

**DUDEN**

ABI GENIAL

# Physik



DAS SCHNELL-  
MERK-SYSTEM

Für  
schnellen  
Lernerfolg

# So lernen Sie besser!

## Überblick verschaffen und einen Plan machen

Verschaffen Sie sich einen Überblick über den Lernstoff und erstellen Sie einen Zeitplan zu den einzelnen Themen, den Sie immer wieder überprüfen und ggf. anpassen.

## Perspektive wechseln

Machen Sie Ihre Notizen auf einem Blatt im Querformat oder hängen Sie Schaubilder verkehrt herum auf. So kommen Sie schnell auf neue Gedanken und Sie erkennen schneller, was wirklich wichtig ist, um Zusammenhänge herzustellen.

## Sich konzentrieren

Sudokus, Kreuzworträtsel oder Memos verbessern die Konzentrationsfähigkeit. Entwerfen Sie als besonders kreative Umsetzung eigene Kreuzworträtsel zum Lernstoff und tauschen Sie diese in einer Lerngruppe aus.

## Wissen verknüpfen

Sie merken sich Sachverhalte leichter, wenn Sie neues Wissen mit vorhandenem Wissen verknüpfen: Prägen Sie sich Oberbegriffe ein und ordnen Sie die passenden Unterbegriffe zu. Veranschaulichen Sie Ihr Lernthema in einer Skizze oder Mindmap.

## Nicht ablenken lassen

Ablenkung stört beim Lernen. Legen Sie daher alles beiseite, was Sie ablenken könnte. Suchen Sie sich einen geeigneten Ort, an dem Sie sich in Ruhe auf Ihre Prüfungen vorbereiten können.

## Pausen machen

Konzentriert zu arbeiten ist anstrengend. Daher ist es wichtig, regelmäßige Lernpausen einzulegen. Frische Luft und Bewegung zwischendurch fördern das Denken.

# Inhaltsverzeichnis

|                            |    |
|----------------------------|----|
| So funktioniert Abi genial | 6  |
| MINDMAP Der Prüfungsstoff  | 8  |
| Das Wichtigste in Kürze    | 10 |

## 1. Denk- und Arbeitsweisen der Physik 22

Wichtige Definitionen 22

1.1 Begriffe, Größen und Modelle in der Physik 23

1.2 Physikalische Gesetze und Theorien 24

1.3 Arbeiten mit physikalischen Gesetzen 25

### TOPTHEMA

Physikalische Experimente 28

1.4 Messen physikalischer Größen 30

## 2. Mechanik 32

Wichtige Definitionen 32

2.1 Eigenschaften und Modelle der Körper 33

2.2 Kinematik 35

2.3 Dynamik 43

### TOPTHEMA

Newtonsche Gesetze 48

2.4 Energie, mechanische Arbeit und Leistung 51

2.5 Mechanik starrer Körper 56

2.6 Impuls und Drehimpuls 60

**TOPTHEMA**

Unelastischer und elastischer Stoß 64

2.7 Gravitation 66

2.8 Mechanische Schwingungen und Wellen 69

**3. Thermodynamik**

**76**

Wichtige Definitionen 76

3.1 Betrachtungsweisen 77

3.2 Thermisches Verhalten der Körper 78

**TOPTHEMA**

Gesetze des idealen Gases 82

3.3 Kinetische Wärmetheorie 84

3.4 Die Hauptsätze der Thermodynamik 87

3.5 Strahlungsgesetze 97

**4. Elektrizitätslehre**

**100**

Wichtige Definitionen 100

4.1 Elektrisches Feld 102

4.2 Magnetisches Feld 110

4.3 Elektromagnetische Induktion 116

**TOPTHEMA**

Induktion einer Spannung 118

4.4 Halbleiter 123

4.5 Wechselstromkreis 127

4.6 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen 131

**TOPTHEMA**

Spektrum elektromagnetischer Wellen 136

## 5. Optik 138

Wichtige Definitionen 138

5.1 Modelle für das Licht 139

5.2 Ausbreitung des Lichts 140

5.3 Bildentstehung 143

5.4 Optische Geräte 146

5.5 Beugung und Interferenz von Licht 148

5.6 Polarisation von Licht 152

### TOPTHEMA

Spektren und Farben 154

## 6. Quanten-, Atom- und Kernphysik 156

Wichtige Definitionen 156

6.1 Quanteneffekte bei elektromagnetischer Strahlung 157

### TOPTHEMA

Röntgenstrahlen 160

6.2 Interferenz von Quantenobjekten 164

### TOPTHEMA

Quantenobjekte am Doppelspalt 166

6.3 Physik der Atomhülle 169

### TOPTHEMA

Potenzialtopfmodell der Atomhülle 174

### TOPTHEMA

Laser 176

6.4 Physik des Atomkerns 177

### TOPTHEMA

Potenzialtopfmodell des Atomkerns 180

### TOPTHEMA

Strahlenbelastung und Strahlenschutz 184

6.5 Elementarteilchenphysik 190

## **7. Relativitätstheorie 192**

Wichtige Definitionen 192

**7.1** Grundaussagen der speziellen Relativitätstheorie 193

**7.2** Relativistische Kinematik und Dynamik 196

### **TOPTHEMA**

Allgemeine Relativitätstheorie 202

## **Prüfungsratgeber und Prüfungsaufgaben 204**

**1** Tipps für einen Selbsttest 204

**2** Die Klausur 205

**2.1** Tipps für das Schreiben einer Klausur 205

**2.2** Inhalt und Aufbau einer Klausur 206

**2.3** Die Operatoren 207

**3** Thematische Prüfungsaufgaben 211

**3.1** Mechanik 211

**3.2** Thermodynamik 216

**3.3** Elektrizitätslehre 219

**3.4** Optik 225

**3.5** Quanten-, Atom- und Kernphysik 228

**3.6** Relativitätstheorie 233

**Anhang:** Physikalische Konstanten 234

**Register** 235

# 6 Quanten-, Atom- und Kernphysik

## Wichtige Definitionen

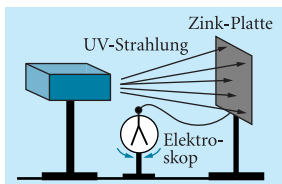
| Größen und Einheiten                 |                                                                                                         |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| atomare Masseneinheit                | $1 \text{ u} = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$                                                      |
| Austrittsarbeit<br>(Ablösearbeit)    | Formelzeichen: $W_A$<br>Einheit: 1 Elektronvolt (eV)<br>$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ W s}$ |
| Aktivität                            | Formelzeichen: $A$<br>Einheit: 1 Becquerel (Bq)<br>$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$                    |
| Äquivalentdosis                      | Formelzeichen: $H$<br>Einheit: 1 Sievert (Sv)<br>$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$                   |
| Compton-Wellenlänge<br>des Elektrons | $\lambda_c = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ m}$                                                            |
| Energiedosis                         | Formelzeichen: $D$<br>Einheit: 1 Gray (Gy)<br>$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$                      |
| Grenzfrequenz                        | Formelzeichen: $f_G$<br>Einheit: $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$                                      |
| Halbwertszeit                        | Formelzeichen: $T_{1/2}$<br>Einheit: 1 s                                                                |
| Masse des Elektrons                  | $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$                                                                 |
| Masse des Protons                    | $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$                                                                 |
| Rydberg-Frequenz                     | $R_y = 3,289841 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$                                                               |

## 6.1 Quanteneffekte bei elektromagnetischer Strahlung

### Äußerer lichtelektrischer Effekt

Erscheinungen, bei denen Licht freie elektrische Ladungsträger erzeugt, heißen lichtelektrische oder fotoelektrische Effekte (kurz: Fotoeffekte).

Bei Metallen kann Licht Elektronen aus dem Festkörper lösen („herausschlagen“), sodass die Elektronen aus dem Kristall hinaustreten können. Dies geschieht



beispielsweise, wenn man eine negativ geladene Zinkplatte mit UV-Licht bestrahlt: Als Folge der Bestrahlung wird die Ladung der Platte kleiner, die Platte entlädt sich. Wird statt UV-Licht sichtbares Licht verwendet, entlädt sich die Zinkplatte selbst bei hoher Lichtintensität nicht.

Die Erscheinung, dass durch Licht Elektronen aus Festkörpern gelöst werden können, bezeichnet man als äußeren lichtelektrischen Effekt.

**Austrittsarbeit:** Zur Ablösung von Elektronen aus einem Festkörper ist eine bestimmte Arbeit, die **Austrittsarbeit** oder **Ablösearbeit**  $W_A$ , notwendig. Kurzwelliges Licht (Licht hoher Frequenz) gibt seine Energie in größeren Portionen (**Quanten**) ab als langwelliges Licht. Wenn die Energieportion  $E$  des Lichts größer als die Austrittsarbeit ist, erhält das herausgelöste Elektron die Differenz als kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$ . Es gilt:  $E_{\text{kin}} = E - W_A$ .

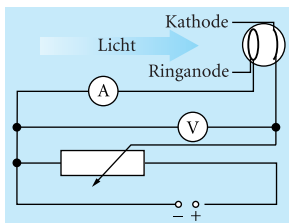
Die Austrittsarbeit ist eine stoffabhängige Materialkonstante. Bei Cäsium beträgt sie 1,94 eV.

1 eV (1 Elektronvolt) ist die Energie, die ein Elektron durch eine Beschleunigungsspannung von 1 V erhält;  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .



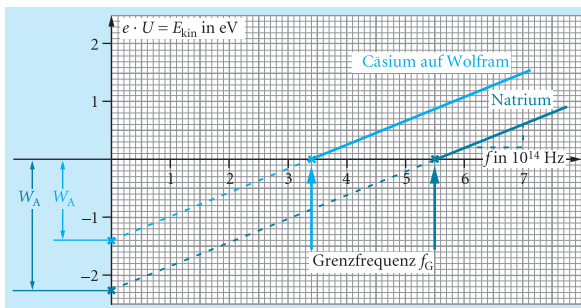
## Plancksches Wirkungsquantum

Mit der nebenstehenden Anordnung kann untersucht werden, wie die kinetische Energie herausgelöster Elektronen von der Frequenz der Strahlung abhängt. Licht fällt auf die Kathode einer Vakuumfotозelle. Die emittierten



Elektronen besitzen kinetische Energie, es fließt ein Strom. Bei einer bestimmten Spannung  $U$  zwischen Kathode und Anode (und damit bei einer bestimmten Stärke des elektrischen Feldes, gegen das sich die Elektronen bewegen) reicht die Energie  $E_{\text{kin}}$  der Elektronen gerade nicht mehr aus, um das elektrische Feld zu überwinden. Es fließt kein Strom. In diesem Fall ist  $e U = E_{\text{kin}} = m v^2/2$ .

Wird die Kathode der Fotozelle mit Licht verschiedener Frequenzen bestrahlt, erhält man einen linearen Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie der Elektronen und der Frequenz  $f$  der Strahlung, im Diagramm ergibt sich die **Einstein-Gerade** für das untersuchte Metall.



Die Steigung der Geraden  $E_{\text{kin}} = h f - W_A$  ist das **plancksche Wirkungsquantum**  $h$ . Die Abschnitte auf der Ordinatenachse sind die Austrittsarbeiten. Der Schnittpunkt der Geraden mit der Abszissenachse gibt an, welche Frequenz die Strahlung mindestens haben muss, um Elektronen herauszulösen (**Grenzfrequenz**  $f_G = W_A / h$ ).

## Plancksches Wirkungsquantum

Das plancksche Wirkungsquantum  $h$  ist eine Naturkonstante. Sie beträgt  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ .

## Energie, Masse und Impuls von Photonen

**Licht als Photonenstrom:** Wenn man Licht immer weiter abschwächt, zeigt sich, dass sich die Energieportionen nicht unter den Betrag  $h \cdot f$  verkleinern lassen. Eine solche Energieportion bezeichnet man als **Lichtquant** oder **Photon**. Licht kann man sich als Strom einer Vielzahl von Photonen vorstellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit von der Lichtquelle fortbewegen. Die Energie eines Photons beträgt  $E = h f$ .

**Masse und Impuls von Photonen:** Nach der speziellen Relativitätstheorie sind Masse und Energie äquivalent ( $\uparrow$  S. 187). Kennt man die Energie  $E$  eines Photons, kann man mithilfe der Gleichung  $E = m c^2$  die äquivalente Masse  $m$  und den Impuls  $p$  des Photons angeben. Es gilt:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h f}{c^2} = \frac{h}{c \lambda} \quad p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$f$  Frequenz       $\lambda$  Wellenlänge

$c$  Lichtgeschwindigkeit

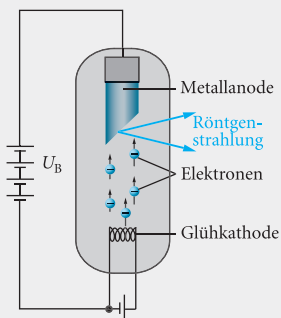
**Strahlungsdruck:** Wegen ihres Impulses erzeugen Photonen bei der Reflexion und Absorption einen Strahlungsdruck.

Wilhelm Conrad Röntgen entdeckte 1895 eine unsichtbare Strahlung. Für diese Entdeckung erhielt Röntgen 1901 den Nobelpreis. Er war der erste Nobelpreisträger für Physik.

## Entstehung von Röntgenstrahlen

Werden energiereiche Elektronen an einer Metalloberfläche abgebremst, entsteht kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die **Röntgenstrahlung**.

Dieser Effekt liegt den Röntgenröhren zugrunde, die zur Erzeugung von Röntgenstrahlung genutzt werden. Die von der Glühkathode ausgesendeten Elektronen werden im elektrischen Feld zwischen Kathode und Anode beschleunigt und beim Auftreffen auf die Anode abgebremst. Dort lösen sie Röntgenstrahlung – energiereiche Photonen – aus.



## Energie von Röntgenstrahlen

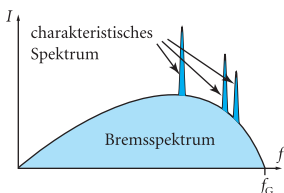
Röntgenstrahlung gibt die Energie – wie Licht – in Quanten ab. Die beim Abbremsen frei werdende Energie erwärmt teils die Anode, ein anderer Teil geht auf die Photonen über. Wenn die gesamte Energie eines Elektrons auf ein Photon übergeht, hat dieses die maximale Energie und die Röntgenstrahlung die höchstmögliche Frequenz  $f_G$  (**Grenzfrequenz**). Die maximale Photonenenergie der Röntgenstrahlung ist:

$$E_{\max} = e U_B = h f_G = h c / \lambda_G$$

## Spektrum der Röntgenstrahlung

Das Spektrum der Röntgenstrahlung umfasst einen Frequenzbereich von  $3 \cdot 10^{16}$  bis  $3 \cdot 10^{21}$  Hz. Das Spektrum der Röntgenstrahlung besteht aus dem **Bremsspektrum** und dem **charakteristischen Spektrum**.

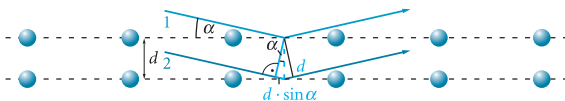
Das kontinuierliche Bremsspektrum entsteht durch Abbremsen der Elektronen an der Anode. Das charakteristische Spektrum entsteht, wenn besonders schnelle Elektronen mit den Atomhüllen des Anodenmaterials wechselwirken.



## Eigenschaften der Röntgenstrahlen

Wegen ihrer großen Energie können Röntgenstrahlen Stoffe ionisieren und Zellen schädigen. Sie durchdringen viele Stoffe und schwärzen Filme. Röntgenstrahlen können gebeugt werden und zeigen Interferenzeffekte. Diese Eigenschaften der Röntgenstrahlen werden zur Röntgendiagnostik und -therapie sowie zur Werkstoffprüfung genutzt.

Mittels Röntgenstrukturanalyse kann man die kristalline Struktur von Stoffen untersuchen: Röntgenstrahlung wird in Kristallgittern an den einzelnen Kristallebenen reflektiert, wobei durch Interferenz (Gangunterschied der reflektierten Strahlen!) Intensitätsmaxima und -minima entstehen. Aus dem Muster kann man die Kristallstruktur ermitteln.



**Bragg-Gleichung**

Die Bedingung, unter der nach Reflexion von Röntgenstrahlung an Gitterebenen Interferenzmaxima auftreten, wurde von William Lawrence Bragg (1890–1971) aufgestellt und heißt nach ihm Bragg-Gleichung:

$$k \lambda = 2d \cdot \sin \alpha_k \quad (k = 1, 2, 3 \dots)$$

$d$  Abstand der Gitterebenen ( $\uparrow$  S. 161)

$\alpha_k$  Reflexionswinkel (Bragg-Winkel)

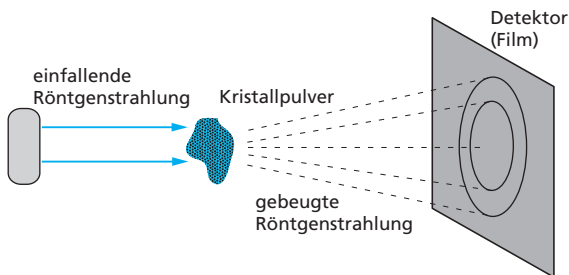
**Röntgenstrukturanalyse**

Die am Kristall reflektierte Röntgenstrahlung schwärzt einen Film an den Stellen der Maxima. Aus deren Lage ermittelt man über die Bragg-Gleichung die Struktur des Kristalls.

Beim **Laue-Verfahren** wird ein Einkristall mit Röntgenstrahlung unterschiedlicher Wellenlänge (weiße Röntgenstrahlung) bestrahlt. Es entsteht ein Punktmuster.

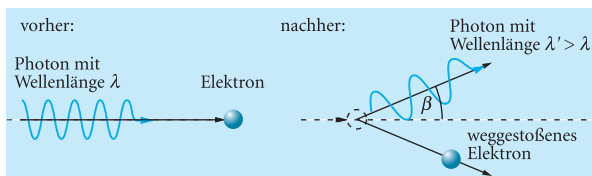
Beim **Drehkristallverfahren** nutzt man einen Einkristall und monochromatische Röntgenstrahlung. Durch die Drehung des Kristalls entstehen Ringe auf dem Film.

Beim **Debye-Scherrer-Verfahren** nutzt man ein Pulver aus sehr vielen Kristallen unterschiedlicher Orientierung. Dadurch erfüllen immer welche die Bragg-Bedingung, es entstehen ebenfalls Ringe.



## Compton-Effekt

Wenn man Röntgenphotonen an freien Elektronen streut, so haben die Photonen nach der Streuung eine kleinere Frequenz und größere Wellenlänge als vor der Streuung. Sie haben Energie und Impuls an die Elektronen abgegeben.



## Quantennatur elektromagnetischer Strahlung

Licht und Röntgenstrahlen haben ähnliche Eigenschaften. Sie sind elektromagnetische Strahlung. Diese besteht aus Photonen, deren Energie  $h \cdot f$  beträgt. Für eine umfassende Beschreibung der elektromagnetischen Strahlung werden Elemente aus dem Teilchenmodell (Photonen) und aus dem Wellenmodell (elektromagnetische Welle) kombiniert.

### Wellen- und Teilchennatur von Licht

| Eigenschaften        | Licht                    | Röntgenstrahlung              |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Quanten (Photonen)   | lichtelektrischer Effekt | Grenzfrequenz, Compton-Effekt |
| Wellen (Interferenz) | Beugung an Gittern       | Beugung an Kristallen         |

## **Bildquellen**

Christine Gebreyes, Berlin: Seite 114, 166 · Gerlinde Keller, München: Seite 118 · Meyer, L., Potsdam: Seite 162

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Das Wort **Duden** ist für den Verlag Bibliographisches Institut GmbH als Marke geschützt.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Für die Nutzung des zum Buch zugehörigen Downloadangebots gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) der Websites [www.duden.de](http://www.duden.de) und [www.lernhelfer.de](http://www.lernhelfer.de), die jederzeit unter dem entsprechenden Eintrag abgerufen werden können. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

## **5., aktualisierte Auflage**

© Duden 2021 C B A

Bibliographisches Institut GmbH, Mecklenburgische Straße 53, 14197 Berlin

*Redaktionelle Leitung* Kathrin Schwarz

*Redaktion* Dr. Wiebke Salzmann

*Autor* Dr. Horst Bienioschek

*Herstellung* Uwe Pahnke

*Layout* Horst Bachmann, Weinheim

*Umschlaggestaltung* zissue, München

*Satz* Satz-Rechen-Zentrum Hartmann + Heenemann GmbH & Co. KG

*Druck und Bindung* AZ Druck und Datentechnik GmbH,

Heisinger Straße 16, 87437 Kempten

Printed in Germany

ISBN 978-3-411-05966-9.

Auch als E-Book erhältlich unter: ISBN 978-3-411-91388-6

[www.duden.de/abitur](http://www.duden.de/abitur)



PEFC zertifiziert

Dieses Produkt stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen.

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

## Physik – Tophemen

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| Physikalische Experimente .....            | 28  |
| Newtonsche Gesetze .....                   | 48  |
| Unelastischer und elastischer Stoß .....   | 64  |
| Gesetze des idealen Gases .....            | 82  |
| Induktion einer Spannung .....             | 118 |
| Spektrum elektromagnetischer Wellen .....  | 136 |
| Spektren und Farben .....                  | 154 |
| Röntgenstrahlen .....                      | 160 |
| Quantenobjekte am Doppelspalt .....        | 166 |
| Potenzialtopfmodell der Atomhülle .....    | 174 |
| Laser .....                                | 176 |
| Potenzialtopfmodell des Atomkerns .....    | 180 |
| Strahlenbelastung und Strahlenschutz ..... | 184 |
| Allgemeine Relativitätstheorie .....       | 202 |