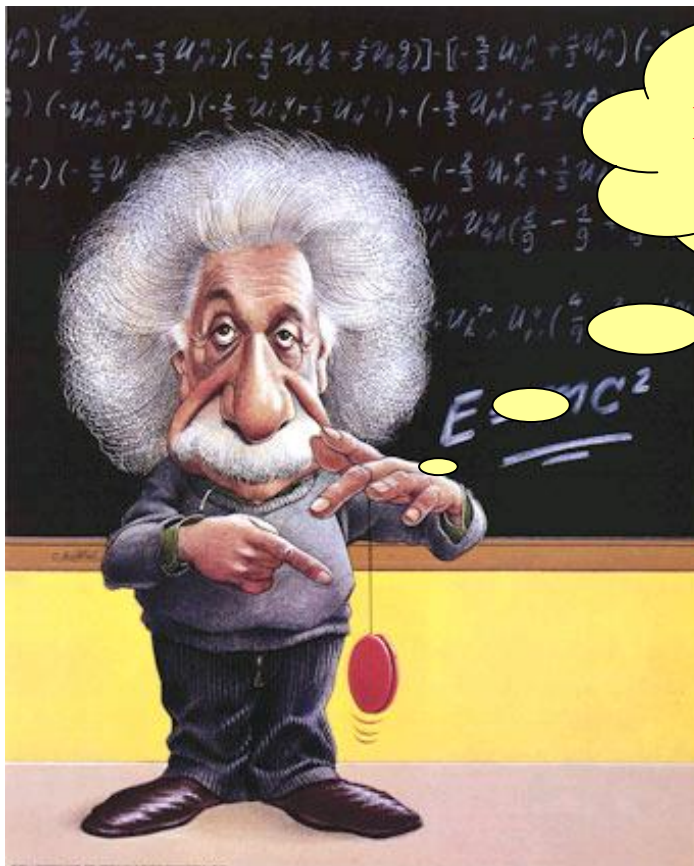


Jan Sibilski, Tomasz Kędrzyński

# Physik Teil III

Optik,  
Quantenphysik,  
Kernphysik,  
Astrophysik




Wieder Physik?  
Mit Janek und Tomek  
immer gern.

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Optik</b> .....	3 - 32
1. Wiederholungsübungen.....	3
2. Reflexionsgesetz.....	7
3. Kugelspiegel.....	9
4. Lichtbrechung und Totalreflexion.....	13
5. Prisma, Dispersion des weißen Lichts.....	17
6. Linsen und Linsenbilder.....	19
7. Optische Instrumente.....	23
8. Auge als optisches Instrument.....	25
9. Beugung und Interferenz des Lichtes.....	27
10. Polarisation.....	30
<b>II. Quantenphysik</b> .....	33 - 57
1. Photoelektrischer Effekt.....	33
2. Materiewellen, Heisenbergsche Unschärferelation.....	39
3. Röntgenstrahlung.....	44
4. Das Bohrsche Atommodell.....	50
<b>III. Kernphysik</b> .....	58 - 76
1. Aufbau des Atomkerns, Kernkräfte, Massendefekt und Bindungsenergie.....	58
2. Radioaktivität.....	64
3. Kernreaktionen, Kernenergie.....	70
<b>IV. Astrophysik</b> .....	77 - 98
1. Unser Sonnensystem.....	77
2. Grundlagen der Kosmologie.....	81
3. Struktur des Kosmos.....	85
4. Teile des Sonnensystems.....	89
5. Expansion des Universums.....	90
6. Die Entstehung der Sterne.....	93
<b>Anhang: Bilinguales Abitur - Beispiel</b> .....	99 - 108
Teil I (Testaufgaben).....	99
Teil II (Offene Aufgaben).....	102
<b>Lösungen und Antworten</b> .....	109 - 114
<b>Wortschatz</b> .....	115 - 118

# Kapitel I. Optik

1. Wiederholungsübungen
2. Reflexionsgesetz
3. Kugelspiegel
4. Lichtbrechung und Totalreflexion
5. Prisma, Dispersion des weißen Lichts
6. Linsen und Linsenbilder
7. Optische Instrumente
8. Auge als optisches Instrument
9. Beugung und Interferenz des Lichtes
10. Polarisation

<p><b>1. Wiederholungsübungen</b></p> <p>Schirm <i>m</i> _____</p> <p>schütteln _____</p> <p>sichtbar _____</p> <p>Lichtquelle <i>f</i> _____</p> <p>Lichtbündel <i>n</i> _____</p> <p>Lichtstrahl <i>m</i> _____</p> <p>streuen _____</p> <p>Neumond <i>m</i> _____</p> <p>Vollmond <i>m</i> _____</p> <p>totale (partielle) Sonnenfinsternis <i>f</i> _____</p>	
---	---

**Aufgabe 1**

Richtig oder falsch?

<b>Wir sehen einen Gegenstand, wenn er:</b>		
selbst Licht erzeugt.		
glatt ist.		
aus bestimmten Stoffen aufgebaut ist.		
beleuchtet wird und dabei Licht in unser Auge streut.		

**Aufgabe 2 (Lückentext)**

Schirm - schütteln - sichtbar - Lichtquelle - Lichtbündel - Lichtstrahl

Die Taschenlampe ist eine ..... . Wenn wir zwischen Taschenlampe und ..... Kreidestaub ....., so wird das Licht ..... . Wir sehen jetzt den ..... . Ein dünnes Lichtbündel nennen wir .....

**Aufgabe 3 Reflexion an ebenen und rauen Flächen**

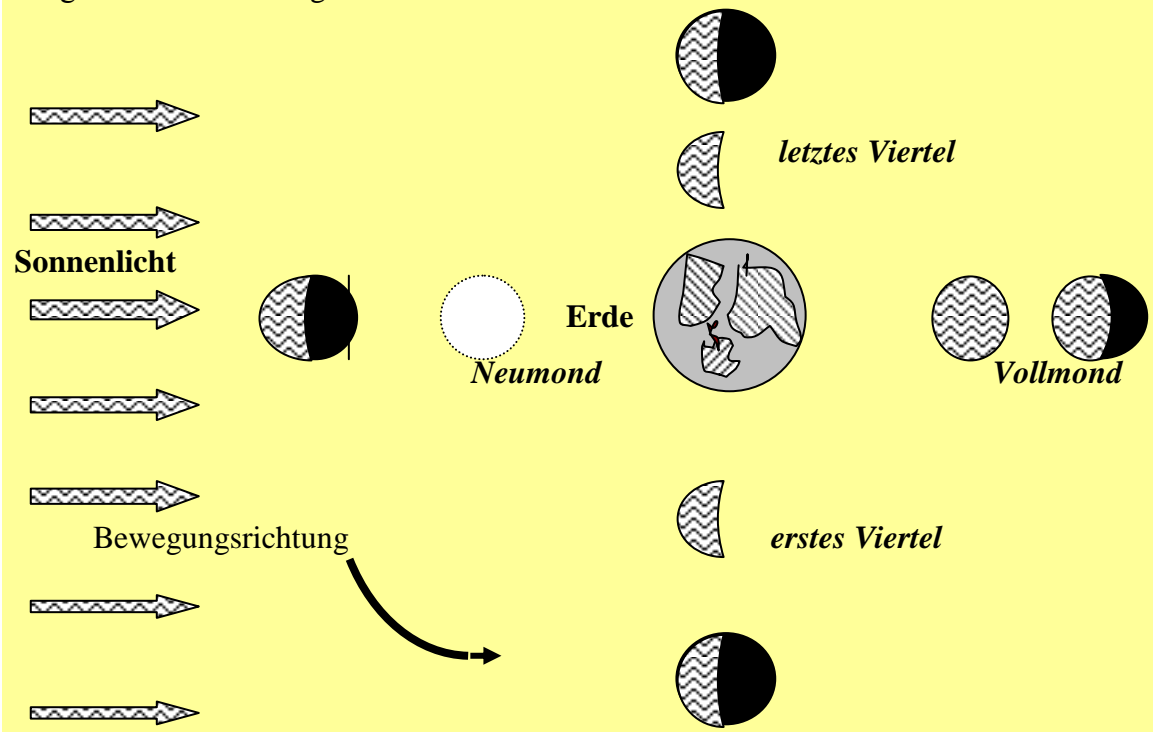
Zeichne die beiden Fälle.

1. Wenn ein paralleles Lichtbündel auf einen Spiegel fällt, wird es parallel reflektiert.

2. Fällt ein paralleles Lichtbündel auf eine unebene Fläche, so wird es .....

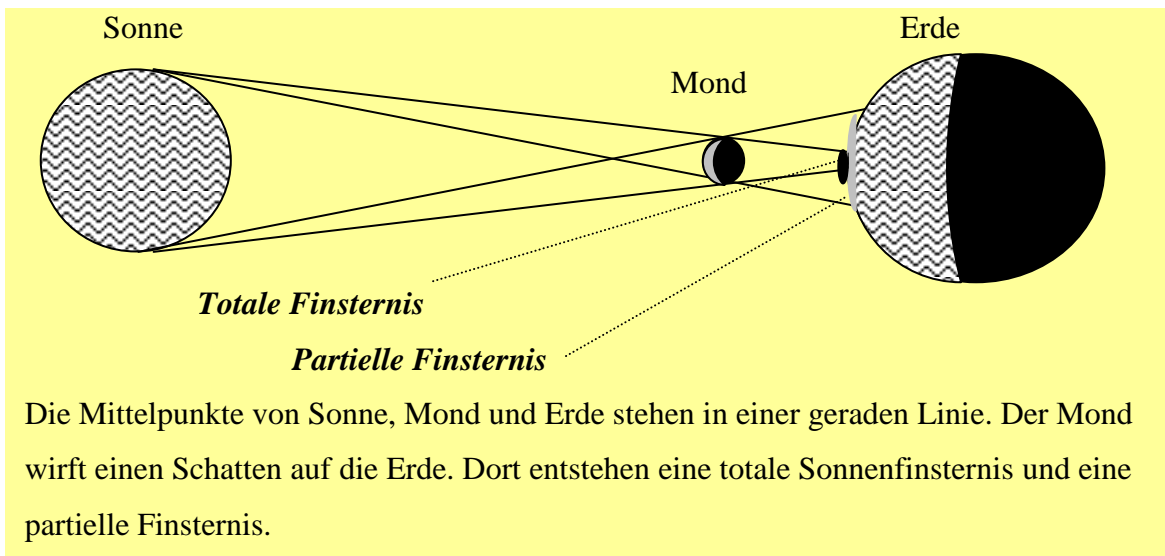
**Aufgabe 4 Mondphasen**

Der Mond bewegt sich in 28 Tagen einmal um die Erde herum. Die **Mondphasen** hängen von der Stellung des Mondes ab.



1. Welche Rolle spielt bei der Entstehung der Mondphasen die geradlinige Ausbreitung des Lichtes?
2. Erkläre, wie die Mondphasen entstehen.

**Aufgabe 5 Sonnenfinsternis**



Die Mittelpunkte von Sonne, Mond und Erde stehen in einer geraden Linie. Der Mond wirft einen Schatten auf die Erde. Dort entstehen eine totale Sonnenfinsternis und eine partielle Finsternis.

1. Wie entsteht eine Sonnenfinsternis?
2. Erkläre den Unterschied zwischen einer totalen und einer partiellen Finsternis.

**DIE LICHTGESCHWINDIGKEIT UND IHRE MESSMETHODEN**

Die bekanntesten Methoden der Lichtgeschwindigkeitsmessung:

Ole Romer (Olaf Römer)

Hippolyte Fizeau

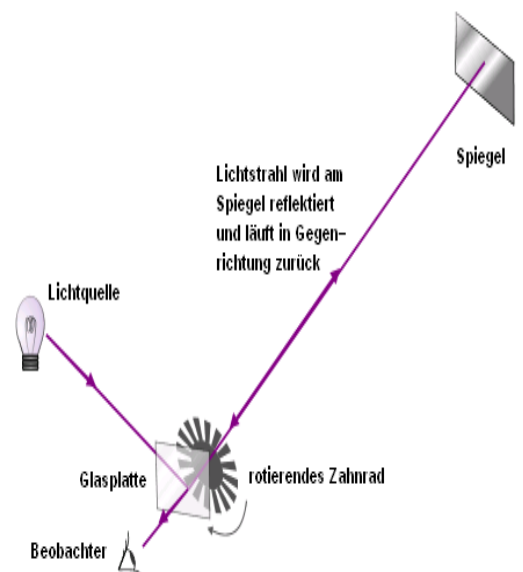
Albert Michelson

Die Lichtgeschwindigkeit beträgt:  $c=299\,792\,458 \frac{m}{s}$ .

**Lies den Text und bearbeite dann die Aufgabe.**

**Fizeau Methode**

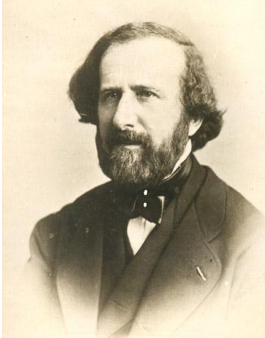

Fizeau leitete einen Lichtstrahl durch den Zahnkranz eines schnell rotierenden Zahnrades. Das auf diese Weise „zerhackte“ Licht wurde in etwa 9 km Entfernung von einem Spiegel reflektiert. Nun erhöhte er die Drehfrequenz des von einer Dampfmaschine angetriebenen Zahnrades so lange, bis das reflektierte Licht bei seiner Rückkehr auf den nächstliegenden Zahn fiel. Er erkannte dies daran, dass jetzt das reflektierte Licht plötzlich nicht mehr zu sehen war. Aus der Zahl der Zähne und der Drehfrequenz des Rades konnte Fizeau die Zeit  $\Delta t$  berechnen, in der ein Zahn an die Stelle der vorangegangenen Lücke getreten war.




**Aufgabe 6**

Bei der Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Fizeau wird ein Zahnrad mit  $z=720$  Zähnen (und ebenso vielen Lücken) verwendet, das pro Sekunde  $n=12,6$  Umdrehungen macht. Der Abstand Zahnrad - Spiegel beträgt  $a=8633$  m.

- a) In welcher Zeit rückt ein Zahn an die Stelle, an der vorher eine Lücke war? Welcher Wert ergibt sich für die Lichtgeschwindigkeit mit den angegebenen Zahlenwerten?  
 b) Wie groß wäre bei diesem Versuch die Lichtgeschwindigkeit in Wasser ( $n=1,33$ )?

	<p>Physiker, welche die ersten wichtigen Methoden der Lichtgeschwindigkeitsmessung entwickelt haben</p> <p>Links: <b>Armand-Hippolyte-Louis Fizeau</b>              (* 23. September 1819 in Paris;              † 18. September 1896 in Venteuil bei Épernay)</p> <p>Rechts: <b>Jean Bernard Léon Foucault</b>              (* 18. September 1819 in Paris; † 11. Februar 1868 Paris)</p>	
---	--	---

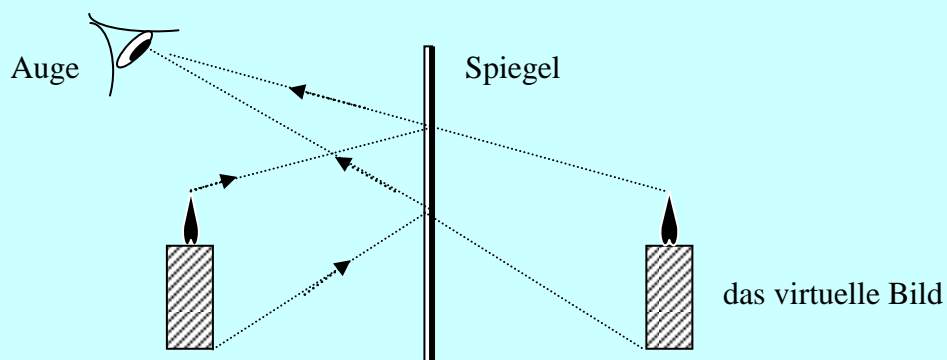
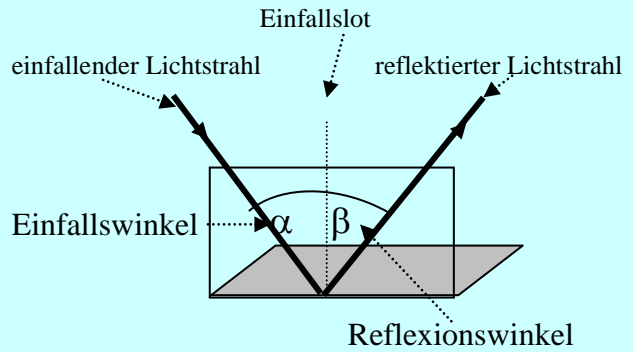
<p><b>2. Reflexion des weißen Lichtes und der ebene Spiegel</b></p> <p>Gegenstand <math>m</math> _____</p> <p>Reflexionsgesetz <math>n</math> _____</p> <p>Einfallswinkel <math>m</math> _____</p> <p>Reflexionswinkel <math>m</math> _____</p> <p>Einfallslot <math>n</math> _____</p> <p>reflektierte Strahl <math>m</math> _____</p> <p>virtuell (scheinbar) _____</p>	
---	---

## 2. Reflexionsgesetz



### Grundwissen

Der einfallende Strahl, das Einfallslot und der reflektierte Strahl liegen in einer Ebene, der Einfallsebene. Der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.



### Abbildungen durch ebene Spiegel

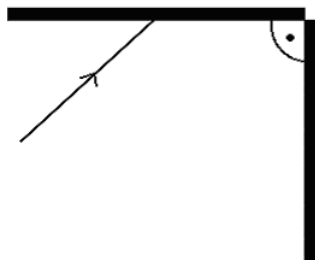
Es handelt sich hierbei um ein **virtuelles** oder **scheinbares** Bild, weil sich nicht die Strahlen selbst, sondern nur ihre Verlängerungen schneiden. Ein virtuelles Bild kann im Gegensatz zu einem **reellen** Bild, bei dem sich die Strahlen wirklich schneiden, nicht auf einem Schirm oder Foto sichtbar gemacht werden.

### Aufgabe 7

Wie groß muss ein Spiegel mindestens sein, damit man sich in voller Länge darin betrachten kann? Hängt die Antwort auf diese Frage davon ab, wie weit man vom Spiegel entfernt steht? Hilft es also, näher an den Spiegel heranzutreten oder weiter wegzugehen?

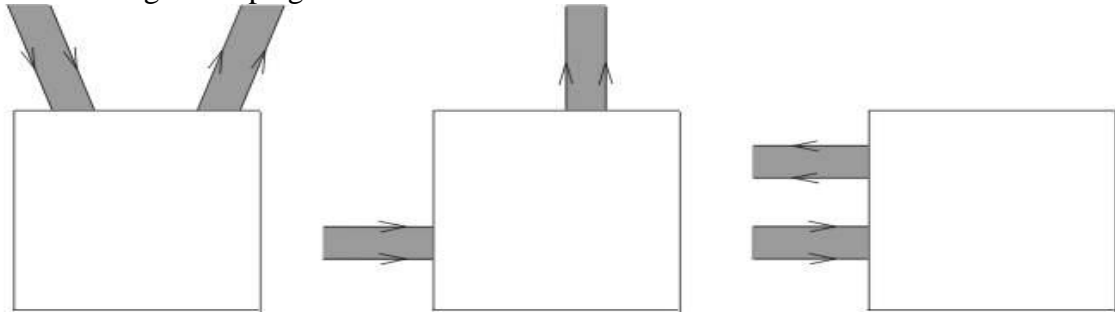
### Aufgabe 8

Zeichne den reflektierten Strahl.



**Aufgabe 9**

In den Kästen befinden sich (ein oder zwei) Spiegel. Ergänze die Strahlenverläufe und zeichne die Lage der Spiegel ein.



**Aufgabe 10 Geschichte der Optik**

Verbinde die Namen mit wichtigen Ereignissen.

<b>A</b>	<i>Pierre de Fermat</i>	<b>1</b>	Er war ein polnischer Mönch und Naturphilosoph und ist vermutlich in Borek bei Wrocław geboren, gestorben um 1280/90 vermutlich im Kloster Witów bei Piotrków Trybunalski (Polen)..Sein Werk <i>Perspectiva</i> wurde für Jahrhunderte das maßgebende Lehrbuch der Optik.
<b>B</b>	<i>Witelo</i>	<b>2</b>	Seine <i>Optik</i> befasst sich mit den Eigenschaften des Lichtes. Er behandelt experimentell und mathematisch unter anderem die Reflexion, Brechung und Farben. Daneben werden optische Täuschungen erwähnt.
<b>C</b>	<i>Willebrord Snell van Rojen</i>	<b>3</b>	Seine bedeutendste Entdeckung ist das Brechungsgesetz der Optik. Er verfasste auch Arbeiten zur Trigonometrie, zur geometrischen Optik und zur Meridianmessung.
<b>D</b>	<i>Ptolemäus</i>	<b>4</b>	Er hat „Optika“, das älteste erhaltene Werk über die mathematische Optik und zwar zur Linearperspektive geschrieben.
<b>E</b>	<i>Euklid</i>	<b>5</b>	Er hat das Variationsprinzip der Optik formuliert: „Licht nimmt seinen Weg immer so, dass es ihn in der kürzesten Zeit zurücklegt.“ Hieraus lassen sich Reflexionsgesetz und Brechungsgesetz ableiten.

**Interessant !!!**

Die Optik war neben der Mechanik wohl das älteste Gebiet, auf dem Wissenschaft betrieben wurde. Das Gesetz von der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes wurde bereits um 5000 v.Chr. in Babylon bei astronomischen Instrumenten angewandt.

Wahrscheinlich gewannen die Babylonier ihre Erkenntnisse aber noch ausschließlich aus der Erfahrung.



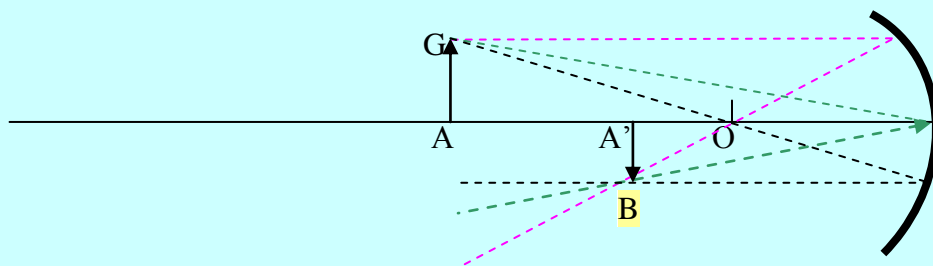
### 3. Der Kugelspiegel



#### Grundwissen

	Das ist ein <b>Wölbspiegel</b> . Man sagt auch <b>Konvexspiegel</b> . Die Fläche ist nach außen gewölbt.		Das ist ein <b>Hohlspiegel</b> . Man sagt auch <b>Konkavspiegel</b> . Die Fläche ist nach innen gewölbt.
--	--	--	--

#### Konstruktion des Bildes



#### Die Spiegelgleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$

Die **Vergrößerung**  $p$  ist der Quotient aus Bildgröße und Gegenstandsgröße  $G$ .

$$p = \frac{B}{G}$$

aber auch  $p = \frac{y}{x}$

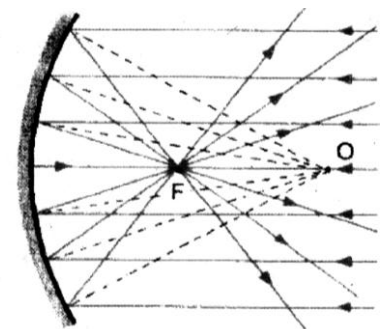
- Kugelspiegel  $m$  \_\_\_\_\_
- Hohlspiegel, Konkavspiegel  $m$  \_\_\_\_\_
- Wölbspiegel, Konvexspiegel  $m$  \_\_\_\_\_
- Krümmungsmittelpunkt  $m$  \_\_\_\_\_
- Krümmungsradius  $m$  \_\_\_\_\_
- Scheitel  $m$  \_\_\_\_\_
- Brennpunkt, Focus  $m$  \_\_\_\_\_
- Brennweite  $f$  \_\_\_\_\_
- optische Achse, Spiegelachse  $f$  \_\_\_\_\_
- virtuelle (scheinbare) Bild  $n$  \_\_\_\_\_
- reelle (wirkliche) Bild  $n$  \_\_\_\_\_
- achsennahe Strahlen \_\_\_\_\_
- achsenparallele Strahlen \_\_\_\_\_
- reflektieren \_\_\_\_\_



**Aufgabe 11 (Lückentext)**

<b>Wölbspiegel</b>	<b>Hohlspiegel</b>	<b>Krümmungsmittelpunkt</b>	
<b>Krümmungsradius</b>	<b>Scheitel</b>	<b>Spiegelachse</b>	<b>optische Achse</b>
<b>Brennpunkt</b>		<b>Brennweite</b>	

Ein Kugelspiegel ist eine Spiegelfläche, die ein Teil einer Kugel ist. Wenn diese Fläche nach außen gewölbt ist, nennt man sie..... Wenn sie nach innen gewölbt ist, dann haben wir es mit einem..... zu tun. Den Mittelpunkt O der Kugel nennt man ..... Den Mittelpunkt S der verspiegelten Kugelfläche nennt man..... des Spiegels. Die Strecke OS heißt..... Die Gerade OS heißt..... oder..... Der Punkt F heißt..... und die Strecke FS –.....



**Aufgabe 12 Experiment mit einer Suppenkelle**

Du kannst mit Hilfe einer Suppenkelle alle Fälle von Spiegelbildern studieren, indem du den Abstand zwischen Kelle und Auge variiert. (Es wäre gut, wenn sie dazu leer wäre...)

Beschreibe deine Beobachtungen!

.....

.....

.....

.....

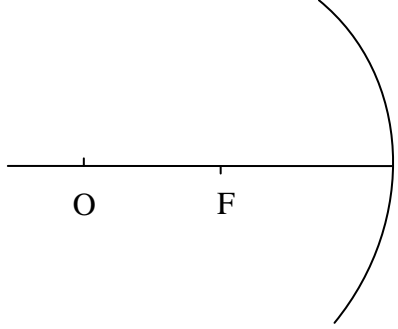
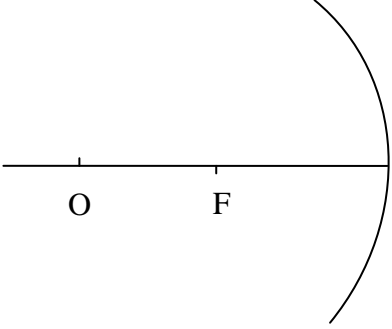
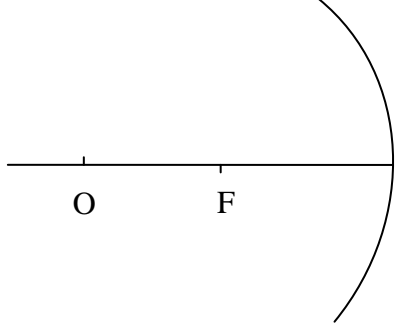
**Aufgabe 13**

Verbinde den Satzanfang mit dem Satzende, um den Verlauf der drei speziellen Strahlen zu bekommen. Zeichne schematisch diesen Strahl in der rechten Spalte.

Satzanfang	Satzende	Bild
1. Jeder Strahl, der durch den Krümmungsmittelpunkt O läuft,	a) trifft senkrecht auf den Spiegel und wird deshalb auf sich selbst zurückgeworfen.	
2. Jeder Strahl, der parallel zur Spiegelachse auf den Spiegel trifft,	b) wird durch den Brennpunkt F zurückgeworfen.	
3. Jeder Strahl, der durch den Brennpunkt einfällt,	c) wird parallel zur Spiegelachse reflektiert.	

**Aufgabe 14 Spiegelbilder an Hohlspiegeln**

<p>Der Gegenstand steht weiter als die doppelte Brennweite vom Spiegel entfernt: <math>y &gt; 2f</math></p> <p>Das Bild .....</p> <p>.....</p>	
	<p>Der Gegenstand steht genau in der doppelten Brennweite vom Spiegel entfernt: <math>y = 2f</math></p> <p>Das Bild .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

<p>Der Gegenstand steht zwischen einfacher und doppelter Brennweite vom Spiegel entfernt: <math>f &lt; y &lt; 2f</math></p> <p>Das Bild .....</p> <p>.....</p>	
	<p>Der Gegenstand steht genau in der einfachen Brennweite vom Spiegel entfernt: <math>y = f</math></p> <p>Das Bild .....</p> <p>.....</p> <p>.</p>
<p>Der Gegenstand steht weniger als die Brennweite vom Spiegel entfernt: <math>y &lt; f</math></p> <p>Das Bild .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 15

Ein Gegenstand befindet sich 20cm vor einem konvexen Spiegel mit der Brennweite 15cm. Wo entsteht das Bild und welche Eigenschaften hat es?

### Aufgabe 16

Ein Gegenstand befindet sich 7,5cm vor einem konkaven Spiegel mit einem Radius von 30cm. Wo entsteht das Bild und welche Eigenschaften hat es?

### Aufgabe 17

Ein Hohlspiegel erzeugt von einem Gegenstand ein 5fach vergrößertes, reelles Bild. Gegenstand und Bild sind 72cm voneinander entfernt. Wie groß sind Brennweite und Gegenstandsweite?

### Aufgabe 18

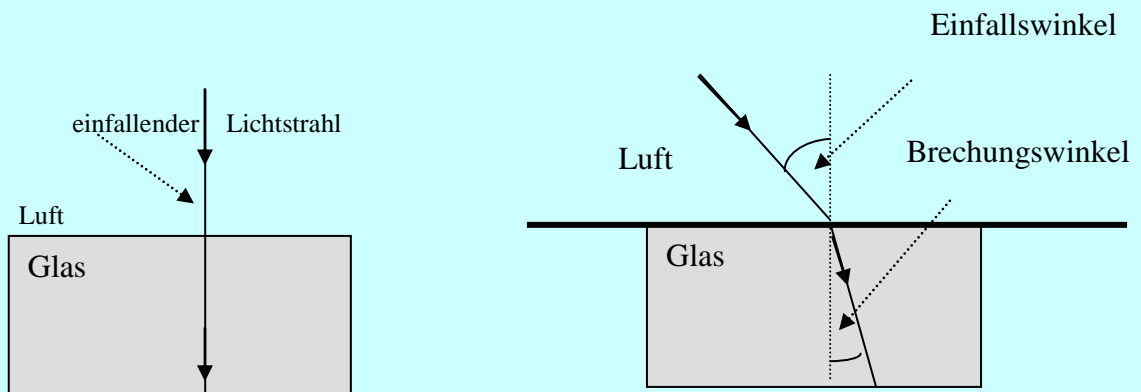
Vor dem Hohlspiegel steht ein Gegenstand. Wenn er sich dort befindet, ist das reelle Bild doppelt so groß wie der Gegenstand. Wenn man den Gegenstand um 0,24m zum konkaven Spiegel verschiebt, so ist das reelle Bild 5mal größer. Berechne die Brennweite des Spiegels.

## 4. Lichtbrechung und Totalreflexion



### Grundwissen

Die Richtungsänderung eines Strahls an der Grenzfläche zweier durchsichtiger Stoffe nennt man **Brechung**.



### Brechungsgesetz

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_e}{v_g}$$

$\alpha$ -Einfallswinkel

$\beta$ -Brechungswinkel

$v_e$ - die Geschwindigkeit des einfallenden Lichts

$v_g$ - die Geschwindigkeit des gebrochenen Lichts

$n$ - Lichtbrechungs faktor, (Brechzahl)

Der Brechungsindex  $n$  eines durchsichtigen Mediums ist definiert als Quotient aus der Vakuumlichtgeschwindigkeit und der Lichtgeschwindigkeit im Medium:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}}{\text{Lichtgeschwindigkeit im Medium}}$$

Das Snellius-Gesetz

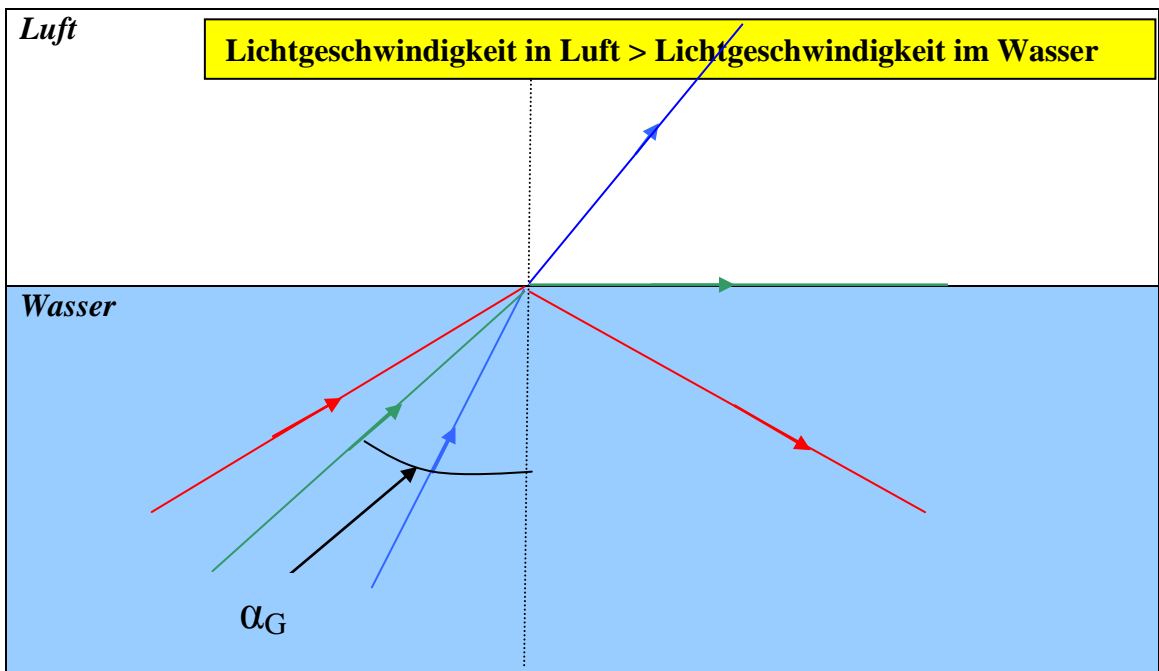
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$



durchsichtig \_\_\_\_\_  
 Ebene  $f$  \_\_\_\_\_  
 Brechungswinkel  $m$  \_\_\_\_\_  
 Brechungsfaktor  $m$  \_\_\_\_\_  
 Medium  $n$  \_\_\_\_\_



**Aufgabe 19 Totalreflexion**



a) Erläutere das Phänomen der Totalreflexion! Ab welchem Einfallswinkel tritt Totalreflexion auf, wenn Licht von Wasser in Luft übergeht?

.....  
 .....  
 .....

b) Überlege eine Versuchsanordnung, um den Grenzwinkel bei Totalreflexion experimentell zu ermitteln.

.....  
 .....  
 .....

**Aufgabe 20**

Womit bildet der Einfallswinkel  $\alpha$  - den Winkel?

- a) Wellennormale;
- b) Amplitude;
- c) Brechungswinkel;
- d) Oberflächengrenze;

**Aufgabe 21**

Was ändert sich bei der Brechung nicht?




- a) die Geschwindigkeit einer Welle;
- b) die Wellenlänge;
- c) die Frequenz einer Welle;
- d) die Richtung einer Welle;

**Aufgabe 22**

In anderen Stoffen ist die Geschwindigkeit der Welle gegenüber der Luft

- a) gleich gross;
- b) kleiner;
- c) größer;
- d) hängt vom Stoff ab.

**Aufgabe 23 Erkläre die Phänomene.**

	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 24

Wie groß ist die Geschwindigkeit des Lichtes im Diamant ( $n = 2,42$ )? (Abhängigkeit von der Frequenz (Dispersion) nicht beachten!)

### Aufgabe 25

In ein ein Meter tiefes Wasserbecken wird senkrecht ein Pfahl gerammt. Er schaut noch 30cm über den Wasserspiegel hinaus. Die Sonnenstrahlen treffen unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Wasseroberfläche auf.

- Skizziere den Vorgang und bezeichne die einzelnen Teile.
- Berechne die Länge des Pfahlschattens auf dem Grund des Beckens ( $n_w=1,33$ ).

### Aufgabe 26

Der Taucher sieht die Sonne unter dem Winkel  $60^\circ$  (zum Boden). Wie hoch ist der reelle Winkel der Sonne zum Horizont?

### Aufgabe 27

Wie groß ist der Grenzwinkel der Totalreflexion beim Übergang des Lichtes von Flintglas in Wasser? ( $n_w = 1,33$ ,  $n_F = 1,54$ )!

### Aufgabe 28

Wie groß ist der Durchmesser jenes Kreises, durch den ein 10m unter Wasser befindlicher Taucher den Himmel sehen kann? ( $n_w = 1,33$ )

### Aufgabe 29

Ein Bildleiterkabel von 4mm Durchmesser enthält 40 000 einzelne Lichtleiterfasern. Begründe, weshalb man eine solch große Anzahl von Lichtleiterfasern wählt.

### Aufgabe 30 (Leseverstehen)

#### ***Geschichte des Lichtwellenleiters (wikipedia.de)***

Schon 1870 versuchte John Tyndall, Licht gezielt in und durch einen Wasserstrahl zu leiten. In den Folgejahren beschäftigten sich Wissenschaftler und Techniker weltweit mit den Möglichkeiten, Lichtsignale durch verschiedene Medien zu übertragen. Mitte der 1950er Jahre wurden optische Leiter primär zur Beleuchtung innerer Organe in der Medizintechnik angewandt, für andere Anwendungen war der Lichtverlust im optischen Leiter noch zu groß. Erst mit der Entwicklung des ersten Lasers durch T.H. Maiman 1960 ergab sich die Möglichkeit, Licht konzentriert durch ein Medium zu transportieren. Die experimentelle Phase der gezielten Informationsübertragung über Lichtwellenleiter konnte nun in eine Phase der technischen Realisierung eintreten.

1966 entdeckten Dr. Charles Kuen Kao und Dr. George Hockham, dass das Hauptproblem für die verlustbehaftete Übertragung im Glas auf Unreinheiten im Glas zurückzuführen ist. Für seine Pionierarbeiten im Bereich der Glasfaseroptik wurde Kao



2009 mit dem Nobelpreis für Physik geehrt. 1970 produzierte und entwickelte die amerikanische Fa. Corning Inc. den ersten verlustarmen Lichtwellenleiter, der in der Lage war, Signale über eine längere Strecke ohne größere Verluste zu übertragen(...) In den folgenden Jahren wurden die Lichtwellenleiter stetig optimiert, und immer größere Strecken konnten mit immer höheren Datenmengen und -raten überbrückt werden. 1985 wurden so zum Beispiel von der British Telecom erstmals Signale ohne Zwischenverstärkung über eine Strecke von 250km übertragen.

Die anfänglich gegenüber Koaxialkabeln zu hohe Dämpfung und die damit verbundene kürzere Streckenoption hat sich im Laufe der Jahre ins Gegenteil verkehrt. Lichtwellenleiter umspannen heute unseren Kontinent und sind das Rückgrat der globalen Kommunikation und Informationsübertragung. AT&T, NEC und Corning stellten im Mai 2009 einen neuen Weltrekord auf. Über eine einzelne Glasfaser von 580km Länge wurden 320 Kanäle mit einer Datenrate von jeweils 114 Gigabit übertragen, was einer Bandbreite von insgesamt 32 Terabit entspricht.

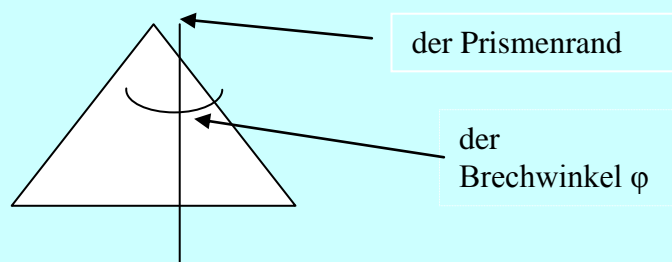
1. Welche Rolle spielte bei der weiteren Anwendung der Lichtsignale die Entwicklung des ersten Lasers?
2. Wer hat zur Verbesserung der Lichtwellenleiter beigetragen?
3. Was bildet heutzutage das Rückgrat der globalen Kommunikation und Informationsübertragung?

## 5. Prisma, die Dispersion des weißen Lichts



### Grundwissen

Ein **Prisma** ist ein fester, durchsichtiger Körper. Es ist zweiseitig von zwei Ebenen begrenzt, die sich längs einer Gerade schneiden. Diese Gerade nennen wir den Prismenrand. Der Winkel zwischen den beiden Ebenen heißt der Brechwinkel des Prismas.



### DIE LICHTBRECHUNG IN EINEM PRISMA

Ein einfarbiger Lichtstrahl wird in einem Prisma zweimal zur Grundfläche hin gebrochen.

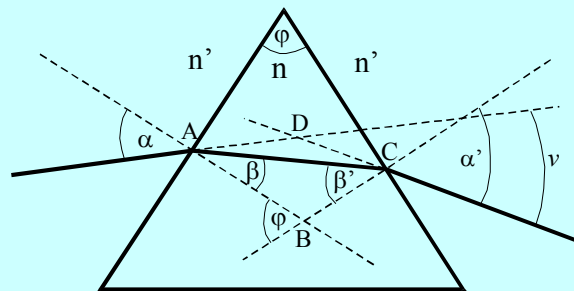
$v$  – der Ablenkungswinkel

$n$  – der Brechungsfaktor des durchsichtigen Körpers

$n'$  - der Brechungsfaktor des Mediums

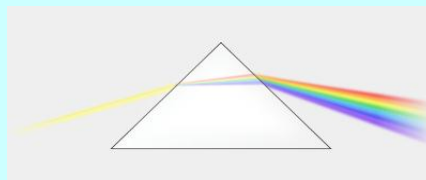
Für sehr kleine Winkel und das Medium Luft gilt:

$$v = (n - 1)\varphi$$



Leider sind die Winkel nur selten klein, so dass der Ablenkungswinkel  $v$  von dem Einfallswinkel  $\alpha$  abhängig ist.

Der **Brechungsindex** eines Materials ist normalerweise nicht konstant, sondern hängt von Frequenz und Wellenlänge des einfallenden Lichtes ab. Dies führt zu (leicht) verschiedenen Ablenkungswinkeln für unterschiedliche Wellenlängen, wenn Licht die Grenzfläche zwischen zwei Medien passiert. Dieser Effekt wird als **Dispersion** bezeichnet.



Weißes Licht, rot, gelb, grün, violett

Prisma  $n$  \_\_\_\_\_

Brechwinkel  $m$  \_\_\_\_\_

Ablenkungswinkel  $m$  \_\_\_\_\_

Dispersion  $f$  \_\_\_\_\_

Prismenrand  $m$  \_\_\_\_\_

Brechungsfaktor  $m$  \_\_\_\_\_

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 31

In einem Glasprisma fällt ein Lichtstrahl senkrecht auf die Hypotenusenfläche, wird dann an der unteren Kathete total reflektiert und verlässt schließlich das Prisma an der rechten Kathete unter dem Winkel  $53^\circ$ . Das Prisma steht/zeigt mit der kürzeren Kathete nach unten. Wie muss man den Strahlengang zeichnen?

### Aufgabe 32

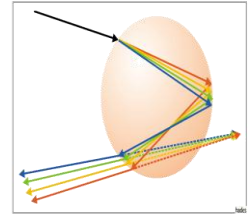
Zeichne den Strahlenverlauf in einem Glasprisma, wenn:

- die Brechzahl des Außenmediums größer als die Brechzahl des Glasprismas ist.
- der Strahl unter dem  $90^\circ$ -Winkel an der anderen Wand des Glasprismas bricht.

**Aufgabe 33**

Lies den Text und stelle 3 Fragen zum Text.

Der Brechungsindex eines Materials ist normalerweise nicht konstant, sondern hängt von Frequenz und Wellenlänge des einfallenden Lichtes ab. Dies führt zu (leicht) verschiedenen Ablenkungswinkeln für unterschiedliche Wellenlängen, wenn Licht die Grenzfläche zwischen zwei Medien passiert. Dieser Effekt wird als Dispersion bezeichnet. Die bekanntesten Beispiele für Dispersion findet man in Prismen und im Regenbogen. Die Abbildung oben zeigt schematisch die Brechung und Reflexion von Sonnenlicht an Wassertropfchen, die zu einem Regenbogen führt. Der mittlere Winkel zwischen einfallendem und zurückgeworfenem Licht beträgt  $41^\circ$ . Je kleiner die Wellenlänge, desto größer wird der Brechungswinkel: Rot wird weniger abgelenkt als Blau. So entsteht ein Regenbogen.



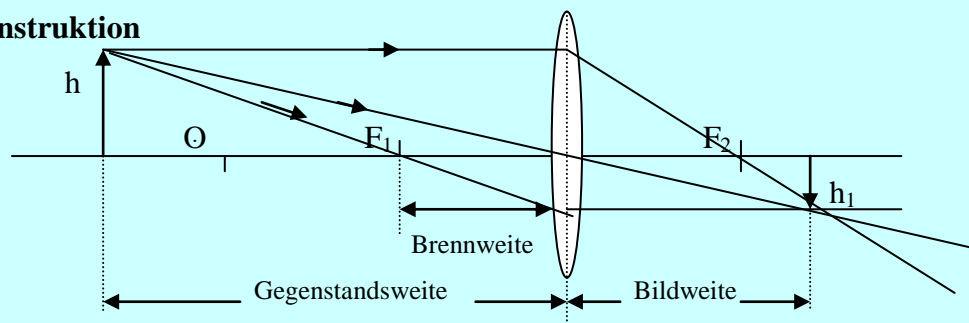
- 1.....
- 2.....
- 3.....

**6. Die Linsen**



**Grundwissen**

**Die Bildkonstruktion**



Die Größe des Bildes hängt von der Gegenstandsweite ab. Als Abbildungsmaßstab bezeichnet man das Verhältnis von Bildgröße  $h_1$  zu Gegenstandsgröße  $p = \frac{h_1}{h}$ .

Die Brechkraft einer Linse ist das Inverse der Brennweite:

$$Z = \frac{1}{f}$$

Die Brechkraft wird meist in der Einheit Dioptrie (D) angegeben. Die Einheit der Brechkraft ist einfach  $1 \text{ D} = 1 / \text{m}$ , also der Kehrwert von Meter.

Zur mathematischen Beschreibung von Linsen verwendet man die folgenden Konventionen:

- Die Brennweite einer bündelnden (konvexen) Linse ist positiv. Die Brennweite einer zerstreuenden (konkaven) Linse ist negativ.
- Die Bildweite  $q$  ist positiv, wenn das Bild auf der gegenüberliegenden Seite der Linse entsteht, und sonst negativ.

Mit diesen Konventionen gilt die Spiegelgleichung auch für Linsen

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$

Die Brennweite hängt von den Krümmungsradien  $R_1$  und  $R_2$  der beiden Linsenflächen ab. Wenn die betrachteten Linsen relativ dünn sind, wird aus der obigen Gleichung :

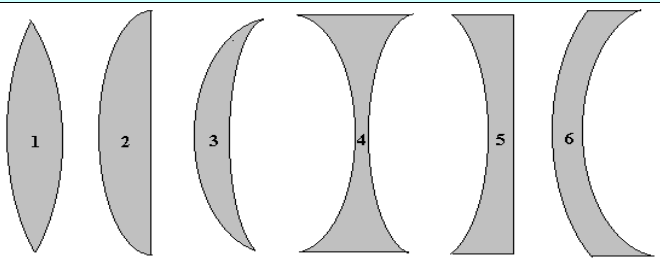
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

wobei  $n_2$  die Brechzahl des Linsenmaterials,  $n_1$  die Brechzahl des umgebenden Mediums (z.B. Luft mit  $n_1 = 1$ ) ist.

Es gibt zwei Gruppen von Linsen:

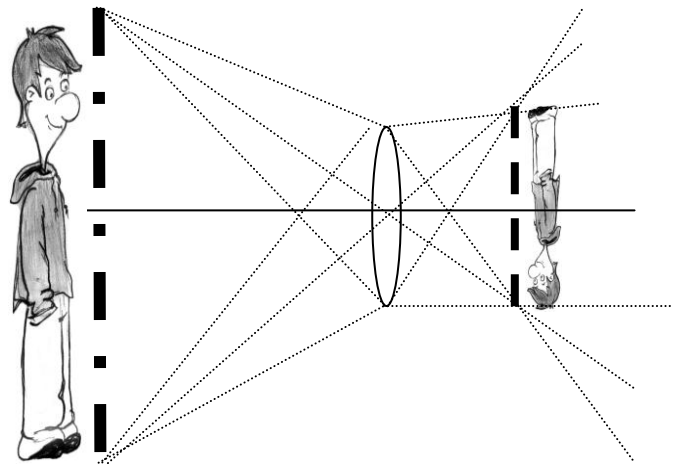
Die ersten 3 Linsenarten gehören zur Gruppe der **Sammellinsen**, diese sammeln parallel einfallende Strahlen und vereinigen sie in einem Punkte hinter der Linse.

Die übrigen gehören zur Gruppe der **Zerstreuungslinsen**, diese zerstreuen parallel einfallende Strahlen so, dass sie von einem Punkt vor der Linse zu kommen scheinen.



1. bikonvexe Linse
2. plankonvexe Linse
3. konkavkonvexe Linse
4. bikonkave Linse
5. plankonkave Linse
6. konvexkonkave Linse

- Linse  $f$  \_\_\_\_\_
- sammeln \_\_\_\_\_
- zerstreuen \_\_\_\_\_
- Sammellinse  $f$  \_\_\_\_\_
- Zerstreuungslinse  $f$  \_\_\_\_\_
- bikonvexe Linse  $f$  \_\_\_\_\_
- plankonvexe Linse  $f$  \_\_\_\_\_
- konkavkonvexe Linse  $f$  \_\_\_\_\_
- bikonkave Linse  $f$  \_\_\_\_\_
- plankonkave Linse  $f$  \_\_\_\_\_
- konvexkonkave Linse  $f$  \_\_\_\_\_
- Brennebene  $f$  \_\_\_\_\_
- Brechkraft  $f$  \_\_\_\_\_



*Das reelle, verkleinerte und umgekehrte Bild*

### Interessant !!!

#### Warum der Brennpunkt so heißt?

Um 1870 zeigte der Franzose Abel Pifre einem staunenden Publikum, wie man Sonnenenergie praktisch nutzen kann. Er stellte im Garten der Tuileries in Paris einen Hohlspiegel auf, der von den Parallelstrahlen der Sonne getroffen wurde. Ihre im Brennpunkt konzentrierte Energie entwickelte eine solche Hitze, dass dort Wasserdampf erzeugt werden konnte.

### Aufgabe 34 Die Konstruktion des Bildes einer Sammellinse

Warum sind achsenparallele Strahlen, Brennstrahlen und Haupt- oder Mittelpunktstrahlen für die Konstruktion von Bildern von besonderer Bedeutung? Kreuze die richtigen Sätze an.

Sie gehen als einzige Strahlen durch den Bildpunkt.	<input type="checkbox"/>
Sie werden als einzige Strahlen nicht von der Linse gebrochen.	<input type="checkbox"/>
Sie sind die einzigen Strahlen, die vom Originalpunkt ausgehen.	<input type="checkbox"/>
Sie gehen wie alle Strahlen durch den Bildpunkt, ihr Verlauf ist aber leicht zu konstruieren.	<input type="checkbox"/>
Sie sind die einzigen Strahlen, die von der Linse gebrochen werden.	<input type="checkbox"/>

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 35

Eine Sammellinse hat eine Brennweite von 30cm. Wie sieht das Bild eines Gegenstands aus, der 40cm vor der Linse steht?

### Aufgabe 36

Ein Gegenstand soll in dreifacher Größe abgebildet werden. Wie groß müssen Gegenstands- und Bildweite sein, wenn die Brennweite der Sammellinse 120mm beträgt?

### Aufgabe 37

Bei einer Sammellinse wird ein Gegenstand im Abstand 10cm auf ein scharfes Bild im Abstand 4cm abgebildet. Welche Brennweite hat die Linse?

### Aufgabe 38

Ein Objekt wird durch eine Linse auf einen Schirm, der sich 12cm hinter der Linse befindet, scharf abgebildet. Entfernt man die Linse um 2cm vom Objekt, dann muss man den Schirm um 2cm näher an die Linse heranbringen, um wieder ein scharfes Bild zu erhalten. Wie groß ist die Brennweite der Linse?

### Aufgabe 39

Ein Gegenstand von 10m Höhe soll in einer Größe von 0,5m mit einer Sammellinse auf einer Projektionswand abgebildet werden. Dabei soll die Entfernung Linse-Schirm 3m betragen.

- In welcher Entfernung zur Linse muss der Gegenstand aufgestellt werden?
- Berechne, welche Brennweite die Sammellinse haben muss.

### Aufgabe 40

Eine Linse hat eine Brechkraft von 10D. Berechne die Entfernung des Gegenstandes von der Linse, wenn der Abstand zwischen dem Gegenstand und dem reellen Bild 25cm beträgt.

### Aufgabe 41

Eine Konkavlinse mit der Brennweite 8cm erzeugt von einem 4cm großen Gegenstand ein virtuelles Bild. Die Entfernung Bild - Gegenstand beträgt 15cm. Berechne die Bild- und Gegenstandsweite, sowie die Bildgröße.

### Aufgabe 42

In einem Glaskatalog wird der Brechungsindex für Brillengläser mit  $n=1.52$  angegeben.

- Was besagt der Brechungsindex?
- Wie wirkt sich optisch ein höherer Brechungsindex aus?

### Aufgabe 43

Eine dünne Linse (Brechungsindex  $n_1=1,5$ ) hat in Luft eine Brechkraft von +4D und in Flüssigkeit von -1D. Berechne den Brechungsindex der Flüssigkeit.

**Aufgabe 44**

Eine dünne Sammellinse aus Glas mit der Brechzahl  $n_G = 1,51$  hat eine Brennweite in Luft ( $n_L = 1$ ) von  $f_L = 30\text{cm}$ . Wie groß ist die Brennweite, wenn sich die Linse vollständig in Schwefelkohlenstoff befindet ( $n_S = 1,63$ )?

**7. Optische Instrumente, die Lupe, das Mikroskop, das Fernrohr**



**Grundwissen**

Der Sehwinkel entsteht zwischen zwei Strahlen, die durch zwei Randpunkte des Gegenstands laufen. Je größer der Sehwinkel ist, desto besser sehen wir den Gegenstand. Die Vergrößerung der Instrumente können wir mit Hilfe der Formel berechnen:

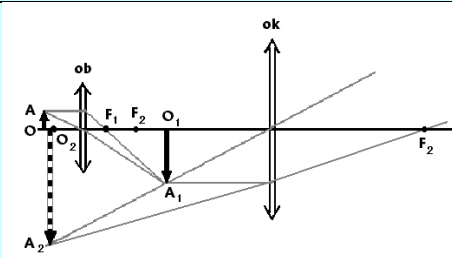
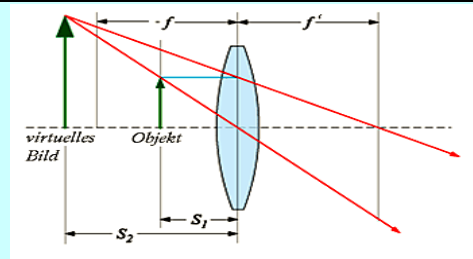
$$p = \frac{\alpha}{\beta}$$

$\alpha$  – Sehwinkel mit dem Instrument;  $\beta$  – Sehwinkel ohne Instrument

**Die Lupe**

Die Vergrößerung einer Lupe

$$p = \frac{d + f}{f} = \frac{d}{f} + 1$$



**Das Mikroskop**

Die Vergrößerung eines Mikroskops ist das Produkt aus der Vergrößerung des Objektivs  $p_{ob}$  und der Vergrößerung des Okulars  $p_{ok}$ .

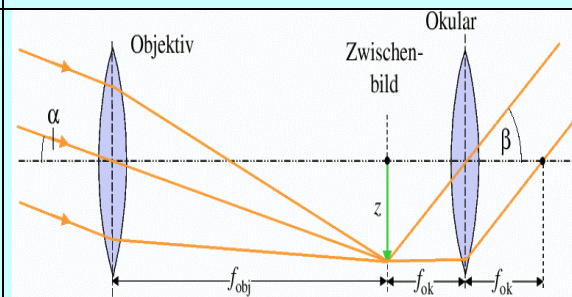
$$p = p_{ok} \cdot p_{ob}$$

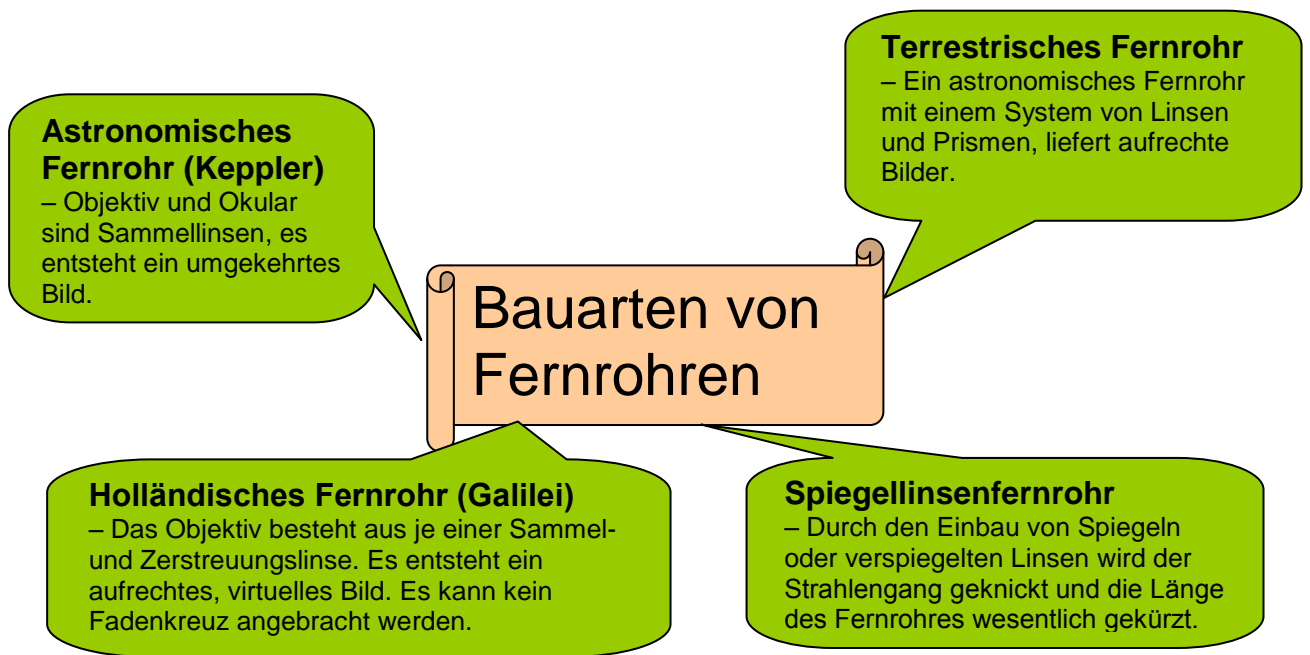
**Das Fernrohr**

Die Vergrößerung eines Fernrohrs (astronomisches Fernrohr) ist durch

$$V = \frac{f_{Ob}}{f_{Ok}}$$

gegeben. Dabei sind  $f_{ob}$  und  $f_{ok}$  die Brennweiten von Objektiv bzw. Okular.





## Rechenaufgaben

### Aufgabe 45

Eine Ameise wird mit einer Lupe der Brennweite  $f_L = 5\text{cm}$  betrachtet. Wie vielfach vergrößert kann sie beobachtet werden?

### Aufgabe 46

Auf einer Lupe steht die Aufschrift:  $1\frac{1}{2}$ -fach. Welche Brennweite hat sie?

### Aufgabe 47

Menschliche Haare sind etwa  $40 - 100\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m} = 1\text{Mikrometer} = 10^{-6}\text{m}$ ) dick. Wie dick erscheinen sie unter einer Lupe mit der Brennweite  $f_L = 2\text{cm}$ ?

### Aufgabe 48

Ein Fernrohr hat ein Objektiv mit der Brennweite  $f=150\text{cm}$ . Welche Brennweite muss das Okular besitzen, damit das Fernrohr eine 50-fache Vergrößerung aufweist?

### Aufgabe 49

Welche Brennweite muss ein Objektiv haben, damit man a) einen Kopf in  $2\text{m}$  Entfernung in zehnfacher Verkleinerung, b) ein Tier von  $1\text{m}$  Höhe in  $40\text{m}$  Entfernung  $1\text{cm}$  groß abbilden kann.


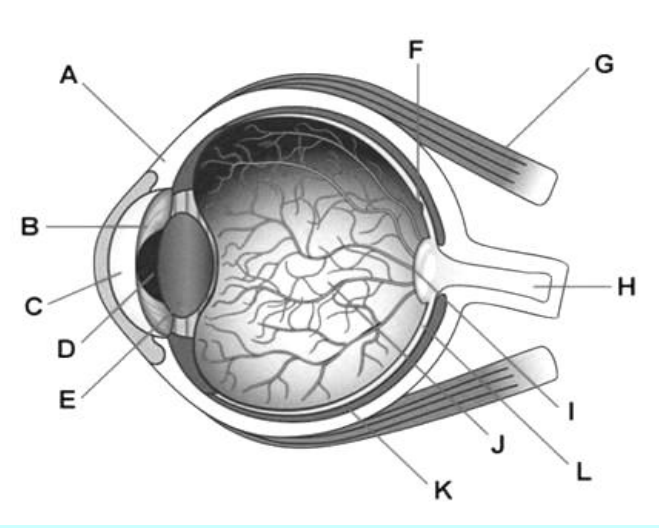
### Aufgabe 50

**In Text A passen zwei Wörter nicht und in Text B passen drei Wörter nicht. ([www.phynet.de](http://www.phynet.de)) Streiche sie und finde die richtigen.**

A) Der Fotoapparat ist ein Linsensystem. Dieses wird bei jedem Foto so eingestellt, dass die feste Bildweite (der Film ist immer gleich hoch von der Linse entfernt) an die variable Gegenstandsweite angepasst wird. Daher ist nur der Teil des Bildes scharf, dessen Gegenstandspunkte in der eingestellten Bildweite waren. Je größer der Bereich ist, der scharf dargestellt wird, desto größer ist die Tiefenschärfe des Fotoapparates.



B) Das für das menschliche Auge sichtbare weiße Licht setzt sich aus verschiedenen Farben mit unterschiedlichen Wellenlängen und Geschwindigkeiten zusammen. Das Spektrum des Lichts reicht vom langwelligen roten Licht (ab  $3.9 \cdot 10^{14}$  Hz) bis zum kurzwelligeren violetten Licht (bis  $7.7 \cdot 10^{14}$  Hz).

<h2 style="color: red;">8. Das Auge als optisches Instrument</h2>	
 <h3 style="color: red;">Grundwissen</h3>	
<p><b>Aufbau des Auges</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A - Hornhaut</li> <li>B - Iris</li> <li>C - Vorderkammer</li> <li>D - Pupille</li> <li>E - Augenlinse</li> <li>F - gelber Fleck</li> <li>G - Augenmuskel</li> <li>H - Sehnerv</li> <li>I - blinder Fleck</li> <li>J - Glaskörper</li> <li>K - Gefäßhaut</li> <li>L - Netzhaut</li> </ul>	

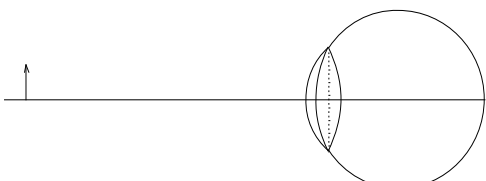
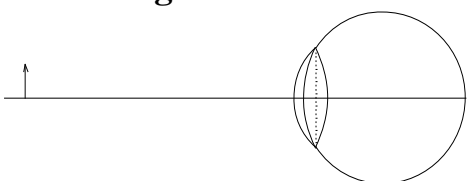
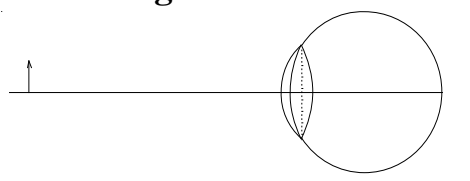
- Hornhaut *f* \_\_\_\_\_
- Iris, -e/Regenbogenhaut *f* \_\_\_\_\_
- Vorderkammer *f* \_\_\_\_\_
- Pupille *f* \_\_\_\_\_
- gelbe Fleck *m* \_\_\_\_\_
- Augenmuskel *m* \_\_\_\_\_
- Sehnerv *m* \_\_\_\_\_
- blinde Fleck *m* \_\_\_\_\_
- Glaskörper *m* \_\_\_\_\_
- Gefäßhaut *f* \_\_\_\_\_
- Netzhaut *f* \_\_\_\_\_
- Zäpfchen *n* \_\_\_\_\_
- Stäbchen *n* \_\_\_\_\_
- lichtempfindlich \_\_\_\_\_
- Akkommodation *f* \_\_\_\_\_
- Kurzsichtigkeit Weitsichtigkeit Stabsichtigkeit *f* \_\_\_\_\_
- deutliche Sehweite *f* \_\_\_\_\_

**Aufgabe 51 Ordne die Beschreibungen den Oberbegriffen zu.**

1	Kurzsichtigkeit	Das Auge ist relativ zu kurz. Die einfallenden Lichtstrahlen werden durch das brechende System aus Hornhaut und Linse nicht stark genug gebündelt, so dass sie erst hinter der Netzhaut in einem Punkt zusammentreffen; es entsteht ein unscharfes Bild für die Nähe.
2	Weitsichtigkeit	Das Auge hat hierbei zwar die richtige Länge, die Hornhaut ist aber nicht symmetrisch und gleichmäßig ausgebildet. Je nachdem, ob die Lichtstrahlen oben und unten oder links und rechts durch die Hornhaut fallen, werden sie unterschiedlich stark gebündelt. Dies hat zur Folge, dass die Lichtstrahlen auf der Netzhaut nicht in einem einzigen Punkt zusammentreffen, sondern dass sie sich, je nachdem durch welchen Anteil der Hornhaut sie gebrochen werden, vor oder hinter der Netzhaut kreuzen und wieder entsteht ein verzerrtes und unscharfes Bild.
3	Stabsichtigkeit	Das Auge ist relativ zu lang. Die Netzhaut befindet sich gegenüber Hornhaut und Linse zu weit hinten, so dass die einfallenden Lichtstrahlen durch Hornhaut und Linse zu stark gebündelt werden, dadurch schon vor der Netzhaut zusammentreffen und ehe die Lichtstrahlen die Netzhaut erreichen, sich schon wieder zerstreuen. Dadurch entsteht ein unscharfes Bild für die Ferne. Die Länge des Augapfels kann nicht verändert werden.

**Aufgabe 52**

Zeichne, wie die Strahlen bei Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit verlaufen.

<p><b>Richtiger Verlauf der Lichtstrahlen</b></p> 	
<p><b>Kurzsichtigkeit</b></p> 	<p><b>Weitsichtigkeit</b></p> 

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 53

Um Kurzsichtigkeit zu korrigieren, ist ein Brillenglas mit der Dioptrienzahl  $D = -2D$  notwendig. Wie groß ist die maximale Entfernung, auf die das Auge ohne Kontaktlinse bzw. Brille akkommodieren kann?

### Aufgabe 54

Bei normaler Länge des Augapfels kann das altersweitsichtige Auge nur noch bis zu 40cm akkommodieren. Berechne die notwendige Dioptrienzahl einer Brille, die scharfes Sehen bis 20cm möglich macht.

Wie groß ist die maximale Entfernung, bis zu der das Auge mit Hilfe der Brille noch akkommodieren kann?

## 9. Beugung und Interferenz des Lichtes



### Grundwissen

**Die Beugung (Diffraktion) des Lichts** bedeutet Abweichung der Richtung des ausgehenden Lichts von seiner ursprünglichen Richtung, wenn es durch kleine Höhlen, Spalte geht oder auf Hindernisse trifft.

**Ein optisches Gitter (Diffraktionsnetz)** besteht aus einer großen Anzahl von parallelen und gleichweit voneinander entfernten Spalten, die man durch Ritzen auf der Glasoberfläche erzeugt. Die Ritzen lassen das Licht nicht durch. Den Abstand zweier benachbarter Spalte nennt man die Gitterkonstante  $a$ .

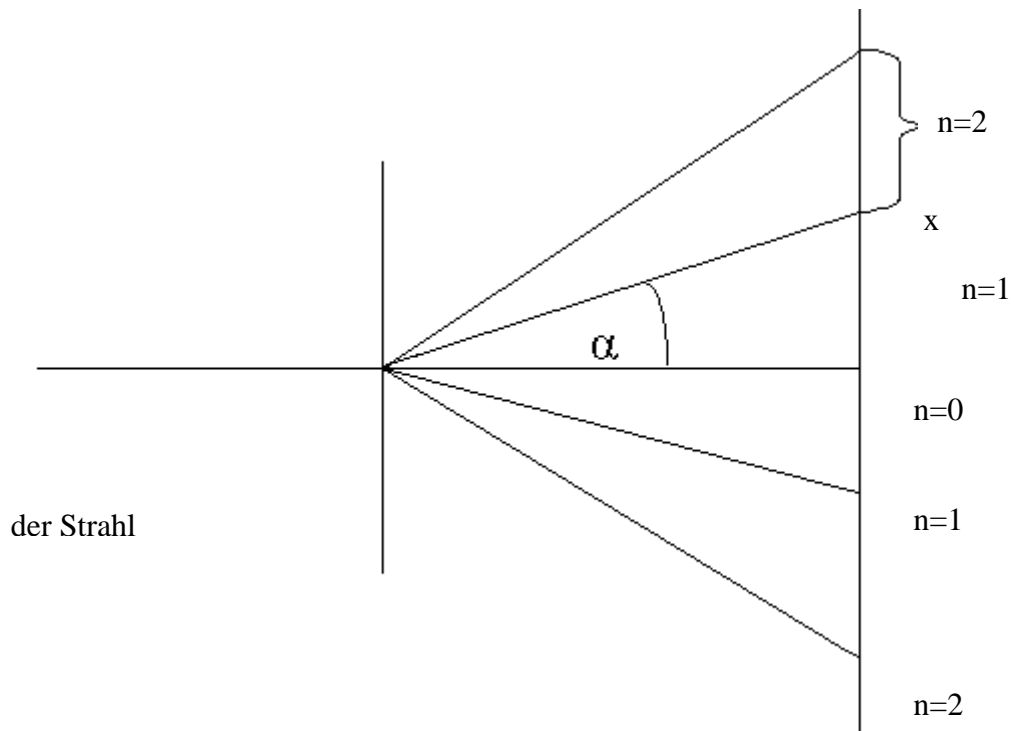
Einfacher: es ist ein System gleichartiger Elemente, die das Licht beugen.

Die Arten von Gittern:

- a) **Spaltgitternetz** – Glas
- b) **Zweidimensionales Beugungsgitter** – ein regelmäßiges Netz von Beugungselementen in einer Ebene, zum Beispiel Punkte oder ein feines Drahtgitter
- c) **Dreidimensionales Beugungsgitter** – ein regelmäßiges Netz von Beugungselementen im Raum, z.B. für Röntgen ein Kristallgitternetz.

**Die Messung der Lichtwellenlänge**

Mithilfe von Interferenzerscheinungen lässt sich die Lichtwellenlänge sehr präzise messen. Die erste derartige Messung wurde im Jahre 1803 von Young ausgeführt und wurde dann noch häufig wiederholt.



Wir lassen eine monochromatische Leertask (einfarbige), ebene Lichtwelle auf ein Beugungsgitter fallen. Aus jedem Spalt kommt ein divergentes Lichtbündel heraus. Wir betrachten nur die aus jedem Spalt austretenden Strahlen, die unter einem Winkel  $\alpha$  zur optischen Achse austreten. Der Gangunterschied (Differenz der zurückgelegten Strecken)  $\Delta r$  von aus benachbarten Spalten kommenden Wellen beträgt:

$$\Delta r = a \sin \alpha$$

Wenn der Gangunterschied  $\Delta r$  gleich  $\lambda$  ist, dann verstärken sich die Wellen durch Interferenz. Das Licht aus allen wirkenden Spalten zusammen ergibt unter dem Winkel  $\alpha$  einen hellen Streifen auf dem Schirm. Verstärkung tritt auch ein, wenn der Gangunterschied  $2\lambda, 3\lambda, 4\lambda, \dots, n\lambda$  ist. Wir können das als Formel so schreiben:

$$\Delta r = n\lambda$$

oder:

$$\mathbf{n\lambda = a \sin \alpha_n}$$

$$n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$$

- Beugung  $f$  \_\_\_\_\_
- Abweichung  $f$  \_\_\_\_\_
- Aushöhlung  $f$  \_\_\_\_\_
- Spalt  $m$  \_\_\_\_\_
- Beugungsgitter  $n$  \_\_\_\_\_
- Ritze  $f$  \_\_\_\_\_
- Gitterkonstante  $f$  \_\_\_\_\_
- Spaltgitternetz  $n$  \_\_\_\_\_
- zweidimensionale Beugungsgitter  $n$  \_\_\_\_\_
- 3-D-Kristallgitter  $n$  \_\_\_\_\_
- divergent \_\_\_\_\_
- Verstärkung  $f$  \_\_\_\_\_

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 55

Zwei enge Spalte haben den Abstand  $d$  voneinander. Das Interferenzmuster wird auf einem Schirm im großen Abstand  $l$  beobachtet.

- Berechne den Abstand benachbarter Maxima auf dem Schirm für Licht der Wellenlänge  $500\text{nm}$  sowie  $l = 1\text{m}$  und  $d = 1\text{cm}$ .
- Welchen Abstand müssen die Spalte haben, damit die Maxima jeweils  $1\text{mm}$  voneinander entfernt sind?

### Aufgabe 56

Ein Gitter hat  $500$  Linien pro  $\text{mm}$ . Der Schirmabstand beträgt  $1,50\text{m}$ . Welchen Abstand hat bei einer Wellenlänge  $\lambda = 780\text{nm}$  die Spektrallinie 1. Ordnung von der Linie 2. Ordnung?

### Aufgabe 57

Das farbige Licht der austretenden Strahlen aus einem Prisma hat die Wellenlänge  $r = 700\text{nm}$  bzw.  $v = 400\text{nm}$ . Man lässt es jeweils senkrecht auf ein Beugungsgitter fallen. (Helligkeitsmaxima 1. Ordnung) Wie erklärt sich die Tatsache, dass die blauen Maxima näher beieinander liegen als die roten?

### Aufgabe 58

Durch ihre feine Rillenstruktur bedingt lässt sich eine CD-Rom als Reflexionsgitter benutzen. Lässt man das rote Licht eines He-Ne-Lasers ( $\lambda = 656,3\text{nm}$ ) von solch einer CD reflektieren, dann beobachtet man zwischen den Hauptmaxima 0. und 1. Ordnung einen Winkel von  $22^\circ$ . Wie groß ist der Abstand der Rillen?

Wie groß ist der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bits, wenn auf der CD zwischen  $r = 2,2\text{cm}$  und  $r = 5,5\text{cm}$   $600\text{MB}$  Daten gespeichert sind?

### Die Top Zehn der schönsten Experimente

(Bei einer Umfrage im Mai 2002 des Organs der englischen physikalischen Gesellschaft "Physics World" nach dem schönsten Experiment aller Zeiten)

- 1 Jönssons Doppelspaltexperiment mit Elektronen (1961)
- 2 Galileis Experiment über den freien Fall (um 1620)
- 3 Millikans Öltropfenversuch (1909)
- 4 Newtons Spektralzerlegung des Lichts (1665-66)
- 5 Youngs Experiment zur Interferenz des Lichts (1801)
- 6 Cavendish's Torsionsdrehwaage (1798)
- 7 Eratosthenes' Messung des Erdumfangs (um -300)
- 8 Galileis Experiment an der schiefen Ebene (um 1600)
- 9 Rutherfords Streuversuch (1911)
- 10 Foucaults Pendelversuch (1851)

## 10. Polarisation



### Grundwissen

Elektromagnetische Schwingungen (also auch Licht) breiten sich in ihrer Wellenbewegung in beliebigen Schwingungsebenen aus. Elektromagnetische Schwingungen mit nur einer ausgezeichneten Schwingungsebene nennt man polarisiert. Polarisation ist nur bei Transversalwellen möglich.

#### Polarisation durch Reflexion

Wenn natürliches Licht auf eine Glasoberfläche fällt, so ist es - außer bei senkrechtem Einfall - nach der Reflexion teilweise polarisiert. Bei einem bestimmten Winkel, dem Polarisationswinkel (oder Brewsterwinkel), ist der reflektierte Strahl vollständig linear polarisiert. In diesem Falle gilt das

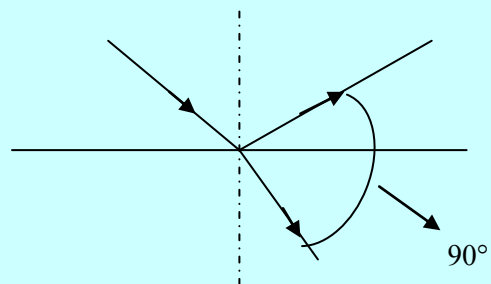
#### Brewstersche Gesetz:

Das reflektierte Licht ist senkrecht zur Einfallsebene vollständig linear polarisiert, wenn es von einem Medium mit dem Brechungsindex  $n_1$  unter dem

Einfallswinkel  $\text{tg } \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$  auf ein

Medium mit dem Brechungsindex  $n_2$  trifft.  
Wenn erstes Medium Luft ist:

$$\text{tg}_B = n_2$$



### Polarisationsfilter

„Er lässt nur Transversalwellen (zum Beispiel Licht) einer bestimmten Schwingungsrichtung durch und absorbiert im Gegensatz zu anderen Polarisatoren den Rest.“

(wikipedia.de)

Mit Hilfe eines Polarisationsfilters kann man die Polarisation von Licht (elektromagnetischen Wellen) ändern oder herstellen. Diese lassen nur Licht mit einer bestimmten Schwingungsrichtung durch. Dabei erzeugt man meistens eine lineare Polarisation. Meistens handelt es sich dabei um Folien aus dichroitischen Kristallen.

### Polarimeter

Ein Polarimeter ist meistens aus zwei Nicolschen Prismen aufgebaut. Der feste Polarisator polarisiert das Licht der Lichtquelle linear und der drehbare Analysator dahinter übt die gleiche Funktion aus. Kreuzt man die beiden Polarisationsfilter, so dürfte kein Licht passieren; das Gesichtsfeld, auf das der Betrachter sieht, müsste dunkel bleiben. Bringt man die Probensubstanz zwischen die beiden Polarisationsfilter, kommt es eventuell, in Abhängigkeit vom Drehwert, zu einer Aufhellung, welche die Messung des Drehwerts ermöglicht.

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 59

Wie groß ist der Polarisationswinkel a) von Diamant ( $n = 2,42$ ), b) von Wasser ( $n=1,33$ ), c) von Glas ( $n=1,54$ )?

### Aufgabe 60

Das Licht wird vom Polarisator linear polarisiert. Es durchläuft eine Zuckerlösung. An den Zuckermolekülen ändert sich die Schwingungsebene (Polarisationsrichtung) des Lichtes. Die Veränderung der Schwingungsebene ist ein Maß für die Zuckerkonzentration der Lösung. In Lösungen ist der Drehwinkel zudem proportional zur Konzentration  $c$

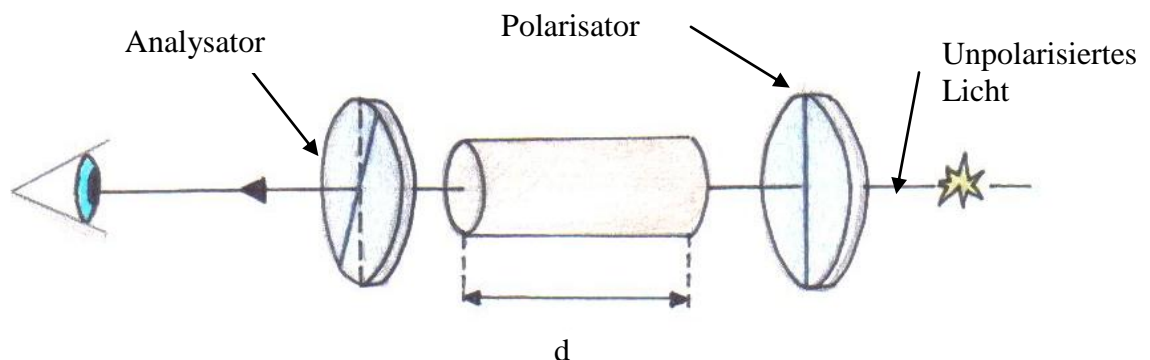
$$\alpha = \alpha_0 \cdot c \cdot d$$

$\alpha_0$  - spezifisches Drehvermögen,  $c$  - Konzentration des Zuckers,  $d$  - Länge des Behälters

Für Lösungen von Rohrzucker bei  $20^\circ \text{ C}$  findet man typischerweise spezifisches

Drehvermögen  $\alpha_0 = 66,5^\circ \frac{\text{cm}^3}{\text{dm} \cdot \text{g}}$  für gelbes Licht. Damit kann aus der Messung des

Drehwinkels der Polarisationsebene die Konzentration des Zuckers bestimmt werden, (ein Standardverfahren zur medizinischen Blut- oder Harn- Untersuchung).



Mit dem Analysator lässt sich diese Veränderung beobachten und auch messen. Es wird eine Zuckerlösung unbekannter Konzentration vorgegeben. Der Drehwinkel des polarisierten Lichtes wird am Analysator abgelesen und notiert ( $\alpha = 7,7^\circ$ ). Bestimme aus dem Drehwinkel der Polarisation den Zuckergehalt der untersuchten Lösung.

### Interessant !!!

Obwohl die Sonne unpolarisiertes Licht liefert, ist auch in der Natur teilpolarisiertes Licht zu beobachten. So ist z.B. das Streulicht des blauen Himmels linear teilpolarisiert und ebenso das an einer Wasseroberfläche reflektierte Licht. Viele Insekten nutzen diesen Effekt um sich zu orientieren. Für die Honigbiene wurde dies von Karl von Frisch erforscht. Bienen können im Gegensatz zum Menschen den roten Anteil des Farbspektrums nicht wahrnehmen, dafür aber einen Teil des ultravioletten Lichts. Zudem sehen sie das Licht polarisiert, was ihnen in Kombination mit dem tageszeitlichen Sonnenstand eine genaue Bestimmung der Himmelsrichtung ermöglicht.



# Kapitel II. Quantenphysik

## 1. Photoelektrischer Effekt

## 2. Materiewellen, Heisenbergsche Unschärferelation

## 3. Röntgenstrahlung

## 4. Das Bohrsche Atommodell

### 1. Photoelektrischer Effekt



#### Grundwissen

Bei Bestrahlung einer Metalloberfläche mit kurzwelligem Licht, werden aus dem Metall Elektronen herausgelöst (Abb.1). Diesen Effekt nennt man Fotoeffekt oder Äußerer Lichtelektrischer Effekt.

Für diesen Effekt gilt die Einsteinsche Gleichung:

$$hf = W + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad \text{oder} \quad h \frac{c}{\lambda} = W + \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

wobei:

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  - Plancksche Konstante (Plancksches Wirkungsquantum)

$f$  - Frequenz des Lichtes

$\lambda$  - Wellenlänge des Lichtes

$W$  - Austrittsarbeit des Elektrons aus der Metalloberfläche

$m$  - Masse des Elektrons

$v_{\max}$  - Geschwindigkeit der schnellsten, herausgelösten Elektronen

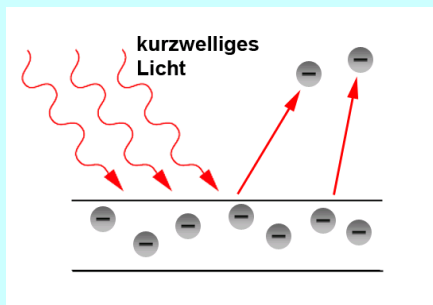


Abb. 1

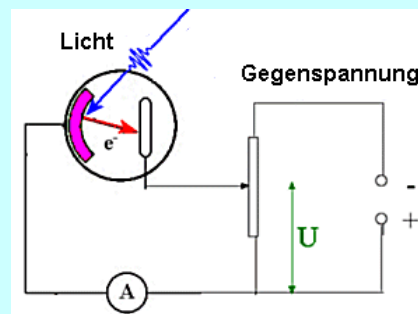


Abb.2

Die experimentelle Untersuchung des Photoeffektes erfolgt mit Hilfe einer Photozelle und der so genannten Gegenspannungsmethode (Abb. 2)

Beleuchtet man die Fotokathode mit Licht unterschiedlicher Frequenzen, so stellt man fest, dass die Energie der Elektronen mit steigender Lichtfrequenz zunimmt. Eine größere Gegenspannung ist nötig, um die Elektronen daran zu hindern, auf die Anode zu gelangen. Die Einsteinsche Gleichung für Photoeffekt kann man auch auf folgende Weise aufschreiben:

$$hf = W + eU_B$$

wo:  $U_B$  - Bremsspannung (Gegenspannung, bei der der Fotostrom gerade Null wird).

- Anode  $f$  \_\_\_\_\_
- Austrittsarbeit  $f$  \_\_\_\_\_
- Bestrahlung  $f$  \_\_\_\_\_
- Fotoeffekt  $m$  \_\_\_\_\_
- Fotokathode  $f$  \_\_\_\_\_
- Fotostrom  $m$  \_\_\_\_\_
- Fotozelle  $f$  \_\_\_\_\_
- Gegenspannung  $f$  \_\_\_\_\_
- Photon/Foton  $n$  \_\_\_\_\_
- Plancksche Konstante  $f$
- Plancksche Wirkungsquantum  $n$  \_\_\_\_\_

### Aufgabe 61

Ergänze die folgenden Sätze richtig mithilfe der in der Tabelle angegebenen Begriffe.

***Frequenz, unterschiedlicher, hindern, Beleuchtungsstärke, steigender, die Intensität, Grenzfrequenz, Ausbreitung, Elektronen***

1. In einer Fotozelle werden durch die auftreffenden Lichtquanten ..... aus einer Kathode heraus gelöst.
2. Die beim Fotoeffekt auf ein heraus gelöstes Elektron übertragene Energie wächst mit der ..... des Lichtes.
3. Die maximale kinetische Energie der heraus gelösten Elektronen hängt nicht von der ..... ab.
4. Der Effekt ist nur zu beobachten, wenn die Frequenz des Lichtes oberhalb einer vom Metall abhängigen .....liegt.
5. In der gleichen Zeit können mehr Elektronen heraus gelöst werden, wenn..... des Lichtes größer ist.
6. Die Wellenvorstellung von der ..... des Lichtes erklärt nicht den Fotoeffekt.
7. Beleuchtet man die Photokathode mit Licht ..... Frequenzen, so stellt man fest, dass die Energie der Elektronen mit .....Lichtfrequenz zunimmt.
8. Wenn die Lichtfrequenz zunimmt, ist eine größere Gegenspannung nötig um die Elektronen daran zu .....auf die Anode zu gelangen.

**Aufgabe 62**

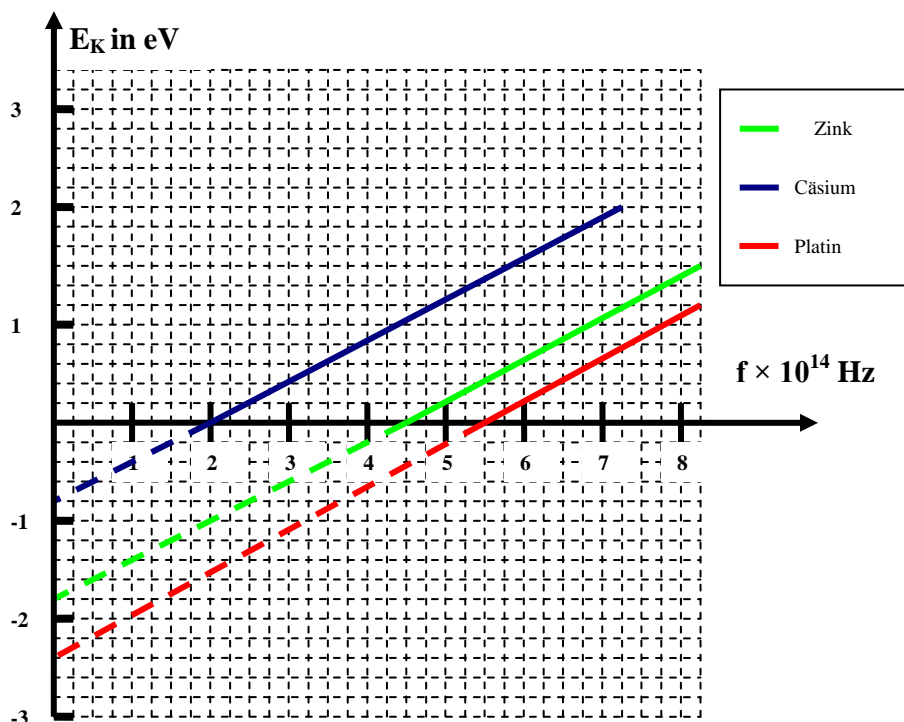
Beantworte die folgenden, den Photoeffekt betreffenden Fragen.

- Wie ändert sich die Anzahl der freigesetzten Elektronen, wenn man die Intensität des Lichts vergrößert?
- Wie ändert sich die Geschwindigkeit der freigesetzten Elektronen, wenn man die Intensität des Lichts vergrößert?
- Wie ändert sich die Geschwindigkeit der freigesetzten Elektronen, wenn man die Wellenlänge des Lichts vergrößert?

**Aufgabe 63**

In einem Experiment wurde die Kathode einer Fotozelle mit Licht verschiedener Frequenz bestrahlt. Dann erhält man einen Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie der heraus gelösten Elektronen und der Frequenz. Das Experiment wurde für drei verschiedene Kathodenmaterialien durchgeführt: Cäsium, Zink und Platin. Im Diagramm sind die Ergebnisse des Experimentes dargestellt.

Entscheide anhand des Diagramms, welche Aussagen (in der Tabelle) richtig und welche falsch sind.



	Aussage	richtig	falsch
1	Die Austrittsarbeit ist für Cäsium am größten.		
2	Die Austrittsarbeit ist für Platin größer als für Zink.		
3	Die Steigung der Geraden bedeutet physikalisch die Austrittsarbeit.		
4	Die Steigung der Geraden ist physikalisch die Planck – Konstante.		
5	Für Platin hat die Grenzfrequenz den kleinsten Wert.		
6	Die Grenzfrequenz für Zink beträgt $4,5 \cdot 10^{14}$ Hz.		
7	Licht der Frequenz $5 \cdot 10^{14}$ kann nur aus Platin Elektronen herauslösen.		
8	Licht der Frequenz $6 \cdot 10^{14}$ Hz löst aus Cäsium die schnellsten Elektronen heraus.		

### Aufgabe 64

Bringe die Wörter/Satzteile in die richtige Reihenfolge, so dass ein Satz entsteht.

1.

Ladungsträger, fließt, werden, das Licht, ein Photostrom, freigesetzt, durch, bei Beleuchtung, weil

2.

der Strom, kann, das, beliebig, vom Material abhängig, und, ist, der Grund, die Austrittsarbeit, dass, nicht, kleinen, Lichtfrequenzen, dafür, fließen, ist

3.

Anzahl, Eine, größere, Lichtteilchen, Zeiteinheit, eine, größere, Helligkeit, von, bedeutet, pro.

4.

überträgt, Photon, Beim Fotoeffekt, kinetische, jedes, seine Energie als, Energie.

1. Satz .....

.....

2. Satz .....

.....

3. Satz .....

.....

4. Satz .....

.....

### Aufgabe 65

Die bei Untersuchung des äußeren lichtelektrischen Effektes gewonnenen experimentellen Ergebnisse sind weder mit dem Wellenmodell noch mit dem Teilchenmodell allein vollständig deutbar. In der Tabelle sind verschiedene experimentelle Ergebnisse gegeben. Entscheide (durch Ankreuzen) welche Ergebnisse man mit dem Wellenmodell, welche mit dem Teilchenmodell und welche man mit beiden Modellen erklären kann.

	Experimentelle Ergebnisse	Erklärung mit Wellenmodell	Erklärung mit Teilchenmodell
1	Die Energie der Elektronen nimmt mit steigender Lichtfrequenz zu.		
2	Die Anzahl der heraus gelösten Elektronen nimmt mit der Beleuchtungsstärke des Lichtes zu.		
3	Die vom Licht übertragene Energie ist proportional zur Frequenz.		
4	Die kinetische Energie der Fotoelektronen ist unabhängig von der Beleuchtungsstärke.		
5	Langwelliges Licht kann auch bei großer Beleuchtungsstärke keinen Fotostrom bewirken.		
6	Mit der Strahlungsleistung wächst nur die Anzahl der Elektronen, aber nicht ihre kinetische Energie.		

## Fragen und Rechenaufgaben

### Aufgabe 66

- a) Wie wirkt es sich auf die Fotospannung aus, wenn die Intensität des auf die Fotokathode treffenden Lichts der Wellenlänge  $\lambda$  größer wird? Begründe deine Antwort.
- b) Wie wirkt es sich auf die Fotospannung  $U_B$  aus, wenn die Intensität des auf die Fotokathode treffenden Lichts der Wellenlänge  $\lambda$  Schwankungen unterliegt? Begründe deine Antwort.

### Aufgabe 67

- a) Licht der Wellenlänge  $\lambda=250\text{nm}$  trifft auf eine Kaliumschicht der Fläche  $S = 1\text{cm}^2$ , die Bestrahlungsstärke beträgt  $2\text{W/m}^2$ . Berechne die Energie eines Photons dieser Strahlung.
- b) Wie viele Photonen treffen in einer Sekunde auf diese Kaliumschicht?
- c) Eine Metalloberfläche hat eine Austrittsarbeit für Elektronen von  $4,14\text{eV}$ . Bestimme Grenzfrequenz und Grenzwellenlänge für den äußeren Photoeffekt.

### Aufgabe 68

Zink hat eine Austrittsarbeit von  $3,47\text{eV}$ . Ab welcher Wellenlänge werden Photoelektronen frei?

### Aufgabe 69

Eine Metalloberfläche wird mit Licht der Frequenz  $1,66 \cdot 10^{15}\text{Hz}$  bestrahlt. Die herausgelösten Photoelektronen haben eine maximale Energie von  $2,4\text{eV}$ . Berechne die Austrittsarbeit des Metalls. Mit welcher Mindestfrequenz muss Licht auf die Metalloberfläche auftreffen, damit gerade noch Elektronen herausgelöst werden?

### Aufgabe 70

Ein Laser mit der Ausgangsleistung  $1\text{mW}$  emittiert Licht der Wellenlänge  $633\text{nm}$ .

- a) Berechne die Energie eines Photons (in J und in eV).
- b) Wie viele Photonen sendet der Laser in einer Sekunde aus?
- c) Die Ablösearbeit von Cäsium ist  $1,94\text{eV}$ . Berechne Grenzfrequenz und Grenzwellenlänge von Cäsium.

### Aufgabe 71

Eine Fotozelle wird mit verschiedenfarbigem Licht beleuchtet. Zwischen den Anschlüssen der Fotozelle lässt sich eine Fotospannung messen. Verwendet man Licht der Wellenlänge  $6\text{nm}$ , so beträgt die Spannung  $0,71\text{V}$ , bei Licht der Wellenlänge  $500\text{nm}$  beträgt sie  $1,12\text{V}$ .

Bestimme daraus das Plancksche Wirkungsquantum und die Ablösearbeit  $W$ , die zum Herauslösen der Elektronen aus dem Metall nötig ist.

### Aufgabe 72

Der Mensch kann Licht der Wellenlänge  $\lambda = 600\text{nm}$  gerade noch mit bloßem Auge wahrnehmen, wenn es mit einer Energie von mindestens  $2 \cdot 10^{-17}\text{J}$  in der Netzhaut auftrifft. Um wie viele Photonen muss es sich dabei mindestens handeln?

**Aufgabe 73**

Die richtige Belichtung eines Filmes mit Silberkörnern erfordert bei der Wellenlänge  $\lambda = 550\text{nm}$  etwa  $10^{-6}\text{J/m}^2$ . Wie viele Photonen sind für  $1\text{mm}^2$  lichtempfindliche Fläche nötig?

**Aufgabe 74**

Eine Fotozelle wird mit Licht der Wellenlänge  $\lambda=650\text{nm}$  bestrahlt. Die Austrittsarbeit beträgt  $W=3,06 \cdot 10^{-19}\text{J}$ . Die Fotoschicht erfährt eine Strahlungsleistung von  $P=10^{-2}\text{W}$ . Wie groß ist die Stromstärke  $I$  des in der Fotozelle erzeugten Stroms, wenn die Spannungsquelle alle Fotoelektronen absaugt?

**Aufgabe 75**

Durch eine Photozelle fließt ein Strom von  $16\text{mA}$ . Wie viele Photonen fallen in jeder Sekunde auf die Kathode dieser Fotozelle, wenn nur 10% Photonen die Elektronen herauslösen?

**2. Materiewellen, Heisenbergsche Unschärferelation**



**Grundwissen**

**Materiewellen**

Die Hypothese von Welleneigenschaften der Materie wurde erstmals von Louis de Broglie aufgestellt. Nach seiner Theorie kann man jedem bewegten Teilchen eine Wellenlänge zuschreiben. Für die De-Broglie-Wellenlänge von Quantenobjekten gilt:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

$h$  – planksches Wirkungsquantum (plancksche Konstante)

$p$  – Impuls des Quantenobjektes

$m$  – Masse des Quantenobjektes

$v$  – Geschwindigkeit des Quantenobjektes

Die Welleneigenschaften der Elektronen wurden experimentell nachgewiesen bei der Beugung von Elektronen beim Durchgang durch Metallfolie (z.B. im Davisson–Germer- Versuch).

**Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation:**

Je bestimmter der Ort eines Quantenobjektes ist, desto unbestimmter ist sein Impuls und umgekehrt.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

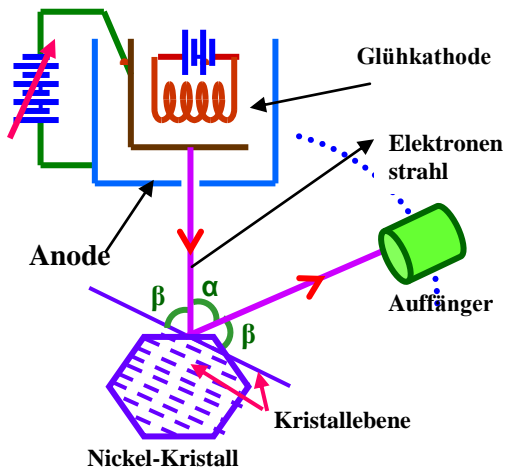
Materiewelle  $f$  .....

Unbestimmtheitsrelation  $f$  .....

Impuls  $m$  .....

### Aufgabe 76

Den amerikanischen Physikern Davisson und Germer gelang es 1927 als einer der ersten den Wellencharakter von Elektronenstrahlung nachzuweisen. Der Versuchsaufbau wurde unten auf der Abbildung dargestellt. Baue die unten stehenden Sätze so um, dass sie den Verlauf des Versuchs richtig beschreiben.



1. die Elektronen, auf die Oberfläche, senkrecht, wurden, eines Nickel-Einkristalls, geschossen, aus der Glühkathode
2. beschleunigt, eine Spannung, wurden, in die Richtung der Anode, durch, die Elektronen
3. der reflektierten Elektronen, die Intensität, mit einem, des Streuwinkels  $\beta$ , Auffänger gemessen, wird, als Funktion
4. der Ort, ein Maximum, variiert, des Auffängers, wird, solange, bis, die Intensität erreicht
5. beobachtet, bei einer, unter dem Winkel  $\beta = 50^\circ$ , Beschleunigungsspannung 54V, man das Interferenzmaximum 1.Ordnung

### Aufgabe 77

Verbinde die beiden Satzteile so, dass richtige Aussagen über Eigenschaften der Quantenobjekte entstehen.



Satzanfang		Satzende	
1	Welleneigenschaften der Elektronen treten bei der Beugung von Elektronen	A	desto unbestimmter wird die Angabe über die Impulskoordinate.
2	Je genauer die momentane Ortskoordinate eines Mikroobjekts bestimmt wird,	B	die mit den Photonen gekoppelt sind.
3	Die dem Elektron zugehörige Welle sagt etwas über die Wahrscheinlichkeit aus,	C	ist größer als Wellenlänge $\alpha$ – Teilchen, die die gleiche Geschwindigkeit $v$ besitzen.
4	Die Materiewellen sind nicht von der Art der elektromagnetischen Wellen,	D	ist kleiner als Wellenlänge der Elektronen, die gleiche Geschwindigkeit $v$ besitzen.
5	Die De-Broglie-Wellenlänge der Protonen, die sich mit einer Geschwindigkeit $v$ bewegen,	E	dass sich ein Elektron in einem bestimmten Bereich befindet.
6	Die De-Broglie-Wellenlänge der Neutronen, die sich mit einer Geschwindigkeit $v$ bewegen,	F	bei der Durchgang durch sehr enge Spalten.

### Aufgabe 78

Wähle das richtige Wort aus den Klammern.

1. Wenn ein Elektron und ein Proton mit gleicher Spannung beschleunigt werden, dann hat das Elektron eine (*größere, kleinere*) Wellenlänge.
2. Die Interferenz der Elektronen am Doppelspalt ist ein Nachweis ihrer (*Welleneigenschaften, Materieeigenschaften, beider Eigenschaften*).
3. Durch einen Spalt der Breite  $d_1 = 1\mu\text{m}$  fällt ein Elektronenstrahl. Durch einen zweiten Spalt der Breite  $d_2 = 4\mu\text{m}$  fällt ein anderer Elektronenstrahl. Mit Hilfe der Heisenbergschen Unschärferelation kann man feststellen, dass bei breiterem Spalt der Impuls der Elektronen mit (*4mal größerer, 4mal kleinerer*) Genauigkeit gemessen werden kann.

### Aufgabe 79 (Textverständnis)

#### Elektronenmikroskope

Die Welleneigenschaften von Elektronen werden in den Elektronenmikroskopen angewandt. In Lichtmikroskopen ist die Unterscheidung der einzelnen Gegenstände mit

minimaler Wellenlänge des Lichtes begrenzt, die ca. 400nm beträgt. Dank der Anwendung der Elektronen zum Erhalten der Bilder von sehr kleinen Gegenständen kann man ein vielfach besseres Auflösungsvermögen erreichen. Zum Beispiel beträgt die De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen, die mit einer Spannung 50kV beschleunigt werden,  $5,5 \cdot 10^{-12} \text{m}$ . Das Unterscheidungsvermögen der einzelnen Objekte in den Elektronenmikroskopen, in denen solche Elektronen angewendet werden, hat die Größenordnung 0,2 nm, ist also 1000 mal besser als in optischen Mikroskopen. Elektronenmikroskope kann man in zwei Gruppen teilen: Transmissionsmikroskope und Rasterelektronenmikroskope.

Die Funktionsweise der Transmissionselektronenmikroskope ist der in optischen Mikroskopen sehr ähnlich. Die von der Elektronenkanone emittierten und im Kondensator fokussierten Elektronen, fallen auf den Gegenstand. Die Probe muss besonders sorgfältig vorbereitet werden und sollte nicht dicker als 100nm sein. Nach dem Durchgang durch die Probe werden die Elektronen auf dem Fluoreszenzbildschirm in einem reellen Bild fokussiert. Die Rolle der Linsen für Elektronen spielt ein magnetisches Feld, das mit Hilfe von speziellen Magneten geformt ist.

Transmissionselektronenmikroskope haben eine sehr kleine Tiefen-schärfe und deshalb ist es schwierig, mit ihrer Hilfe dreidimensionale Bilder zu erreichen.

Die dreidimensionalen Bilder kann man in Rasterelektronenmikroskopen erlangen, aber auf Kosten des geringeren Auflösungsvermögens der einzelnen Objekte bis 1nm.

Im Rasterelektronenmikroskop werden die von der Elektronenkanone emittierten Elektronen zu einem kleinen Fleck fokussiert, der die Gesamtfläche des Gegenstandes abtastet. Die auf den Gegenstand einfallenden Elektronen stoßen Sekundärelektronen aus. Diese Elektronen machen das Bild der untersuchten Probe auf dem Bildschirm sichtbar.

Beantworte die Fragen zum Text:

1) Was ist die natürliche Ursache für die Begrenzung des Auflösungsvermögens in Lichtmikroskopen?

.....  
.....  
.....

2) Welche Eigenschaft der Elektronen wird in Elektronenmikroskopen genutzt?

.....  
.....  
.....

3) Wodurch werden die Linsen in den Elektronenmikroskopen ersetzt?

.....  
.....  
.....

4) Welchen Vorteil und welchen Nachteil hat ein Rastermikroskop im Vergleich zu einem Transmissionsmikroskop?

.....

.....

.....

5) Welche Elektronen werden für die Entstehung des Bildes auf dem Bildschirm verwendet?

.....

.....

.....

**Aufgabe 80**

Janek hat 8 Aussagen über Quanteneigenschaften der Mikroobjekte formuliert. Leider sind manche Aussagen falsch. Entscheide in der Tabelle unten, was Janek richtig und was er falsch formuliert hat.

Nr	Aussage	R	F
1	Elektronen, Protonen, Neutronen verhalten sich immer wie klassische Teilchen.		
2	Je größer die Orts-Unbestimmtheit eines Elektrons, desto größer ist seine Impuls-Unbestimmtheit.		
3	Die Wellenlänge, die man einem Proton zuschreiben kann, ist umso größer, je schneller sich ein Proton bewegt.		
4	Das Experiment von Davisson und Germer bestätigt die Teilchennatur der Elektronen.		
5	Im Doppeltspaltexperiment zeigen die Elektronen sowohl ihre Wellennatur als auch ihre Teilchennatur.		
6	Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation beweist, dass sowohl für große Objekte als auch für Mikroobjekte die gleichzeitige genaue Messung von Ort und Impuls unmöglich ist.		
7	Die Teilchennatur der Strahlung ist leichter nachzuweisen für IR-Strahlung als für Röntgenstrahlung.		
8	Man kann dem Photon keinen Impuls zuschreiben, weil er keine Ruhemasse besitzt.		

**Rechenaufgaben**

**Aufgabe 81**

Welche Beschleunigungsspannung muss ein Elektron aus dem Ruhezustand durchlaufen, damit seine De-Broglie-Wellenlänge schließlich  $7,5 \cdot 10^{-11} \text{m}$  beträgt.

### Aufgabe 82

Die kinetische Energie von Neutronen, die durch eine bestimmte Kernumwandlung freigesetzt werden, liegt in der Größenordnung von 1 MeV. Berechne die zugehörige De-Broglie-Wellenlänge.

### Aufgabe 83

Die Geschwindigkeit von Helium-Atomen ist  $1,64 \cdot 10^3$  m/s. Wie groß ist die De-Broglie-Wellenlänge?

### Aufgabe 84

Eine Größenordnung für den Durchmesser eines Atoms ist  $10^{-10}$  m. Wie groß ist die der Impulsschärfe des Elektrons zugeordnete Energie?

### Aufgabe 85

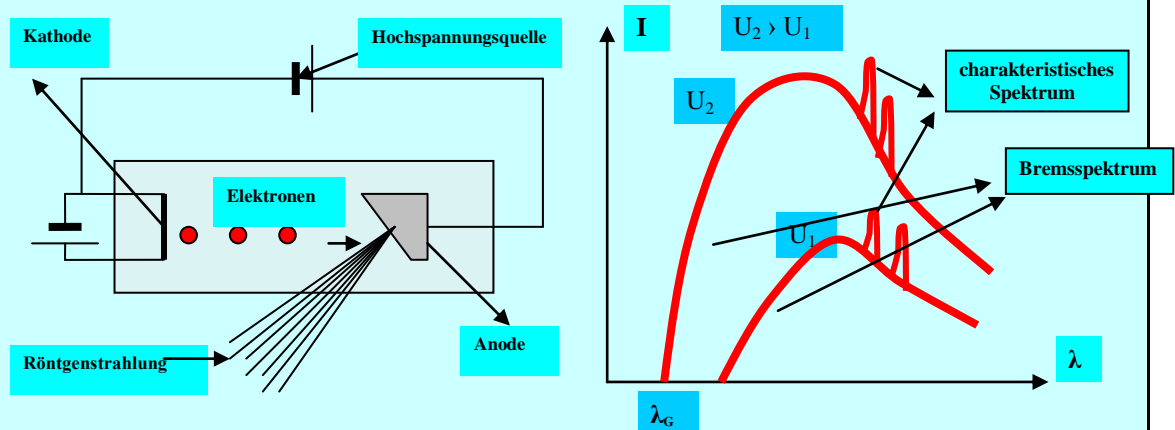
Die Geschwindigkeit eines Protons wird auf 1% genau gemessen. Welche Unbestimmtheit hat sein Ort, wenn Ort und Impuls gleichzeitig bestimmt werden sollen?

## 3. Röntgenstrahlung



### Grundwissen

Röntgenstrahlung wird in einer Röntgenröhre (Abbildung unten rechts) erzeugt. Röntgenstrahlen entstehen dadurch, dass Elektronen mit hoher Geschwindigkeit auf eine Metallanode geschossen werden.



Durch hohe Spannung zwischen Kathode und Anode werden Elektronen beschleunigt. Bei Bremsung der Elektronen auf der Anode entstehen Röntgenstrahlen (die so genannte Bremsstrahlung). **Das Spektrum der Bremsstrahlung** ist kontinuierlich (Abbildung oben links).

**Das charakteristische Spektrum** ist vom Material abhängig. Es kommt durch Übergänge der inneren Elektronen zwischen den diskreten Energieniveaus in Atomen der Anode zustande.

Die Energie der Röntgenstrahlung ist umso größer, je größer die Beschleunigungsspannung  $U$  ist. Die Frequenz der stärksten Photonen ergibt sich aus der Gleichung:

$$eU = hf \quad \text{oder} \quad eU = \frac{hc}{\lambda_G},$$

wo  $\lambda_G$  – Grenzlänge der Bremsstrahlung ist.

Die Röntgenstrahlung hat folgende Eigenschaften:

- ionisiert die Stoffe
- durchdringt alle Körper
- ist nicht sichtbar
- schwärzt lichtempfindliche Materialien
- wird gebeugt.

das Spektrum der Bremsstrahlung – .....

durchdringen .....

Beschleunigungsspannung  $f$  .....

Röntgenröhre  $f$  .....

das charakteristische Spektrum – .....

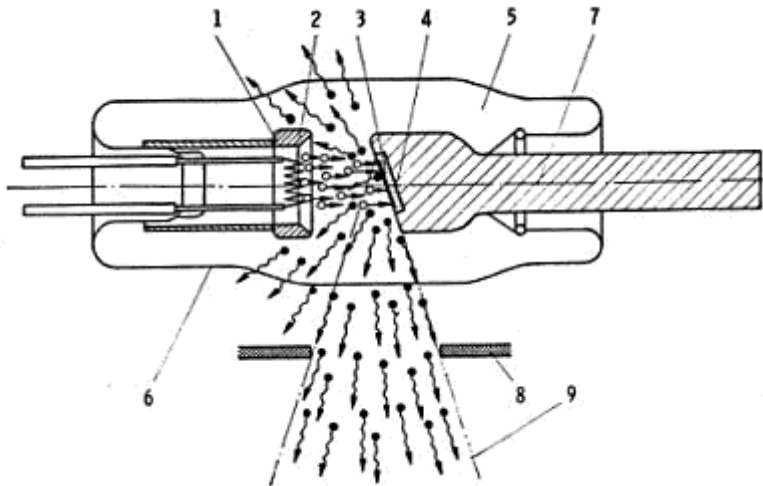
### Aufgabe 86

Verbinde die Begriffe aus der ersten Spalte mit der entsprechenden Beschreibung des Begriffes.

1	Charakteristische Röntgenstrahlung	A	Beim Streuen von Röntgenstrahlung an einem Kristall treten wie in der Optik Interferenzmaxima auf.
2	Wellencharakter der Röntgenstrahlung	B	Mit Hilfe von Röntgenstrahlen können die Veränderungen in Knochen, Magen, Darm und Blutgefäßen sichtbar gemacht werden.
3	Ionisierende Wirkung der Röntgenstrahlung	C	Das schnelle Elektron fliegt nah an einem Atomkern vorbei und erfährt eine gewisse Anziehungskraft, da sich ungleichnamige Ladungen anziehen. Beim Vorbeifliegen an einem Atomkern wird das Elektron abgebremst und die dabei frei werdende Energie in kleinen Portionen von Röntgenlicht abgestrahlt.
4	Kontinuierliches Röntgenspektrum	D	Wenn aus dem Material der Anode in der Röntgenröhre die Elektronen herausgeschossen werden, entsteht ein "Loch". Dieses wird nun dadurch gefüllt, dass ein Elektron aus einer äußeren Schale in das Loch hineinspringt. Dabei wird Energie frei, welche sich in Form von Röntgenstrahlung äußert.
5	Röntgenaufnahme	E	Die Röntgenstrahlung löst aus den Molekülen Elektronen heraus, und es bleiben positiv geladene Ionen übrig.

**Aufgabe 87**

Die Abbildung unten zeigt den Aufbau der Röntgenröhre.  
Benenne die Bauelemente der Röntgenröhre und verbinde die Nummern mit den Buchstaben.  
z.B. 1 → C



- A. Vakuum
- B. Wolframscheibe
- C. Kathode
- D. Glühfaden (Elektronenquelle)
- E. Glaskolben
- F. Nutzstrahlenkegel
- G. Brennfleck
- H. Anode
- I. Primärstrahlenblende

2 → ..... 3 → ..... 4 → ..... 5 → ..... 6 → ..... 7 → ..... 8 → ..... 9 → .....

**Aufgabe 88 (Textverständnis)**

<http://www.stmas.bayern.de/arbeitschutz/roentgen/medizin.htm>

**Lies den Text und entscheide, ob die Aussagen in der Tabelle richtig oder falsch sind.**

In der Medizin gibt es neben der "klassischen Röntgenaufnahme" zur Diagnose von z.B. Knochenbrüchen inzwischen zahlreiche Aufnahmetechniken, die nach Injektion eines iod- oder bariumhaltigen Kontrastmittels die Darstellung verschiedenster Organe wie beispielsweise der Nieren und Harnwege oder der Speiseröhre ermöglichen. Bei der Röntgenaufnahme werden Röntgenstrahlen für die sehr kurze Zeit von einigen Millisekunden auf den zu untersuchenden Körperteil des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende und durch verschiedenes Gewebe unterschiedlich abgeschwächte Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist dabei mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Teilweise kommen spezielle Röntgeneräte zum Einsatz, so bei der Mammographie, bei der die weibliche Brust bei niedriger Röhrenspannung und einem besonders hochauflösenden Film aufgenommen wird.

Mit einer Röntgendurchleuchtung können Bewegungsvorgänge untersucht oder sich überlagernde Strukturen genauer beurteilt werden. Dabei durchdringt schwache Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt ein Bild, das mittels elektronischem Bildverstärker auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird.

Anwendungsbeispiel ist die interventionelle Radiologie, die Heilmaßnahmen unter Durchleuchtungskontrolle ermöglicht, oder die Digitale-Subtraktions-Angiografie (DSA) zur Darstellung von Blutgefäßen wie Arterien oder Schlagadern. Verwendet werden auch hier Kontrastmittel. Röntgenbilder in sequenziellen Stadien ermöglichen dabei die Entdeckung verschiedenster Gefäßerkrankungen.

Bei der Computertomographie (CT), welche u. a. im Fall von Kopfverletzungen zur Anwendung kommen kann, entstehen mittels Röntgenstrahlen und Computer zahlreiche Schicht- oder Querschnittsbilder, die eine Betrachtung eines Organs in verschiedenen Ebenen auf dem Monitor zulassen. Auch bei CT-Untersuchungen kommen dabei zur besseren Darstellbarkeit häufig Kontrastmittel zum Einsatz. Auch wenn CT-Untersuchungen dosisintensiv sind, da mit der Zahl der dargestellten Schichten i. d. R. die Dosis steigt, so bieten sie bei strenger klinischer Indikationsstellung eine große diagnostische Aussagekraft.

		<b>R</b>	<b>F</b>
<b>1</b>	Eine Röntgenaufnahme stellt die einzige Möglichkeit zur Diagnose von Nieren oder Speiseröhre dar.		
<b>2</b>	Bei der Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist eine ziemlich große Röntgenstrahlungsdosis notwendig.		
<b>3</b>	Bei der Mammographie kann man Röntgenaufnahmen von hoher Auflösung bekommen.		
<b>4</b>	Die Röntgendurchleuchtung ermöglicht es, die Bilder der untersuchten Organe auf dem Fernsehmonitor zu betrachten.		
<b>5</b>	Bei der Röntgendurchleuchtung der Arterien oder Schlagadern verwendet man Kontrastmittel.		
<b>6</b>	Dank der Computertomographie kann man zweidimensionale Bilder bekommen.		
<b>7</b>	Die große diagnostische Aussagekraft von CT beruht auf Verwendung sehr geringer Dosen der Röntgenstrahlung.		

### Aufgabe 89 (Lückentest)

Setze die Wörter aus dem farbigen Kasten in die entsprechenden Lücken ein.

Form, Wellenlänge, Energieverteilung, Abbremsung, Hochspannungsfeld, die Elektronen, Auftreffen, das Linienspektrum, Schale, Übergang, Zustände, Abhängigkeit, Energiedifferenzen

## Röntgenspektren

Die Darstellung der Intensität einer Strahlung in ..... von ..... oder Frequenz wird als spektrale Energieverteilung oder kurz als Spektrum bezeichnet.

Die spektrale ..... der Röntgenstrahlen hängt vom Erzeugungsprozess ab.

Meistens werden Röntgenstrahlen in einer Röntgenröhre durch ..... schneller Elektronen in fester Materie erzeugt. Die Elektronen werden von einer Glühkathode emittiert. Sie werden im ..... zwischen Kathode und Anode von einigen 10keV beschleunigt und treffen mit hoher Geschwindigkeit auf die Anode auf. Dringen die ..... in das Anodenmaterial ein, so werden sie im Coulombfeld der Atomkerne abgebremst.

Dabei geben sie einen Teil ihrer kinetischen Energie in ..... von elektromagnetischer Strahlung ab. Die so erzeugte Röntgenstrahlung heißt deshalb auch Bremsstrahlung. Ihr Spektrum ist kontinuierlich.

Es durchläuft ein Maximum und nähert sich mit zunehmender Wellenlänge asymptotisch dem Wert Null. Auf der kurzwelligen, d.h. hochenergetischen Seite, setzt die Bremsstrahlung bei einer bestimmten Wellenlänge  $\lambda_0$  abrupt ein. Dies lässt sich folgendermaßen verstehen: Liegt zwischen Kathode und Anode die Spannung  $U$ , so besitzen die Elektronen beim ..... auf die Anode höchstens die Energie  $E = e \cdot U$ . Wird diese Energie in einem einzigen atomaren Bremsprozess in elektromagnetische

Strahlung umgewandelt, ergibt sich nach Gleichung  $E = h \frac{c}{\lambda}$  die Bedingung für  $\lambda_0$ :

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eU}$$

Dem kontinuierlichen Bremsspektrum ist das ..... der charakteristischen Röntgenstrahlung überlagert. Die auf die Anode auftreffenden schnellen Elektronen ionisieren teilweise die Atome des Anodenmaterials, indem sie ein Elektron aus einer inneren ..... heraus schlagen. Auf den inneren Schalen entstehen also unbesetzte Elektronenzustände (Löcher).

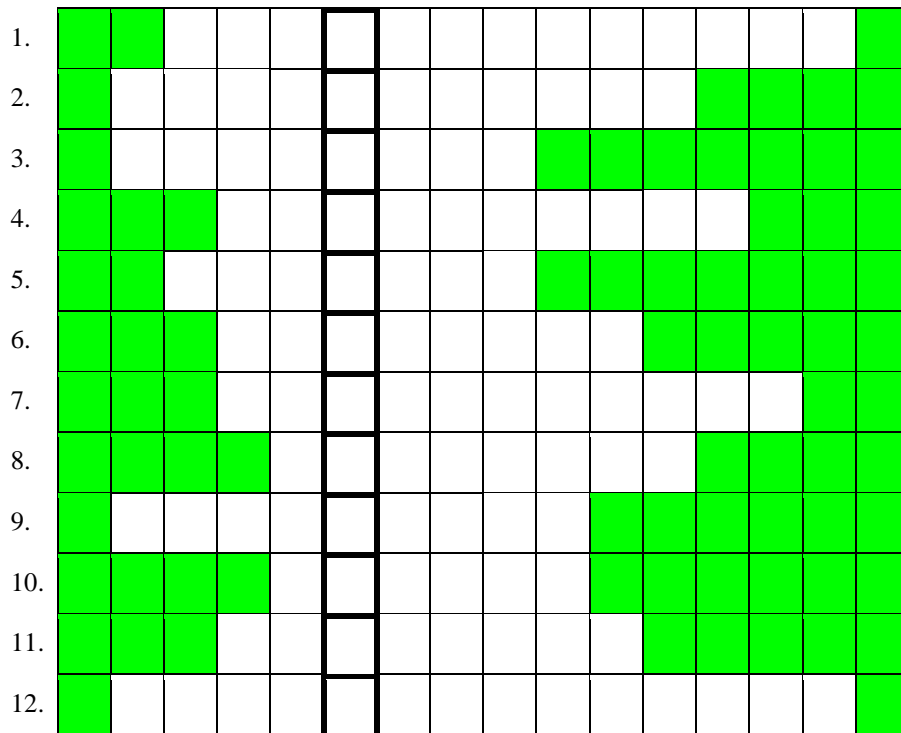
Beim anschließenden ..... von Elektronen aus höheren Schalen in diese ..... werden die entsprechenden diskreten Energiedifferenzen in Form von Röntgenstrahlen frei und verursachen das Linienspektrum der (für das jeweilige Anodenmaterial) charakteristischen Röntgenstrahlung.

### Aufgabe 90

Finde die Lösung des Rätsels.

1. Bezeichnung für die energetischen Zustände eines Elektrons im Atom
2. Edwin – Österreichischer Physiker
3. Zwischen Anode und Kathode in einer Röntgenröhre ist sie sehr hoch
4. Herauslösung von Elektronen aus Metall durch Lichtquanten
5. Wellenerscheinung, die für Röntgenstrahlung auftritt
6. Linien- oder kontinuierliches
7. Durch wird von Röntgenstrahlen hervorgerufen
8. Ist zur Wellenlänge umgekehrt proportional
9. Die Fähigkeit, physikalische Werte gleicher Dimension zu unterscheiden
10. Lichtquant
11. Die Zustandsänderung eines Atoms von tieferer zu höherer Energie
12. Diese Art von Spektrum hat z.B. das Wasserstoffatom





## Rechenaufgaben

### Aufgabe 91

Wie groß ist die maximale Energie von Röntgenstrahlen, die beim Auftreffen von Elektronen mit der kinetischen Energie  $E = 100\text{keV}$  auf die Anode erzeugt werden? Wie groß sind ihre Wellenlänge und Frequenz?

### Aufgabe 92

Welche Geschwindigkeit müssen die Elektronen in einer Röntgenröhre erreichen, damit Röntgenstrahlen mit der Wellenlänge  $= 2 \cdot 10^{-11}\text{m}$  erzeugt werden? (Klassische Rechnung!)

- Wie viel Prozent der Lichtgeschwindigkeit beträgt dann die Geschwindigkeit der Elektronen?
- Wie groß muss die angelegte Spannung sein, damit Elektronen auf diese Geschwindigkeit beschleunigt werden?

### Aufgabe 93

An einer Röntgenröhre liegt die Spannung  $12\text{kV}$  an.

- Bestimme die kurzwellige Grenze des Röntgenspektrums dieser Röhre.
- Mit welcher Geschwindigkeit prallen die Elektronen auf die Anode?

### Aufgabe 94

Eine Röntgenröhre besteht aus einem evakuierten Kolben, in dem sich eine Kathode als thermische Elektronenquelle (Glühelktrischer Effekt) und eine Anode aus Wolfram befinden. Im Betrieb besteht zwischen Kathode und Anode ein Potentialunterschied von 50kV und es fließt ein elektrischer Strom von 100mA. Dabei wird 1% der elektrischen Leistung für die Erzeugung der Röntgenstrahlen aufgebracht. Wie viele Elektronen pro Sekunde treffen auf die Anode? Wie lange kann die Röntgenröhre arbeiten, ohne dass die Anode zu schmelzen anfängt? Durch welche Maßnahmen kann diese Zeitspanne verlängert werden?

[Masse der Anode  $m = 200\text{g}$ ; Wolfram: spez. Wärme  $c_p = 130\text{J/kg} \cdot \text{K}$ ; Schmelztemperatur  $T_s = 3000\text{K}$ , Anfangstemperatur der Anode  $T_0 = 300\text{K}$ ]

### Aufgabe 95

Mit welcher Spannung muss eine Röntgenröhre betrieben werden, wenn die Röntgenstrahlung die Wellenlänge 50pm erhalten soll?

## Weißt du das?

### Anwendungen der Röntgenstrahlung in der Kunst

Die Untersuchung von Kunstwerken mit Röntgenstrahlen gestattet eine zerstörungsfreie Analyse als Vorbereitung von Restaurierungen, Expertisen, wissenschaftlicher Arbeit und Identifikationen. Man erkennt Übermalungen, Vergoldungen, Restaurierungsspuren und Hinweise für Fälschungen (z.B. sind Acrylfarben röntgentechnisch nicht sichtbar, weil sie nicht absorbieren und sich daher deutlich von Farben mit Schwermetallanteilen unterscheiden). Man erkennt auch Wurmlöcher, Risse und Ausbesserungen in Holzteilen. Im Computertomogramm lassen sich leicht die Jahresringe erkennen. So gestattet die Tomographie überhaupt die Darstellung von Querschnitten, die ohne diese Technik undenkbar wären. Mittels Fluoreszenzanalyse kann man die Oberflächen auf Anteile bestimmter Elemente untersuchen.

## 4. Das Bohrsche Atommodell



### Grundwissen

Dieses Modell basiert auf 2 Postulaten:

**1. Der Bahndrehimpuls  $L$  eines Elektrons ist ein ganzzahliges Vielfaches von  $\frac{h}{2\pi}$ .**

$$L = m \cdot v \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

$m$  – Masse des Elektrons

$v$  – Geschwindigkeit des Elektrons

$r$  – Bahnradius

$h$  – Plancksches Wirkungsquantum

$n$  – Nummer der Bahn ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

**2. Wenn ein Elektron die Bahn wechselt, so ist die Energie des emittierten bzw. absorbierten Photons gleich der Energiedifferenz dieser Bahnen.**

Es gilt:

$$\Delta E = h \cdot f \quad f - \text{Frequenz der Strahlung}$$

**Optische Spektren**

Wenn die Elemente stark erhitzt werden (z.B. in der Bunsenflamme), senden sie Licht mit charakteristischen Farben aus, die als Spektren gemessen werden können. Diese Art von Spektren bezeichnet man als **Emissionsspektren**. Ein Emissionsspektrum kann ein kontinuierliches oder Linienspektrum sein.

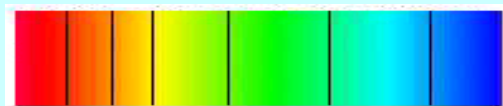


**Abb. Linienspektrum von Wasserstoff**



**Kontinuierliches Spektrum des Lichts**

**Ein Absorptionsspektrum** entsteht, wenn der betreffende Stoff aus weißem Licht einzelne Anteile absorbiert (Lücken im kontinuierlichen Spektrum).



Linienspektrum *n* .....

Bohrsche Atommodell *n* .....

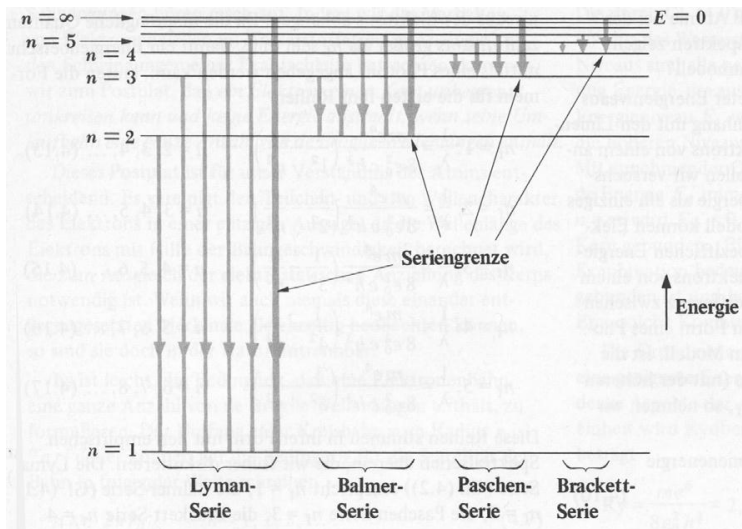
Wasserstoff *m* .....

Emissionsspektrum *n* .....

Bunsenflamme *f* .....

**Aufgabe 96**

Die Abbildung unten zeigt die Spektrallinien des Wasserstoffatoms. Wähle aus den Kästen die Wörter so, dass richtige Aussagen entstehen.



1. Das Licht mit der größten Frequenz befindet sich in der

Lyman-Serie  
Brackett -Serie

2. Die Seriengrenze in jeder Serie entspricht der kleinsten

Frequenz des Lichtes  
Wellenlänge des Lichtes

3. Wenn die Paschen-Serie im Infrarotbereich liegt, dann muss die Brackett-Serie

im

Infrarotbereich liegen  
UV-Bereich liegen

4. Die Energiedifferenz zwischen den Niveaus  $n = 2$  und  $n = 3$  ist

kleiner  
größer

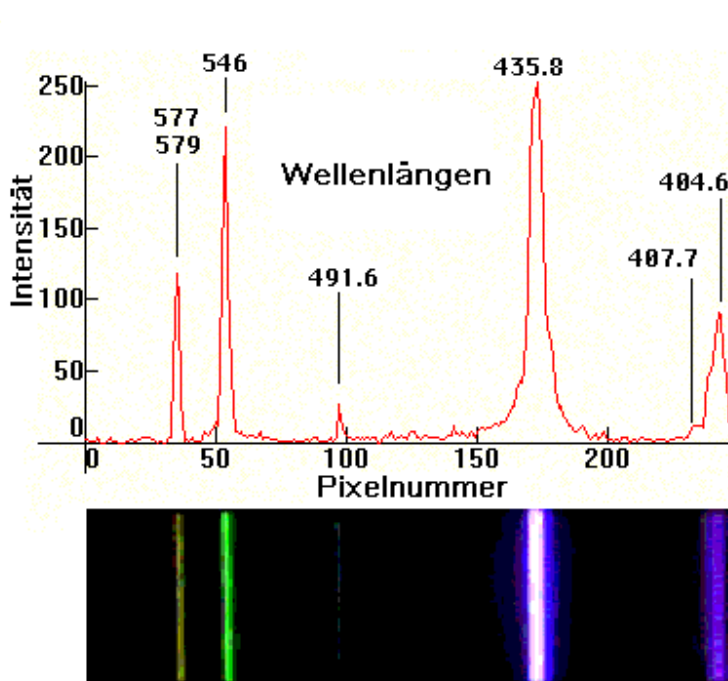
als zwischen den Niveaus  $n = 3$  und  $n = 4$ .

5. Die sichtbaren Spektrallinien liegen in der

Lyman-Serie  
Balmer -Serie

**Aufgabe 97**

Auf der Abbildung unten siehst du das Spektrum von Quecksilberdampf. Beschreibe dieses Spektrum mit fünf Sätzen.



Beispiel:

1. Das Hg-Spektrum zeigt Maxima bei bestimmten Wellenlängen.

2. ....

3. ....

4. ....

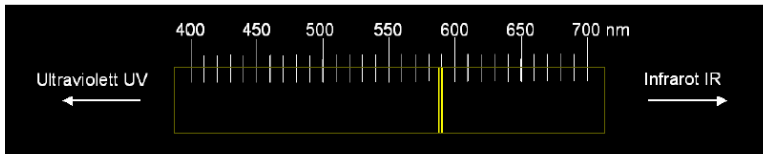
5. ....

### Aufgabe 98

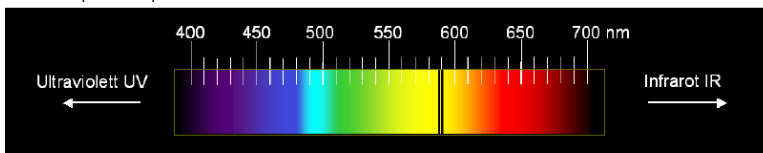
Die Abbildungen zeigen das Emissions- und Absorptions-Spektrum des Elements Natrium. Unter der Abbildung befinden sich Beschreibungen, wie die beiden Natrium-Spektren entstehen. Alle Sätze sind leider chaotisch verteilt. Nummeriere alle Sätze so, dass die ersten vier Nummern (1, 2, 3, 4) eine gute Beschreibung des Emissionsspektrums bilden und die nächsten vier (5, 6, 7, 8) Nummern eine Beschreibung des Absorptionsspektrums.

#### Vergleich: Linienspektren von Natrium

Emissionsspektrum



Absorptionsspektrum



Das verursacht, dass im kontinuierlichen Spektrum des weißen Lichtes zwei gelbe Linien fehlen.

Natriumatome werden am Anfang durch Energiezufuhr angeregt.

Die genaue Untersuchung des Lichtes einer Glühlampe, das durch eine Na-Flamme hindurchgetreten ist, zeigt, dass sein Spektrum einen dunklen Bereich hat.

Wenn man angeregte Na-Atome durch ein optisches Gitter betrachtet, sieht man nur zwei schmale, gelbe Striche/Linien.

Die angeregten Na-Atome senden das Licht aus, indem sie in ihren Grundzustand zurückkommen.

Die Na-Flamme hat einen Teil des gelben Lichts absorbiert.

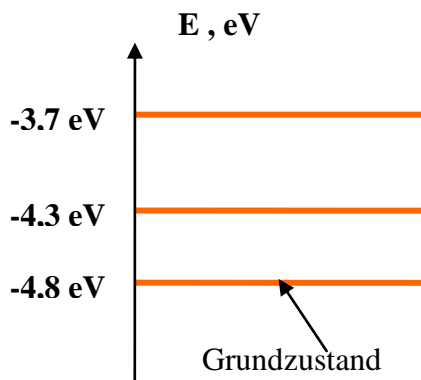
Wenn die Bunsenflamme mit Natriumsalz gefärbt wird und dann mit Glühlampenlicht beleuchtet wird, ist sie für das Licht einer Glühlampe durchsichtig.

Die zwei gelben Linien stellen das Linienspektrum des Natriums dar.

**Aufgabe 99**

Eine Probe von Atomen wird zum Leuchten angeregt, wodurch Photonen mit unterschiedlicher Energie ausgesandt werden. Die Photonen werden registriert, ihre Energie wird gemessen. Alle Atome in der Probe sind durch das Energieniveauschema unten charakterisiert. Welche Aussagen über die beobachteten Photonen sind wahr (W), welche falsch (F)? Schreibe die Buchstaben W oder R in die Kästchen.

- a) Die kleinste Photonenenergie ist 0,5eV.
- b) Die kleinste Photonenenergie ist -4,8eV.
- c) Man registriert 3 verschiedene Photonenenergien.
- d) Man registriert 2 verschiedene Photonenenergien.
- e) Die größte beobachtete Photonenenergie ist 4,8eV.
- f) Die größte beobachtete Photonenenergie ist 12,8eV.
- g) Man kann Photonen mit der Energie 1,1eV beobachten.

**Aufgabe 100**

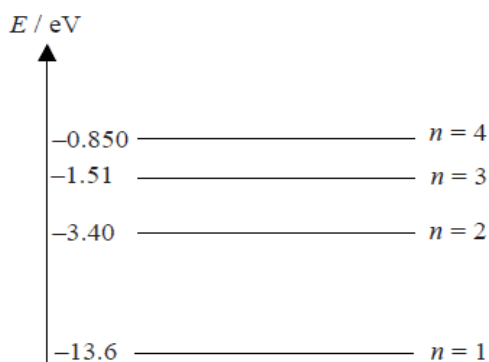
Die Wellenlänge der gelben Spektrallinie von Natrium beträgt 590nm. Berechne die kinetische Energie eines Elektrons (in eV angeben!) mit der gleichen Wellenlänge.

**Aufgabe 101**

Die Ionisierungsenergie des Wasserstoffatoms beträgt  $E = 13,6\text{eV}$ . Welche Frequenz  $f$  muss eine Strahlung mindestens haben, damit sie Wasserstoffatome zu ionisieren vermag?

**Aufgabe 102**

Auf dem Diagramm unten wurden Energieniveaus des Wasserstoffatoms dargestellt. Zeige, dass bei einem Elektronensprung vom Energieniveau  $n=2$  auf  $n=1$  ein Photon der Wellenlänge  $1,22 \cdot 10^{-7}\text{m}$  entsteht.



**Aufgabe 103**

Auf der Filmleiste hast du die Beschreibung der nächstfolgenden Schritte, die Niels Bohr durchgeführt hat, um die bekannte Formel für die diskreten Energieniveaus des Elektrons im Wasserstoffatom herzuleiten. Versuche mit Hilfe der Beschreibung die Formel selbst herzuleiten.

1	<p>Am Anfang hat er das zweite Newtonsche Gesetz für ein sich auf einer kreisförmigen Bahn bewegendes Elektron aufgeschrieben.</p>	$\frac{mv^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$
2	<p>Dann hat er die Bedingung für den Bahndrehimpuls <math>L</math> hinzugefügt und er hat ein Gleichungssystem mit 2 Unbekannten <math>v</math> und <math>r</math> bekommen.</p>	
3	<p>Anschließend hat er aus beiden Gleichungen die Formeln für <math>v</math> und <math>r</math> gefunden.</p>	
4	<p>Im nächsten Schritt hat er die Formel für die Gesamtenergie des Elektrons aufgeschrieben.</p>	
5	<p>Dann hat er die Formel für <math>v</math> und <math>r</math> in die Gleichung für die Gesamtenergie eingesetzt.</p>	
6	<p>Im letzten Schritt hat er die Formel für die Gesamtenergie hergeleitet in der Form:</p> $E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0 h^2 n^2}$	

Die Formel aus der Aufgabe 103 kannst du verwenden, um die nächsten 2 Aufgaben zu lösen.



## **Aufgabe 104**

Berechne das Verhältnis der Bahngeschwindigkeit des Elektrons im Wasserstoffatom im Grundzustand zur Lichtgeschwindigkeit?

## **Aufgabe 105**

Wie viele Umläufe macht das Elektron im Grundzustand im Wasserstoffatom in einer Sekunde?

# Kapitel III. Kernphysik

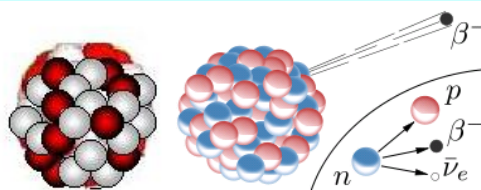
## 1. Aufbau des Atomkerns, Kernkräfte, Massendefekt und Bindungsenergie

## 2. Radioaktivität

## 3. Kernreaktionen, Kernenergie



### Grundwissen



## 1. Aufbau des Atomkerns, Kernkräfte, Massendefekt und Bindungsenergie

Atomkerne bestehen aus zwei Arten von Kernbausteinen (*Nukleonen*), den Protonen und den Neutronen. Die Anzahl der Protonen im Kern ist die Ordnungszahl oder Kernladungszahl  $Z$ , die Anzahl der Neutronen ist  $N$ . Die Summe aus Ordnungszahl und Neutronenzahl  $A = Z + N$  ist die Massenzahl des Kerns. Die Schreibweise für ein Element  $X$  ist  ${}^A_Z X$ .

Es gibt Kerne mit gleicher Ordnungszahl  $Z$  und unterschiedlicher Neutronenzahl  $N$ . Sie werden Isotope genannt.

Zwischen den Nukleonen wirken sehr starke anziehende Kräfte – die Kernkräfte.

Sie haben folgende Eigenschaften:

- sie sind die stärksten Kräfte in der Natur
- sie haben eine sehr kleine Reichweite ( von  $10^{-15}$  m)
- sie sind ladungsunabhängig

Die Masse eines Kerns ist kleiner als die Summe der ihn zusammensetzenden Nukleonenmassen. Die Differenz heißt **Massendefekt  $\Delta m$** .

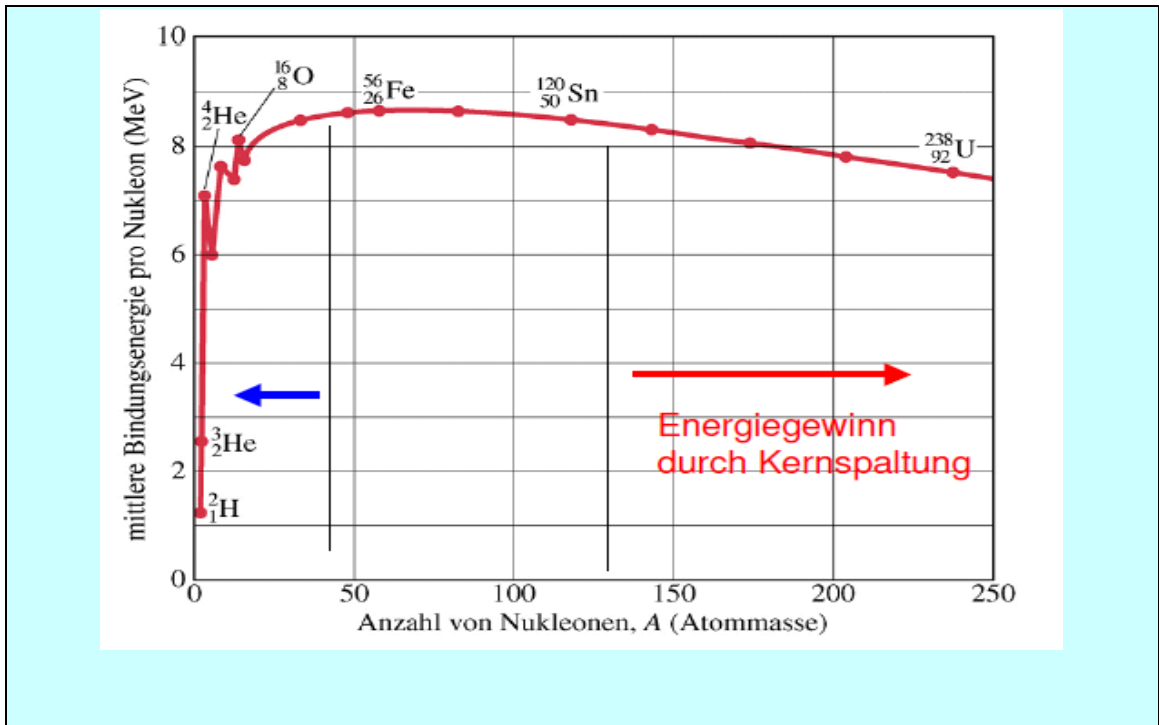
Dem Massendefekt  $\Delta m$  eines Kerns entspricht die Energie  $E$ .

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

$c$  - Lichtgeschwindigkeit

Diese Energie nennt man auch Bindungsenergie. Ihr Wert hängt von der Massenzahl  $A$  ab.

Der Quotient  $\frac{E}{A}$  heißt mittlere Bindungsenergie pro Nukleon. Der Zusammenhang zwischen Bindungsenergie pro Nukleon und Anzahl der Nukleonen wird auf dem Diagramm unten dargestellt.



Bindungsenergie  $f$  .....

Kernladungszahl  $f$  .....

Massenzahl  $f$  .....

Massendefekt  $m$  .....

Ordnungszahl  $f$  .....

ladungsunabhängig .....

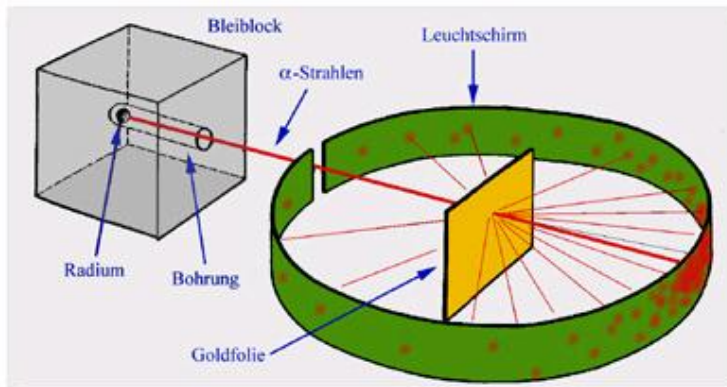
Reichweite  $f$  .....

Kernbaustein  $m$  .....

### Aufgabe 106

Der Atomkern wurde von Ernest Rutherford entdeckt. Im Jahr 1911 hat er einen historischen Versuch durchgeführt. Den Versuchsaufbau siehst du auf der Abbildung unten. Vervollständige die Beschreibung des Experiments, die in Form eines Lückentextes unten steht. Verwende dabei folgende Wörter:

-s Feld, -r Bleiwürfel, -r Pluspol, -e Atomschicht, -s Goldatom, radioaktiv, -r Fleck -en, -r Minuspol, -e Goldfolie, -e Alpha-Strahlung, -s Alphateilchen



### Lückentest

Rutherford verwendete eine....., die so dünn war, dass sie aus nur 1000 .....bestand. Gold ist übrigens das einzige Metall, das man so dünn auswalzen kann.

Er wollte ..... mit irgendwelchen Teilchen bestrahlen, die mit hoher Geschwindigkeit auf die..... prallen. Dazu hat er die..... gewählt. Sie bestehen aus positiv geladenen Heliumionen, und zudem ist diese Art von Strahlung..... und hinterlässt schwarze ..... auf einem photographischen Film und helle Flecken auf einem..... . Damit konnte man sie also sehr leicht..... . Als Strahlungsquelle diente ihm ein Stück Radium, das sich in einem hohlen..... befand. Die Radiumstrahlung besteht aus Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen. Rutherford brauchte aber nur die Alpha-Strahlung, also filterte er sie heraus. Er tat das mit Hilfe eines elektrischen ..... . Die Alpha-Strahlung wurde vom ..... angezogen, die Beta-Strahlung vom ..... , und die Gamma-Strahlung gar nicht. Dann positionierte er die ..... so, dass sie der Alpha-Strahlung ausgesetzt war. Hinter die Goldfolie und auch um sie herum platzierte er einen photographischen Film, damit er später nachschauen konnte, wo denn die Alphateilchen überall einschlugen.

**Aufgabe 107**

Entscheide, welche der unten genannten Aussagen der richtigen Deutung des Rutherford-Versuchs entsprechen:

Nr	Aussage	R	F
1	Das Atom ist nahezu leer.		
2	Die Ablenkungen kommen dadurch zustande, dass die positiv geladenen He-Kerne durch die positiven Atomkerne aus der Bahn gelenkt werden.		
3	Große Ablenkungen einiger Teilchen lassen sich mit dem Rosinenkuchen-Atommodell erklären.		
4	Nahezu alle Alphateilchen gingen durch die Goldfolie hindurch, so, als wäre sie nicht vorhanden.		
5	Die meisten He-Kerne werden von Goldatomen absorbiert.		
6	Der Atomkern ist im Verhältnis zum Atom sehr klein.		
7	Ganz wenige Teilchen wurden um einen Winkel von mehr als $90^\circ$ abgelenkt.		

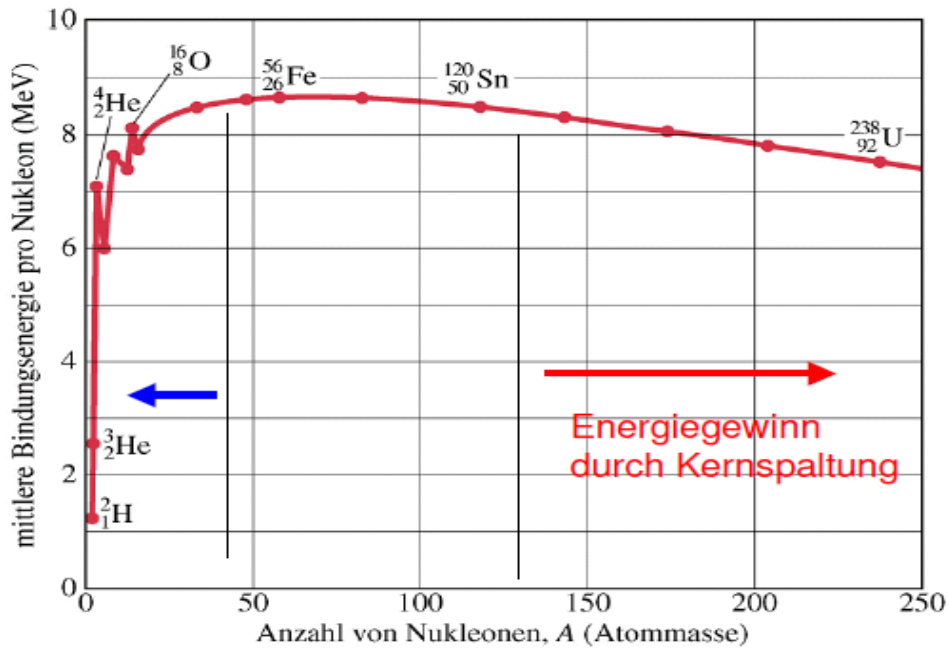
**Aufgabe 108**

Rekonstruiere die zerschnittenen Sätze.

Satzanfang	Satzende
1. Der Massendefekt ist ein Maß für	A. haben dieselbe Masse.
2. Zwischen den Nukleonen im Kern	B. ein Vielfaches der Masse des leichtesten Wasserstoffatoms.
3. Kernkräfte halten im Atomkern	C. hat die Bindungsenergie ihren größten Wert.
4. Nicht alle Kerne eines Elements	D. die Bindungsenergie der Atomkerne.
5. Die Atommassen sind angenähert	E. gibt die Zahl der Elementarladungen $e$ im Kern an.
6. Die Zahl der Protonen eines Kerns	F. gibt es anziehende Kernkräfte.
7. Bei den mittleren Atomkernen mit etwa 40 bis 100 Nukleonen	G. Protonen und Neutronen zusammen.

**Aufgabe 109**

Welche Informationen über Kerne kann man aus dem bekannten, unten dargestellten Diagramm ablesen. Schreibe bitte diese Informationen auf.



Beispiel:

1. Die Bindungsenergie pro Nukleon schwankt stark bei kleinen Massenzahlen, was man z.B. bei den Kernen  $^3_2\text{He}$  und  $^4_2\text{He}$  deutlich sieht.

2. ....

3. ....

4. ....

5. ....

6. ....

7. ....

8. ....

9. ....

### Aufgabe 110

Versuche selbst die Definitionen der gegebenen Begriffe zu formulieren.

Nr	Begriff	Definition
1	Bindungsenergie	Energie, die notwendig ist, um einen Atomkern in seine Einzelbestandteile zu zerlegen.
2	Ordnungszahl	
3	Isotope	
4	Kernkraft	
5	Massenzahl	
6	Bindungsenergie pro Nukleon	

### Aufgabe 111

Schreibe in die Tabelle die Anzahl der Protonen, Neutronen, Nukleonen und der Elektronen. Nimm dazu an, dass die Atome neutral sind.

Atom	${}^2_1\text{D}$	${}^4_2\text{He}$	${}^{20}_{10}\text{Ne}$	${}^{24}_{12}\text{Mg}$	${}^{60}_{27}\text{Co}$	${}^{83}_{36}\text{Kr}$	${}^{144}_{56}\text{Ba}$	${}^{236}_{92}\text{U}$	${}^{239}_{94}\text{Pu}$
<b>Protonenzahl</b>									
<b>Neutronenzahl</b>									
<b>Nukleonenzahl</b>									
<b>Elektronenzahl</b>									

### Aufgabe 112

- a) Bestimme die Energie in MeV, die erforderlich ist, um einen  ${}^4_2\text{He}$ -Atomkern bzw. einen  ${}^3_2\text{He}$ -Atomkern vollständig in seine einzelnen Bestandteile zu zerlegen. Nimm an, dass die Bindungsenergie pro Nukleon für  ${}^4_2\text{He}$ - 7,1MeV und für  ${}^3_2\text{He}$ - 2,5MeV beträgt.
- b) Wie viel Energie benötigt man, um von einem  ${}^4_2\text{He}$ -Atomkern ein Neutron zu entfernen? Verwende zur Lösung der Aufgabe deine Ergebnisse aus Aufgabe a).

### Aufgabe 113

Wie viel Energie benötigt man, um 1,0kg Heliumatome  ${}^4_2\text{He}$  (bzw. 1,0kg Heliumkerne) vollständig in die atomaren Bestandteile zu zerlegen? Nimm an, dass die Bindungsenergie pro Nukleon für  ${}^4_2\text{He}$ - 7,1MeV beträgt. Gib die Energie sowohl in der Einheit J als auch in der Einheit kWh an!

### Aufgabe 114

Die Sonne hat eine Strahlungsleistung von etwa  $3,6 \cdot 10^{26}$  W. Wie viel Masse „verliert“ die Sonne aufgrund dieser Strahlungsleistung pro Sekunde? Woher stammt diese ungeheuer große Energie?

**Aufgabe 115**

Berechne die Bindungsenergien pro Nukleon für folgende Nuklide:  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$  und  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ .

Welches Nuklid ist am stabilsten? Masse des Protons:  $m_p = 1,00728\text{u}$ , Masse des Neutrons:  $m_n = 1,00867\text{u}$ , Masse der Kerne:  $M_N = 14,003\text{u}$ ;  $M_{\text{Ne}} = 19,992\text{u}$ ;  $M_{\text{Mg}} = 23,985\text{u}$ .

Nimm an, dass dem Massendefekt 1u die Energie 931,5MeV äquivalent ist.



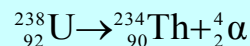
**Grundwissen**

**2. Radioaktivität**

Bei der radioaktiven Strahlung unterscheidet man  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  und  $\gamma$  Strahlung.

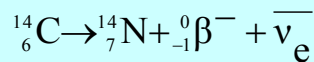
$\alpha$ -Teilchen sind identisch mit  ${}^4_2\text{He}$ -Kernen, die zwei Protonen und zwei Neutronen enthalten.

Beispiel für einen  $\alpha$ -Zerfall:

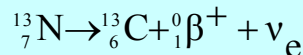


Das  $\beta^-$  Teilchen ist das Elektron. Beim  $\beta^-$ -Zerfall wird ein Neutron in ein Proton umgewandelt, dabei wird ein Elektron emittiert. Zusätzlich wird ein anderes Teilchen emittiert – das sogenannte Antineutrino  $\bar{\nu}$ .

Beispiel für einen  $\beta^-$ -Zerfall:



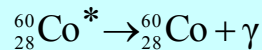
Beim  $\beta^+$ -Zerfall wird im Kern ein Proton in ein Neutron und ein hochenergetisches Positron umgewandelt und ein Elektron-Neutrino emittiert.



Die Gamma Strahlung  $\gamma$  ist eine energiereiche, elektromagnetische Strahlung kleiner Wellenlänge.

Sie tritt als Begleiter der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung auf. Atomkerne geben durch sie einen Teil der beim Zerfall frei werdenden Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab.

Beispiel für einen  $\gamma$ -Zerfall:



Das radioaktive Zerfallsgesetz wird mit folgender Gleichung beschrieben:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

wo:  $N$  – Anzahl der Atomkerne nach der Zeit  $t$

$N_0$  - Anzahl der Atomkerne am Anfang

$\lambda$  – Zerfallskonstante

$T_{1/2}$  – Halbwertszeit.

Zerfall  $m$  .....

Zerfallskonstante  $f$  .....

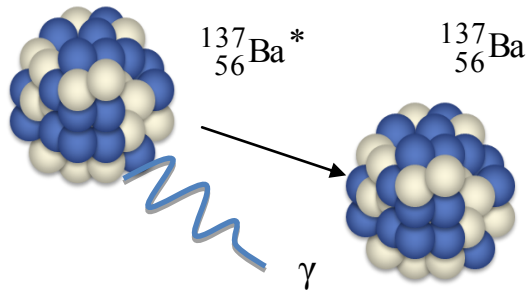


**Aufgabe 116**

Beschreibe die in den Zeichnungen dargestellten radioaktiven Zerfälle.

**Zerfall**

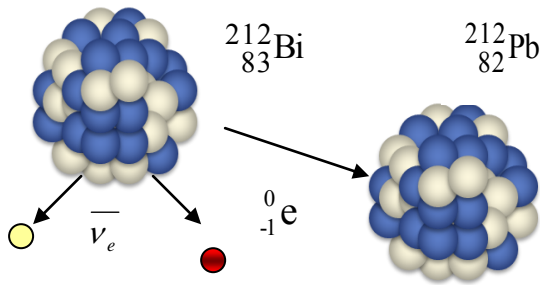
1



**Beschreibung**

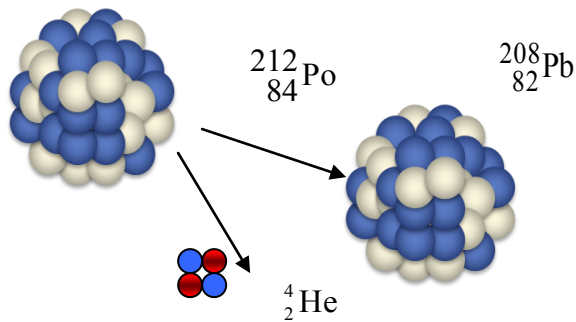
Angeregter Bariumkern geht in stabilen Zustand über und sendet dabei ein Quant  $\gamma$ -Strahlung aus.

2

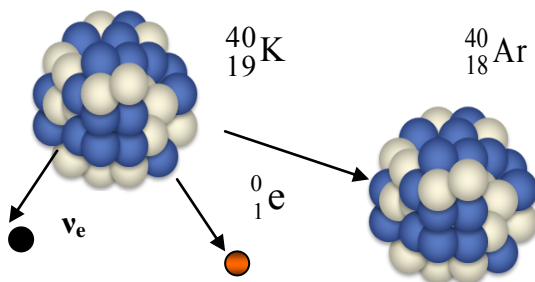


Wismutkern zerfällt in .....

3



4



**Aufgabe 117**

In der Tabelle wurden die Eigenschaften der radioaktiven Strahlung gesammelt. Beschreibe mit vollständigen Sätzen die Eigenschaften der drei Strahlungsarten (drei Sätze für jede Art von Strahlung).

Beispiel:

*Die Teilchen der Alfastrahlung sind zweifach positiv geladen.*

	<b><math>\alpha</math> - Strahlung</b>	<b><math>\beta</math> - Strahlung</b>	<b><math>\gamma</math> - Strahlung</b>
Ladung	+ 2e	- e	0
Ablenkbarkeit im Magnetfeld	nur schwer ablenkbar	leicht ablenkbar	nicht ablenkbar
Ionisationsvermögen	sehr hoch	mittel	gering
Reichweite in Luft	einige Zentimeter	einige Dezimeter	viele Meter
Durchdringungsvermögen	Papierblatt	Aluminiumblech von einigen Millimetern Stärke	Blei von ein paar Zentimetern Stärke

1. ....  
.....
2. ....  
.....
3. ....  
.....
4. ....  
.....
5. ....  
.....
6. ....  
.....
7. ....  
.....
8. ....  
.....
9. ....  
.....

**Aufgabe 118**

Ordne jedem Zerfall die entsprechenden Eigenschaftsnummern zu.

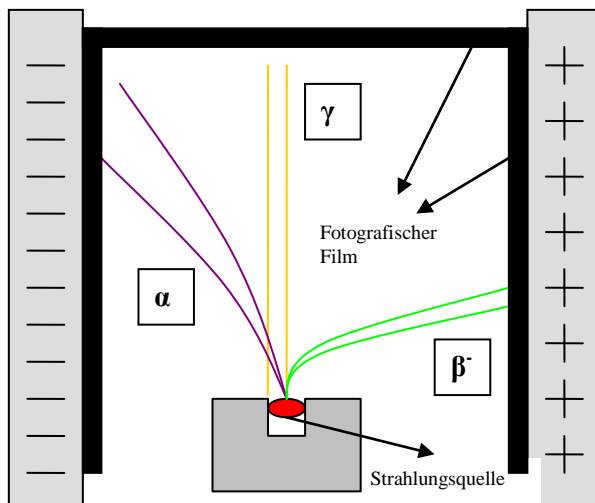
Art von Zerfall	Nummer der genannten Eigenschaft
$\alpha$ - Zerfall	
$\beta^-$ - Zerfall	
$\beta^+$ - Zerfall	

1. Stellt ein neues Element her, das im Periodensystem zwei Plätze vor dem Ausgangsstoff steht.
2. Stellt ein neues Element her, das einen Platz nach dem Ausgangsstoff steht.
3. Lasst ein Proton in ein Neutron und ein Positron zerfallen.
4. Ändert die Massenzahl nicht.
5. Verringert die Ordnungszahl um „2“.
6. Lasst ein Neutron in ein Elektron und ein Proton zerfallen.
7. Erhöht die Ordnungszahl um 1.
8. Verringert die Massezahl um „4“.
9. Verkleinert die Ordnungszahl um 1.
10. Stellt ein neues Element her, das einen Platz vor dem Ausgangsstoff steht.

**Aufgabe 119**

Beschreibe einen Versuch, der zeigt, dass die Teilchen der radioaktiven Strahlung elektrisch geladen sind. In der Abbildung siehst du die Skizze der Versuchsanordnung. Zur Beschreibung können folgende Wörter und Wendungen verwendet werden:

Bleibbehälter mit Präparat, elektrisches Feld, den Film schwärzen, ablenken, breiten sich geradlinig aus, elektrisch geladen



**Aufgabe 120**

Unten hast du kurze Beschreibungen der Funktionsweise gewisser Geräte (im grauen Rähmchen), die in der Kernphysik als Detektoren oder Zähler der ionisierenden Strahlung verwendet werden. Ordne zu, welche Beschreibung zu welchem Gerät gehört.

**Geiger-Müllerzähler, Nebelkammer, Stabdosimeter, Blasenkammer**

**Gerät Nr. 1** .....

*Es besteht aus einem Behälter, der klare feuchte Luft enthält. Wenn man den Druck im Behälter schlagartig verringert, dann ist die dünne Luft mit Wasserdampf übersättigt. Das bedeutet, dass sie mehr Wasser enthält als sie als Gas aufnehmen kann. Aus dem Wasserdampf wird wieder Wasser, es kondensiert zu winzigen Tröpfchen. Diese Tröpfchen bilden sich vor allem an Staubteilchen oder an den geladenen Gasmolekülen. Die ionisierende Strahlung die in den Behälter eindringt, erzeugt entlang der Flugstrecke geladene Gas-Ionen. Diese Spuren sieht man als Tröpfchenspuren.*

**Gerät Nr. 2** .....

*Das Gerät besteht aus einem Metallrohr, das als Kathode dient und in dessen Mitte sich ein dünner Draht befindet, der als Anode dient. Die zu messende Strahlung tritt durch ein dünnes Fenster in das Zählrohr. Die in das Zählrohr eintretende energiereiche Strahlung ionisiert das Zählgas, häufig ein Edelgas wie z.B. Argon. Die dabei frei werdenden Elektronen werden durch die angelegte Hochspannung zur Anode stark beschleunigt und können durch Stöße weitere Argonatome ionisieren, also Ionen und Elektronen erzeugen. Diese Elektronen werden wiederum auch in Richtung Anode beschleunigt und setzen wieder Ionen und Elektronen frei. So werden im Gas immer wieder neue Ionenpaare erzeugt. Es entsteht eine sogenannte Ladungswalze. Dadurch kommt es zwischen Anode und Kathode zu einem kurzzeitigen Stromfluss, was am Arbeitswiderstand zu einem Spannungsabfall führt. Der Spannungsimpuls wird auf einen Verstärker mit angeschlossenem Zähler übertragen.*

**Gerät Nr. 3** .....

*Ihre Funktionsweise besteht darin, dass geladene Teilchen in eine überhitzte Flüssigkeit geschossen werden und dort eine Spur von Blasen erzeugen. Auf diese Weise werden die Teilchenbahnen gut sichtbar und man kann daraus die elektrische Ladung und die Masse der Teilchen bestimmen. (Man erzeugt eine überhitzte Flüssigkeit, indem man den Druck in einer Kammer erniedrigt, in der sich die Flüssigkeit bei einer Temperatur kurz vor dem Siedepunkt befindet.)*

**Gerät Nr. 4** .....

*Von außen sieht es aus wie ein Füllfederhalter; innen verbirgt sich eine Metallkammer, in der sich ein Metalldrähtchen befindet. Die Kammer wird elektrisch aufgeladen. Dadurch wird das Drähtchen vom Rand abgestoßen (das Prinzip des Elektroskops). Ionisierende Strahlung, die in die Kammer einfällt, entlädt dieses Elektroskop. Folge: Das Drähtchen, das man wie einen Zeiger durch ein Glasfenster mit Skala sehen kann, wandert in Richtung Kammerrand. Ohne Strahlung entlädt sich das Elektroskop dagegen nur sehr langsam*

## Rechenaufgaben

### Aufgabe 121

Das Nuklid  ${}_{92}^{238}\text{U}$  zerfällt durch mehrere Alpha- und Beta-Zerfälle in  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ . Berechne, um wie viele Alpha- und Beta-Zerfälle es sich dabei handelt.

### Aufgabe 122

Die Zerfallsreihe von  ${}_{92}^{238}\text{U}$  endet mit dem stabilen Bleiisotop  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ . Bestimme die Anzahl der während des Durchlaufens der Zerfallsreihe emittierten  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen.

### Aufgabe 123

Chlor besteht aus Isotopen mit den relativen Atommassen 34,97 bzw. 36,97. In welchem Verhältnis sind die beiden Isotope gemischt, wenn das Mischelement die relative Atommasse 35,45 hat?

### Aufgabe 124

Welche kinetische Energie muss ein Alphateilchen haben, damit es sich bei zentralem Beschuss einem Kohlenstoffkern  ${}_{6}^{12}\text{C}$  bis auf den Abstand  $r = 5 \cdot 10^{-14}\text{m}$  nähern kann?

### Aufgabe 125

Das radioaktive Element  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  sendet Alphateilchen mit der kinetischen Energie  $E_k = 4,78\text{ MeV}$  aus. Wie groß ist die Geschwindigkeit dieser Teilchen? Vernachlässige relativistische Effekte.

### 3. Kernreaktionen, Kernenergie



## Grundwissen

#### Kernreaktionen

Unter dem Begriff Kernreaktionen verstehen wir physikalische Vorgänge in Atomkernen, vor allem Umwandlungen von Kernen beim Zusammenstoß mit energiereichen Teilchen wie Protonen, Neutronen, Deuteronen, Alphateilchen, Elektronen und elektromagnetischen Strahlungsquanten. Zu den wichtigsten Kernreaktionen gehören: Kernspaltung und Kernfusion.

**Die Kernfusion (Abbildung 1)** ist die Verschmelzung von zwei Atomkernen zu einem. Bei dieser Verschmelzung kommt es zur Abgabe und Freisetzung von Energie.

Abb. 1

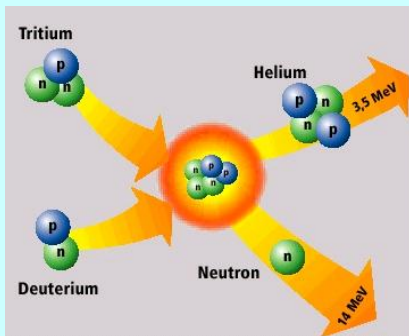
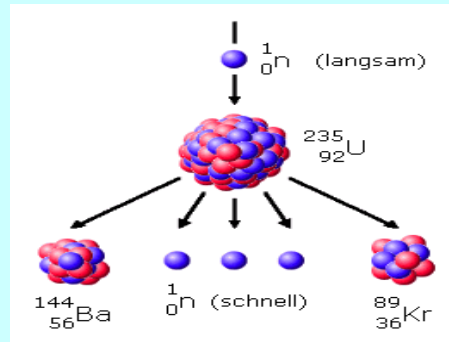


Abb. 2



**Die Kernspaltung (Abbildung 2)** bezeichnet in der Kernphysik eine Reaktion, bei der ein Atomkern in zwei oder mehrere Bestandteile zerlegt wird. Bei einer derartigen Reaktion wird Energie in Form von Bewegungsenergie der Spaltprodukte freigesetzt. Die Spaltprodukte sind in der Regel radioaktiv. Besonders geeignet für diese Reaktion sind Isotope der Elemente Uran, Plutonium und Thorium.

Bei der Spaltung von Kernen werden zwei bis drei Neutronen freigesetzt, die weitere Kernspaltungen hervorrufen, dies kann zu einer Kettenreaktion führen. Die Freisetzung von Neutronen bewirkt eine Kettenreaktion.

Eine nicht kontrollierte Kettenreaktion wird im Aufbau der **Atombombe** verwendet. Kontrollierte Kettenreaktions-Anlagen, bei denen Kettenreaktionen kontrolliert ablaufen, bezeichnet man als **Kernreaktoren**.

Kernreaktion *f* .....

Kernspaltung *f* .....

Kernreaktor *m* .....

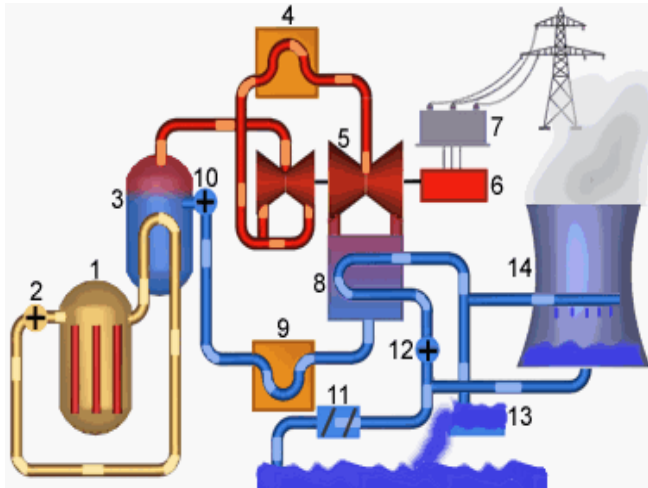
Kernfusion *f* .....

Kettenreaktion *f* .....

Spaltprodukt *n* .....

**Aufgabe 126**

In der Abbildung siehst du das Schema eines Kernkraftwerks. In der Tabelle befinden sich die Namen der wichtigsten Teile dieses Kernkraftwerks. Ordne den Teilenummern den jeweils richtigen Namen zu.

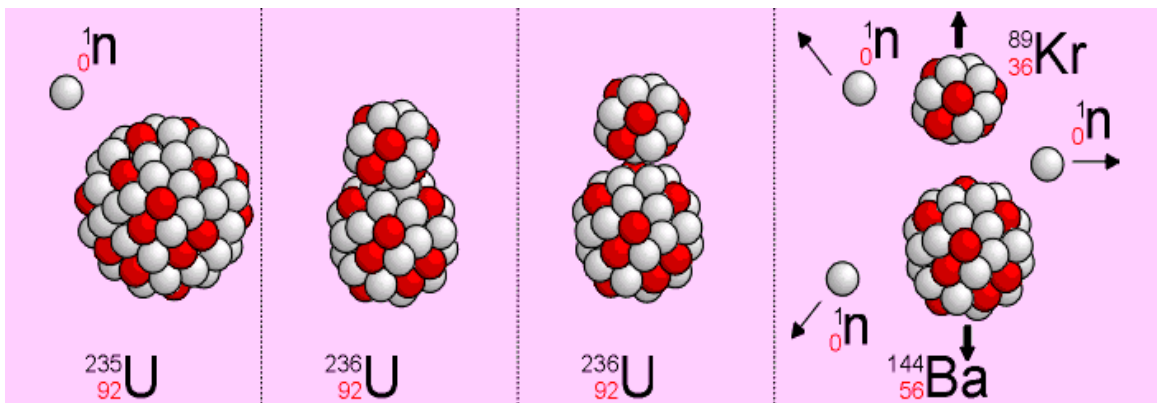


- | Nr | Teile des Kernkraftwerks |
|----|--------------------------|
| 1  | Dampferzeuger            |
| 2  | Wasserabscheider         |
| 3  | Wasserbecken             |
| 4  | Reaktordruckbehälter     |
| 5  | Kühlwasserpumpe          |
| 6  | Kühlwasserreinigung      |
| 7  | Generator                |
| 8  | Transformator            |
| 9  | Kühlwasserpumpe          |
| 10 | Vorwärmanlage            |
| 11 | Speisewasserpumpe        |
| 12 | Umwälzpumpen             |
| 13 | Turbine                  |
| 14 |                          |

**Aufgabe 127**

Auf dem Bild unten siehst du die vier Phasen der Kernspaltung. Beschreibe in ein paar Sätzen diese Phasen. Verwende dabei den Wortschatz aus dem bunten Kasten.

*langsame Neutronen, Neutronen dringen in den Kern ein, instabiler Zwischenkern, Kern dehnt sich aus, schnelle Neutronen werden ausgesandt, Energie wird frei, Kernbruchstücke, spalten, Spaltprodukte*



1. Ein Urankern wird mit langsamen Neutronen beschossen. Ein Neutron dringt in den Urankern ein und.....

**Aufgabe 128 (Lückentext)**

Vervollständige den unten stehenden Text über Kernfusion mit den Wörtern, die sich im gelben Rähmchen befinden.

*explosionsartig, Brennstoff, steigt, bringen, nutzbar, träumt, Abgabe, nutzbare, Elementen, instabiler, spaltbare, Abstoßung, Atombombe, radioaktiver, Kernfusion*

Das Prinzip der ..... ist einfach: man bringt zwei Atomkerne so nahe zueinander, dass ihre gegenseitige ..... aufgrund ihrer Ladung überwunden wird und sie unter ..... von Energie zu einem neuen Atomkern verschmelzen ("fusionieren"). Die Temperaturen, die nötig sind, um auf diese Art eine wirtschaftlich nutzbare Menge von Energie zu erzeugen, sind sehr hoch und bewegen sich im Bereich von vielen Millionen Grad Celsius.

Die Kernfusion funktioniert theoretisch mit allen ..... bis hinauf zum Eisen (darüber braucht die Verschmelzung mehr Energie als sie hergibt: Die Atomkerne werden umso ....., je größer sie sind - deshalb benutzt man auch das sehr schwere, aber vergleichsweise einfach ..... Uran, um Kernspaltungsreaktoren zu betreiben) - allerdings ..... die zur Fusion benötigte Temperatur mit der Masse der zu verschmelzenden Atomkerne steil an, da die Ladung - und damit die gegenseitige Abstoßung der Atomkerne ebenfalls von der Masse abhängt (tatsächlich wäre die Kernfusion deshalb ein extrem unwahrscheinlicher Prozess - sie wird aber, glücklicherweise, durch den sogenannten Tunneleffekt vereinfacht - ohne diesen quantenmechanischen Effekt könnte in Sternen praktisch keine Kernfusion stattfinden).

Schon lange träumt man nun davon, diesen Effekt technisch ..... zu machen. Zwar ist die Kernfusion die Energiequelle der Wasserstoffbombe, dabei wird die Energie jedoch ..... und unkontrolliert freigesetzt: um die Kernfusion kommerziell nutzbar zu machen, muss das Kunststück gelingen, die Energie langsam und kontrolliert freizusetzen, ähnlich wie in einem Atomkraftwerk im Gegensatz zur ..... Dabei ist die Kernfusion im Allgemeinen "sauberer" als die Kernspaltung: es fällt, je nach verwendetem ....., nur wenig ..... Abfall an. Eine Reaktorkatastrophe wie bei Kernspaltungsreaktoren ist unmöglich: Während man bei einem Kernspaltungsreaktor alles tun muss, um den Reaktor daran zu hindern, hochzugehen, muss man bei der Kernfusion alles tun, um den Brennstoff dazu zu bringen, überhaupt erst zu reagieren.

**Aufgabe 129 (Kernenergie dafür und dagegen)**

Unten wurden die Aussagen gesammelt, die Befürworter und Gegner der Kernenergie oft bei der Diskussion über den Sinn der Weiterentwicklung von Kernkraftwerken verwenden.

Erkenne die Aussagen der Befürworter und der Gegner und ordne sie in die Tabelle ein (gib die entsprechenden Nummern der Aussagen an).

Du kannst auch deine eigenen Argumente für und gegen Kernenergie in die Tabelle eintragen.

1. Ein normales Kohlekraftwerk darf mehr Radioaktivität freisetzen, als ein AKW und tut es auch!

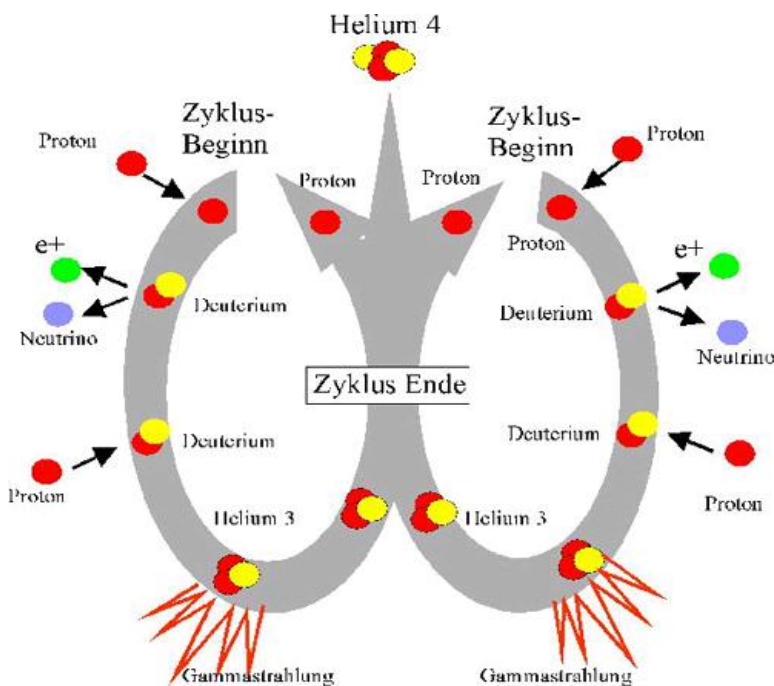


2. Lagerproblem der abgebrannten Brennstäbe, gefährliche Transporte auf Land und See, höhere Radioaktivität im Umfeld der Kernkraftwerke.
3. Kernenergie kann einen großen Energiebedarf decken, was die alternativen Energien nicht ohne Weiteres können.
4. Der Wirkungsgrad von Kernkraftwerken ist wesentlich höher als bei allen anderen Kraftwerken.
5. Der Vorrat an fossilen Brennstoffen nimmt ab, Schätzungen zufolge ist er in ca. 50 -70 Jahren aufgebraucht. Die Welt braucht aber Energie.
6. Die Halbwertszeit von Uran-238, das den größten Anteil an einem abgebrannten Brennstab ausmacht, beträgt 4,4 Milliarden Jahre. Über so lange Zeiträume sind Veränderungen in der Erdkruste nicht mehr sicher prognostizierbar.
7. Uran ist ein seltener Rohstoff, dessen Reichweite ebenso begrenzt ist wie die von Öl und Gas.
8. Ein Atomkraftwerk belastet die Umwelt nicht so stark wie ein Kohlen- oder Ölkraftwerk.
9. Durch technische Fehler und menschliches Versagen kann die Umwelt sehr stark mit radioaktiven Substanzen belastet werden.
10. Durch Elektrizitätswerke, in denen Uran verwendet wird, werden keine Bodenschätze verbraucht und damit Ressourcen geschont.
11. Die Stoffe, die ein Atomkraftwerk in die Luft abgibt, sind kaum belastend für die Umwelt.
12. Kernkraftwerke sind nicht den wechselnden Launen der Natur (Wind, Sonne) ausgesetzt.

Befürworter	Gegner	Deine Argumente für Kernenergie	Deine Argumente gegen Kernenergie

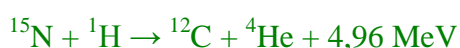
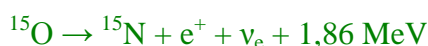
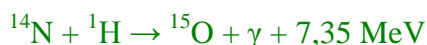
**Aufgabe 130**

In der Abbildung unten siehst du das Schema des sogenannten Proton-Proton Zyklus, das auf unserer Sonne stattfindet. Unter dem Bild hast du die Beschreibung dieses Vorgangs.



1. Zunächst fusionieren zwei Wasserstoffkerne  ${}^1\text{H}^+$  (Protonen) zu einem Deuteriumkern  ${}^2\text{H}^+$ , wobei durch die Umwandlung eines Protons in ein Neutron ein Positron  $e^+$  und ein Elektronneutrino  $\nu_e$  frei wird.
2. Das entstandene Positron annihiliert mit einem Elektron  $e^-$ , d. h., sie reagieren miteinander und werden vollständig in Energie umgewandelt. Die Masse beider Partner wird in Form von zwei Gammaquanten  $\gamma$  als Energie frei.
3. Das entstandene Deuterium kann anschließend (nach durchschnittlich nur etwa 1,4 Sekunden) mit einem weiteren Proton reagieren, wobei das leichte Helium-Isotop  ${}^3\text{He}$  entsteht.
4. Am Ende fusionieren zwei Heliumkerne  ${}^3\text{He}^{2+}$  zu  ${}^4\text{He}^{2+}$  ( $\alpha$ -Teilchen), wobei zwei Protonen freiwerden. Sie stehen für weitere Reaktionsschritte zur Verfügung.

Beschreibe den anderen Zyklus (CNO – Zyklus) aufgrund der unten aufgeschriebenen Kernreaktionen, die in diesem Zyklus verlaufen.



1. ....  
.....
2. ....  
.....
3. ....  
.....
4. ....  
.....
5. ....  
.....
6. ....  
.....

### Testaufgaben zur Kernphysik

#### Aufgabe 131

Die Masse des Atoms

- A) ist vorwiegend im Atomkern lokalisiert,
- B) ist vorwiegend in Elektronen lokalisiert,
- C) errechnet sich aus der Zahl der Protonen,
- D) wird als Kernladungszahl bezeichnet.

#### Aufgabe 132

Isotope sind

- A) stets radioaktive Varianten eines Atoms,
- B) Varianten eines Elements mit unterschiedlichen Nukleonenzahlen,
- C) Varianten verschiedener Elemente mit unterschiedlichen Nukleonenzahlen,
- D) Varianten verschiedener Elemente mit unterschiedlichen Elektronenzahlen.

#### Aufgabe 133

Im neutralen Atom

- A) stimmen Protonen- und Neutronenzahl überein,
- B) stimmen Protonen- und Elektronenzahl überein,
- C) ist die Zahl der Protonen immer größer als die der Neutronen,
- D) ist die Zahl der Neutronen immer größer als die der Protonen.

**Aufgabe 134**

Von den radioaktiven Strahlenarten ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )

- A) wird  $\beta$ -Strahlung auch als Röntgenstrahlung bezeichnet,
- B) hat  $\gamma$ -Strahlung die kürzeste Reichweite,
- C) hat  $\alpha$ -Strahlung die größte biologische Wirkung,
- D) besteht  $\beta$ -Strahlung aus Heliumkernen.

**Aufgabe 135**

Welche Aussage über das Silicium-Atom  $^{30}_{14}\text{Si}$  trifft nicht zu?

- A) der Kern enthält 14 Protonen;
- B) der Kern enthält 16 Neutronen;
- C) die Elektronenhülle enthält 14 Elektronen;
- D) die relative Atommasse beträgt 14;

**Aufgabe 136**

Jod-131 hat eine Halbwertszeit von rund 8 Tagen. Wenn am Anfang die Masse der radioaktiven Jodprobe gleich 20g ist, dann beträgt ihre -noch nicht zerfallene- Masse nach 24 Tagen

- A)  $\frac{20}{3}$  g
- B) 15g
- C) 5g
- D) 2,5g.

**Aufgabe 137**

Cäsium-137 hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren (30a).

a) Welcher Bruchteil der Atomkerne ist nach 60 Jahren noch nicht zerfallen?

- A)  $\frac{1}{2}$
- B)  $\frac{1}{3}$
- C)  $\frac{1}{4}$
- D)  $\frac{1}{8}$

**Aufgabe 138**

Wenn nach dem Zerfall aus Silicium  $^{31}_{14}\text{Si}$  Phosphor  $^{31}_{15}\text{P}$  entsteht, handelt es sich um

- A)  $\alpha$  - Zerfall
- B)  $\beta^-$  - Zerfall
- C)  $\beta^+$  - Zerfall
- D)  $\gamma$  - Zerfall.

**Aufgabe 139**

Wenn ein Uran-235-Kern ein langsames Neutron auffängt, dann kann er sich in einen Strontium-  $^{95}_{38}\text{Sr}$  und einen Xenon-Kern  $^{139}_{54}\text{Xe}$  spalten. Dabei entstehen auch

- A) 3 Neutronen
- B) 2 Neutronen
- C) 1 Neutron
- D) 2 Protonen.

**Aufgabe 140**

Welche der unten dargestellten Kernreaktionen wurden nicht korrekt aufgeschrieben?

- A)  $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha$ ,
- B)  $^{231}_{91}\text{Pa} \rightarrow ^{227}_{89}\text{Ac} + \alpha$ ,
- C)  $^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + \beta^-$ ,
- D)  $^{32}_{15}\text{P} \rightarrow ^{32}_{16}\text{S} + \beta^-$ .

# Kapitel IV. Astrophysik

1. Unser Sonnensystem
2. Grundlagen der Kosmologie
3. Struktur des Kosmos
4. Teile des Sonnensystems
5. Expansion des Universums
6. Die Entstehung der Sterne

## 1. Unser Sonnensystem

erdähnlich	_____
terrestrisch	_____
Asteroidengürtel <i>m</i>	_____
Gesteinsbrocken <i>m</i>	_____
Kuipergürtel	_____
Exzentrizität <i>f</i>	_____
Planet <i>m</i>	_____
Zwergplanet	_____

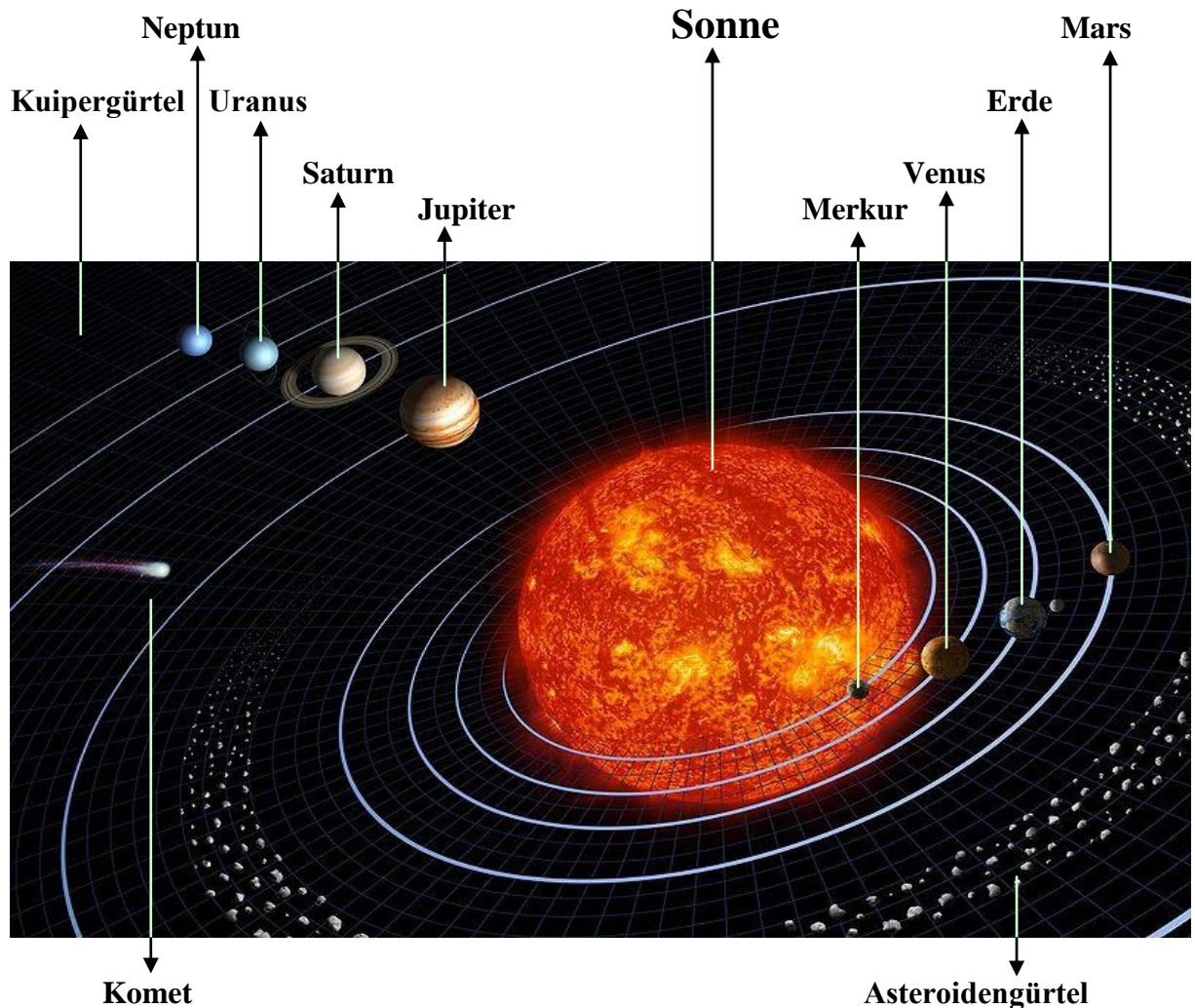
### ***Ein bisschen Spaß muss sein!***

*Eselsbrücke, um sich die Reihenfolge der Planeten – von der Sonne aus gesehen – leichter einprägen zu können.*

*Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unseren Nachthimmel.  
Merkur Venus Erde Mars Jupiter Saturn Uranus Neptun*

**früher noch: ...unsere neun Planeten..., da gehörte Pluto noch dazu**

## Sonnensystem



## Aufgabe 141

Bewerte die Sätze. Wenn die Information falsch ist, schreibe die Begründung!

	R	F	Begründung
1. Unsere Sonne leuchtet im Vergleich mit anderen Sternen ziemlich stark/hell.			
2. Unsere Sonne hat bereits die Hälfte ihrer Lebensdauer verbraucht.			
3. Alle Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen mit sehr kleinen numerischen Exzentrizitäten (die Bahnen sind fast Kreise).			
4. Als Folge der Entstehung des Sonnensystems bewegen sich alle Planeten, Pluto und der Asteroidengürtel auf einem rechtsläufigen Orbit um die Sonne.			
5. Alle Planeten drehen sich rechtsläufig (Richtung der Bahnbewegung).			
6. Die Asteroiden befinden sich nur zwischen Mars- und Jupiterbahn.			

**Aufgabe 142 (Die Rekorde des Sonnensystems!)**

1. Der größte Berg (wir finden ihn auf dem Mars) ist a) Olympus Mons b) Mont Everest c) Patras Gipfel	2. Der größte Mond ist a) Kallisto b) Io c) Ganymed
3. Der größte Zwergplanet ist a) Ceres b) Pluto c) Eris	4. Der größte Asteroid im Asteroidengürtel ist a) Ceres b) Pallas c) Andromeda
5. Den „längsten Tag“ gibt es auf dem a) Merkur b) Jupiter c) Neptun	6. Das „längste Jahr“ gibt es auf dem/der a) Merkur b) Erde c) Neptun



**Aufgabe 143**

Welche Planeten besitzen Monde, welche Ringe, welche sind mit bloßem Auge sichtbar? Kreuze in der Tabelle die richtige Lösung an!

	Monde	Ringe	sind mit bloßem Auge sichtbar
<b>Merkur</b>			
<b>Venus</b>			
<b>Erde</b>			
<b>Mars</b>			
<b>Jupiter</b>			
<b>Saturn</b>			
<b>Uranus</b>			
<b>Neptun</b>			

**Aufgabe 144**

Titus-Bode-Regel - Zufall oder „ein kosmischer Taschenspielertrick Gottes“

 <p>JOHANN DANIEL TITIUS Professor der Physik an W. Leibniz</p>	<p>Dieser Regel verdanken wir die Entdeckung des Asteroidengürtels, der zwischen dem Mars und dem Jupiter liegt. <i>Allerdings müssen wir darauf hinweisen, dass die Titus-Bode-Regel keine wissenschaftliche Gültigkeit hat.</i> Der mittlere Abstand <b>a</b> eines Planeten von der Sonne, der an der mittleren Entfernung der Erde in Astronomischen Einheiten (AE) gemessen wird</p> $a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$ <p><math>n = -\infty, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8</math></p>	
--	--	---

Berechne mit Hilfe der T-B Formel die Abstände der Planeten von der Sonne. Hat die T-B-Regel eine physikalische Bedeutung? Schreibe deine Meinung!

.....  
 .....  
 .....

Planet/Zwergplanet	n	Abstand nach T-B	Wirklicher Abstand
Merkur	$-\infty$		0,39
Venus	0		0,72
Erde	1		1,00
Mars	2		1,52
Asteroidengürtel	3		2,17 - 3,64
Jupiter	4		5,20
Saturn	5		9,54
Uranus	6		19,2
Neptun		-	30,1
Pluto	7		39,5
Eris	8		67,7

### Kometen

Kometen sind Himmelskörper, die aus Gas und kleineren Eis- und Gesteinsbrocken bestehen. Im Gegensatz zu den Planeten sind ihre Bahnen meist stark elliptisch. Es gibt je nach Umlaufzeit so genannte kurzperiodische und langperiodische Kometen. Die kurzperiodischen Kometen umkreisen die Sonne in geringerem Abstand, meist sogar innerhalb der Planetenzone des Sonnensystems in wenigen oder einigen Jahren. Die langperiodischen Kometen bewegen sich in Jahrzehnten, Jahrhunderten oder sogar Jahrtausenden einmal um die Sonne. Ihre Bahnen führen sie weit über die Zone der Planeten heraus.



**Hale-Bopp**, aufgenommen von Geoff Chester am 11. März 1997

### Aufgabe 145

Ordne die Sätze den Namen der Kometen zu!

<b>Halley'scher Komet</b>	war der erste Komet, der (1705 von Edmond Halley) als periodisch erkannt wurde und dessen Kern von Raumsonden fotografiert werden konnte (1986).
<b>Enckescher Komet</b>	hat mit 3,31 Jahren die kürzeste Umlaufzeit aller bekannten Kometen, kann aber nicht mehr mit bloßem Auge beobachtet werden.
<b>Ikeya-Seki</b>	gilt als einer der hellsten Kometen des letzten Jahrtausends. Er erreichte im Oktober 1965 die rund 60-fache Helligkeit des Vollmondes und war tagsüber deutlich neben der Sonne sichtbar.



<b>Shoemaker-Levy 9</b>	zerbrach im Gravitationsbereich des Jupiter. Seine Bruchstücke schlugen zwischen dem 16. und 22. Juli 1994 auf dem Planeten auf.
<b>Hale-Bopp</b>	war von 1996 bis 1997 mehr als 18 Monate mit bloßem Auge sichtbar und hält damit den Rekord unter allen bekannten Kometen.
<b>Wild 2</b>	ist der erste Komet, aus dessen Koma von einer Sonde Teilchen eingesammelt wurden. Die Proben wurden im Jahre 2006 zur Erde zurückgebracht.
<b>Tempel 1</b>	wurde das Ziel der Deep Impact Mission der NASA, bei der am 4. Juli 2005 ein 372 kg schweres, hauptsächlich aus Kupfer bestehendes Projektil mit einer relativen Geschwindigkeit von 10 km/s auf dem Kometen einschlug. Mit der Sonde selbst und mit zahlreichen erdgestützten Teleskopen, aber auch mit dem Weltraumteleskop Hubble und der ESA-Raumsonde Rosetta wurde die entstandene Partikelstaubwolke beobachtet.
<b>Tschurjumow-Gerasimenko</b>	dort soll 2014 während der Rosetta-Mission erstmals eine Sonde landen.



## Grundwissen

### 2. Grundlagen der Kosmologie

**Die Kosmologie** (griechisch  $\kappa\omicron\sigma\mu\omicron\lambda\omicron\gamma\iota\alpha$  – hier: die Lehre von der Welt) beschäftigt sich mit dem Ursprung, der Entwicklung und der grundlegenden Struktur des Universums (Kosmos) als Ganzem und ist damit ein Teilgebiet sowohl der Physik als auch der Philosophie.

Die physikalische Kosmologie versucht, das Universum mittels physikalischer Gesetzmäßigkeiten zu beschreiben. Dabei ist besonders die heute beobachtete, ungleichmäßige Verteilung der Galaxien und Galaxienhaufen im Nahbereich des sonst räumlich, aber nicht zeitlich homogenen und isotropen, expandierenden Universums zu verstehen.

#### Die Entfernungseinheiten

In der Astronomie gibt es sehr große Entfernungen. Deshalb wurden mehrere Entfernungseinheiten festgelegt:

1. **Kilometer**
2. **Astronomische Einheit** - Eine AE (im englischen auch AU = Astronomic Unit) ist die mittlere Entfernung Erde-Sonne.
3. **Lichtjahr** - Ein Lichtjahr ist nicht, wie der Name vermuten lässt, eine Zeiteinheit, sondern der Weg, den das Licht in einem Jahr durchreist.
4. **parsec** (abk. für Parallaxensekunde) - Ein parsec ist die Entfernung, in der ein Stern eine Parallaxe von 1'' aufweist.

#### Die Helligkeit eines Himmelskörpers

Bei der Bestimmung der Helligkeit eines Sternes unterscheidet man zwischen der scheinbaren und der absoluten Helligkeit.

**Scheinbare Helligkeit**

Die Helligkeit, mit der uns auf der Erde ein Himmelsobjekt erscheint, wird scheinbare Helligkeit genannt und in Größenklassen, einer logarithmischen Skala, gemessen und mit "Größe", "Magnituden", "mag", und manchmal auch nur "m" bezeichnet. "**Absolute Helligkeit**" gibt die scheinbare Helligkeit eines Himmelskörpers an, die er hätte, wenn er 10 Parsec von uns entfernt wäre. Zur Unterscheidung von der scheinbaren Helligkeit nimmt man als Einheit ein hochgestelltes großes(!) M.

Unter besten Bedingungen sind Sterne bis etwa 5,5 mag mit bloßem Auge zu erkennen. Bei gutem Landhimmel noch 6,5 mag. Je größer die Zahl, desto kleiner ist die scheinbare Helligkeit und schwieriger die Beobachtung des Objekts. Die Sonne als hellstes Objekt am Himmel hat ca. -27 mag.

**Spektralklassen**

Wir können bei Sternen nicht nur die Helligkeit unterscheiden, sondern auch deren Farbe. Einige Sterne erscheinen uns rötlich, andere bläulich, wieder andere gelblich leuchtend. Die verschiedenen Farben kommen von der Temperatur der Sterne. Sterne mit verhältnismäßig niedriger Temperatur leuchten meist rötlich, Sterne mit hoher Temperatur meist bläulich. Die Sterne lassen sich aufgrund ihrer Temperatur in verschiedene Spektralklassen unterteilen, diese werden in K (**Kelvin**) angegeben,

**insgesamt gibt es 7:**

- Spektralklasse O:** - Temperaturen über 25000K
- Spektralklasse B:** - Temperaturen von 10000K - 25000K - bläuliche Farbe
- Spektralklasse A:** - Temperaturen von 7600K - 10000K - weiße Farbe
- Spektralklasse F:** - Temperaturen von 6000K - 7600K - gelblich-weiße Farbe
- Spektralklasse G:** - Temperaturen von 5100K - 6000K - gelbliche Farbe - z.B. die Sonne
- Spektralklasse K:** - Temperaturen von 3600K - 5100K - rötlich-gelbliche Farbe
- Spektralklasse M:** - Temperaturen ca. 3300K - rötliche Farbe



**Hipparchos von Nicäa** (dt. *Hipparch*, \* um 190 v. Chr. in Nicäa, † um 120 v. Chr. wahrscheinlich auf Rhodos) war der bedeutendste griechische Astronom seiner Zeit. Er gilt als Begründer der wissenschaftlichen Astronomie und war auch Mathematiker und Geograph. Ihm zu Ehren wurde ein Astrometriesatellit Hipparcos genannt. (wikipedia) Der Astronom Hipparchos hat als erster die Sternhelligkeitsskala eingeführt und alle mit bloßem Auge sichtbaren Sterne in 6 Klassen (Größen) unterteilt.

- astronomische Einheit \_\_\_\_\_
- Lichtjahr *n* \_\_\_\_\_
- Parallaxe *f* \_\_\_\_\_
- Sternbild *n* \_\_\_\_\_
- Nordhimmel, Südhimmel \_\_\_\_\_
- scheinbare Helligkeit \_\_\_\_\_
- absolute Helligkeit \_\_\_\_\_

**Ein bisschen Spaß muss sein!**

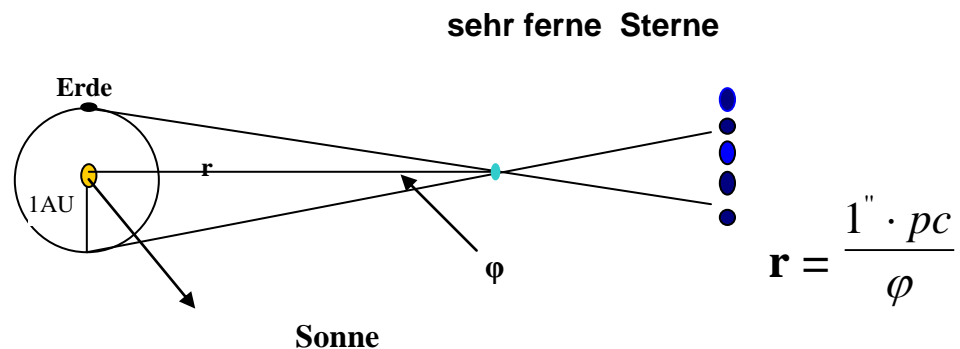
*Eiselsbrücke, um sich die Reihenfolge der Spektralklassen von Sternen leichter einprägen zu können.*

**Offenbar benutzen Astronomen furchtbar gern komische Merksätze.**

**Aufgabe 146**

**Methoden der Entfernungsbestimmung**

a) Parallaxe: Erkläre anhand des Bildes die wichtigste Methode, um die Sternentfernungen zu bestimmen.



**Benutze die Worte:**

sonnennähere Sterne, jährliche trigonometrische Parallaxe, Erdbahnradius

.....  
 .....  
 .....

b) Die jährliche Parallaxe beim sonnennächsten Stern Proxima Centauri beträgt  $0,772''$ . Berechne seine Entfernung in AE, pc, Lichtjahren.

**c) Cepheiden**

Bei einigen Gruppen veränderlicher Sterne hat man festgestellt, dass die Periode, mit der sich die Sternhelligkeit ändert, mit der absoluten Helligkeit der Sterne zusammenhängt. Kann man einen Stern als zu einem dieser Typen gehörend identifizieren, so kann man aus der Periodendauer die absolute Helligkeit und damit seine Entfernung bestimmen.

Beschreibe diese Methode genauer

.....  
 .....  
 .....

**Aufgabe 147**

In den Tabellen sind die 3 nächsten und die 3 hellsten Sterne (außer der Sonne) eingetragen.

Suche in Büchern oder im Internet die Namen der Sternbilder und finde heraus, ob wir sie sehen können. Sind diese Sterne am Nordhimmel sichtbar? (Schreibe auch wann - vielleicht ganzjährig?)

		Sternbild	Entfernung (in Ly)	Nordhimmel
1	Proxima Centauri (+Alpha Centauri A+ Alpha Centauri B)		4,22 (4,36)	
2	Barnards Pfeilstern		5,96	
3	Wolf 359		7,78	

		Sternbild	Scheinbare Helligkeit (in Mag)	Nordhimmel
1	Sirius		-1,46	
2	Canopus		-0,72	
3	Rigel		-0,27	

### Es lohnt sich zu wissen!

In den 1990er Jahren gelangen mit dem europäischen Astrometriesatelliten Hipparcos genaue Parallaxenmessungen für 118.000 Sterne.

Mit der Methode, die den Zusammenhang zwischen Leuchtkraft und Periodendauer bei Cepheiden misst, kann man die Entfernungen bis etwa 50 Mill. Lichtjahre messen.

### Aufgabe 148 (Leseverstehen)

#### *Astronomie: Die Wissenschaft der seltsamen Einheiten (Teil 1)*

*www.astrodicticum-simplex.de*

(...)Eine dieser seltsamen Einheiten findet man gleich, wenn man sich einer der wichtigsten Messgrößen der Astronomie zuwendet: der Helligkeit von Sternen. Neben der Richtung, aus der das Licht der Sterne kommt (Positionsastronomie bzw. Astrometrie) und der Qualität des Sternenlichts (Spektroskopie) ist die Messung der Helligkeit - die Photometrie - der dritte große Zweig der beobachtenden Stellarastronomie. Einer der ersten, der sich damit beschäftigte, wie man die Sterne anhand ihrer Helligkeit einteilen kann, war Hipparchos von Nicäa (~190 v.Chr. bis ~120 v.Chr.). Er teilte die mit freiem Auge sichtbaren Sterne in sechs Größenklassen ein. Die hellsten Sterne am Himmel wurden als "Sterne erster Größe" katalogisiert; diejenigen, die man gerade noch mit freiem Auge sehen konnte als "Sterne sechster Größe". Dieses System der Größenklassen existiert auch heute noch. Die (scheinbare oder absolute) Helligkeit eines Sterns wird immer noch in Größenklassen bzw. Magnituden angegeben und mit "mag" oder einem hochgestellten <sup>m</sup> gekennzeichnet. Die Helligkeit war immer schon eine etwas knifflige Messgröße. Vor der Verwendung von fotografischen Platten in der Astronomie gab es keine objektive Möglichkeit die Helligkeit zu bestimmen. Beobachter mussten durch freijägige Beobachtung die Größenklassen durch Vergleich mit Referenzsternen abschätzen. Um das ganze objektiver zu machen, wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts eine "neue" Helligkeitsskala, basierend auf der Arbeit von Norman

Pogson, eingeführt. Da das menschliche Auge Reize logarithmisch verarbeitet, verwendete er auch eine logarithmische Skala! Das bedeutet, dass bei einer Verdoppelung des Reizes (also des auf das Auge treffenden Lichtflusses) sich die Empfindung *nicht* verdoppelt, sondern nur um etwa 30% stärker wird! Betrachtet man zwei Lichtquellen, von denen die eine 100mal mehr Licht aussendet als die andere, dann erscheint diese dem Auge nur doppelt so hell (der Logarithmus von 100 ist 2).

(...) Für Laien ist das oft verwirrend: liest man z. B., dass der *Stern 1* eine scheinbare Helligkeit von 3,7 Magnituden hat und *Stern 2* 6 Magnituden hell ist, dann bedeutet das, dass Stern 1 das hellere Objekt ist und in diesem Fall noch leicht mit freiem Auge gesehen werden kann, während Stern 2 gerade an der Grenze der Sichtbarkeit liegt.

Die besten Teleskope schaffen es heute übrigens, Sterne bis etwa zur 30. Größenklasse zu sehen. Das sind "nur" 24 Größenklassen mehr als die Sterne, die man gerade noch mit bloßem Auge sehen kann - allerdings entspricht das einem Unterschied von knapp 4 Milliarden im Lichtfluss! Die besten Teleskope, die heute existieren, können also Sterne sehen, die 4 Milliarden mal schwächer leuchten als diejenigen, die wir mit unseren Augen am Himmel sehen können!

## Fragen

1. Welche sind die drei großen Teile der Astronomie?
2. Warum war die Größenklassenskala sehr lange eine knifflige Messgröße?
3. Was liegt der neu definierten Helligkeitsskala zugrunde?
4. Welche Möglichkeiten haben die modernen Teleskope?

## 3. Struktur des Kosmos

Filament <i>n</i>	_____
Voids	_____
Superhaufen <i>m</i>	_____
Galaxiehaufen	_____
Sternhaufen	_____
Asteroid <i>m</i>	_____
Staubpartikel <i>m</i>	_____
Meteoroid <i>m</i>	_____

### Aufgabe 149 (Leseverstehen)

#### Großräumige Struktur des Kosmos (wikipedia)

Zur Zeit sind bereits viele Strukturen bekannt: Sterne sind in Galaxien zusammengefasst, Galaxien wiederum in Galaxienhaufen und diese dann in Superhaufen, die durch Voids getrennt werden. Bis 1989 wurde angenommen, dass die Superhaufen die größten Strukturen in unserem Universum sind und relativ gleichmäßig über den gesamten Raum verteilt sind. 1989 entdeckten Margaret Geller und John Huchra dann

mithilfe von Daten aus der Untersuchung der Rotverschiebung die Große Mauer. Dies ist eine Ansammlung von Galaxien mit einer Länge von 500 Millionen Lichtjahren, einer Breite von 200 Millionen Lichtjahren und einer Tiefe von lediglich 15 Millionen Lichtjahren. Die Große Mauer blieb so lange unbemerkt, weil für ihre Entdeckung die Erfassung der Position der Galaxien in drei Dimensionen notwendig war. Dies wurde erreicht, indem man die Ortsdaten der Galaxien mit den Entfernungsdaten aus der Rotverschiebung kombinierte.

In Richtung der Sternbilder Hydra und Zentaur, etwa 250 Millionen Lichtjahre vom Virgo-Superhaufen entfernt, in dem auch die Milchstraße liegt, befindet sich eine gravimetrische Anomalie, genannt großer Attraktor. Diese Anomalie zieht Galaxien bis zu einer Entfernung von mehreren hundert Millionen Lichtjahren an. Das Licht all dieser Galaxien ist zwar nach dem Hubble-Gesetz verschoben, aber die feinen Unterschiede in der Rotverschiebung ermöglichen es, den großen Attraktor nachzuweisen oder zumindest die Existenz einer Masseansammlung in der Größenordnung mehrerer zehntausend Galaxien. Im Zentrum des großen Attraktors liegt der fast durch die Milchstraßenscheibe verborgene Norma-Galaxienhaufen. In seiner Umgebung befindet sich eine Ansammlung vieler großer und alter Galaxien, von denen viele miteinander zusammenstoßen und/oder große Mengen an Strahlung abgeben.

### 1. Kreuze die richtigen Antworten an.

	R	F
1. Die Galaxienhaufen sind in Superhaufen zusammengefasst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Bis 1989 meinte man, dass die Materie unregelmäßig im Universum verteilt ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Seit zwanzig Jahren weiß man, dass es größere Strukturen gibt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Bei der Entdeckung der Großen Mauer haben die Daten der Rotverschiebungsuntersuchung sehr geholfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Die Milchstraße ist Teil des Virgo-Superhaufens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Norma- und Virgo-Galaxienhaufen liegen in einer größeren Struktur - der Großen Mauer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2. Beantworte die Fragen.

1. Warum haben die Forscher große Schwierigkeiten bei der Beobachtung der neuen Große-Mauer-Struktur?

.....

2. Wie groß ist die neue Struktur - auch Filamente genannt?

.....

3. Was ist der große Attraktor und welche Rolle spielt er für die nebenstehenden Galaxien?

.....

## Das lohnt sich zu wissen!

Meteoroid	Meteor	Meteorit
<i>Leider gibt es kein Bild!</i>		
ist ein kosmischer Kleinstkörper mit einem Durchmesser zwischen einigen Metern und weniger als 0.1 mm, der die Sonne umläuft.	wird eine Lichterscheinung genannt, welche entsteht, wenn Partikel in die Erdatmosphäre eintreten und aufgrund des hohen Luftwiderstandes verglühen.	ist ein kosmischer Kleinstkörper, der in der Erdatmosphäre nicht verbrannt worden ist, sondern auf die Erdoberfläche gelangte .

### Aufgabe 150

Ordne die Beschreibungen zu.

Eine gravitativ gebundene große Ansammlung von Materie wie Sterne und Planetensysteme, Gasnebel, Staubwolken und sonstige Objekte.

Eine Gaskugel, die durch Schwerkraft so zusammengepresst wird, dass in ihrem Inneren Kernfusion einsetzt, und Energie in Form von Licht und anderer elektromagnetischer Strahlung freigesetzt wird.

Die fadenförmigen Verbindungen im Universum zwischen Galaxienhaufen und Superhaufen mit einer höheren lokalen Galaxiedichte um riesige Hohlräume (engl. *voids* ) herum.

Ein natürlich entstandenes astronomisches Objekt, das ein anderes umkreist.




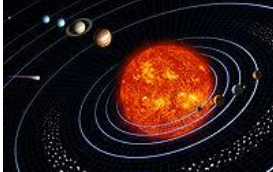


Ansammlungen von Galaxien im Universum.

Eine der größten für uns erkennbaren Strukturen im Universum, die sich aus mehreren Galaxienhaufen zusammensetzt.

Ein Gebiet erhöhter Dichte von Sternen im Vergleich zum umgebenden Bereich.

Mikroskopische Materiepartikel im interstellaren Raum. Sie sind Produkte von Novae und Supernovae und tragen einen kleinen Teil zum interstellaren Staub bei.

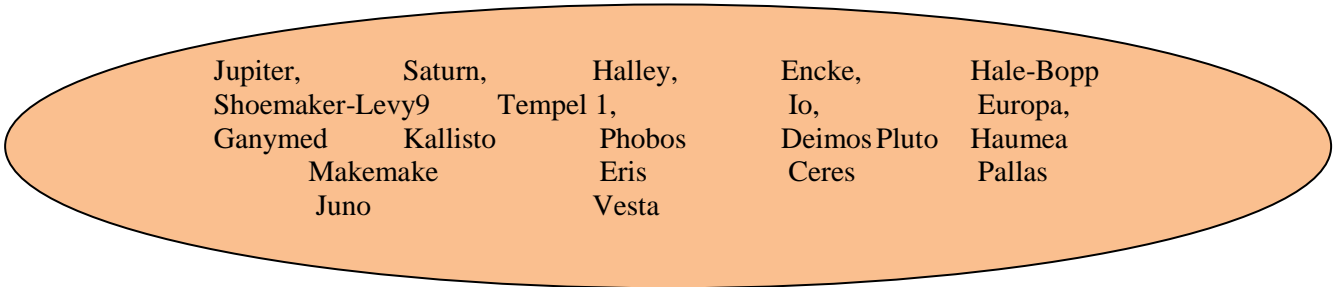
Eine Ansammlung von massereichen Körpern (in deren Inneren keine Kernfusionsprozesse ablaufen), welche sich – durch die Gravitationskraft gebunden – um mindestens einen Zentralstern bewegen.

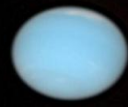
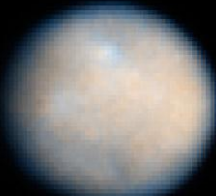



<b>Filamente</b>		
<b>Superhaufen</b>		
<b>Galaxiengruppen und Galaxienhaufen</b>		
<b>Galaxie</b>		
<b>Sternhaufen .</b>		
<b>Planetensystem</b>		
<b>Stern</b>		
<b>Satellit</b>		
<b>Sternenstaub, Staubpartikel</b>		



## 4. Teile des Sonnensystems

Suche in Büchern und im Internet die Definitionen und schreibe sie in die Tabelle. Ordne die Namen den Himmelskörpern zu (bei Monden schreibe auf, welchen Planeten er umkreist).



		Definition	Beispiele
<b>Planet</b>			
<b>Zwergplanet</b>		Neue von der Internationalen Astronomischen Union (IAU) am 24. August 2006 in Prag definierte Klasse von Himmelskörpern.	
<b>Mond, Trabant</b>			
<b>Asteroid, Planetoide</b>			
<b>Komet</b>			
<b>Meteoroid</b>			

*„Man soll die Dinge so einfach machen wie möglich, aber nicht einfacher.“*  
**Albert Einstein**

## 5. Expansion des Universums



### Grundwissen

**Kosmologisches Prinzip** (Edward A. Milne 1933) - das Universum ist in hinreichend großen Raumbereichen homogen und isotrop. Es gibt danach keinen ausgezeichneten Punkt (abgesehen von lokalen Variationen), keinen Mittelpunkt und auch keine ausgezeichnete Richtung im Universum.

Die **Rotverschiebung** bezeichnet die Verlängerung der gemessenen Wellenlänge von elektromagnetischen Wellen gegenüber der emittierten Wellenlänge. Ist  $\lambda$  die beobachtete Wellenlänge und  $\lambda_0$  die Wellenlänge der unverschobenen Spektrallinie, so

berechnet sich die Rotverschiebung  $z$  wie folgt:  $z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0}$

Hubble Gesetz

Die **Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie ist direkt proportional zu ihrer Entfernung zu uns.**

$$v = H_0 \cdot r \quad (\text{Geschwindigkeit} = H_0 \times \text{Entfernung})$$

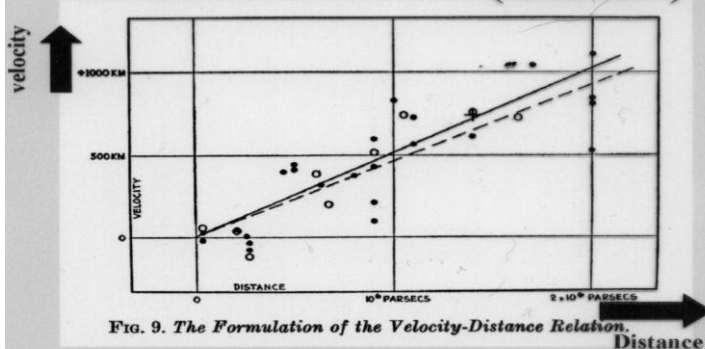
Die **Hubble-Konstante  $H_0$**  fundamentale Konstante der Kosmologie. Sie gibt die Expansionsgeschwindigkeit des Universums an. Nach letzten Messungen (Mai 2009) mit dem Hubble-Weltraumteleskop

$$H_0 \approx 74,2 \pm 3,6 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$$



**$H_0$  ist eigentlich keine Konstante, sondern verändert sich mit der Zeit - invers proportional zum Alter des Universums. Der Kehrwert  $1/H_0$  der Hubblekonstante wird Hubblezeit genannt.**

The original Hubble Diagram (Galaxies)



Das Original-Hubble-Diagramm. Er zeigt wie die Entfernung mit Geschwindigkeit des gemessen von Hubble Objekten abhängt.

Rotverschiebung  $f$  \_\_\_\_\_

Expansionsgeschwindigkeit  $f$  \_\_\_\_\_

**Aufgabe 151**

Wenn alles sich wegbewegt, dass einmal in einem Punkt konzentriert gewesen ist. Somit war die Theorie des Urknalls geboren. Daher ist es klar, dass der Wert der Konstanten auch das Alter des Universums angibt.

Prüfe mit Hilfe der Hubble Konstante, dass das Alter unseres Universums auf 13,7 Milliarden Jahre geschätzt wird.

**Das Gummibandmodell des Universums**

Um ein einfaches Modell des Universums zu bauen, nehmen wir ein Gummiband, auf das in gleichmäßigen Abständen Markierungspunkte aufgeklebt sind. Wir befestigen das Gummiband an einem Ende und ziehen am anderen Ende des Gummibandes. Das Gummiband dehnt sich, und die Markierungspunkte entfernen sich voneinander. Die Art, wie sich die Entfernungen in unserem Gummiuniversum verändern, hat mit der kosmischen Expansion eine entscheidende Eigenschaft gemeinsam: Alle Abstände verändern sich um ein und denselben Faktor. Dehne ich das Gummiband beispielsweise auf das Doppelte seiner ursprünglichen Länge, dann verdoppeln sich auch alle Abstände der Markierungspunkte untereinander. Als Folgerung lässt sich der sogenannte Hubble-Effekt ableiten: Je weiter der Abstand zwischen zwei Galaxien bereits ist, umso schneller nimmt er in einem gegebenen Zeitintervall weiter zu. Für diese einfache Rechnung ist das Gummibanduniversum mit seiner einzigen Raumdimension sehr geeignet. Es hat aber auch einen gravierenden Nachteil. Dieses Modelluniversum hat Ränder (die Enden des Gummibandes!) und, noch schlimmer: bei seiner kosmischen Expansion spielen die Ränder, an denen ich das Gummiband schließlich auseinanderziehe, eine wichtige Rolle! Beides ist im Vergleich mit den tatsächlichen kosmologischen Modellen irreführend, denn dort hat das Universum keinerlei Rand.

**Aufgabe 152**

**(Versuch - Hubble Konstante des Gummibanduniversums)**

1. Nimm ein Gummiband von 2m und befestige es auf einer Seite.
2. Markiere die 6 Schleifen im Abstand von je 30 cm.
3. Ziehe das Gummiband innerhalb von 5s lang und miss die Positionen der Schleifen noch einmal.
4. Schreibe die Ergebnisse in die Tabelle.

Relative Positionsänderung $\Delta s$	Geschwindigkeit, mit der sie sich entfernt haben $v$	"Hubblekonstante" des Gummibandes $H_x = v_x / \Delta s_x$

Man kann nun die Einheit der "Hubble Konstante" (cm/s)/cm kürzen und erhält die Einheit 1/s. Der Kehrwert unserer "Hubblekonstante"  $H=0,2$  1/s ergibt ein "Weltalter" von 5s, was ja auch dem tatsächlichen Weltalter unseres Versuchs entspricht.

**Aufgabe 153**

Leite eine Formel her, in der die Fluchtgeschwindigkeit  $v$  nur in Abhängigkeit von  $z$  und  $c$  ausgedrückt ist.

**Aufgabe 154**

Wie groß ist nach dem Hubble-Gesetz die (heutige) Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie, die (heute) 400 Mpc von uns entfernt ist?

**Aufgabe 155**

Wir nehmen an, dass wir auf der Sonne sitzen, auf die Erde schauen und berechnen die Geschwindigkeit, mit der sich die Erde laut Hubble- Gesetz von uns entfernen müsste. Beobachten wir ein solches Ereignis (die Entfernung der Erde im Bezug auf Sonne)? Warum?

**Aufgabe 156**

In einer Galaxie wird die  $H_\alpha$ -Linie des Wasserstoffs ( $\lambda_0 = 656,297\text{nm}$ ) mit einer anderen Wellenlänge  $\lambda_1 = 658,003\text{nm}$  gemessen wegen des Dopplereffekts. Mit welcher Geschwindigkeit und in welche Richtung bewegt sich die Galaxie und wie weit ist sie entfernt?

**Aufgabe 157**

Die Lyman  $\alpha$ -Linie (121,57 nm) einer weit entfernten Wolke atomaren Wasserstoffs wird bei einer Wellenlänge von 122.6 nm beobachtet. Berechne die Entfernung der Wasserstoffwolke.

**Aufgabe 158 (Testfragen)**

- a) Was bedeutet die „Isotropie“ des Universums?
- Gleichgroße Volumenabschnitte enthalten gleich viele Galaxien.
  - Die Entropie des Universums bleibt während der Expansion konstant.
  - Das Universum sieht in alle Richtungen gleich aus.
- b) Welche physikalischen Größen werden durch das Hubble-Gesetz miteinander in Beziehung gebracht?
- die Periode und die Helligkeit eines veränderlichen Sterns;
  - die Entfernung  $d$  und die relative Geschwindigkeit  $v$  zweier Körper;
  - die scheinbare Helligkeit eines Sterns und seine Entfernung;
- c) Die Expansion des Universums und die kosmologische Rotverschiebung gehören zu den bedeutendsten Resultaten
- der Keplerschen Gesetze
  - der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie
  - der Big Bang Hypothese Urknall-H.

## Es lohnt sich zu wissen!

1917 hat Einstein sein kosmologisches Modell veröffentlicht. Darin vertrat er - wie vorher Newton - ein statisches, starres Universum. Einstein wusste, dass seine Formeln, die er hergeleitet hat, keine Lösungen hatten, wenn das Universum statisch ist. Um die Theorie des statischen Universums zu retten, führt Einstein in die Rechnungen noch einen Extra-Term ein, dieser wurde später die kosmologische Konstante genannt. Als Hubble seine Theorie des expandierenden Universums publizierte und auch die entsprechenden Beweise dazu veröffentlichte, verwarf Einstein seine Theorie und bezeichnete die Erfindung der kosmologischen Konstante als seine *größte Eselei*.

## 6. Die Entstehung der Sterne



### Grundwissen

**Stern** (lat. *stella*): Himmelskörper, der aus Gasen besteht, die durch Schwerkraft so zusammengedrückt werden, dass in seinem Inneren Kernverschmelzung einsetzt und Energie in Form von Licht und anderer elektromagnetischer Strahlung freigesetzt wird.

#### Zustandsgrößen der Sterne

**Leuchtkraft** – der gesamte Energieverlust eines Sterns durch die Emission von elektromagnetischer Strahlung;

**Effektivtemperatur** - ein Maß für die Temperatur in äußeren Schichten der Sternatmosphäre, aus denen Strahlung zur Erde gelangt;

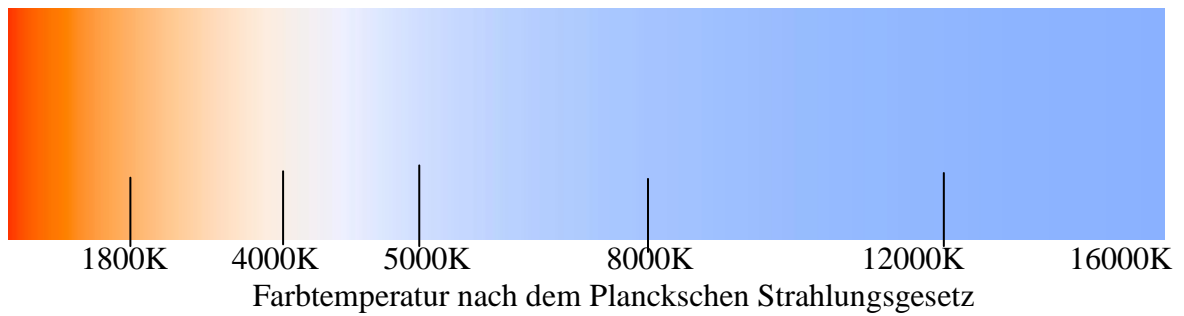
**Radius** – genaue Messungen sind nur für nahe Sterne möglich.

**Masse** – Die genaue Methode ist die durch Beobachtung der Bewegung von Doppelsternen.

**Chemische Zusammensetzung** – Die Bestimmung der Chemischen Zusammensetzung erfolgt durch Abgleich der gemessenen Strahlungsspektren mit theoretischen Modellen.

**Spektraltyp** - Das Licht eines Sterns liefert eine Menge von Informationen, wenn man das Sternenlicht spektral zerlegt. Die Spektren der Sterne bestehen meistens aus einem kontinuierlichen Untergrund mit überlagerten dunklen Absorptionslinien oder -bändern. Man hat sehr schnell festgestellt, dass sich die meisten Sterne in ein eindimensionales Schema von Spektraltypen einordnen lassen. Diese wurden mit O, B, A, F, G, K, M durchnummeriert.

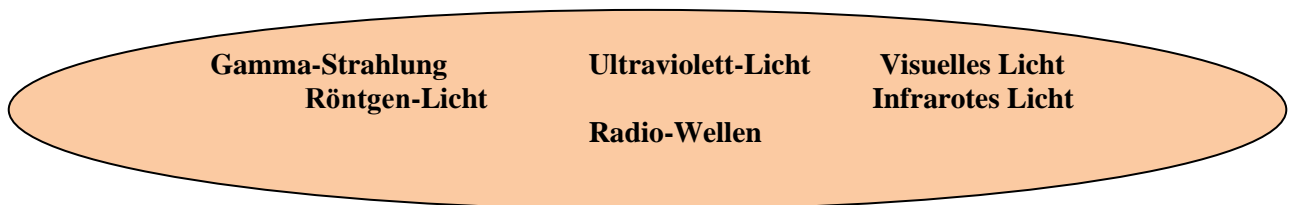
Der Spektraltyp eines Sterns wird hauptsächlich von seiner Oberflächentemperatur bestimmt.



- Roter Riese \_\_\_\_\_
- Überriese \_\_\_\_\_
- Weißer Zwerg \_\_\_\_\_
- Supernova *f* \_\_\_\_\_
- Neutronenstern \_\_\_\_\_
- Kontraktion *f* \_\_\_\_\_
- Gravitationskollaps *m* \_\_\_\_\_

**Aufgabe 159**

Am meisten senden die Sterne die verschiedenen Arten der elektromagnetischen Strahlung auf Grund ihrer Temperatur. Man weiß, dank der physikalischen Untersuchungen, dass ein Körper nicht nur eine Art der elektromagnetischen Strahlung sendet, aber die besonders starke Emission hängt von der Temperatur des Objektes ab. Ordne den Temperaturen die Farben zu.



Temperatur des Objektes	Objekt produziert hauptsächlich
> 100 Mio Kelvin	Gamma-Strahlung
1 Million - 100 Millionen Kelvin	Röntgen-Licht
10000 - 1 Million Kelvin	Ultraviolett-Licht
1000 - 10000 Kelvin	Visuelles Licht
10 - 1000 Kelvin	Infrarotes Licht
< 10 Kelvin	Radio-Wellen

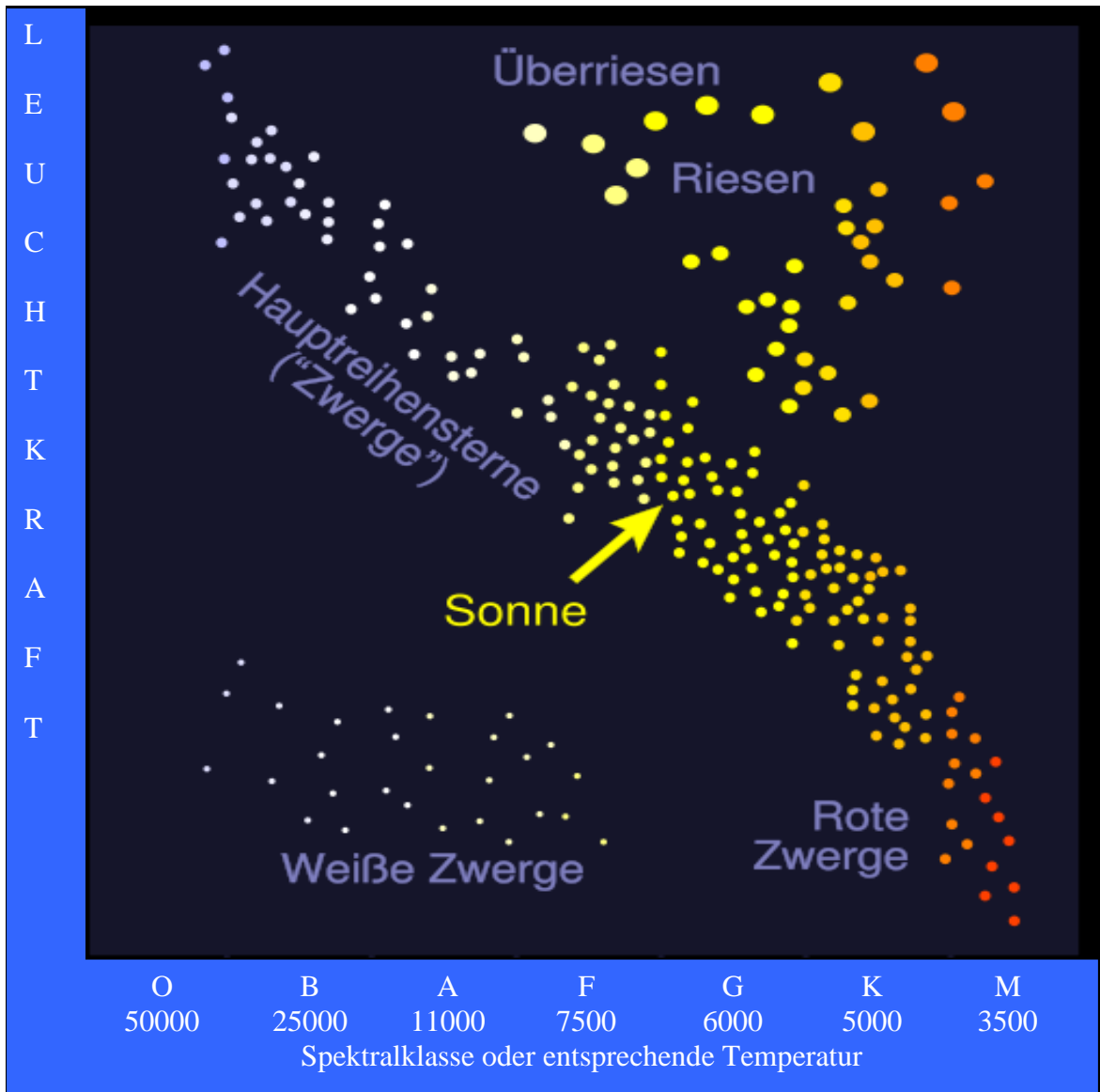
**Aufgabe 160**

Was ist das? Ordne die Beschreibungen den Namen zu.

1.	Roter Riese, Roter Überriese	A	ist eine Form des Endstadiums mancher Sterne, wenn er seinen Wasserstoffvorrat im Kern aufgebraucht hat und im Inneren Helium verbrennt. Der Stern wird größer, seine Oberflächentemperatur nimmt ab und er bekommt eine rötliche Farbe.
2.	Weißer Zwerg	B	ist die letzte Entwicklungsphase eines Sterns, der unmittelbar nach Versiegen seines Kernbrennstoffs weniger als 1,44 Sonnenmassen besitzt.
3.	Supernova	S	ist das schnell eintretende, helle Aufleuchten eines Sterns am Ende seiner Lebenszeit durch eine Explosion, bei der der Stern selbst vernichtet wird.
4.	Pulsar	D	ist ein schnell rotierender Neutronenstern. Die Rotationsdauer ohne Begleiter liegt zwischen 0,01 und 8 Sekunden. Sie strahlen hauptsächlich im Radiofrequenzbereich, manchmal bis in den Röntgenbereich.
5.	Neutronen Stern	E	besteht aus einer besonderen Materieform von Neutronen, die im Zentrum eine Dichte von etwa $10^{11}$ kg/cm <sup>3</sup> bis zu $2,5 \cdot 10^{12}$ kg/cm <sup>3</sup> aufweist.
6.	Schwarzes Loch	F	ist ein astronomisches Objekt, dessen Gravitation so hoch ist, dass die Fluchtgeschwindigkeit für dieses Objekt höher liegt als die Lichtgeschwindigkeit.

**Das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD)**

Beim Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) trägt man die absolute Helligkeit der Sterne gegen den Spektraltyp auf. Das HRD ist ein wichtiges Werkzeug für die Untersuchung von Sternen und Sternhaufen.



### Aufgabe 161

Suche Informationen in Büchern und im Internet und fülle die Tabelle aus. Trage den Stern auf das HRD ein.

Name	Sternbild	Scheinbare Helligkeit	Farbe	Entfernung in parsec	Sternenart
Sonne					
Sirius					
Polarstern					
Proxima Centauri					
Arctur					
Aldebaran					



**Aufgabe 162**

Lies zuerst den Text.

**Die Entstehung und Entwicklung der Sterne**

Vor zirka 5 Milliarden Jahren (erst ca. 8 Milliarden Jahre nach dem Urknall), gab es eine Gaswolke in unserer Gegend. Irgendwann entstanden in der Wolke Klümpchen, die wuchsen und gewannen an Masse. Aufgrund der Schwerkraft zogen sie alles an sich, was in der näheren Umgebung lag und leichter war als diese Klümpchen selbst. Durch die Masseansammlung steigt die Dichte des Klumpens immer weiter, und mit ihr erhöht sich auch die Temperatur in seinem Inneren. Das Gas, aus dem er besteht, verdichtet und erhitzt sich unaufhörlich. Nun entstand bald (das heißt nach einigen Millionen Jahren!) ein Protostern. Wenn im Inneren des Protonensterns eine Temperatur von mehreren Millionen Grad erreicht ist, kommt es zur Verschmelzung von Wasserstoffkernen zu Helium. Es wird enorm viel Energie frei, die der Protostern in Form von Licht und Wärme nach außen abgibt – das Objekt beginnt zum ersten Mal zu leuchten! Die Zeitspanne vom Protostern zum echten Stern beträgt etwa 10 Millionen Jahre.

Unsere Sonne wird nicht 9 Milliarden Jahre lang gleich hell und heiß leuchten. In jungen Jahren war sie kühler als heute. Sie steigert im Verlauf ihres Lebens allmählich ihre Leuchtkraft. In etwa 4 Milliarden Jahren geht der Sonne endgültig der Wasserstoff aus. Die Sonne wird ihre äußeren Schichten abstoßen. Dabei dehnt sie sich gewaltig aus und verschluckt Merkur und Venus. Sie wird für etwa 600 Millionen Jahre zum Roten Riesen.

Dann werden die äußeren Schichten wieder auf den Kern zurückstürzen und erneut expandieren. Dieses Zusammenziehen und Ausdehnen kann durchaus mehrere Male hintereinander geschehen, in immer kürzeren Abständen. Aber irgendwann ist damit Schluss. Die äußeren Schichten werden endgültig abgestoßen. Um den ehemaligen Stern herum bildet sich ein Planetarischer Nebel. Dieser dehnt sich allmählich immer weiter aus und dient als Gaswolke vielleicht einmal der nächsten Generation Sterne als Baumaterialquelle. Die Sonne selbst endet als Weißer Zwerg. Sie wird dann etwa so groß sein wie die Erde und nur noch schwach vor sich hinglimmen. Ganz am Ende wird die Sonne nur noch ein schwarzer Schlackeklumpen sein, der praktisch kein Licht mehr aussendet. Dieses Endstadium nennt sich Schwarzer Zwerg.

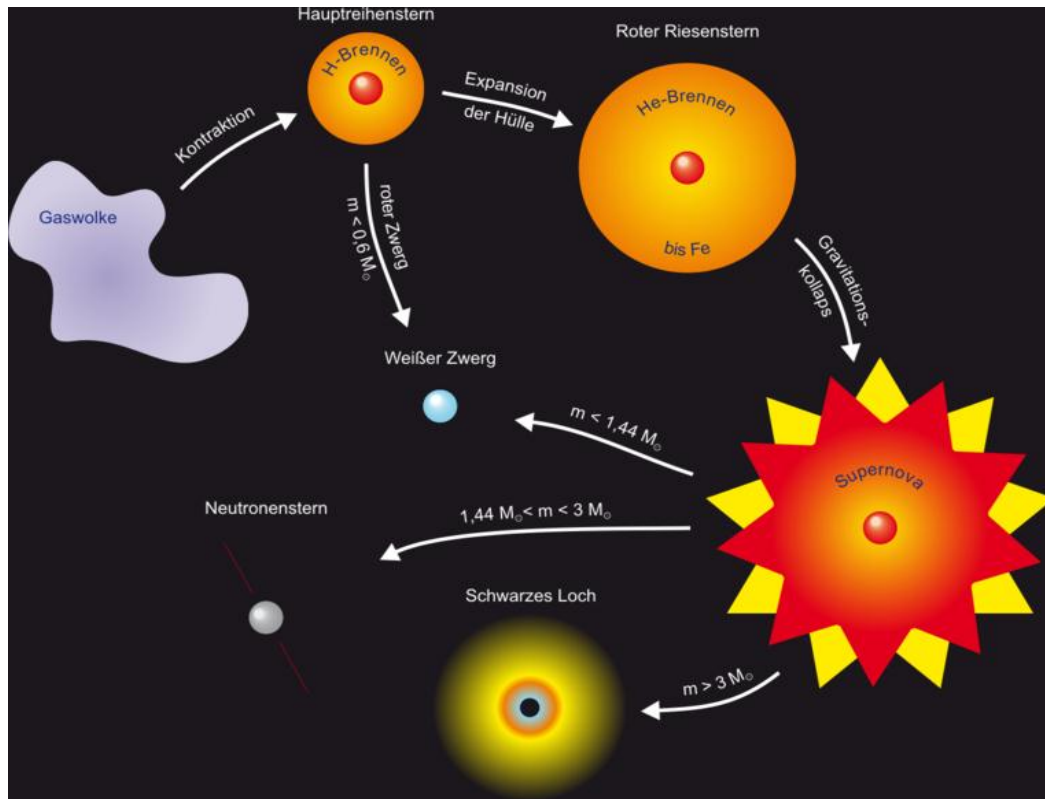
Trage den Lebensweg der Sonne aufgrund der Textinformationen in das HR-Diagramm ein.



**Aufgabe 163**

Erkläre mit Hilfe des Bildes die Endphasen der Sterne in Abhängigkeit von ihrer Masse.

**Tod der Sterne**



Es gibt Sterne von unterschiedlicher Größe. Sie unterscheiden sich nicht nur durch ihre Größe, unterschiedliche Massen, Farben und Temperaturen. Sie unterscheiden sich auch durch ihre sehr unterschiedlichen Lebenserwartungen.

Sterne von Sonnengröße mit maximal 1,4facher Sonnenmasse .....

.....

.....

Als Neutronensterne enden Sterne, .....

.....

.....

Sterne mit der 3fachen Sonnenmasse .....

.....

.....

**Aufgabe 164**

Wie groß müsste unsere Sonne sein, um ein Schwarzes Loch zu werden. Es wird nie passieren, weil die Masse der Sonne erheblich zu gering ist!

# Anhang:

## Bilinguales Abitur - Beispiel

### Teil I (Testaufgaben)

#### Aufgabe 1

Ein Rennwagen fährt mit einer Geschwindigkeit von  $50\text{m/s}$ . Der Fahrer bremst das Auto  $2\text{s}$  lang mit einer Verzögerung von  $-6\text{m/s}^2$  ab. Die Geschwindigkeit des Autos nach dem Bremsvorgang und die während des Bremsvorgangs zurückgelegte Strecke betragen:

- A)  $12\text{m/s}$  und  $62\text{m}$
- B)  $12\text{m/s}$  und  $88\text{m}$
- C)  $38\text{m/s}$  und  $62\text{m}$
- D)  $38\text{m/s}$  und  $88\text{m}$ .

#### Aufgabe 2

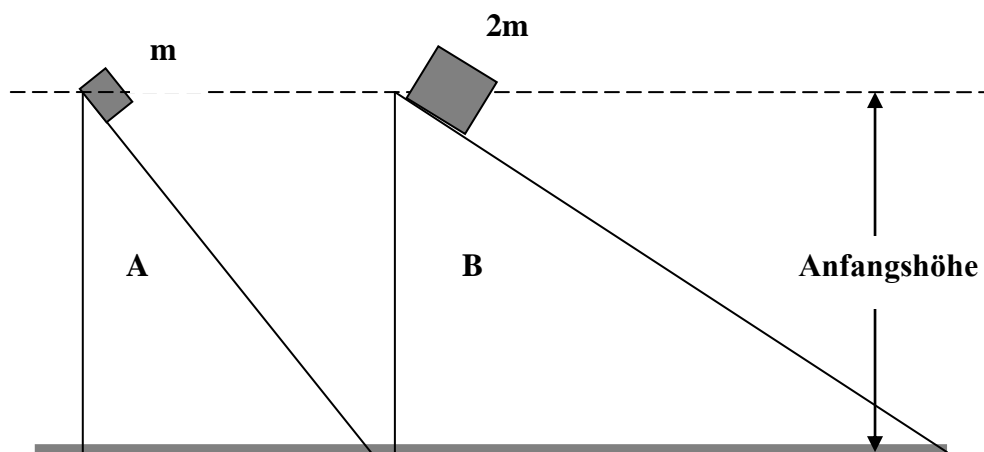
Ein Auto der Masse  $1200\text{kg}$  überwindet auf einer  $500\text{m}$  langen Straße einen Höhenunterschied von  $50\text{m}$ . Die Reibungskraft beträgt entlang der Strecke  $400\text{N}$ . Die gesamte von dem Auto verrichtete Arbeit beträgt:

- A)  $200\text{kJ}$
- B)  $600\text{kJ}$
- C)  $800\text{kJ}$
- D)  $1200\text{kJ}$ .

#### Aufgabe 3

Zwei Kästen der Massen  $m$  und  $2m$  gleiten die schiefen Ebenen A bzw. B hinab. Sie starten aus dem Ruhezustand in derselben Höhe. Die beiden Ebenen sind unterschiedlich stark geneigt und sind so glatt, dass man die Reibungskraft vernachlässigen kann.

Welche der folgenden Aussagen ist nicht richtig?



- A) Die Kästen haben am unteren Ende der schiefen Ebenen dieselben Geschwindigkeiten.
- B) Der Kasten auf der Ebene A erfährt eine größere Beschleunigung als der Kasten auf der Ebene B.
- C) Die beiden Kästen benötigen die gleichen Zeitintervalle, um das untere Ende der schiefen Ebenen zu erreichen.
- D) Am oberen Ende der Ebenen hat einer der Kästen eine doppelt so große potentielle Energie wie der andere.

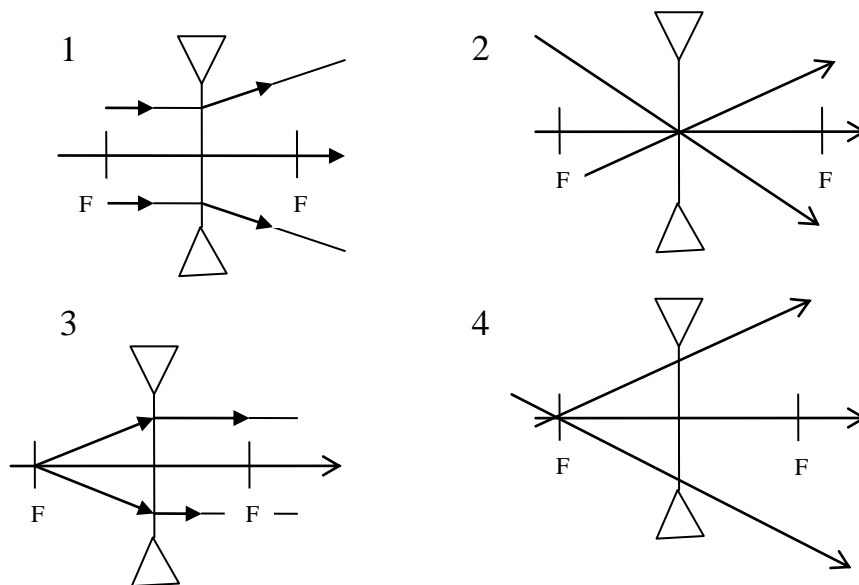
## Aufgabe 4

Protonen treten unter einem Winkel von  $90^\circ$  gegen die Feldlinien in ein homogenes Magnetfeld ein. Auf die Protonen wirkt eine Lorentzkraft  $F$  und zwingt sie auf eine Kreisbahn mit dem Radius  $R$ . Wie ändern sich der Betrag der Lorentzkraft und der Radius  $R$ , wenn die Protonen mit höheren Geschwindigkeiten in das Feld eintreten?

- A)  $F$  wird kleiner und  $R$  wird größer;
- B)  $F$  wird größer und  $R$  wird kleiner;
- C) Sowohl  $F$  als auch  $R$  werden größer;
- D) Weder  $F$  noch  $R$  verändern sich;

## Aufgabe 5

Welche Skizze stellt den Verlauf der zwei Strahlen des monochromatischen Lichtes durch eine Zerstreuungslinse richtig dar?

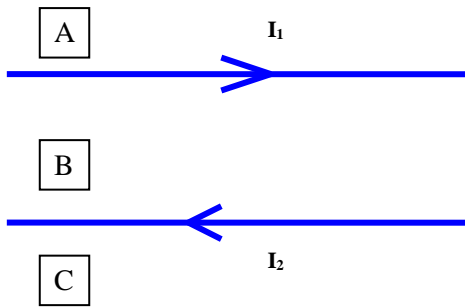


- A) 1
- B) 1 und 2
- C) 1, 2 und 4
- D) 2, 3 und 4 .

**Aufgabe 6**

Zwei Drähte werden von verschiedenen Strömen in entgegengesetzter Richtung durchflossen. In welchen Gebieten kann man mindestens einen Punkt finden, an dem das von den Drähten produzierte Magnetfeld verschwindet?

- A) Nur in B
- B) Nur in C
- C) In A oder C
- D) Nirgendwo

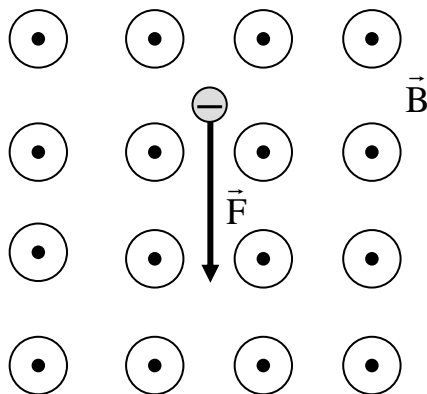


**Aufgabe 7**

Auf ein Elektron, das sich im homogenen Magnetfeld befindetet, wirkt eine Lorentzkraft, die so gerichtet ist, wie auf der Zeichnung unten.

Der Geschwindigkeitsvektor des Elektrons

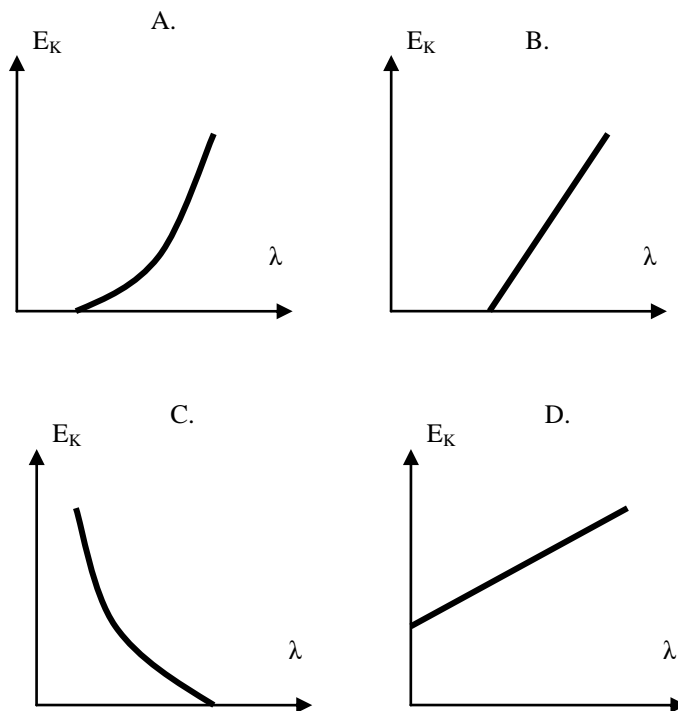
- A) liegt in der Zeichnungsebene und ist nach rechts gerichtet;
- B) liegt in der Zeichnungsebene und ist nach links gerichtet;
- C) ist senkrecht zur Zeichnungsebene gerichtet;
- D) liegt in der Zeichnungsebene und ist nach unten gerichtet;



**Aufgabe 8**

Licht der Wellenlänge  $\lambda$  fällt auf eine Metalloberfläche im Vakuum. Elektronen werden aus der Oberfläche herausgeschlagen.

Welches Diagramm zeigt den richtigen Zusammenhang zwischen der maximalen kinetischen Energie  $E_K$  der Elektronen und der Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts?



### Aufgabe 9

Bei welchem Prozess geben Sterne die meiste Energie ab?

- A) Schnelle Rotation der Sterne
- B) Wärme, die bei der Sternentstehung gespeichert wurde
- C) Kernfusion im Innern der Sterne
- D) Kernspaltung im Innern der Sterne

### Aufgabe 10

Die Atomhülle

- A) enthält den größten Anteil der Atommasse
- B) besteht aus Elektronen
- C) besteht aus Neutronen
- D) besteht aus Protonen.

## Teil II (Offene Aufgaben)

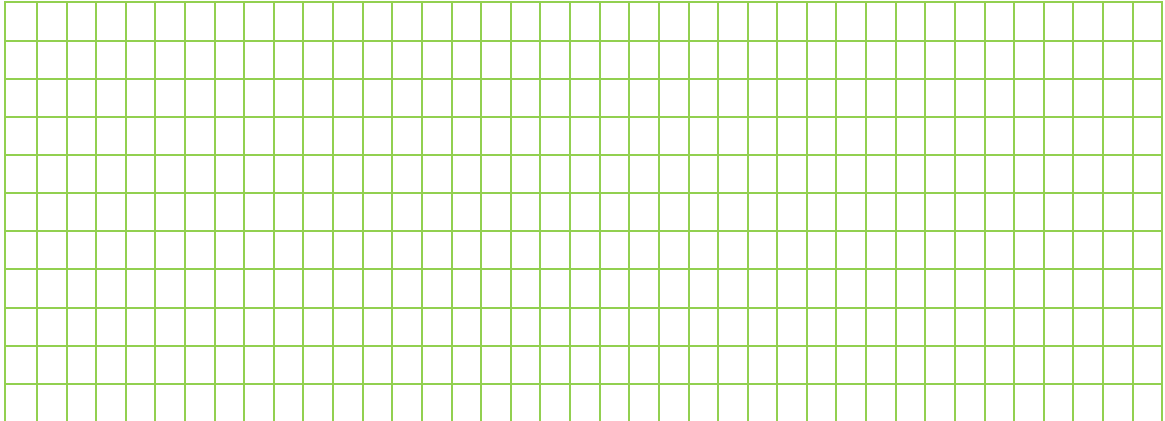
### Aufgabe 11 (3 Punkte)

Ein leerer Eisenbahnwagen mit einer Masse von  $0,5 \cdot 10^4$  kg fährt gleichförmig mit der Geschwindigkeit  $v = 3,0$  m/s. Er prallt auf einen identischen stehenden Wagen, der mit Sand beladen ist. Während des Zusammenstoßes koppeln die beiden Wagen an und bewegen sich gemeinsam mit der Geschwindigkeit  $0,4$  m/s. Die Situationen vor und nach dem Zusammenstoß sind in den Abbildungen unten dargestellt.



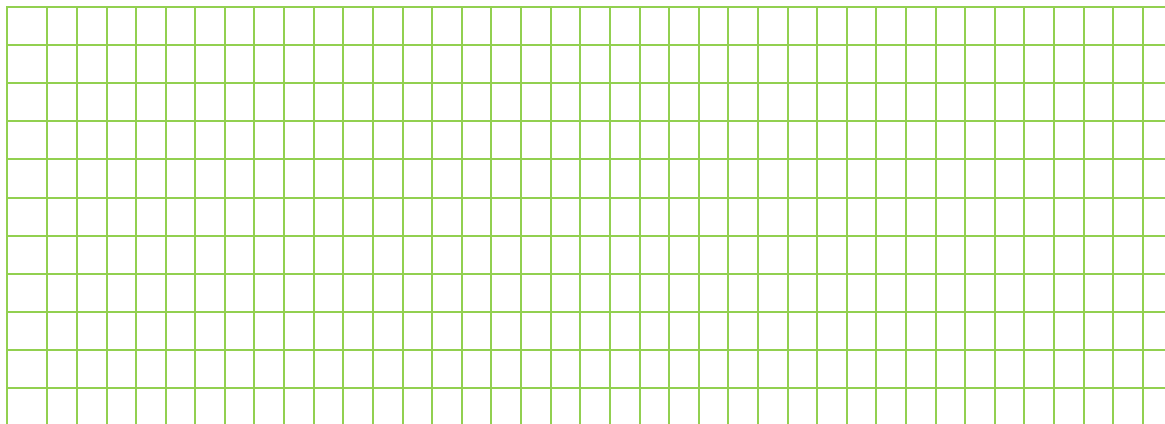
### Aufgabe 12. 1 (2 Punkte)

Wie weit wird Janek flussabwärts abgetrieben?



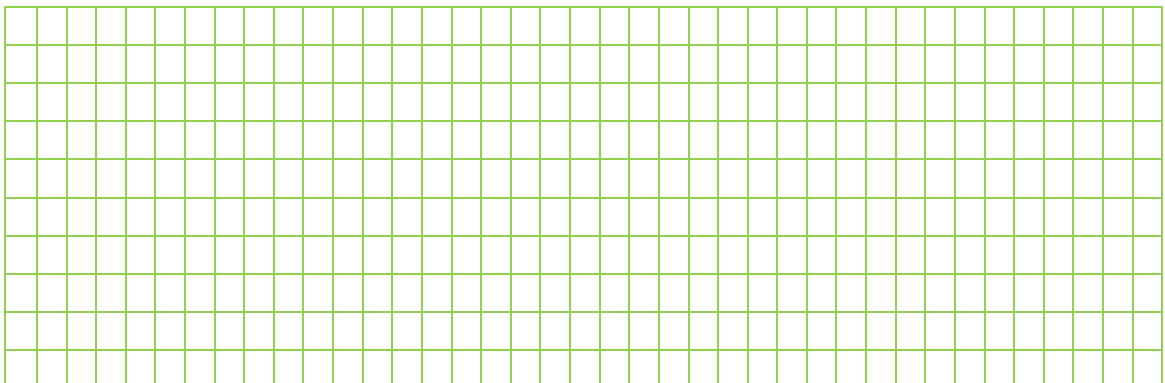
### Aufgabe 12. 2 (1 Punkt)

Wie groß ist der Betrag der resultierenden Geschwindigkeit (im Bezug auf das Ufer)?



### Aufgabe 12. 3 ( 1 Punkt)

Welche Strecke hat Janek zurückgelegt?



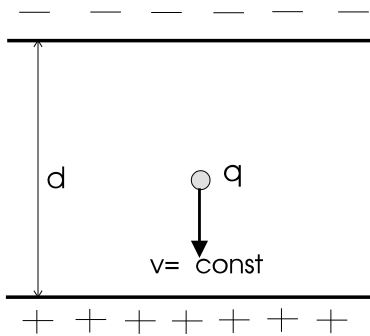


**Aufgabe 13 (4 Punkte)**

Zwischen den Platten eines Kondensators mit  $d = 4\text{cm}$  Plattenabstand befindet sich ein Staubkorn der Masse  $m = 0,5\text{mg}$ , das eine positive Ladung  $q = 10^{-9}\text{C}$  besitzt. Das Staubkorn fällt gleichförmig in Richtung der positiv geladenen Platte. Die Luftwiderstandskraft beträgt  $2\mu\text{N}$ .

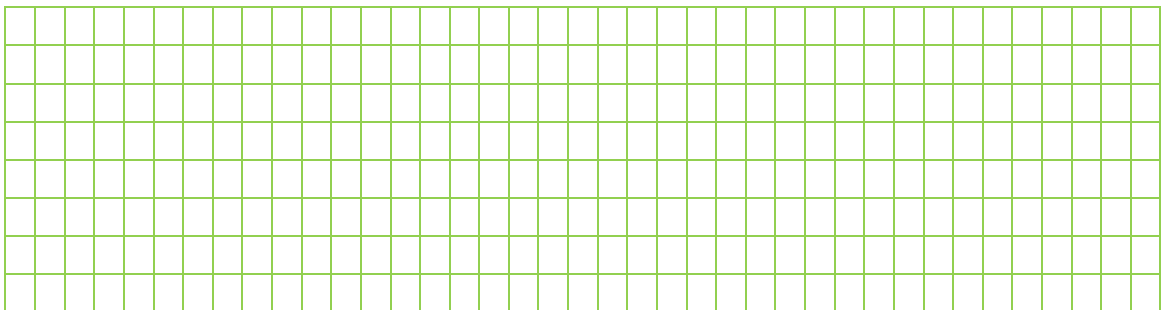
**Aufgabe 13.1 (3 Punkte)**

Berechne die Feldstärke im Inneren des Kondensators und die elektrische Spannung zwischen seinen Platten.



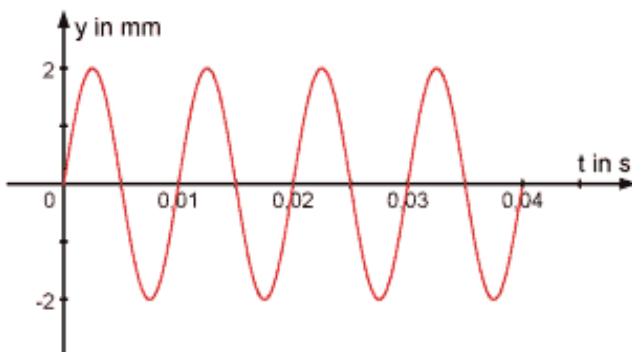
**Aufgabe 13.2 (1 Punkt)**

Wie würde sich das Staubkorn bewegen, wenn man an die Platten des Kondensators eine doppelt so große Spannung wie in Punkt 13.1 anlegt?



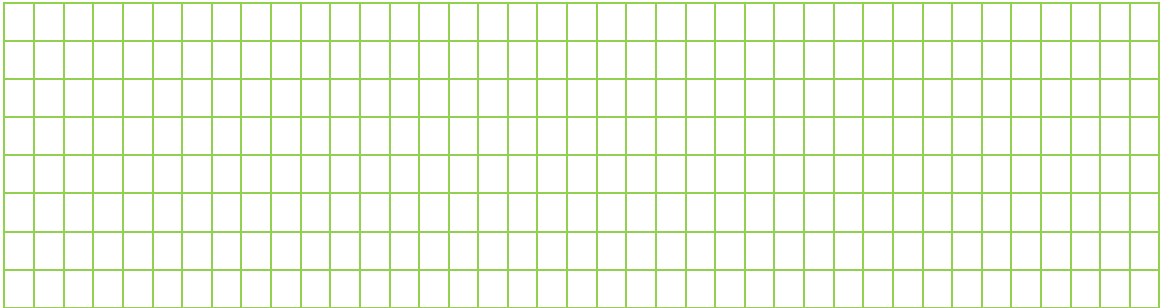
**Aufgabe 14 (4 Punkte)**

An einer Schraubenfeder hängt eine Stahlkugel mit der Masse  $m = 20\text{g}$ . Durch die vertikal nach unten wirkende Kraft wird die Kugel zunächst um die Strecke  $y = 2\text{mm}$  aus ihrer Gleichgewichtslage ausgelenkt. Die Kugel wird dann freigegeben und führt eine ungedämpfte Schwingung aus, die auf dem Diagramm dargestellt wird.



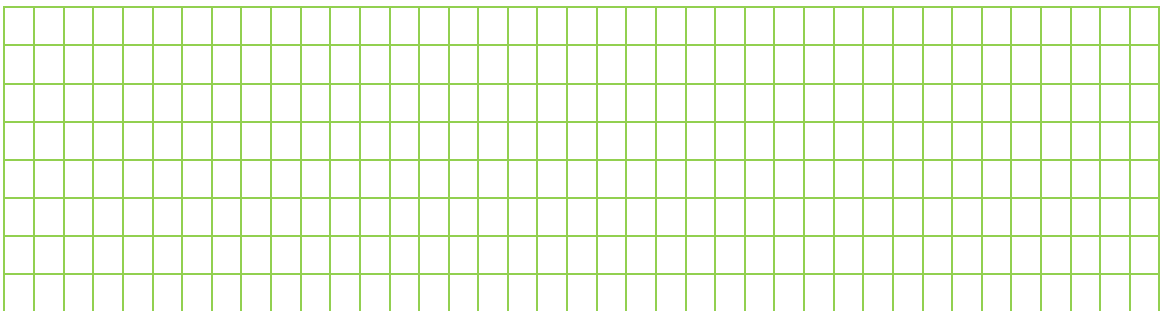
### Aufgabe 14.1 (2 Punkte)

Berechne (mit Hilfe der aus dem Diagramm abgelesenen Daten) die Federkonstante.



### Aufgabe 14.2 (2 Punkte)

Wie viel beträgt die maximale Kraft, die auf die Stahlkugel wirkt?



### Aufgabe 15 (5 Punkte)

Der Wettersatellit umkreist die Erde 400km über der Erdoberfläche. Erdradius  $r = 6,4 \cdot 10^6 \text{m}$ , Masse der Erde  $M = 6 \cdot 10^{24} \text{kg}$ .

### Aufgabe 15.1 (3 Punkte)

Berechne seine Umlaufdauer sowie seine Bahngeschwindigkeit.

### Aufgabe 15.2 (2 Punkte)

Wie würden sich die kinetische und potentielle Energie des Satelliten ändern, wenn er in größerer Entfernung die Erde umkreisen würde?

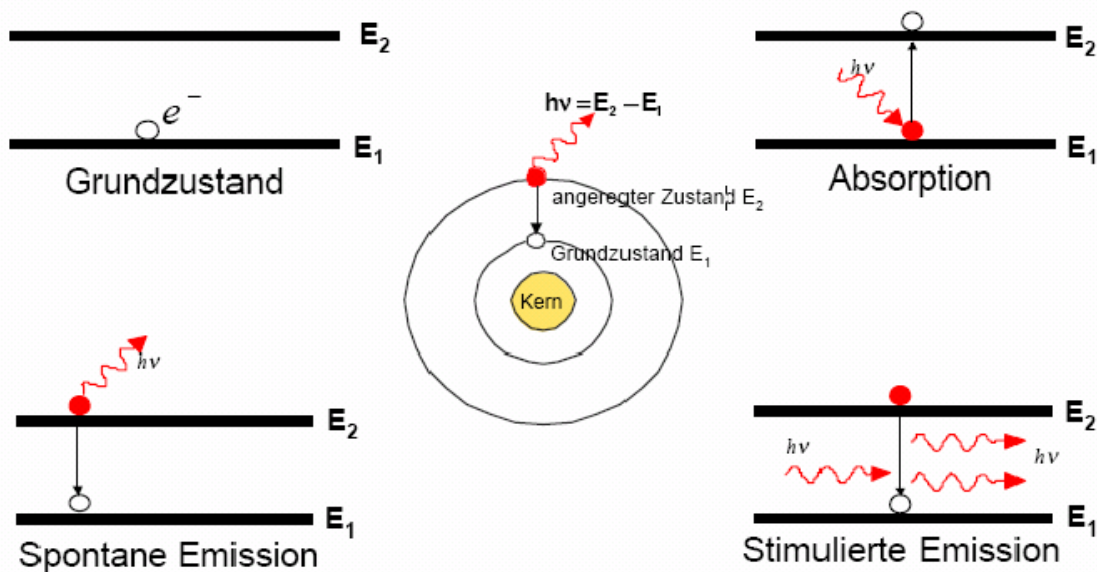
**Textaufgabe 16 (10 Punkte)**

**Funktionsweise des Lasers**

Laserlicht entsteht durch eine Lichtverstärkung auf atomarer Ebene. Es handelt sich bei Laserlicht um kohärentes Licht, das einfarbig (monochromatisch) ist und aus einem nahezu parallelen Lichtbündel besteht.

Mittels Energiezufuhr (beispielsweise in Form von Wärmeenergie) ist es möglich, die Elektronen eines Moleküls oder eines einzelnen Atoms auf ein energetisch höheres Niveau zu bringen. Das Elektron befindet sich dann in einem „angeregten Zustand“. Dieser „angeregte Zustand“ besteht aber nur für ein Billionstel einer Sekunde. Elektronen streben stets, physikalischen Gesetzen folgend, das niedrigere Energieniveau an. Beim Rückfall („Quantensprung“) auf den Grundzustand wird Energie freigesetzt. Dies geschieht in Form einer elektromagnetischen Strahlung und wird auch „spontane Emission“ genannt. Dieser Vorgang findet ohne Einwirkung von Fremdelektronen statt. Diese emittierte elektromagnetische Strahlung (Photonen) entspricht im Betrag exakt der eingesetzten Energiemenge. Es entstehen also keinerlei Energieverluste.

Das freigesetzte Photon breitet sich im jeweiligen Medium (Gasgemische, Feststoffe etc.) aus, wobei es zu Zusammenstößen mit Elektronen kommt. Liegt das Elektron im „angeregten Zustand“ vor, wird es absorbiert. Durch diese Absorption wird eine frühzeitige Entladung ausgelöst und es werden zwei Photonen freigesetzt. Dieser Vorgang wird als „induzierte bzw. stimulierte Emission“ bezeichnet, da die Lichtaussendung durch ein Fremdphoton ausgelöst wurde. Das Besondere bei diesem Vorgang ist jedoch, dass die emittierten Photonen über dieselbe Wellenlänge und Phasenlage verfügen wie das die Absorption auslösende Photon.



Die „induzierte Emission“ benötigt im Gegensatz zur „spontanen Emission“ ein angeregtes Medium, also ein Medium mit einer größeren Menge an Elektronen im „angeregten Zustand“ als einfache Elektronen. Dieser Zustand wird als Besetzungsinversion bezeichnet und ist eine notwendige Bedingung bei der Umsetzung einer Lichtverstärkung.

Wird nun ein Photon in ein Medium gelenkt, in dem eine Besetzungsinversion herrscht, so findet eine Kettenreaktion statt. Nacheinander finden „induzierte Emissionen“ statt. Die Eigenschaft, dass die emittierten Photonen dieselbe Wellenlänge und Phasenlage haben, führt dazu, dass das im Medium befindliche Lichtbündel kontinuierlich verstärkt wird.

### Aufgabe 16. 1 (2 Punkte)

Welcher Vorgang führt zur Lichtverstärkung: spontane Emission oder induzierte Emission?

Begründe kurz deine Antwort.

.....

.....

.....

.....

### Aufgabe 16. 2 (2 Punkte)

Nenne die wichtigsten Eigenschaften des Laserlichts.

.....

.....

.....

### Aufgabe 16. 3 (2 Punkte)

Erkläre den Begriff „monochromatisches Licht“.

.....

.....

### Aufgabe 16. 4 (3 Punkte)

Welche Energie besitzt ein Elektron im angeregten Zustand  $E_2$ , wenn bei seinem „Quantensprung“ auf Zustand von Energie  $E_1 = -4,6\text{eV}$  ein Photon entsteht, dessen Wellenlänge  $\lambda = 540\text{nm}$  beträgt?

### Aufgabe 16. 5 (1 Punkt)

Berechne die Frequenz des Photons aus Aufgabe 4.

# Lösungen und Antworten

A10. A-5, B-1, C-3, D-2, E-4

A15.  $y = 60\text{cm}$ , reell, umgekehrt, vergrößert

A16.  $y = -15\text{cm}$ , scheinbar, aufrecht, vergrößert

A17.  $x = 18\text{cm}$ ,  $f = 15\text{cm}$

A18.  $f = 80\text{cm}$

A20. a

A21. c

A22. B

A24.  $v \approx 1,24 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

A25. 0,63

A26.  $\cos \gamma = 2/3$

A27.  $\sin \beta \approx 0,86$

A28.  $\approx 8,8\text{m}$

A36.  $x = 169\text{cm}$ ,  $y = 480\text{cm}$

A37.  $f \approx 2,86\text{cm}$

A38.  $f = 4\text{cm}$

A39.  $x = 60\text{m}$ ,  $f \approx 2,86\text{m}$

A40.  $x \approx 7,66\text{cm}$

A41.  $x \approx 5,77\text{cm}$ ,  $h_1 \approx 6,4\text{cm}$

A43.  $n_{\text{fl}} \approx 1,71$

A44.  $\approx -0,005$

A45.  $p = 6$

A46.  $f = 12,5\text{cm}$

## Lösungen und Antworten

A47. 0,54-1,35mm

A48.  $f_{ok} = 3\text{cm}$

A53. 16,67cm

A54. Dioptrienzahl 2,5D

A55. a) 5cm b) 0,5mm

A56. 0,585mm

A58.  $d = 1,54 \cdot 10^{-6}\text{m}$

A59. a)  $\alpha_B \approx 67,5^\circ$  b)  $\alpha_B \approx 53^\circ$

A61. 1- Elektronen, 2- Frequenz, 3- Beleuchtungsstärke, 4- Grenzfrequenz, 5- die Intensität, 6- Ausbreitung, 7- unterschiedlicher, steigender, 8- hindern.

A63. 1-F, 2-R, 3-F, 4-R, 5-F, 6-R, 7-F, 8-R.

A65. 1- Teilchenmodell, 2- mit beiden möglich, 3- nicht möglich mit beiden, 4- Teilchenmodell, 5- Teilchenmodell, 6- Teilchenmodell.

A67. a)  $E = 8 \cdot 10^{-19}\text{J}$ ; b)  $2,5 \cdot 10^{14}$  Photonen; c)  $f_G = 1,028 \cdot 10^{15}\text{Hz}$ ;  $\lambda_G = 294\text{nm}$ .

A68.  $\lambda_G < 294\text{nm}$

A69.  $W = 4,48\text{eV}$ ;  $f_G = 1,08 \cdot 10^{15}\text{Hz}$ .

A70. a)  $E = 3,1 \cdot 10^{-19}\text{J} = 1,94\text{eV}$ ; b)  $3,22 \cdot 10^{15}$  Photonen;  
c)  $f_G = 4,7 \cdot 10^{14}\text{Hz}$ ;  $\lambda_G = 633\text{nm}$ .

A71.  $h = 6,56 \cdot 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ ;  $W = 1,38\text{eV}$ .

A72. 60 Photonen

A73.  $2,76 \cdot 10^6$  Photonen

A74.  $I = 5,2\text{mA}$

A75.  $10^{18}$  Photonen

A77. 1-F, 2-A, 3-E, 4-B, 5-D, 6-C

A78. 1. größere 2. Welleneigenschaften 3. Amal größeren

A80. 1F, 2F, 3F, 4R, 5F, 6F, 7F, 8F

A81.  $U = 268\text{V}$

## Lösungen und Antworten

**A82.**  $\lambda = 2,88 \cdot 10^{-14} \text{m}$

**A83.**  $\lambda = 0,61 \cdot 10^{-10} \text{m}$

**A84.**  $\Delta p \geq 0,53 \cdot 10^{-24} \text{kg} \cdot \text{m/s}$

**A85.**  $\Delta x \geq 0,32 \cdot 10^{-11} \text{m}$

**A86.** 1 – D, 2 – A, 3 – E, 4 – C, 5 – B

**A87.** 1 – C, 2 – D, 3 – H, 4 – G, 5 – A, 6 – E, 7 – B, 8 – I, 9 – F

**A88.** 1 – F, 2 – F, 3 – R, 4 – R, 5 – R, 6 – R, 7 – F

**A90.**

1.		E	N	E	R	G	I	E	N	I	V	E	A	U	
2.	S	C	H	R	Ö	D	I	N	G	E	R				
3.	S	P	A	N	N	U	N	G							
4.			F	O	T	O	E	F	F	E	K	T			
5.		B	E	U	G	U	N	G							
6.			S	P	E	K	T	R	U	M					
7.			I	O	N	I	S	I	E	R	U	N	G		
8.				F	R	E	Q	U	E	N	Z				
9.	A	U	F	L	Ö	S	U	N	G						
10.				P	H	O	T	O	N						
11.			A	N	R	E	G	U	N	G					
12.	L	I	N	I	E	N	S	P	E	K	T	R	U	M	

**A91.** a)  $E_{\text{max}} = 100 \text{keV}$ ; b)  $f = 2,4 \cdot 10^{19} \text{Hz}$ ; c)  $\lambda = 1,25 \cdot 10^{-11} \text{m}$

**A92.** a)  $v = 1,48 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ; b)  $49\% \cdot c$ ; c)  $U = 6,23 \cdot 10^4 \text{V}$

**A93.** a)  $\lambda = 8,7 \cdot 10^{-11} \text{m}$  ; b)  $v = 6,5 \cdot 10^8 \text{m/s}$

**A94.**  $n = 6,25 \cdot 10^7$  Elektronen;  $t = 5,2 \text{s}$

**A95.**  $U = 25 \text{kV}$

**A99.** a – W; b – F; c – W; d – F; e – F; f – F; g – W

**A100.**  $\lambda = 4,37 \mu\text{m}$ .

## Lösungen und Antworten

**A104.**  $v/c = 7,3 \cdot 10^{-3}$

**A105.** 6500 Umläufe pro Sekunde

**A107.** 1-R; 2-R; 3-F; 4-R; 5-F; 6-R; 7-R

**A108.** 1-D; 2-F; 3-G; 4-A; 5-B; 6-E; 7-C

**A111.**

Atom	${}^2_1\text{D}$	${}^4_2\text{He}$	${}^{20}_{10}\text{Ne}$	${}^{24}_{12}\text{Mg}$	${}^{60}_{27}\text{Co}$	${}^{83}_{36}\text{Kr}$	${}^{144}_{56}\text{Ba}$	${}^{236}_{92}\text{U}$	${}^{239}_{94}\text{Pu}$
<b>Protonenzahl</b>	1	2	10	12	27	36	56	92	94
<b>Neutronenzahl</b>	1	2	10	12	33	47	88	144	145
<b>Nukleonenzahl</b>	2	4	20	24	60	83	144	236	239
<b>Elektronenzahl</b>	1	2	10	12	27	36	56	92	94

**A112.** a)  $E_1 = 28,4\text{MeV}$ ;  $E_2 = 7,5\text{MeV}$ ; b)  $E = 20,9\text{MeV}$

**A113.**  $E = 6,84 \cdot 10^{14}\text{J} = 1,9 \cdot 10^8\text{kWh}$

**A114.**  $m = 4 \cdot 10^9\text{kg}$

**A115.** Bindungsenergien pro Nukleon betragen:  
 ${}^{14}\text{N}$ - 7,23MeV;  ${}^{20}\text{Ne}$ - 7,8MeV;  ${}^{24}\text{Mg}$ - 7,96MeV.

**A118.**

Art von Zerfall	Nummer der genannten Eigenschaft
$\alpha$ - Zerfall	1, 5, 8
$\beta^-$ - Zerfall	2, 4, 6, 7
$\beta^+$ - Zerfall	3, 9, 10

**A120.** Gerät 1 – Nebelkammer, Gerät 2 – Geiger-Müllerzähler, Gerät 3 – Blaskammer, 4 – Stabdosisimeter

**A121.** 4mal  $\alpha$  – Zerfall und 2 – mal  $\beta^-$  - Zerfall

**A122.** 8  $\alpha$ - und 6  $\beta^-$  -Teilchen

**A123.**  ${}^{35}\text{Cl}/{}^{37}\text{Cl} = 2,44$

**A124.**  $E_k = 345,6\text{keV}$

**A125.**  $1,52 \cdot 10^7\text{ m/s}$



**A126.**

- 1 Reaktordruckbehälter
- 2 Umwälzpumpen
- 3 Dampferzeuger
- 4 Wasserabscheider
- 5 Turbine
- 6 Generator
- 7 Transformator
- 8 Kondensator
- 9 Vorwärmanlage
- 10 Speisewasserpumpe
- 11 Kühlwasserreinigung
- 12 Kühlwasserpumpe
- 13 Wasserbecken

**A131.** A

**A132.** B

**A133.** B

**A134.** C

**A135.** D

**A136.** D

**A137.** C

**A138.** B

**A139.** B

**A140.** C

**A148.1** 1-R, 2-F, 3-R, 4-R, 5-R, 6-F

### **Bilinguales Abitur – Lösungen**

**A1)** D

**A2)** C

**A3)** C

**A4)** C

**A5)** B

**A6)** C

## Lösungen und Antworten

A7) B

A8) C

A9) C

A10) B

A11.1)  $m = 2,75 \cdot 10^4 \text{kg}$

A 11.2)

Nein, mechanische Energie wird teilweise in innere Energie umgewandelt.

A 12.1)  $\Delta x = 240 \text{m}$

A 12.2)  $v = 2,5 \text{m/s}$

A 12.3)  $s = 300 \text{m}$

A 13.1)  $E = 3 \cdot 10^3 \text{ V/m}$ ,  $U = 120 \text{V}$

A 13.2) gleichmäßig beschleunigt nach oben

A 14.1)  $k = 7888 \text{N/m}$

A 14.2)  $F = 15,8 \text{N}$

A 15.1)  $v = 7,67 \cdot 10^3 \text{m/s}$ ,  $T = 93 \text{min}$

A 15.2) kinetische Energie wird kleiner, potentielle wird größer

A 16.4)  $E = - 2,28 \text{eV}$

A 16.5)  $f = 5,5 \cdot 10^{14} \text{Hz}$

# Wortschatz:

3-D-Kristallgitter *n*

Ablenkungswinkel *m*  
Absorptionsspektrum *n*  
Abweichung *f*  
achsennahe Strahlen  
achsenparallele Strahlen  
Akkommodation *f*  
Alphastrahlung *f*  
Anode *f*  
Antineutrino *n*  
Atomkern *m*  
Atomzerfall *m*  
Augenmuskel *m*  
Austrittsarbeit *f*  
äußerer lichtelektrischer Effekt *m*

Bahndrehimpuls *m*  
Bahnradius *m*  
Beschleunigungsstrahlung *f*  
Bestrahlung *f*  
Beugung *f*  
Beugungsgitter *n*  
Bewegungsenergie *f*  
bikonkave Linse *f*  
bikonvexe Linse *f*  
Bindungsenergie *f*  
blinder Fleck *m*  
Bohrsche Atommodell *n*  
Brechungs faktor *m*  
Brechungswinkel *m* Brechwinkel *m*  
Bremsspannung *f*  
Bremsstrahlung *f*  
Brennebene *f*  
Brennpunkt, -r Focus *m*  
Brennweite *f*

charakteristische Spektrum *n*

Deuteron *n*  
deutliche Sehweite *f*  
Dispersion *f*  
divergent  
Drehimpuls *m*  
durchsichtig

Ebene *f*  
Effekt *m*

sieć krystaliczna trójwymiarowa

kąt odchylenia  
widmo absorpcyjne  
odchylenie  
promienie bliskie osi  
promienie równoległe do osi  
akomodacja  
promieniowanie alfa  
anoda  
antyneutrino, antycząstka neutrina  
jądro atomu  
rozpad atomu  
mięsień oczny  
praca wyjścia  
zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne

orbitalny moment pędu  
promień toru  
napięcie przyspieszające  
naświetlanie  
dyfrakcja, ugięcie fali  
siatka dyfrakcyjna  
energia kinetyczna  
soczewka dwuwklęsła  
soczewka dwuwypukła  
energia wiązania  
plamka ślepa  
model atomu Bohra  
współczynnik załamania  
kąt załamania  
napięcie hamowania  
promieniowanie hamowania  
płaszczyzna załamania  
ognisko  
ogniskowa

widmo charakterystyczne

deuteron  
odległość dobrego widzenia  
dyspersja, rozproszenie  
rozbieżny  
moment pędu  
przezroczysty

płaszczyzna  
efekt

Einfallslot <i>n</i>	normalna do powierzchni padania
Einfallswinkel <i>m</i>	kąt padania
Elektron <i>n</i>	elektron
Emissionsspektrum <i>n</i>	widmo emisyjne
Energiedifferenz <i>f</i>	różnica energii
Energiegewinn <i>m</i>	przyrost energii
Fotoeffekt <i>m</i>	fotoefekt, efekt fotoelektryczny
Fotokathode <i>f</i>	fotokatoda
Foton <i>n</i>	foton
Fotostrom <i>m</i>	fotoprąd
Fotozelle <i>f</i>	fotokomórka
Freisetzung <i>f</i>	uwolnienie (np. energii)
Frequenz (-, -en) <i>f</i>	częstotliwość
Gefäßhaut <i>f</i>	naczyniówka
Gegenspannung <i>f</i>	napięcie wsteczne (napięcie hamowania)
Gegenstand <i>m</i>	obiekt, przedmiot
gelber Fleck <i>m</i>	plamka żółta
Gitterkonstante <i>f</i>	stała siatki
Glaskörper <i>m</i>	ciało szkliste
Grenzlänge <i>f</i>	graniczna długość fali
Heisenbergsche Unschärferelation <i>f</i>	zasada nieoznaczoności
Hochspannung <i>f</i>	wysokie napięcie
Hohlspiegel, Konkavspiegel <i>m</i>	zwierciadło wklęsłe
Hornhaut <i>f</i>	rogówka
Impuls <i>m</i>	pęd
Iris, -e Regenbogenhaut <i>f</i>	tęczówka
Isotop <i>n</i>	izotop
Kathode <i>f</i>	katoda
Kernenergie <i>f</i>	energia jądrowa
Kernfusion <i>f</i>	reakcja termojądrowa, synteza jądrowa
Kernkräfte <i>f</i>	siły jądrowe
Kernladungszahl <i>f</i>	liczba atomowa
Kernreaktion <i>f</i>	reakcja jądrowa
Kernreaktor <i>m</i>	reaktor jądrowy
Kernspaltung <i>f</i>	rozszczerzenie jądra atomowego
Kettenreaktion <i>f</i>	reakcja łańcuchowa
konkavkonvexe Linse <i>f</i>	soczewka wklęsło-wypukła
konvexkonkave Linse <i>f</i>	soczewka wypukła-wklęsło
kontinuierliches Spektrum <i>n</i>	widmo ciągłe
Krümmungsmittelpunkt <i>m</i>	środek krzywizny
Krümmungsradius <i>m</i>	promień krzywizny
Kugelspiegel <i>m</i>	zwierciadło kuliste
Kurzichtigkeit <i>f</i>	krótkowzroczność
kurzweilig	krótkofalowy

lichtempfindlich	światłoczuły
Lichtgeschwindigkeit <i>f</i>	prędkość światła
Lichtbündel <i>n</i>	wiązka promieni świetlnych
Lichtquelle <i>f</i>	źródło światła
lichtempfindlich	światłoczuły
Lichtstrahl <i>m</i>	promień świetlny
Linienpektrum <i>n</i>	widmo liniowe
Linse <i>f</i>	soczewka
Massendefekt <i>m</i>	niedobór masy, defekt masy
Massenzahl (-, -en) <i>f</i>	liczba masowa
Materie <i>f</i>	materia
Materiewelle <i>f</i>	fala materii, fala de Broglie'a
Medium <i>n</i>	ośrodek
Metallfolie <i>f</i>	folia metalowa
Netzhaut <i>f</i>	siatkówka
Neumond <i>m</i>	nów
Neutrino	neutrino
Neutron <i>n</i>	neutron
Nukleon <i>n</i>	nukleon
optische Achse, -e Spiegelachse <i>f</i>	oś optyczna, oś zwierciadła
Ordnungszahl <i>f</i>	liczba atomowa
Photon <i>n</i>	foton
Plancksche Konstante <i>f</i>	stała Plancka
Plancksche Wirkungsquantum <i>n</i>	stała Plancka
plankonkave Linse <i>f</i>	soczewka płasko wklęsła
plankonvexe Linse <i>f</i>	soczewka płasko wypukła
Plutonium <i>n</i>	pluton
Positron <i>n</i>	pozyton, pozytron
Prisma <i>n</i>	pryzmat, graniastosłup
Prismenrand <i>m</i>	krawędź pryzmatu
Pupille <i>f</i>	źrenica
Proton <i>n</i>	proton
Quantenobjekt <i>n</i>	obiekt kwantowy
Quotient <i>m</i>	iloraz
Radioaktivität <i>f</i>	radioaktywność
reelles (wirkliches) Bild <i>n</i>	obraz rzeczywisty
reflektieren	odbijać
reflektierter Strahl <i>m</i>	promień odbity
Reflexionsgesetz <i>n</i>	prawo odbicia
Reflexionswinkel <i>m</i>	kąt odbicia
Ritze <i>f</i>	nacięcie, rysa
Röntgenröhre <i>f</i>	lampa rentgenowska
Röntgenstrahl <i>m</i>	promień rentgenowski
Röntgenstrahlung <i>f</i>	promieniowanie rentgenowskie

Sammellinse <i>f</i>	soczewka skupiająca
sammeln	zbierać, skupiać
Scheitel <i>m</i>	wierzchołek
Schirm <i>m</i>	ekran
schütteln	potrząsać
Sehnerv <i>m</i>	nerw oczny
sichtbar	widoczny
Sonnenfinsternis totale (partielle) <i>f</i>	zaćmienie słońca całkowite (częściowe)
Spalt <i>m</i>	szczelina
Spaltgitternetz <i>n</i>	siatka dyfrakcyjna
Spaltprodukt <i>n</i>	produkt rozszczepienia jądra atomowego
Spektrum (Spektren/Spektra) <i>n</i>	widmo
Stäbchen <i>n</i>	pręcik
Stabsichtigkeit <i>f</i>	astygmatyzm
Strahlungsquantum <i>n</i>	kwant promieniowania
streuen	rozpraszać
Teilchen <i>n</i>	cząstka
Thorium <i>n</i>	tor
Unbestimmtheitsrelation <i>f</i>	zasada nieoznaczoności
Uran <i>n</i>	uran
Verstärkung <i>f</i>	wzmocnienie
virtuelle (scheinbar)	pozorny
virtuelles (scheinbares) Bild <i>n</i>	obraz pozorny
Vollmond <i>m</i>	pełnia
Vorderkammer <i>f</i>	komora przednia
Weitsichtigkeit <i>f</i>	dalekowzroczność
Wellenlänge <i>f</i>	długość fali
Wölbspiegel, Konvexspiegel <i>m</i>	zwierciadło wypukłe
Zäpfchen <i>n</i>	czopek
Zerfall <i>m</i>	rozpad
Zerfallskonstante <i>f</i>	stała rozpadu
zerstreuen	rozpraszać
Zerstreuungslinse <i>f</i>	soczewka rozpraszająca
Zusammenstoß <i>m</i>	zderzenie (cząstek)
zweidimensionales Beugungsgitter <i>n</i>	dwuwymiarowa siatka dyfrakcyjna