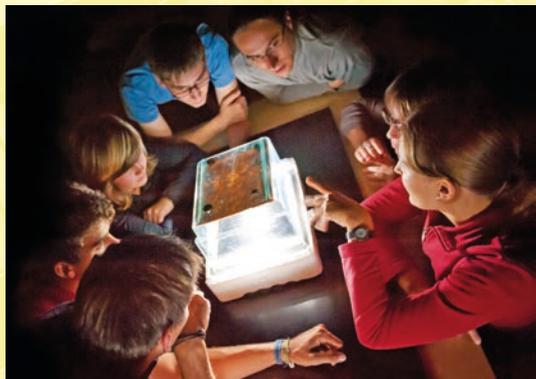
Die Kamiokanne besteht aus einer mit Wasser gefüllten Thermoskanne und aus einem Photomultiplier. Die geladenen Myonen erzeugen wegen des Tscherenkow-Effekts im Wasser einen Lichtblitz., den der Photomultiplier in ein elektrisches Signal umwandelt.

## 3. Wie können Schülerinnen und Schüler am CERN forschen?



Wer schon bei einer Masterclasses war, sich im Netzwerk engagiert und sich sehr für ein Forschungsthema der Teilchenphysik interessiert, kannst dich für die Projektwochen am CERN bewerben: Eine Woche im Herbst.

## 4. Welches Elementarteilchen passt zu mir? Probiere es am Stand aus!



# Wasserstoff: der Baustein des Universums

Satellitenschüssel als Radioteleskop



Das häufigste Element im Universum ist der Wasserstoff. Als das einfachste Atom besteht es nur aus einem Proton als Atomkern und einem Elektron in seiner Hülle. Doch obwohl der Wasserstoff so einfach ist, zeigt er sich sehr vielfältig, wenn man ihn elektrischen oder magnetischen Feldern aussetzt und das von ihm ausgesendete Licht ganz genau beobachtet – vom sichtbaren Licht bis hin zu den Radiowellen.

## 1. Was ist die Milchstraße? Erläutere etwas genauer.



Die Milchstraße ist die Galaxie, in der wir auf unserer Erde leben. Die Sonne ist ein Stern unter vielen Milliarden von weiteren Sternen. Alle Sterne bestehen aus Wasserstoff. Auch heute entstehen noch Sterne in der Milchstraße aus dem Wasserstoffgas zwischen den Sternen.



## 2. Bringe Modellwasserstoff mit Magneten zum „leuchten“!

## 3. Wie kann man herausfinden, ob sich eine Gaswolke auf die Erde zu- oder von ihr wegbewegt?



Ruhender Wasserstoff sendet Radiostrahlung mit einer genauen Frequenz bei 21-cm Wellenlänge aus. Bewegt sich die Wolke, dann verschiebt sich diese Frequenz durch den Dopplereffekt zu höheren Frequenzen (Annäherung) oder tieferen Frequenzen (Entfernung).



## 4. High-Speed in der Milchstraße: Suche die höchste Geschwindigkeit in der Milchstraße.

## 5. Was haben die Strahlung von Wasserstoff und ein UKW-Sender gemeinsam?



Beide strahlen im Radiobereich. Während klassisches UKW-Radio im Frequenzbereich von 88 bis 108 MHz stattfindet, liegt die Frequenz der 21-cm-Strahlung bei genau 1420,40575177 MHz.



# Vom Himmel hoch

## Das Pierre-Auger-Observatorium

Die höchstenergetischen Teilchen des Universums kommen aus dem Weltall auf unsere Erde. Sie sind Teil der kosmischen Strahlung. Wo sind ihre Quellen und wie werden sie auf diese extremen Energien beschleunigt? Diesem Jahrhundertproblem der Physik gehen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit riesigen Beobachtungsgeräten nach.



### 1. Wo befindet sich das weltweit größte Observatorium für Teilchenstrahlungen aus dem Universum?

In Argentinien.

### 2. Ist die Fläche des Saarlandes größer oder kleiner als die des Pierre-Auger-Observatoriums?

Das Saarland hat eine Fläche von 2570 km<sup>2</sup> und ist damit fast 500 km<sup>2</sup> kleiner als das Auger-Observatorium.

### 3. Was versucht man mit dem Pierre-Auger-Observatorium herauszufinden?

Wo die Quellen der höchstenergetischen Teilchen des Universums liegen und wie die Teilchen beschleunigt werden.

### 4. Wie werden die kosmischen Teilchen nachgewiesen?

Mit einem Netzwerk aus 1660 Teilchendetektoren und 27 Teleskopen.

### 5. Wurden schon Hinweise auf die Quellen im Universum gefunden?

Ja, man erkennt Strukturen am Himmel. Die aktive Galaxie Centaurus A könnte eine Quelle sein.



# Der Röntgenblick auf das Universum

Wo es wild und heiß zugeht



Röntgenstrahlen werden im Universum von Regionen ausgesendet, die sehr heiß sind oder in denen Teilchen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Da diese Röntgenstrahlen (glücklicherweise) von unserer Atmosphäre gestoppt werden, muss man in den Weltraum gehen, um diese interessanten Regionen zu untersuchen. Dazu wurden verschiedene Röntgensatelliten in den Erdorbit gebracht.

## 1. Was ist am Röntgenteleskop anders als bei einem optischen Teleskop?



- (A)  Das Licht wird durch Linsen abgelenkt
- (B)  Das Licht fällt streifend, also ganz flach, auf die Teleskopspiegel
- (C)  Gar nichts, es funktioniert genauso.

## 2. Wieso ist das Gas in Galaxienhaufen so heiß?



In Galaxienhaufen befindet sich viel Gas, außerdem sind sie sehr schwer. Daher treten hohe Geschwindigkeiten auf, durch die sich das Gas durch Reibung erhitzt.



## 3. Was kann man mit eROSITA über Dunkle Materie und Dunkle Energie lernen?



Man kann erkennen, wie viel Dunkle Materie sich in entfernten Galaxien befindet und erfährt etwas über ihre Eigenschaften.

## 4. Welche astronomischen Objekte strahlen im Röntgenlicht?



Fast alle, von Kometen über Planeten, Sterne, Neutronensterne, Schwarze Löcher, Galaxien und Galaxienhaufen.

## 5. An welchen Röntgenteleskopen ist Deutschland beteiligt?



XMM-Newton, eROSITA, Athena.

# Wie man Dunkle Materie sichtbar macht

## Gravitationslinseneffekt & Euclid

Wird Licht durch Schwerkraft abgelenkt? Ja, und wie! Mithilfe dieses sogenannten Gravitationslinseneffektes wird das Weltraumteleskop Euclid der Europäischen Weltraumorganisation ESA die Verteilung der Dunklen Materie untersuchen. Wie solche Beobachtungen aussehen können, lässt sich mit einer künstlichen Gravitationslinse simulieren.



### 1. Können Gravitationslinsen entfernte Objekte vergrößern?



Ja, je nach Position eines Objektes hinter einer Gravitationslinse kann das Bild dieses Objektes stark vergrößert – aber auch verzerrt – werden!

### 2. Wie viele Bilder eines Objektes sind durch eine starke Gravitationslinse zu sehen?



Das hängt von der genauen Position des Objektes und der Art der Gravitationslinse ab: einfach, zweifach oder vierfach, wobei die mehrfachen Bilder stark verzerrt sind.

### 3. Hat das Hubble-Weltraumteleskop schon den ganzen Himmel beobachtet?



Nein, dazu ist das Blickfeld von Hubble (Kantenlänge:  $\sim 0,05$  Grad) viel zu klein. Eine solche Durchmusterung mit angemessener Belichtungszeit würde Jahrhunderte dauern

### 4. Warum werden manche Teleskope im Weltraum betrieben?



Weil die Atmosphäre der Erde den klaren Blick stört und manche Arten von Licht sogar komplett absorbiert.

### 5. Wissen wir, ob es Dunkle Materie wirklich gibt?

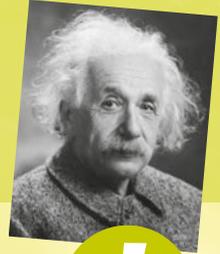


Dunkle Materie ist ein Modell, mit dem Astrophysikerinnen und -physiker diverse Beobachtungen erklären. Wir können nicht ausschließen, dass Dunkle Materie gar nicht existiert und stattdessen nur unser Verständnis der Physik, insbesondere der Schwerkraft, unvollständig ist.

# Neue Einblicke für die Astronomie

## Einsteins Gravitationswellen

Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie wird der Weltraum durch die in ihm enthaltenen Massen verformt. Beschleunigte Massen erzeugen Störungen in der Struktur des Raums, die sich wellenförmig ausbreiten: Gravitationswellen. Vor ziemlich genau 100 Jahren hatte Albert Einstein diese Gravitationswellen vorhergesagt. Mittlerweile sind sie tatsächlich gefunden worden, mit einem kilometergroßen Laserinterferometer in den USA.



**1. Die Arme der Ligo-Detektoren sind vier Kilometer lang. Ein Proton hat einen Ladungsradius von rund  $1 \cdot 10^{-15}$  m. Beim Durchgang der Gravitationswellen verlängerte sich der Abstand der Spiegel an den Enden der Detektoren um rund ein Tausendstel dieses Wertes. Um wie viel Prozent wurde der Raum dabei gedehnt/gestaucht?**



Rund  $10^{-19}$  Prozent

**2. Umgerechnet auf den Abstand zum nächstgelegenen Stern in rund 4 Lichtjahren Entfernung: Wie groß wäre dann die Längenänderung?**



Rund 10 Mikrometer

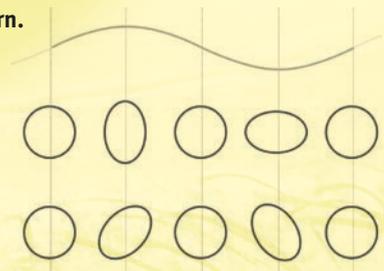
**3. Warum nimmt die Frequenz und die Stärke der Gravitationswellen zu, während zwei Schwarze Löcher verschmelzen?**



Die Kraft zwischen beiden Objekten nimmt zu, sodass auch die Krümmung des Raumes zunimmt – das erhöht die Stärke der Gravitationswellen. Gleichzeitig nimmt die Umlaufzeit ab – die Frequenz steigt.



**4. Höre die verschiedenen Beispiele von Gravitationswellen an. Vergleiche, wie sich Frequenz und Anstieg mit den unterschiedlichen Massen der Ausgangsobjekte verändern.**



# Mit Radiolicht den Geheimnissen des Universums auf der Spur

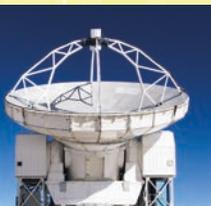
Die Radioastronomie liefert unvergleichbare Einblicke



Radiowellen sind ein Teil des elektromagnetischen Spektrums. Sie können sich fast unbeeinträchtigt durch das Universum ausbreiten. Obwohl sie eine relativ geringe Energie transportieren, können sie mit großen Radioteleskopen und empfindlichen Empfängern detektiert werden. Die registrierte Strahlung wird in elektrische Signale umgewandelt, und schließlich sichtbar gemacht.

## 1. Was unterscheidet Radiowellen von optischem Licht?

 Radiowellen sind wie das optische Licht elektromagnetische Wellen, allerdings bei niedrigeren Frequenzen bzw. langen Wellenlängen. Anders als optische Lichtwellen breiten diese sich weitestgehend ungestört aus und erreichen uns „vom Rande“ des bekannten Universums.



## 2. Wie funktioniert ein Radioteleskop?

 Ein Radioteleskop sammelt die Radiowellen (oder „Radio-Photonen“) in einer Sammelfläche und bündelt die Strahlen dann in einem Brennpunkt, wo ein Empfänger die Strahlung detektiert.

## 3. Was für Objekte beobachtet man?

 Z.B. die Strahlung von Elektronen, die sich im Magnetfeld der Milchstraße oder anderen Galaxien bewegen. Andere Objekte sind viel extremer, wie Pulsare oder Schwarze Löcher. Oder aber man sieht riesigen Fontänen aus Gas (Jets), die im Zentrum von gewaltigen Galaxien erzeugt werden.

## 4. Wie sieht man schwarze Löcher?

 Mehrere Teleskope weltweit werden zusammengeschaltet, um ein scharfes Bild zu erzeugen.

## 5. Warum haben Radioastronomen Probleme mit Handys, Mikrowellen, Radar etc.?

 Diese Geräte senden Radiosignale aus und stören die Beobachtungen der Astronomen. Signale solcher menschgemachter Quellen sind in der Regel viel stärker als die der astronomischen Quellen. Ein Handy auf dem Mond wäre die drittstärkste Radioquellen am Himmel.

# Wo Licht ist, ist auch Schatten

Dunkle Materie und Galaxienbildung am Computer simuliert

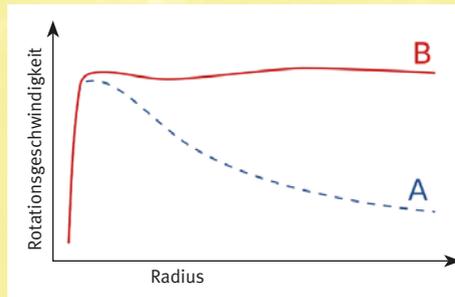
Wir können sie nicht sehen, aber sie ist überall im Weltall um uns herum: Dunkle Materie. Sie spannt sich als „kosmisches Netz“ durch das gesamte Universum, und ihre Anziehungskraft hält ganze Galaxien zusammen – doch woher wissen wir das alles, wenn sie doch unsichtbar ist?



## 1. Erläutere, warum Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich sicher sind, dass es Dunkle Materie in Galaxien geben muss.

Man hat beobachtet, dass Galaxien insb. im Außenbereich schneller rotieren als sie es laut Theorie (Kepler-Gesetz) eigentlich sollten, wenn es nur sichtbare Materie gibt. Dementsprechend muss dort noch mehr Masse sein, die „Dunkle Materie“.

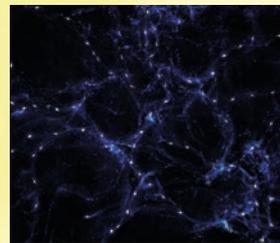
## 2. Skizziere die Funktion $v(r)$ (also die Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Radius) für eine Galaxie mit und für eine ohne Dunkle Materie.



Mit DM: B  
Ohne DM: A

## 3. Nenne und erläutere kurz die Bestandteile des kosmischen Netzes.

Es gibt ein „unsichtbares“ Netz aus Dunkler Materie, darüber ein „sichtbares“, schwächeres aus leuchtender Materie. Insb. bilden sich Knotenpunkte, wo es viele Galaxien gibt, diese sind verbunden durch Filamente aus Dunkler Materie und ein paar wenige Galaxien.



## 4. Beschreibe, wie das kosmische Netz im Laufe der Zeit zustande kommt.

Zu Anfang war alle Materie (Dunkel, sichtbar) im Universum relativ homogen verteilt. Dann begann sich durch die Gravitation insb. die Dunkle Materie mancherorts stärker zusammenzuziehen und große „Klumpen“ zu bilden (erste Dunkle-Materie-Halos). In diesen Halos bilden sich dann sichtbare Galaxien. Auch die Filamente verdichten sich erst nach und nach und „füttern“ die Halos weiter mit Materie.

## 5. Probiere aus, welche astrophysikalischen Parameter man wie einstellen muss, wenn man eine stabile Galaxie „bauen“ möchte.

# SOFIA – Das Infrarotteleskop in der Luft

## IR-Astronomie

Infrarotstrahlung ermöglicht einen völlig neuen Blick auf unsere Welt. Unsichtbares wird sichtbar. Der Infrarotblick an den Himmel zeigt sogar, wie Sterne entstehen. Dafür müssen wir aber höher hinaus als der Wasserdampf der Erdatmosphäre.



### 1. Wie können wir Menschen die unsichtbare Infrarotstrahlung wahrnehmen?



Gefühlt als Wärme, Detektion über die Haut.

### 2. Welche Objekte geben Infrarotstrahlung ab?



Alles was warm ist: Menschen, Tee, Computer, interstellares Gas usw.



### 3. Welches Material ist

- a) für sichtbares Licht undurchlässig und für Infrarotstrahlung durchlässig, und  
b) bei welchem Material ist es umgekehrt?



- a) z.B. Plastikfolie (Mülltüte)  
b) z.B. Wasser, Erdatmosphäre

### 4. Warum muss man mehr als 10 km hoch fliegen, um Infrarotstrahlung interstellarer Wolken zu beobachten?



Das Wasser in den unteren 10 km lässt die Infrarotstrahlung aus dem Weltall nicht durch.

### 5. In welche Richtung muss SOFIA fliegen, um interstellares Gas in der Nähe des Polarsterns zu beobachten?



Da der Polarstern immer im Norden steht, muss SOFIA nach Osten fliegen, um das Gas zu beobachten (Flugzeugmodell).



# Ich sehe was, was Du nicht siehst

## IR-Strahlung sichtbar machen

Das elektromagnetische Spektrum, zu dem auch Licht gehört, geht vom langwelligen Radiobereich bis hin zu den kurzwelligen Röntgenstrahlen und darüber hinaus. Die Radiowellen, mit denen man UKW-Sender hören kann, liegen bei 3 Metern Wellenlänge, das Mobiltelefon nutzt Zentimeterwellen. Auch in der Nähe des mit dem Auge sichtbaren Lichts gibt es längere und kürzere Wellenlängen – die längeren sind das Infrarotlicht, die kürzeren das Ultraviolett, das man mit Sonnencremes vom Körper fernhält. Jeder Körper gibt elektromagnetische Strahlung ab – sichtbar und unsichtbar. Je wärmer er ist, desto kürzer sind die meisten abgegebenen Lichtwellen. Es gilt näherungsweise: Die maximale Wellenlänge beträgt 3 Millimeter geteilt durch die Temperatur in Kelvin (genauer:  $2,8978 \text{ mm}$ ).



**1. Mit welchem Wellenlängenmaximum strahlt der menschliche Körper bei  $37^\circ \text{C}$ ?**



9,35  $\mu\text{m}$

**2. Die Sonne hat ihr Strahlungsmaximum bei 500 Nanometern. Welche Temperatur hat ihre leuchtende Oberfläche?**



ca. 5800 K



**3. Betrachte dein Bild in der Thermokamera. Wo bist du am wärmsten, wo am kältesten?**

**4. Wodurch kannst du die Temperatur eines Objektes erhöhen?**



Durch Reibung (z.B. auf dem Bauch) oder Wärmetransport, etwa wenn eine Münze fest in die geschlossene Faust genommen und danach wieder betrachtet wird.



**5. Experimentiere mit verschiedenen Gegenständen. Ist das Smartphone an bestimmten Stellen besonders warm? Wie lange sieht man Handabdrücke auf dem T-Shirt? Was ist mit Brillengläsern los?**



# Aus klein mach groß

Mit Radiointerferometrie in ferne Galaxien zoomen

Durch den geschickten Zusammenschluss mehrerer kleiner Teleskope kann in der Radioastronomie ein Detailreichtum (genauer: Auflösungsvermögen) erreicht werden, der dem eines viel größeren Teleskops entspricht. Mit dem Superteleskop Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA) werden seit 2013 spektakuläre astronomische Erkenntnisse erzielt.



## 1. Worin unterscheidet sich Radiostrahlung vom sichtbaren Licht?



Die Wellenlänge ist bis zu 100.000x größer.

## 2. Wie groß sind die größten frei beweglichen Teleskope der Welt?



Durchmesser 100m (100-m Teleskop bei Effelsberg in der Eifel, etwas größer noch das Green Bank Telescope, USA).

## 3. Wo wurde ALMA errichtet?



Auf einer Hochebene im Norden Chiles.

## 4. Warum hat das Bild der Staubscheibe um HL Tauri die Astronomen sehr überrascht?



HL Tauri galt als zu jung, um bereits Planeten zu bilden.

## 5. Welches Objekt verbirgt sich hinter dem Fragezeichen?



Eine Gruppe von vier Punktquellen.



# Das Neutron – unendliche Möglichkeiten

Mit Neutronen Unbekanntes entdecken und Rätsel lösen

An der Forschungs-Neutronenquelle in Garching bei München können Forschende mit den ungeladenen Kernbestandteilen, den Neutronen, vielfältige Experimente durchführen. Sie können damit in das Innere von Materialien blicken und die Funktion von technischen Geräten im Betrieb beobachten. Auch im Bereich der Medizin oder der Erforschung archäologischer Funde sind Neutronen sehr nützliche Helfer.



## 1. Was ist dein Lieblingselement? Und wie viele Neutronen besitzt es?

Am Stand können die Besucher anhand des Periodensystems ein Element auswählen, dessen Struktur sie mit Magneten nachbauen können.



## 2. Sind Bananen radioaktiv? Ist das gefährlich?

Schwache Radioaktivität kommt in der Natur an vielen Stellen vor. Deshalb sind wir ständig einer natürlichen Strahlung ausgesetzt, die sich auch in Lebensmitteln nachweisen lässt. Ein Beispiel: Bananen(chips), Bananenäquivalenzdosis = 0,1 Mikrosievert. Diese niedrige Strahlungsintensität ist nicht gefährlich – anders ist das jedoch bei höheren Intensitäten.



## 3. Was lässt sich mit TRISP untersuchen?

- (A)  Material unter hohem Druck oder extremer (hoher/niedriger) Temperatur
- (B)  der Aufbau von Lego-Modellen, ohne sie auseinanderzunehmen
- (C)  Der Blutfluss eines lebendigen Menschen



## 4. Wie viele Neutronen entstehen an der Forschungs-Neutronenquelle pro Kernspaltung?

Pro Kernspaltung entstehen an der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz zwei oder drei schnelle Neutronen.



## 5. Für welche Forschungsgebiete lassen sich Neutronen nutzen? Nenne ein Beispiel.

Neutronen werden in vielen verschiedenen Forschungsgebieten verwendet: Gesundheit, Umwelt, Kultur, Technik, Energie und Astronomie.

# Dahinter steckt immer ein kluger Kopf

Experimente zum Staunen und Mitmachen

Faszinierende physikalische Experimente vom High-Tech Experiment bis zum Alltagsphänomen lassen Ihre Haare zu Berge stehen und bringen Sie zum Staunen. Probieren Sie aus, wie die Physik überraschende Dinge ermöglicht.



## 1. Wie kommt es, dass die Haare zu Berge stehen, wenn man elektrisch aufgeladen wird?



An den Haaren befinden sich gleichartige Ladungen, die sich (und damit die Haare) gegenseitig abstoßen.

## 2. Wie kann man eine Leuchtstoffröhre zum Leuchten anregen, ohne dass sie an ein Stromkabel angeschlossen wird?



Mit hochfrequenter Radiostrahlung.



# $h$ – wie hilfreich

## Quantenphysik und das Plancksche Wirkungsquantum

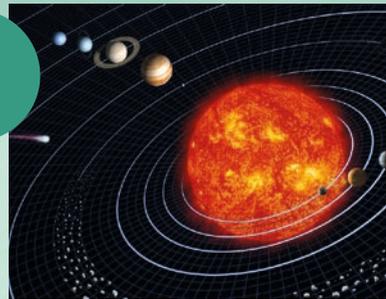
Die Grundidee der Quantenmechanik: Energie wird nicht kontinuierlich, sondern in kleinen Paketen, den Quanten, zwischen Objekten ausgetauscht. Von dieser Annahme ausgehend wurde in den 1920er Jahren die heute gebräuchliche moderne Quantenmechanik entwickelt, deren Vorhersagen und Beschreibungen die Welt der Atome und Moleküle erklär- und beherrschbar machten. Nach verschiedenen Schätzungen geht 60% der globalen Wertschöpfung heute auf Produkte zurück, deren Existenz erst durch die Quantenmechanik ermöglicht wurde, etwa die auf Transistoren basierende Computertechnik oder die Lasertechnologie.

### 1. Was sind Quanten?

Quanten sind kleine Energieportionen, die zwischen physikalischen Objekten ausgetauscht werden können.

### 2. Was haben Atome mit Planetensystemen gemeinsam?

Im (heute überholten) Bohrschen Atommodell wurden die Bahnen der Elektronen mit denen der Planeten um die Sonne verglichen.



### 3. Welcher quantenphysikalische Effekt wirkt in Lichtsensoren in Digitalkameras?

Der Photoeffekt, bei dem Licht Energie an Elektronen abgibt.



### 4. Für welche Objekte gilt der „Welle-Teilchen-Dualismus“?

- (A)  Lichtteilchen (Photonen)    (B)  Elektronen  
 (C)  Atomkerne    (D)  Für alle

Allerdings wird der Wellencharakter immer undeutlicher, je größer die Objekte werden.

### 5. Welche Vorhersage macht die Quantenmechanik über das Verhalten eines einzelnen Atoms?

Die Quantenmechanik kann nur statistische Aussagen machen, also etwa, in welcher Zeit wie viele Elektronen in einer großen Ansammlung von Atomen ihre Energie abgibt. Für ein einzelnes Atom ist so eine Vorhersage nicht möglich.

# Quanten im Experiment

## Photoeffekt und Franck-Hertz-Versuch

Die Quantenphysik wirft immer noch viele Rätsel auf. Doch wieso gehen wir überhaupt davon aus, dass die Welt in Energiepakete aufgeteilt („quantisiert“) ist? Eine ganze Reihe (heute historischer) Experimente haben maßgeblich zur Entwicklung der Quantentheorie beigetragen.



### 1. Welches chemische Element wird im Franck-Hertz Experiment benutzt?



Neon

### 2. Welche Farben sieht man im Wasserstoffspektrum?



Rot, Blau und Violett.



### 3. Wer entwickelte die erste Quantentheorie des Atoms?



Bohr und Sommerfeld.

### 4. Was ist ein „Quantensprung“?



Der Übergang eines Elektrons von einer Bohrschen Elektronenbahn zur nächsten.

### 5. Welches Experiment zeigt, dass Teilchen auch Wellencharakter haben?



Das Davisson-Germer Experiment: Elektronen werden an einem Gitter gebeugt und erzeugen Interferenzmuster.

### 6. Wie bestimmt man die Austrittsarbeit eines Metalls?



Mit dem Photoeffekt, da die kinetische Energie der Elektronen über  $E_{\text{kin}} = h f - W_A$  gegeben ist.

# Das Photon und seine zwei Gesichter

## Dualismus von Welle und Teilchen

Das Licht verhält sich mal wie eine Wellenbewegung, mal wie eine Teilchenströmung, sogar wie beides zugleich – das widerspricht aber nur scheinbar dem gesunden Menschenverstand. Dass Licht sich sowohl wie ein Teilchen als auch wie eine Welle verhält wird am Beispiel des Doppelspaltexperiments demonstriert.



### 1. Welche Farbe hat der Laser beim Doppelspaltversuch?

Rot

### 2. Skizziere das Beugungsbild des Doppelspalts.



### 3. Was versteht man unter dem Welle-Teilchen Dualismus?

Dass sich ein Objekt mal wie eine Welle und mal wie ein Teilchen verhält, je nachdem, wie und welche Eigenschaften des Objekts man mit einem Messprozess untersucht.

### 4. Woran erkennt man die Teilchennatur des Lichts bei der photonenzählenden Kamera?

Bei der photonenzählenden Kamera erhält man einzelne Klicks auf dem Bildschirm, die zufällig verteilt sind.

### 5. Wer hat den Namen Photon erfunden?

Gilbert N. Lewis

### 6. Woran erkennt man im Doppelspaltversuch die Wellennatur des Lichts?

Am Doppelspalt ergibt sich ein Interferenzmuster.

# Alles so schön bunt hier

## Grundlagen der Spektroskopie mit Gitter, Prismen, Linsen

Die Wechselwirkung von Licht mit Materie ist die zentrale Methode, um weitgehend zerstörungsfrei Material zu analysieren, Spurengase in extrem geringer Konzentration zu identifizieren oder Informationen über weit entfernte Objekte zu erhalten. Die Grundlagen wurden bereits im 19. Jahrhundert gelegt als Gustav Kirchhoff und Robert Bunsen durch die Zerlegung von Licht in seine Farbanteile zuerst die chemische Zusammensetzung bengalischer Feuer entschlüsselten und anschließend – mit demselben Verfahren – herausfanden, woraus Sterne bestehen.



### 1. Wie entsteht ein Regenbogen?

Das Sonnenlicht wird in Regentropfen mehrfach reflektiert. Der Winkel, unter dem es wieder austritt, ist von der Wellenlänge abhängig.

### 2. Woher wissen wir, woraus Sterne bestehen?

Das Licht der Sterne wird spektroskopisch analysiert. Unterschiedliche chemische Elemente tragen zur Aussendung bzw. zur Absorption von Licht bei unterschiedlichen Farben/Wellenlängen bei.

### 3. Warum zerlegt ein Glasprisma weißes Licht in seine Farben?

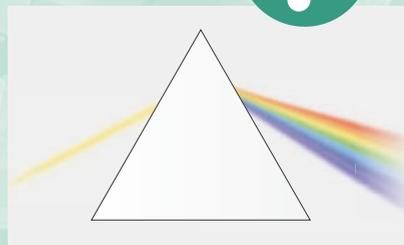
Unterschiedliche Farben (blau, grün, gelb, rot) werden beim Eintritt in das Glas und beim Austritt unterschiedlich stark gebrochen, da die Lichtwellen sich in Glas je nach Wellenlänge unterschiedlich schnell ausbreiten. Sie pflanzen sich daher unter unterschiedlichen Winkeln fort.

### 4. Was ist ein Laser?

Ein Laser sendet Licht bei einer scharf bestimmten Wellenlänge/Farbe und in einem sehr gut gerichteten Strahl aus.

### 5. Warum ist ein Laser ein nützliches Werkzeug zur Untersuchung von Atomen und Materialien?

Durch Veränderung der Wellenlänge kann sehr präzise vermessen werden, bei welchen Wellenlängen Atome angeregt werden können, dadurch kann die Struktur der Atome verstanden werden.



# Rechenkunst mit Quantentricks

## Quantencomputing mit gespeicherten Ionen

Quanteninformation – dies ist der Informationsgehalt, analog zu klassischen Bits und Bytes, der beispielsweise in dem quantenmechanischen Zustand einzelner Atome gespeichert werden kann. Wie können wir diese Information zugänglich machen: Einen Startwert setzen (initialisieren), verändern (manipulieren) und auslesen? Einzelne Ionen, von elektromagnetischen Feldern festgehalten, lasergekühlt und hervorragend von äußeren Einflüssen abgeschirmt, stellen dafür eine exzellente Plattform dar. Das Prinzip lässt sich mit Ionenkristallen aus geladenen Bärlappsporen zeigen, die in einer Ionenfalle schweben.

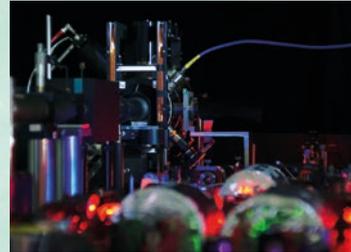


### 1. Was ist der Unterschied zwischen klassischen Bits und Quantenbits?

Im Gegensatz zum klassischen Bit (0 oder 1) kann ein Quantenbit sich in einer Überlagerung der beiden Zustände befinden.

### 2. Was macht den Quantencomputer so leistungsstark?

Wenn sich ein Quantenbit in zwei Zuständen gleichzeitig befinden kann, können sich zwei Qubits gleichzeitig in vier Zuständen, zehn Qubits in 1024 Zuständen und 1000 Qubits in ungefähr  $10$  hoch  $301$  Zuständen befinden. Bei einer Berechnung kann der Quantenspeicher alle diese Zustände GLEICHZEITIG durchlaufen und so quasi mehrere Berechnungen gleichzeitig durchführen.



### 3. Warum sind Spins gespeicherter Ionen gute Quantenbits?

Ionen lassen sich mithilfe elektromagnetischer Felder speichern und mit Lasern kühlen und bilden dabei Ionenkristalle. Sie können so hervorragend von der Umgebung isoliert werden und ganz gezielt mit Lasern oder Mikrowellen manipuliert werden.

### 4. Warum ist es schwierig, einen Quantencomputer zu bauen?

Ein leistungsfähiger Quantencomputer braucht viele Quantenbits. Die Herausforderung ist dabei, die einzelnen Qubits kontrollieren zu können und andererseits unseren Quantenspeicher von der Umgebung abzuschirmen.

### 5. Wie lässt sich mit Ionen ein großer Quantencomputer bauen?

Eine Strategie ist, viele kleine Ionenkristalle separat zu kontrollieren und Informationen zwischen diesen einzelnen Registern auszutauschen. Die Übertragung von Informationen kann beispielsweise ganz einfach durch das Verschieben einzelner Ionen geschehen.

# ML4Q: „Matter & Light for Quantum Computing“

Quanteninformationssysteme

Mit Quantencomputern lassen sich Probleme lösen, an denen klassische Computer scheitern. Doch trotz der rasanten Entwicklung in der Technologie gibt es immer noch einiges zu tun. Der Cluster ML4Q verfolgt verschiedene Ansätze, um einen Quantencomputers zu implementieren.



## 1. Was ist der Vorteil eines Qubits gegenüber einem klassischen Bit?



Das Qubit kann verschiedene Zustände gleichzeitig speichern.

## 2. Mit welchem Aufbau kann man ein geladenes Teilchen fangen?



Mit einer Paulfalle.

## 3. Welches Zeichen wird durch die Binär-Kombination 0x01100001 im ASCII-Code codiert?



Der Buchstabe „a“.

## 4. Welchen Durchmesser hat der lichtleitende Teil einer optischen Faser?

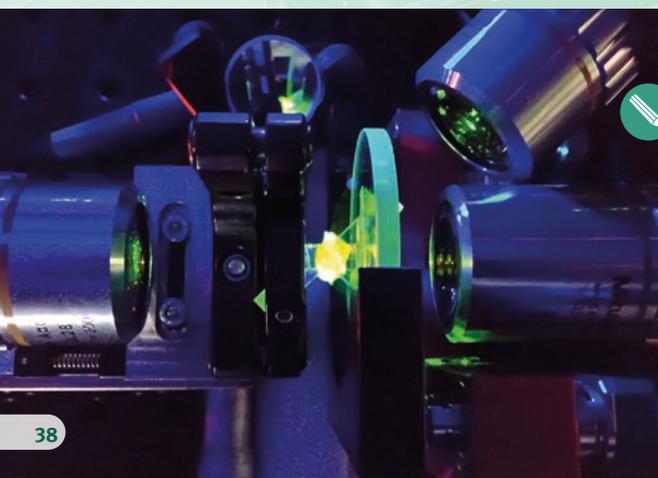


Einige Millionstel Millimeter.

## 5. Wie viele Zeichen können mit 16 Qubits gleichzeitig codiert werden?



65536



# Mit dem Quant durch die Wand

## Der Tunneleffekt und Tunnelmikroskopie

Quantentheorie und Tunneleffekt sind die Grundlagen, die uns seit fast 40 Jahren erlauben, Atome zu sehen. Inzwischen ist die Tunnelmikroskopie einen Schritt weiter: Wir können einzelne Atome und Moleküle sogar anfassen und mit ihnen bauen: ein molekulares Lego.



### 1. Wie groß ist ein Atom?

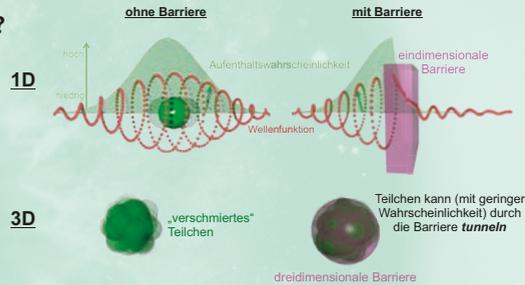


3–4 Angstrom, das sind 0,3–0,4 Nanometer im Durchmesser.

### 2. Warum heißt der Tunneleffekt Tunneleffekt? (Wonach ist der Tunneleffekt benannt?)



Weil sich Teilchen durch einen verbotenen Bereich bewegen können, als gäbe es dort einen Tunnel.



### 3. Wo wurde das Tunnelmikroskop erfunden?



Bei IBM in der Schweiz (Zürich).

### 4. Welches Elementarteilchen tunnelt im Tunnelmikroskop?



Das Elektron.

### 5. Nenne eine Anwendung des Tunneleffekts.



USB-Stick, Rastertunnelmikroskop

### 6. Bei welcher Temperatur kann man mit Molekülen sowie mit LEGO-Steinen größere Strukturen aufbauen?



Bei der Temperatur von flüssigem Helium, 5 Kelvin ( $-268\text{ °C}$ ).

# Röntgenaugen für Strukturen

Experimente mit Synchrotronstrahlung an PETRA III

Teilchenbeschleuniger wie PETRA III am Hamburger Forschungszentrum DESY sind die hellsten Röntgenquellen der Welt. Forscherinnen und Forscher untersuchen mit diesem Supermikroskop die Nanowelt mit atomarer Auflösung. Die Erkenntnisse von PETRA III haben Anwendungen in der Physik, Materialwissenschaft, Chemie, Life Sciences und mehr. Sie helfen beispielsweise dabei, neue Materialien zu entwickeln oder die Entstehung von Krankheiten zu verstehen, um neue Medikamente zu entwickeln.



## 1. Wie häufig umrunden die Elektronen PETRA III?



Etwas 130.000 Mal pro Sekunde.

## 2. Wieviele Gastforscherinnen und -forscher besuchen DESY jedes Jahr, um an PETRA III zu forschen?

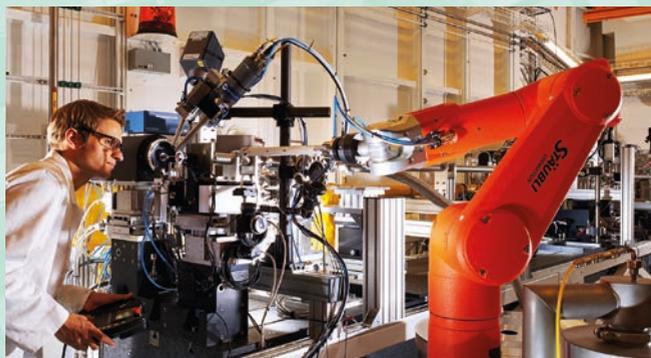
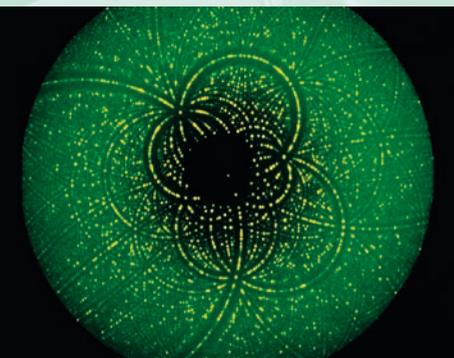


Rund 3000

## 3. Woraus bestehen die Undulatoren, mit denen das hochintensive Röntgenlicht an PETRA III erzeugt wird?



Aus einer Reihe abwechselnd gepolter, sehr starker Magnete.



# Tanz der Moleküle

## Die europäische Röntgenlaseranlage European XFEL

Der European XFEL ist eine einzigartige Forschungsanlage in der Metropolregion Hamburg. Seit Herbst 2017 arbeiten Forscherinnen und Forscher hier aus der ganzen Welt mit extrem intensiven Röntgenlaserblitzen, um Einblicke in den Nanokosmos zu gewinnen.

**Extreme Werte – sammle folgende Eckdaten des European XFEL:**

### 1. Temperatur der Beschleunigerelemente:

-271 °C

### 2. Länge der Beschleunigerstrecke:

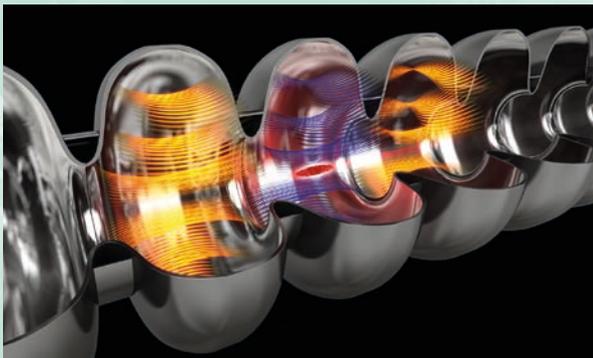
1,7 km

### 3. Energie der Elektronen:

10,5 GeV

### 4. Baukosten:

1,25 Milliarden € mit Preisbasis 2005



# Elektronen: Teilchen oder Wellen?

## Rasterelektronenmikroskopie



Rasterelektronenmikroskope sind aus der Forschung nicht mehr wegzudenken, sodass viele Labore sich solche Geräte anschaffen. Dazu müssen sie heute nicht mehr selbst gebaut werden, sondern können gekauft werden. Ein wichtiger Parameter für Rasterelektronenmikroskope ist die Beschleunigungsspannung, die den Tunneleffekt auslöst. 15.000 Volt sind hier durchaus normale Werte – Hochspannung!

### 1. Wofür steht in der Mikroskopie die Abkürzung REM?



Rasterelektronenmikroskop

### 2. Wie hoch ist die maximale Beschleunigungsspannung für die Elektronen im Hitachi TM4000?



15 kV

### 3. Wie hoch ist die minimale Beschleunigungsspannung für die Elektronen im Hitachi TM4000?



5 kV

### 4. Bezogen auf die Monitorgröße, wie hoch ist die maximale Vergrößerung?

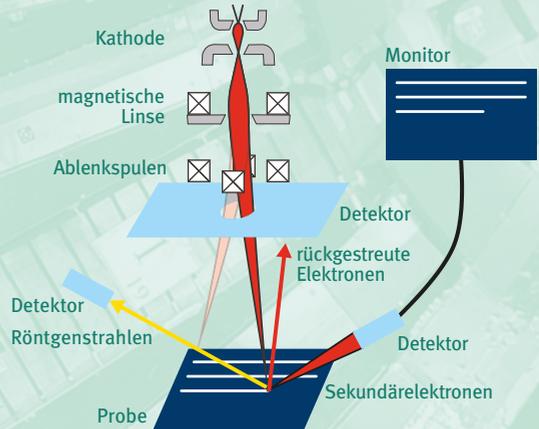


250.000-fach

### 5. Welche Signal-Detektoren sind am TM4000 verfügbar?



Sekundärelektronen- Detektor  
Rückstreuелеktronen-Detektor



# Atome sichtbar gemacht

## Transmissionselektronenmikroskopie



Wie funktioniert ein Transmissionselektronenmikroskop (TEM) und welche vielfältigen physikalischen Fragestellungen kann man damit heute realisieren? Erfahren Sie mehr darüber am Modell eines Elektronenmikroskops und mithilfe von Experimenten, bei denen Elektronenstrahlen abgelenkt und sichtbar gemacht werden.

### 1. Warum benutzt man Elektronen zur Abbildung im TEM?

 Die Wellenlängen von Elektronen sind sehr klein – diese bestimmt die mögliche Auflösung: je kleiner die Wellenlänge, desto schärfer wird das Bild.

### 2. Durch welche Kraft werden Elektronen beschleunigt?

 Durch elektrische Anstoßung bzw. Abstoßung in elektrischen Feldern.

### 3. Durch welche Kraft werden Elektronen abgelenkt?

 Durch die magnetische Kraft.

### 4. Was bedeutet Interferenz?

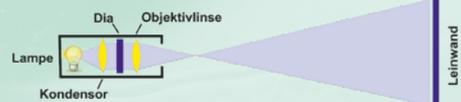
 Wechselwirkung von Wellen.

### 5. Welche mikroskopische Information erhält man durch die TEM?

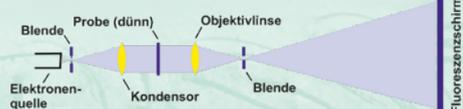
 Mithilfe von TEM- Untersuchungen erhält man Kenntnis über den atomaren Aufbau von Festkörpern: Anordnung und Position von Atomen sowie deren Abstände. Von Nanostrukturen: Form und Geometrie sowie innere Struktur von z. B. Halbleiter-Bauelementen, Nanopartikeln und Viren.

## Prinzip der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)

### Diaprojektor



### Transmissionselektronenmikroskop



# Mit Hochspannung den Untergrund durchleuchten

Geoelektrische Tomographie in der Umweltforschung



Die geoelektrische Tomographie nutzt künstlich erzeugte elektrische Stromsysteme, um Strukturen und Prozesse im Untergrund sichtbar zu machen. Misst man die resultierenden elektrischen Potentialfelder an der Erdoberfläche, dann kann man die elektrische Leitfähigkeit im Untergrund berechnen und in 2D- oder 3D-Bildern sichtbar machen. Geophysikerinnen und -physiker nutzen die Methode beispielsweise zum Auffinden von Grundwasser, zur Überwachung von Salzwasserintrusion an der Küste oder zur Erfassung von Veränderungen im Permafrost.

## 1. Welche physikalische Größe wird bei der geoelektrischen Tomographie gemessen?



Elektrische Spannung bzw. elektrische Potentialdifferenz.

## 2. Bilder welcher physikalischen Eigenschaft werden bei der geoelektrischen Tomographie berechnet?



Bilder der elektrischen Leitfähigkeit bzw. des spezifischen elektrischen Widerstandes.

## 3. Was bestimmt die elektrische Leitfähigkeit eines Gesteins?



Die vorhandenen Minerale, Menge und Ionengehalt des Porenwassers.

## 4. Warum ist die elektrische Leitfähigkeit von Meerwasser höher als die von Grundwasser?

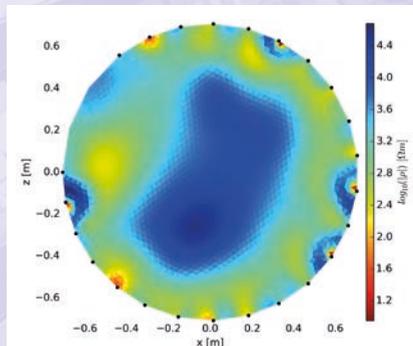


Da Meerwasser einen höheren Salzgehalt aufweist besitzt es mehr elektrische Ladungsträger für den elektrischen Stromfluss.

## 5. Nenne drei Anwendungen der geoelektrischen Tomographie im Bereich der Umweltforschung.



Auffinden von Grundwasser, Erfassen von Salzwasserintrusion in Küstenregionen, Erfassen des Permafrost-Rückgangs im Hochgebirge, Erfassen der Stoffflüsse in Wurzelsystemen/Bäumen.



# ...sieht nach Regen aus

## Fernerkundung mit dem Niederschlagsradar

Das Niederschlagsradar an der Universität Bonn und ein baugleiches Radar des Forschungszentrums Jülich messen kontinuierlich und tasten dabei in drei Dimensionen die Atmosphäre in einem Umkreis von 100 km ab. Über die fallenden Tropfen und Eisteilchen als Rückstreuelemente wird das atmosphärische Niederschlagsfeld dreidimensional in seiner zeitlichen Entwicklung sichtbar. Im Zusammenspiel mit einem Wettervorhersagemodell kann so die Vorhersage von Niederschlag verbessert werden.



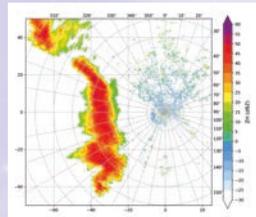
### 1. Mit welchem Messgerät erfassen Meteorologinnen und Meteorologen flächendeckend und in kurzen Zeitabständen den Niederschlag über Deutschland/Europa/Nordamerika?

- (A)  Regensammler    (B)  Satelliten    (C)  Radar

Mit dem Niederschlagsradar, Verbundmessnetz des Deutschen Wetterdienstes.

### 2. Welche heftigen Wetterereignisse finden vorwiegend im Sommer statt und können mit einem Niederschlagsradar verfolgt werden?

Gewitter, das sind Niederschlagsereignisse durch intensive Vertikalbewegung in der Atmosphäre, die durch einen positiven, Archimedischen Auftrieb von erhitzter Luft entsteht.



### 3. Welche Gefahren gehen typischerweise von Gewittern im Sommer aus?

- (A)  Starkregen    (B)  Blitzschläge  
(C)  Hagel    (D)  Starkwind/Tornado

Alle vier Phänomene treten bei sommerlichen Gewittern auch in Deutschland auf, Starkregen und Hagel können mithilfe des Niederschlagsradars erfasst direkt werden, Starkwind und Tornados durch spezielle Muster in den Radarbildern.

### 4. Hochreichende Gewitter werden durch starke, vertikale Windbewegung („Aufwinde“) erzeugt. Diese können zwischen 10 und 30 m/s schnell sein. Wie lange braucht ein Luftpaket vom Boden bis zum Erreichen der Tropopause in etwa 11 km Höhe?

Mit 10 m/sec:  $11000 / 10 = 1100 \text{ sec} \sim 18 \text{ min}$   
Mit 30 m/sec:  $11000 / 30 \sim 360 \text{ sec} \sim 6 \text{ min}$

### 5. Für was sind die modernen, polarimetrischen Regenradare nützlich, außer zur genaueren Niederschlagserfassung?

Man kann zwischen versch. Niederschlagstypen unterscheiden (Schnee, Regen, Hagel, etc), Vogelzugbahnen verfolgen und Prozesse der Niederschlagsbildung erkennen (Aggregation, Bereifung, Koaleszenz, etc.).

# Mit Seh- und Tastsinn die Zellen unseres Körpers erkunden

Fluoreszenzmikroskopie und Kraftmikroskopie



In der biochemischen Forschung spielen die Funktionen einzelner Zellbestandteile eine wichtige Rolle – auch für die Entwicklung von Medikamenten. Die kleinen Strukturen und die dort ablaufenden Prozesse machen Forscherinnen und Forscher sowohl mit der Fluoreszenzmikroskopie als auch mit der Rasterkraftmikroskopie sichtbar.

## 1. Woraus sind die Zellen unseres Körpers aufgebaut?



Sie bestehen aus Lipiden die zu einer Doppelschicht angeordnet sind. In die Doppelschicht sind verschiedene Proteine eingebettet. Innerhalb dieser Barriere befinden sich verschiedene Organellen.

## 2. Welches Licht ist energiereicher? Rotes oder blaues?



Blaues Licht ist energiereicher.

## 3. Ist das Fluoreszenzlicht energiereicher oder energieärmer als das anregende Licht?



Es ist energieärmer. Durch die Anregung eines Elektrons, z. B. mittels energiereichem UV-Licht, wird das Elektron von einem niedrigen Energieniveau in ein höheres Energieniveau gehoben. Beim Rückfall gibt es einen Teil der Energie strahlungslos, z. B. in Form von Schwingungen ab. Entsprechend ist die Energie des emittierten Lichts geringer.

## 4. Nach welchem Grundprinzip funktioniert ein Rasterkraftmikroskop?

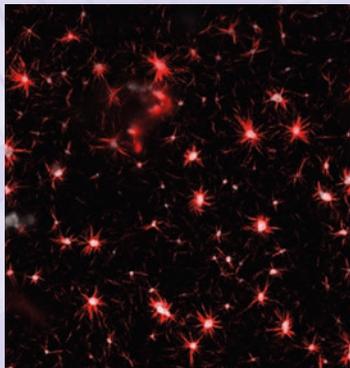


Bei der Rasterkraftmikroskopie wird die Oberfläche eines Materials mit einer winzigen Nadel abgetastet und es werden Höhenunterschiede aufgezeichnet.

## 5. Was unterscheidet die Fluoreszenzmikroskopie von der normalen Mikroskopie?



Bei der normalen Mikroskopie wird eine mit weißem Licht bestrahlte Probe vergrößert dargestellt. Die Auflösungsgrenze liegt dabei bei ca. 250 nm. Bei der Fluoreszenzmikroskopie werden verschiedene Bestandteile der Probe mit Fluoreszenzfarbstoffen markiert. Durch Bestrahlung z.B. mit UV-Licht emittieren die Fluoreszenzfarbstoffe Licht bestimmter Wellenlänge, sodass selektiv Strukturen sichtbar gemacht werden können. So kann man sogar Strukturen, die kleiner als die Auflösungsgrenze von 250nm sind, sichtbar machen.



# Weniger Eis, mehr Meer

## Satellitenmessungen ANTarktischer Eismassen

Weniger Eis, mehr Meer – Satelliten messen das Schmelzen der Gletscher und den Anstieg des Meeresspiegels.



### 1. Wie viele Eisblöcke von der Größe einer Wasserflasche (1 kg) schmelzen in Grönland pro Sekunde?



In Grönland schmelzen etwa 233 Gt (Gigatonnen) Eis pro Jahr. Das sind 233.000.000.000.000 kg (233 Billionen kg). Pro Sekunde sind das 7,4 Millionen kg Eis.

### 2. Was passiert mit dem Meeresspiegel, wenn Meereis schmilzt?



Das ist wie bei einem schmelzenden Eiswürfel in einem Glas Wasser. Das Wasser im Glas steigt nicht an, da der Eiswürfel zuvor das Volumen verdrängt hat, welches zu Flüssigkeit wird. Aber: Salzwasser (Meerwasser) hat eine höhere Dichte als Meereis. Beim Schmelzen verändert sich also die Dichte des Ozeans. Dadurch nimmt das Volumen zu und es kommt doch zu einem (vergleichsweise geringen) Meeresspiegelanstieg.

### 3. Was passiert mit dem Meeresspiegel in der Region um Grönland, wenn dort das Eis schmilzt?



Im globalen Mittel steigt der Meeresspiegel um etwa 3 mm pro Jahr. Allerdings sinkt der Meeresspiegel um Grönland. Zwei Hauptursachen: Noch heute heben sich die Landmassen dort um stellenweise etwa 10 mm pro Jahr, weil sie vor 11.000 Jahren mit Eis bedeckt waren. (2) Das Meerwasser wird durch die Erdanziehungskraft angezogen. Schmilzt das Eis, verringert sich die Anziehungskraft, so dass der Meeresspiegel sinkt.

### 4. Wenn wir heute, oder in wenigen Jahren, den Ausstoß von Treibhausgasen drastisch verringern könnten, würde sich die Erwärmung der Atmosphäre auch verringern und das 2-Grad-Ziel vielleicht einhalten lassen. Die Erwärmung des Ozeans und der daraus resultierende Meeresspiegelanstieg würde sich jedoch nahezu ungebremst fortsetzen. Warum ist das so?



1. Die Wärmekapazität des Ozeans ist weitaus höher als diejenige von Luft. Daher speichert der Ozean viel mehr Wärmeenergie besser und reagiert träger. 2. Der Ozean wird auch durch Strömungen durchmischt, sodass Wärme in die Tiefe transportiert wird.

### 5. Wie schnell fliegen Erdbeobachtungssatelliten um die Erde?



Viele Erdbeobachtungssatelliten (wie die GRACE-Satelliten oder die Altimetersatelliten) benötigen etwa 100 min für einen Flug um die Erde. Mit einem Erdumfang von etwa 40.000 km kommt man auf etwa 400 km/min oder etwa 7 km/sec. Zum Vergleich, die Geschwindigkeit des Überschallflugzeugs Concorde lag bei etwa 2000 km/h oder 0,6 km/sec.



# Leuchtende Wolken – Starke Winde

Physik im Grenzbereich zwischen Atmosphäre und Weltraum



Im Höhenbereich um ca. 100 km ändert sich die physikalische Beschreibung der Atmosphäre grundlegend. Hier treten eigenartige Phänomene auf. Zu Beispiel findet man hier im Sommer (!) die niedrigsten Temperaturen in der gesamten Atmosphäre (ca.  $-150$  Grad) und es herrschen an einigen Stellen typische Windgeschwindigkeiten von über 500 km/h.



## 1. Erkläre die wichtigsten Schritte zur Wolkenbildung.

In feuchter Luft kommt es bei Abkühlung zu Übersättigung. Dann kondensiert der Wasserdampf an vorhandenen Kondensationskeimen (Aerosolpartikeln) zu Tröpfchen oder Eiskristallen.



## 2. Wie entstehen Schwerewellen? Nenne verschiedene Beispiele für solche Wellen.

Überströmung von Bergen; Richtungsänderungen des Jet-Streams; Brechung planetarer, polumlaufender Wellen; Brechung von Schwerewellen in der mittleren Atmosphäre aufgrund stark angewachsener Amplitude.



## 3. Beschreibe die Entstehung einer Kelvin-Helmholtz-Instabilität und die Bildung von Turbulenz.

Starke Scherungen in der Strömung („Wind“) bei ansonsten stabiler Schichtung des Mediums erzeugen große Strömungswirbel, aus denen kleinere und immer kleinere Verwirbelungen entstehen. Durch diese Verwirbelungen wird der räumlich Unterschied in der Strömungsgeschwindigkeit abgebaut und eine gleichmäßige Strömung erzielt.



## 4. Nenne wichtige Messsysteme am IAP und beschreibe kurz die wesentlichen Merkmale und Messgrößen.

LIDAR – Aussenden von Laserpulsen und zeitaufgelöstes Messen der Rückstreuung aus der Atmosphäre mittels Teleskopen und extrem lichtempfindlichen Detektoren; Fernerkundung; 1-110 km (systemabhängig) – Temperatur und Wind, zeitaufgelöst.

Radar – Aussenden einer Radiowelle und zeitaufgelöstes Messen der Rückstreuung aufgrund von Brechungsindexvariationen (Strukturen in Elektronendichte); Fernerkundung; 1 bis 20 und 75 bis 100 km (systemabhängig) – Wind, zeitaufgelöst.

Höhenforschungsraketen – direkter Flug des Messinstrumentes durch die mittlere Atmosphäre; in-situ = hohe räumliche Auflösung, 30-130 km – Luftdichte, Eispartikel und Meteorstaub, Wind, Elektronendichte, ...



## 5. Das IAP berechnet verschiedene Atmosphärenmodelle. Wie tragen die Modelle zum Verständnis der Atmosphäre bei und wo liegen die Grenzen?

Beschreibung der Atmosphäre durch physikalische Gleichungen; Test physikalischer Zusammenhänge durch Vergleich mit Messungen; Vorhersagemöglichkeit; Extrapolation der Ergebnisse auf messtechnisch nicht erfasste Höhen/Regionen/Größen.

Grenzen: Einfluss der Prozesse, die im Modell nicht aufgelöst werden können, d. h. zu schnell oder zu kleinräumig ablaufen; Einfluss der ungenauen Kenntnis der Anfangsbedingungen; Fehler aufgrund begrenzter Rechengenauigkeit.

# Keine Chance dem Nuklearschmuggel

## Prüfung von Strahlungsmessgeräten

Um Nuklearschmuggel zu unterbinden sind zuverlässige Strahlungsmessgeräte erforderlich, mit denen radioaktives Material vor Ort nachgewiesen werden kann. Mit einem Prüfsystem wird getestet, ob die Geräte radioaktives Material entsprechend den Anforderungen bestimmter Standards erkennen können. Dadurch soll die Vertrauenswürdigkeit und Belastbarkeit von im Einsatz gewonnenen Messergebnissen sichergestellt werden.



### 1. Warum benötigt man Messgeräte zum Auffinden radioaktiver Stoffe?

Für Strahlung haben wir kein Sinnesorgan. Man kann die von radioaktiven Stoffen ausgehende Strahlung nicht sehen, riechen, hören oder schmecken.

### 2. Wofür braucht man Strahlungsmessgeräte an Grenzen?

Schmuggler radioaktiver Stoffe sollen damit gefunden werden.

### 3. Warum ist es sinnvoll, Messgeräte zu testen?

Da man nur so weiß, wie und ob die Geräte funktionieren und für die gedachte Aufgabe geeignet sind.

### 4. Wofür braucht man die Videokameras am Messaufbau?

Die Messungen können dokumentiert und aus der Entfernung beobachtet werden.

### 5. Was ist Nuklearmaterial?

Radioaktives Material bestehend aus den Metallen Uran, Plutonium oder Thorium. Spezielles Nuklearmaterial wird zum Bau von Kernwaffen verwendet.



# Physik-Nobelpreis 2018

Eine Laserpinzette selbst gesteuert

Im Jahr 2018 wurde der Physik-Nobelpreis für die Entwicklung der Laserpinzette vergeben. Mit einem Joystick kann man Tausendstel Millimeter kleine Kügelchen mittels Laserkraft hin und her bewegen.



## 1. Wie alt wurde dieses Jahr der Physik-Nobelpreisträger von 2018 für die optische Pinzette?

Arthur Ashkin, geb. 02.09.1922, damit nun 97 Jahre alt.

## 2. Was ist größer: der Durchmesser eines Haares oder die verwendeten Latexkügeln in der optischen Pinzette?

Ein Haar ist ungefähr  $0,1 \text{ mm} = 100 \text{ }\mu\text{m}$  im Durchmesser. Unsere Kügeln haben nur 1 oder  $2 \text{ }\mu\text{m}$  im Durchmesser. Das Haar ist Hundert mal so groß.

## 3. Wo ist Licht schneller, im Wasser oder in der Luft?

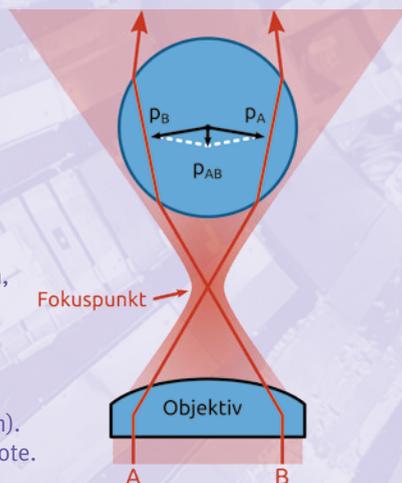
Licht in Wasser mit einem Brechungsindex von 1.33 hat eine Geschwindigkeit von  $300\,000 \text{ km/s} / 1.33 = 225\,000 \text{ km/s}$ . In Luft sind es die  $300\,000 \text{ km/s}$ . Zum Vergleich der Schall in Luft ist  $0,3 \text{ km/s}$  und in Wasser  $1,5 \text{ km/s}$ .

## 4. Kann man auch kleinste Lebewesen mit der optischen Falle fangen oder werden diese gegrillt?

Ja, das ist möglich, das Wasser und die Organismen erwärmen sich kaum, da das Licht nicht aufgenommen, sondern nur gebrochen wird und die Kräfte durch Wegumlenkung entstehen, nicht durch Absorption.

## 5. Gibt es weiße Laser?

Nein, die Farbe Weiß ist eine Mischung aus vielen Farben, ein Laser kann immer nur eine Farbe haben. Dies ist in den Star-Wars-Filmen mit den Laserkanonen und Laserschwertern oft falsch. Auch hört ein Laser niemals nach 1m einfach auf. Für die Dreharbeiten wurden früher Leuchtstofflampen verwendet (heute Computeranimation). Es gibt auch keine weißen Laserpointer, nur grüne oder rote.



# Treibhausgasen auf der Spur

Mit Lasern auf Flugzeugen und Satelliten

Der globalen Klimaerwärmung zu begegnen ist die zentrale gesellschaftliche Herausforderung unserer Zeit. Es gibt nach wie vor große Wissensdefizite um die Quellen und Senken der wichtigsten Treibhausgase Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Methan ( $\text{CH}_4$ ). Mit Lasermessverfahren vom Flugzeug, und in Zukunft vom Satelliten aus, versuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diese Lücke zu schließen.



## 1. Wie heißen die wichtigsten Treibhausgase in der Atmosphäre?

Kohlendioxid, Methan, Wasserdampf.

## 2. Um wieviel stieg die Konzentration der Treibhausgase Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Methan ( $\text{CH}_4$ ) seit Beginn des Industriezeitalters?

$\text{CO}_2$ : Verdopplung,  $\text{CH}_4$ : Verdreifachung.

## 3. Was sind die wichtigsten Quellen und Senken der Treibhausgase?

Quellen: Verbrennung fossiler Energieträger (Öl, Kohle, Gas), Tierhaltung, Industrie, Müll, Auftauender Permafrost, Waldbrände.

Senken: Wälder, das Meer.

## 4. Was ist ein „LIDAR“?

Ein Radar, das statt Radiostrahlung Laserlicht verwendet.

## 5. Was ist der Vorteil von Satellitenmessungen?

Satelliten können große Gebiete abdecken.



# Scheibchenweise

## Bildgebende Verfahren in der Medizin – MRT

Die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) wird als bildgebendes Verfahren in der Medizin eingesetzt. Sie ist auch ein wichtiges Instrument für die Hirnforschung. Weitere Anwendungen für die zukünftige frühzeitige Diagnose neurologischer Erkrankungen werden erforscht.

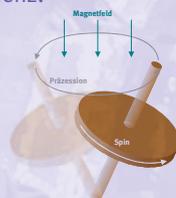


### 1. Welche fundamentale Teilcheneigenschaft bildet die Grundlage für die Funktion eines MRT?

 Der Kernspin: durch diesen hat der Atomkern ein magnetisches Moment. In einem Magnetfeld präzediert das magnetische Moment mit der Larmor-Frequenz.

### 2. Welches chemische Element wird meistens zur MR-Bildgebung genutzt?

 Wasserstoff. Der Wasserstoffkern (ein Proton) hat eine besonders große Larmor-Frequenz und kommt zudem sehr häufig im menschlichen Körper vor. Darum eignet er sich gut zur MR Bildgebung.



### 3. Welche 3 Arten von magnetischen Feldern sind zur Erzeugung eines Bildes notwendig?

-  a) Hauptmagnetfeld: ein starkes, statisches Magnetfeld zur Ausrichtung (Polarisation) der Spins.  
 b) Hochfrequenzfeld: ein Wechselfeld zur Resonanz (Anregung) der Spins, so dass ein MR Signal erzeugt und gemessen werden kann.  
 c) Gradienten-Feld: ein dem Hauptfeld überlagertes räumlich variierendes Feld, das eine Ortskodierung des Signals ermöglicht.

### 4. Welche Eigenschaften unterscheiden MRT und CT (Röntgen)?

-  a) MRT ist nach heutigem Kenntnisstand ungefährlich, da sie keine ionisierende Strahlung verwendet. Im Gegensatz ist Röntgenstrahlung ionisierend und somit schädlich für Gewebe.  
 b) MRT erzeugt Bildkontrast in weichem Gewebe, wie zum Beispiel im Gehirn. Im Gegensatz ist Röntgenstrahlung vor allem zur Darstellung von Knochen oder Kontrastmitteln geeignet.  
 c) MRT ist multimodal, d. h. Bildkontrast kann über viele verschiedene biophysikalische Gewebeparameter erzeugt werden.

### 5. Was bedeutet Methodenentwicklung im Zusammenhang mit MR-Physik?

 MRT ist multimodal und erlaubt die Messung vieler verschiedener Phänomene. Andererseits ist MRT ein langsames Verfahren. Die MR Physik entwickelt deshalb neue Methoden, so dass Bilder mit hoher Qualität und Aussagekraft in kürzerer Zeit aufgenommen werden können. Das verbessert die Diagnose und erleichtert die Messung für die Patienten.

# Spürnasen im Weltraum

Mit dem Radar auf der Suche nach Weltraumschrott

Um die Erde herum wird es eng: Millionen von Weltraumtrümmerteilen bevölkern die Umlaufbahnen und stellen eine Bedrohung für Satelliten, Raumfahrzeuge und Teleskope dar. Die typischen Geschwindigkeiten von etwa einigen Kilometern pro Sekunde machen bereits 1 Zentimeter große Teilchen zu hochenergetischen Geschossen mit Sprengkräften von einer Handgranate. Wie sieht die Gefahrenlage im erdnahen Weltraum genau aus und welche Lösungsansätze existieren?



## 1. Woher stammt der ganze Weltraumschrott?

Von defekten Satelliten, ausgebrannten Raketenoberstufen, Teilen von intakten Satelliten, die sich lösen, ungeplanten Entzündungen von Resttreibstoffen, die zu Explosionen führen, verlorengegangenes Werkzeug der Astronauten, Kollisionen von Satelliten, Abschuss von Satelliten, etc.



## 2. Wie könnte man Weltraumschrott beseitigen?

Durch natürliches Verglühen in der Atmosphäre, Einfang des Schrotts mittels Netzen/„Staubsaugern“/Greifarmen/Aufräumsatelliten und die anschließende Rückführung zur Erde, etc.



## 3. Warum können die größeren Schrottteile nicht einfach im Orbit zur Explosion gebracht werden? Damit wären diese doch dann kleiner und könnten nicht mehr so großen Schaden anrichten.

Das würde eine Vielzahl kleiner Trümmerteile erzeugen, die sich völlig unkontrolliert verteilen würden. Diese kleinsten Teilchen wiederum können in großer Zahl andere Nutzlasten treffen Kaskadeneffekt. Bei den hohen Geschwindigkeiten der Schrottteile von typischerweise 10 km/s haben selbst kleine 1-cm-Teilchen eine riesige Zerstörungskraft.



## 4. Wie könnte eine nachhaltige Raumfahrt aussehen, die weniger Weltraumschrott erzeugt?

Einzelteile (Abdeckungen, Halterungen, Bolzen) nicht mehr absprenge, sondern mit dem Muttersatelliten verbunden lassen. Treibstofftanks und Batterien bei Missionsende automatisch entleeren. Wiederverwertbare Raketen. Gemeinsame, internationale Vereinbarungen zur maximalen Verweildauer von Weltraumobjekten, die nicht mehr in Betrieb sind.



## 5. Wo und wofür kommen Radare noch zum Einsatz?

Verkehr (Geschwindigkeitsmessung), Flugzeuge (Entdeckung von anderen Flugzeugen und Wetterfronten), Schiffe (Entdeckung von anderen Schiffen und Wetterfronten), Astronomie (Untersuchung und Kartierung von Planeten, Asteroiden, Monden, etc., Messung der Astronomischen Einheit), Wetter (Erkennung und Ortung von Schlechtwetterfronten, Messung der Windgeschwindigkeit), Bewegungsmelder (Überwachung von Gebäuden und Gelände), Bioradar (Detektion von lebenden Personen und deren Körperbewegung, z. B. in eingestürzten Bauten nach Erdbeben), Detektion von Ölteppichen, Wasserströmungen, etc.

# Kirmes – Mobile Shows und Märkte für Menschen und Maschinen

Künstliche Intelligenz braucht man nicht nur, um große Datenmengen auf neue physikalische Effekte zu durchsuchen oder Gesichter in den Daten von Videoüberwachungsbildern zu identifizieren. Auch als Spielkameraden können Computerprogramme dienen – manchmal sogar mit Elementen von KI.



**1. 1979 besiegte ein intelligentes Spielerprogramm erstmals einen Weltmeister. Um welches Spiel handelte es sich dabei?**



Backgammon.

**2. Keine KI ohne Algorithmus. Aber was ist eigentlich ein Algorithmus?**



Eine Folge von Anweisungen, mit denen ein bestimmtes Problem gelöst werden kann.

**3. Er knackte im Zweiten Weltkrieg die Verschlüsselungsmaschine Enigma, entwickelte eines der ersten Schachprogramme und erdachte einen berühmten Test für das Vorhandensein von Künstlicher Intelligenz. Von wem ist die Rede?**



Alan Turing

**4. Die Möglichkeiten und Grenzen Künstlicher Intelligenz werden nicht erst seit der Digitalisierung diskutiert. Mit welchem Gedankenexperiment zeigte der Philosoph John Searle 1980 Probleme von KI-Tests auf?**



Chinesisches Zimmer

**5. Beim Thema KI wird oft über starke und schwache KI gesprochen. Was genau ist eine sogenannte schwache KI?**



Ein System, das sich nur mit konkreten Anwendungsproblemen beschäftigt.



# Mind Ball – Fußball spielen mit dem Kopf

Nur wer entspannt ist, gewinnt



Mindball ist ein Spiel, bei dem zwei Personen gegeneinander antreten, um durch Konzentration und vor allem durch Entspannung einen Ball zum Gegner rollen zu lassen. Die Spieler\*innen nehmen an dem Mindball-Tisch Platz und legen sich jeweils ein Stirnband mit drei Elektroden an, die die eigenen Gehirnströme messen. Nach dem Start setzt sich auf dem Tisch eine kleine Kugel in Bewegung. Sie rollt auf denjenigen zu, der im Moment angespannter ist.

## 1. Was versteht man unter einem EEG?



Die Messung von Gehirnströmen.

## 2. Was versteht man unter einem neuronalen Netzwerk?



Eine Verknüpfung von Neuronen (Nervenzellen)

## 3. Welche verschiedenen Gehirnwellen unterscheidet man?



Alpha-, Beta-, Gamma-, Delta- und Theta-Wellen.

## 4. Kann man Gehirnwellen auch anregen?



Ja, zum Beispiel durch bestimmte Sinneseindrücke.

## 5. Kann man andererseits mit Gehirnwellen eine Elektronik steuern?



Ja, wenn man die EEG-Elektronik mit entsprechenden Steuergeräten versieht.



# AstroMedia – zugeschaut und mitgebaut

Mikroskope und Teleskope selbstgebaut

Mit Karton den Sternenhimmel entdecken, verstehen, erklären und beobachten! Kartonmodelle von AstroMedia bieten Produkte für Einsteiger, Fortgeschrittene, SchülerInnen und Lehrkräfte: voll funktionstüchtige Instrumente für die Sternen- und Sonnenbeobachtung, ausgefallene Sternenkarten und interessante Literatur.



## 1. Wie herum hält man eine drehbare Sternkarte?



So, dass die auf der Karte angegebene Himmelsrichtung in Blickrichtung unten ist. D. h., schaut man nach Norden, wird die Karte so gedreht, dass Norden unten ist, schaut man nach Süden, so hält man die Karte anders herum.

## 2. Welches Navigationsinstrument kann mit einem künstlichen Horizont verbessert werden?



(A)  Kompass      (B)  Sextant

## 3. Arbeitet ein einfaches Handspektroskop mit einem Gitter oder einem Prisma?



Mit einem Beugungsgitter.



# Astronomische Inhalte im Unterricht spannend gestalten

(Analogie-)Experimente und „Augmented-Reality“

Astronomie kann den Physikunterricht bereichern, denn der Blick in den Sternenhimmel fasziniert die meisten Menschen. Dabei gibt es moderne Hilfsmittel, die weit über die klassische drehbare Sternkarte hinausgehen: Mithilfe von Augmented-Reality kann man das System Erde/Mond erforschen und mit einem Experiment nachvollziehen, wie Physikerinnen und Physiker auf die Suche nach Leben im Weltall gehen.

## 1. Wie können Physikerinnen und Physiker Planeten entdecken, die sich um Sterne – nicht die Sonne – bewegen?

Exoplaneten kann man zum Beispiel mit der Transitmethode entdecken. Hierbei misst man die Helligkeit des Sterns über einen längeren Zeitraum. Wenn sich die Helligkeit regelmäßig verringert, bewegt sich vermutlich ein Exoplanet um den Stern.



## 2. Um welchen der „Sterne“ im Exoplaneten-Experiment bewegt sich ein „Exoplanet“?

Um beide Sterne.

## 3. Seit wann beschäftigt die Menschheit sich mindestens schon mit der Astronomie?

1600 v. Chr. (vgl. Himmelscheibe von Nebra).

## 4. Welche Geräte benötigt man, um seine Position auf hoher See zu bestimmen, wenn man kein GPS hat?

Sextant und Uhr.

## 5. Wie würden sich die Gezeiten auf der Erde verändern, wenn sich der Abstand Erde/Mond verändern würde?

Wenn der Mond näher an der Erde ist, hat er einen stärkeren Einfluss auf die Gezeiten.

# Ganz hoch hinaus

Höhenforschungsrakete der Mobilien Raketenbasis (MORABA) des DLR

Auf unbemannten Höhenforschungsraketen können Experimente verschiedenster Forschungsdisziplinen durchgeführt werden. Messungen der Mesosphäre (80–100 km) liefern interessante Einblicke für die Atmosphärenphysik. Für materialphysikalische oder biologische Experimente herrschen mehrere Minuten Schwerelosigkeit. Darüber hinaus werden z. B. für den Test neuer Technologien Hyperschallbedingungen beim Aus- und Wiedereintritt in die Atmosphäre erzielt.



## 1. Wie oft durchquert eine Höhenforschungsrakete auf ihrer Flugbahn die Atmosphäre, sodass dort Messungen durchgeführt werden können?

Zweimal (in der Aufstiegs- und Abstiegsphase) oder die ganze Zeit (wenn sie nicht so hochsteigt).

## 2. Wie können wissenschaftliche Nutzlasten nach einem erfolgreichen Flug auf einer Höhenforschungsrakete geborgen werden?

Mit Fallschirmen (sowie speziellen Schwimmern bei Landung über dem Meer).

## 3. Wie lange dauert die Schwerelosigkeitsphase für Mikrogravitations-Experimente bei einer Scheitelhöhe der Höhenforschungsrakete von ca. 250 km?

Ca. 6 Minuten.

## 4. Höhenforschungsraketen sind auch eine Plattform für Hyperschall-Experimente. Wie heißt das Maß für Fluggeschwindigkeit im Verhältnis zur Schallgeschwindigkeit?

Mach-Zahl.

## 5. Welche aerodynamische Profilform hat die Finne einer Höhenforschungsrakete?

Keilförmig.



## ALLEN AUSSTELLERN EIN HERZLICHES DANKESCHÖN FÜR IHRE BEITRÄGE ZUR AUSSTELLUNG.

### REDAKTION

Dr. Axel Carl, AC-Science-Consulting  
Dr. Jens Kube, awk/jk

### GESTALTUNG

iserundschmidt GmbH

### SAMMELBILDNACHWEIS

A1: DESY | A2: DESY | A3: CERN; Sonne: Bemmi83, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons  
A4: KATRIN, KIT | A5: FAIR, GSI | A6 (beide): PANDA | A7: FZ Jülich, Universität Bonn  
A8: CERN; CMS-Kollaboration | A9: ELSA / A10: Pexels by Pixabay; ATLAS | A11: Uni München  
A12: Physikalisches Institut, Universität Bonn | B1: ESO; DESY, Milde Science Comm.  
B2: IceCube | B3: Juliana Socher, TU Dresden | B4: Benjamin Winkel, Universität Bonn  
B5: Karte: TUBS, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons; Pierre Auger Observatorium  
B6: eROSITA | B7: Kilo-Degree Survey Collaboration/H. Hildebrandt & B. Giblin, ESO  
B8: Orren Jack Turner | B9: MPIfR | B10: ESO/M. Kornmesser | B11a: NASA, IPAC; NASA  
B12: ALMA (ESO, NAOJ, NRAO, A. Marinkovic, X-Cam) | B14: Fa. Theo Schmitz | C2: Uni-  
versität Bonn | C4: Suidroot, CC BY-SA 4.0 | C5: Universität Siegen | C6: Universität Bonn  
C7: FZ Jülich | C8 (beide): DESY | C9: European XFEL / C10: Hitachi High-Technologies  
C11: Universität Duisburg-Essen | C12, D1, D2: Universität Bonn | D3: Georg-August-Uni-  
versität Göttingen | D4: NASA's Goddard Space Flight Center Scientific Visualization  
Studio | D5: Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik Kühlungsborn | D6: Fraunhofer-Institut  
für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT | D7: Universität des Saarlandes  
D8: CNES | D9: awk/J. Kube | D10: ESA | D11: geralt, Pixabay | D12: awk/J. Kube nach Hugo  
Gamboa, CC-BY-SA | D13: AstroMedia | D14: NASA, Ames, SETI Institute, JPL-Caltech  
D15: Mobile Raketenbasis Weßling

---

### INFORMATIONEN

Die Highlights der Physik im Internet:  
[www.highlights-physik.de](http://www.highlights-physik.de)

Aufgabenheft (ab sofort) und Lösungen (ab dem 23.9.2019)  
als PDF zum Download unter:  
[www.highlights-physik.de/kids-schule/lehrkraefte](http://www.highlights-physik.de/kids-schule/lehrkraefte)



Inspiziert und begeistert durch den Erfolg des „Jahres der Physik 2000“ veranstalten das Bundesministerium für Bildung und Forschung und die Deutsche Physikalische Gesellschaft seit 2001 ein jährliches Physikfestival: die „Highlights der Physik“. Das Festival zieht mit jährlich wechselnder Thematik von Stadt zu Stadt. Mitveranstalter sind stets ortsansässige Institutionen. Die vorliegende Broschüre erscheint zu den „Highlights der Physik 2019: Zeig dich!“ (Bonn, 16.–21.9.2019). Infos: highlights-physik.de

## Veranstalter



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Deutsche Physikalische Gesellschaft



UNIVERSITÄT **BONN**

## Partner

WILHELM UND ELSE  
HERAUS-STIFTUNG

welt  
der **physik**

**FREUDE.  
JOY.  
JOIE.  
BONN.**



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG



Deutsche Telekom Stiftung



**xarvio™**  
Digital Farming  
Solutions



LD DIDACTIC

## Medienpartner

**General-Anzeiger**  
an der Universität Bonn

## Förderer

**HITACHI**  
Inspire the Next



Regioverkehr Köln GmbH

wetteronline

**BEET  
HOVEN  
FEST  
BONN**  
6.9. - 20.9.2019