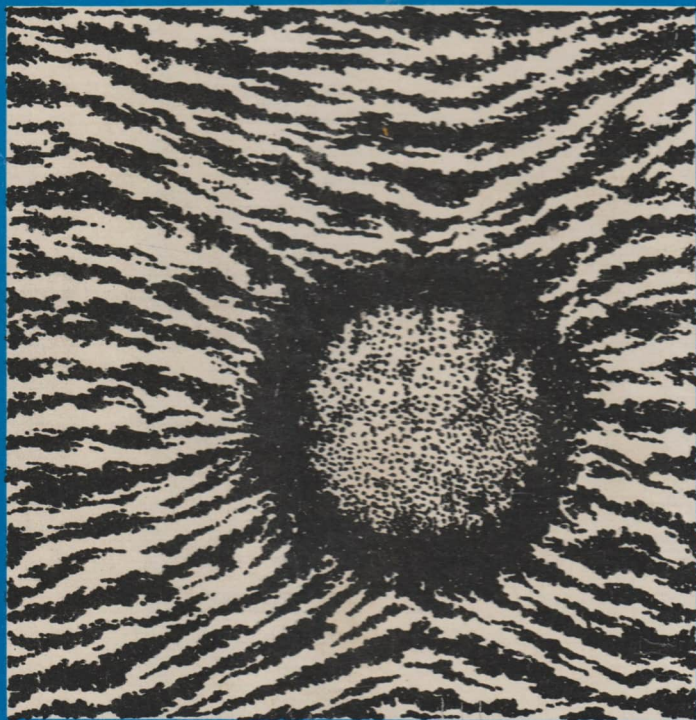


PHYSIK 9

Vorbereitungsklassen



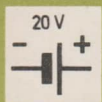
Elektrotechnische Schaltzeichen



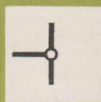
Galvanische Spannungsquelle



Leitungsabzweigung



Galvanische Spannungsquelle,
20 V



Leitungsabzweigung, lösbar



Galvanische Spannungsquelle,
mehrere Elemente



Schalter



Wechselstrom



Buchse und Stecker



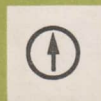
Gleichstrom



Steckdose



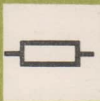
Leitungskreuzung



Galvanometer



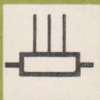
Elektrometer



Widerstand



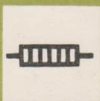
Spannungsmesser



Widerstand mit Anzapfung



Stromstärkemesser



Heizgerät



Spannungsmesser (Millivolt)



Widerstand, verstellbar



Lampe



Spannungsteiler



Wattstundenzähler



Relais



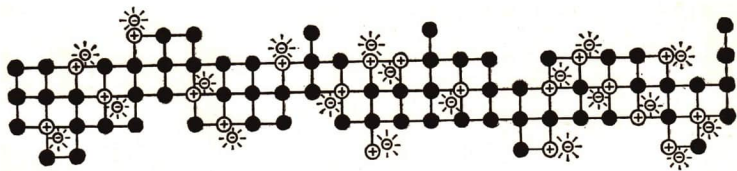
Schmelzsicherung



Induktiver Widerstand

PHYSIK

Lehrbuch für die Klasse 9 · Vorbereitungsklassen



Volk und Wissen · Volkseigener Verlag Berlin

1967

An der Entwicklung des Schulbuches waren beteiligt:
Hans-Hermann Aßmus } (elektrisches und magnetisches Feld)
Ernst Neumann }
Dr. Wolfgang Rzymiski (Mechanik)
Dr. Joachim Wendt (Leitungsvorgänge)
Prof. Dr. Karl Werner (Kernphysik)
in Zusammenarbeit mit der Redaktion Physik des Verlages
Redaktion: Werner Golm, Günter Meyer

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen
Republik als Schulbuch bestätigt

1. Auflage · Ausgabe 1967
Lizenz-Nr. 203 · 1000/67 · ES 11 H
Ausstattung: Manfred Behrendt
Technische Zeichnungen: Ingrid Schäfer
Illustrationen: Fritz Hampel
Gesamtherstellung: B. G. Teubner, Leipzig (III/18/154)
Gesetzt aus der Bodoni-Antiqua
Redaktionsschluß: 15. 1. 1967
Bestell-Nr. 02 09 55-1 · Preis: 3,-

Mechanik

Statik

Die Kraft

8

Die Wirkung der Kraft 8 – Die statische Kraftmessung 9 – Die Kraft als vektorielle Größe 10 – Das Verschieben von Kräften 10 –

Das Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften

11

Das Zusammensetzen von Kräften 11 – Kräfte im Gleichgewicht 11 – Kräfte mit gleicher Wirkungslinie 11 – Kräfte mit verschiedenen Wirkungslinien 12 – Kräfteparallelogramm 13 – Krafteck 13 – Das Zerlegen von Kräften 13 – Komponenten einer Kraft 13 – Richtung der Komponenten 14 – Beträge der Komponenten 14 – Schwerelinie 15 –

Dynamik

Die Geschwindigkeit

16

Ruhe und Bewegung 16 – Geschwindigkeit als vektorielle Größe 17 – Die geradlinig gleichförmige Bewegung 17 – Die mittlere Geschwindigkeit 17 – Die Augenblicksgeschwindigkeit 18 – Die Addition von Geschwindigkeiten 19 –

Die Beschleunigung

20

Die Änderung des Bewegungszustandes 20 – Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung 22 – Der freie Fall 23 – Zusammengesetzte Bewegungen 25 – Wurfbewegungen 26 – Die Entdeckung der Fallgesetze 29 –

Die Grundgesetze der Mechanik

30

Das Trägheitsgesetz 30 – Die Masse 31 – Das Beschleunigungsgesetz 32 – Die dynamische Kraftmessung 35 – Das Wechselwirkungsgesetz 35 –

Mechanische Energie

36

Mechanische Arbeit 36 – Potentielle Energie 37 – Kinetische Energie 38 – Das Energieerhaltungsgesetz 38 – Die Bedeutung des Gesetzes von der Energieerhaltung 40 –

Elektrizitätslehre

Das elektrische Feld

42

Die elektrische Ladung 42 – Die Ladungstrennung 43 – Elektrizitätsmenge 44 – Kraftwirkung zwischen elektrisch geladenen Körpern 45 – Influenz 46 – Die Kraftlinien des

elektrischen Feldes 46 – Der materielle Charakter des Feldes 48 – Die elektrische Feldstärke 49 – Das elektrische Feld als Energieträger 50 – Der Kondensator 51 – Laden und Entladen von Kondensatoren 51 – Die Kapazität des Kondensators 52 – Kapazität und Abmessung des Kondensators 53 – Dielektrikum 54 – Technische Kondensatoren und ihre Anwendung 55 –

Das magnetische Feld

56

Das Magnetfeld stromführender Leiter 56 – Kraftwirkungen an stromführenden Leitern 57 – Gerader Leiter im Magnetfeld 57 – Spule im Magnetfeld 57 – Kraftwirkungen zwischen parallelen Leitern 58 – Eisen im Magnetfeld 58 – Das Drehpulmeßwerk 59 –

Die elektromagnetische Induktion

61

Erzeugung von Induktionsspannungen 61 – Der Spannungsstoß 62 – Das Induktionsgesetz 62 – Energieumwandlung bei der elektromagnetischen Induktion 64 – Lenzsche Regel 64 – Die Selbstinduktion 67 – Magnetisches und elektrisches Feld 68 –

Einiges vom Aufbau der Stoffe

69

Aufbau der Atome 69 – Ion und Ionenbeziehung 70 – Atombindung 70 – Aufbau der Metalle 71 –

Leitung in Flüssigkeiten

72

Die Dissoziation 72 – Der Ionenstrom 73 – Anwendungsbeispiele 73 –

Leitung in Gasen

74

Unselbständige Entladung 74 – Selbständige Entladung 75 – Anwendungsbeispiele zur Glimmentladung 77 – Elektronenstrahlen 78 –

Leitung im Hochvakuum

79

Die Glühemission 79 – Die Austrittsarbeit 89 – Die Diode 81 – Kennlinie der Diode 81 – Wirkungsweise der Diode 82 – Anwendung der Diode 82 – Die Triode 82 – Wirkungsweise der Triode 82 – Kennlinie der Triode 83 – Steilheit der Triode 83 – Steuerwirkung der Triode 84 – Die Katodenstrahlröhre 85 – Die Fotoemission 86 – Die Fozelle 87 – Anwendung von Fozellen 87 –

Leitung in Festkörpern

88

Leitung in Metallen 88 – Nachweis der Leitungselektronen 89 – Leitung in Halbleitern 90 – Die Eigen-

leitung 90 – Die Störstellenleitung 91 – Die Wirkungsweise der Halbleiter-Diode 92 – Das Halbleiter-Photoelement 92 – Der Transistor 93 –

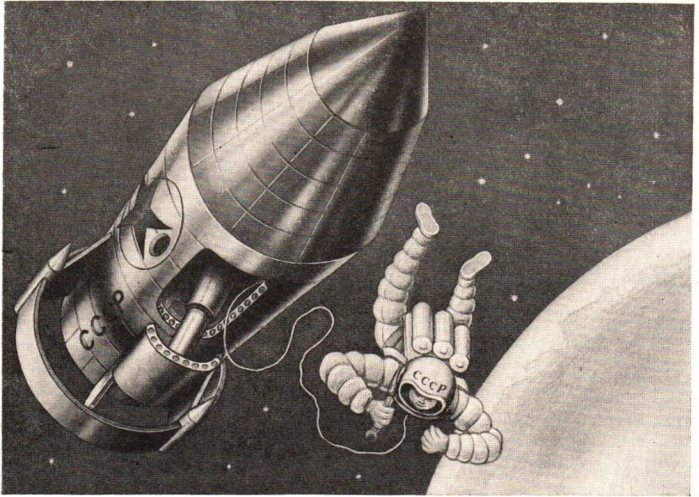
Kernphysik

<i>Vom Bau des Atomkerns</i>	96
Grundsätzliches vom Bau des Atomkerns 96 –	
<i>Über spontane Kernumwandlungen</i>	98
Die Radioaktivität 98 – Die Emission von α -Teilchen 99 – Die Emission von β -Teilchen 100 – Die Halbwertszeit 100 –	
<i>Der Nachweis radioaktiver Strahlung</i>	102
Das Geiger-Müller-Zählrohr 102 – Die Wilsonsche Nebelkammer 103 –	
<i>Die Kernreaktionen</i>	104
Die Reaktion mit Protonen 104 – Die Reaktion mit Neutronen 105 – Die Erzeugung instabiler Kerne 105 – Energiebilanz bei Kernreaktionen 106 – Der Massendefekt 107 – Die Bindungsenergie 108 – Die Kernspaltung 108 – Die ungesteuerte Kettenreaktion 109 – Gesteuerte Kettenreaktion 110 – Verantwortungsbewußte Wissenschaftler 112 – Die Kernfusion 113 –	
<i>Die Anwendung radioaktiver Isotope (Radionuklide)</i>	115
Die Erzeugung von Radionukliden 115 – Anwendungsbeispiele für Radionuklide 116 –	
Aufgaben	
<i>Fragen, Aufträge und Versuche</i>	117
<i>Schülerexperimente</i>	128
<i>Lösungen</i>	135
<i>Register</i>	137

Verwendete Symbole

- Fragen
- ▼ Versuche
- Beispiele
- ▷ Einfache Merksätze
- ▶ Merksätze mit besonderer Bedeutung

Im Abschnitt Aufgaben sind die Nummern der Fragen und Aufträge fett gedruckt, für die eine Lösung angegeben ist; Aufträge mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad sind durch einen Stern gekennzeichnet.



Mechanik

Im Jahre 1961 umrundete JURI GAGARIN als erster Mensch in einem Raumflugkörper die Erde. Die Flüge der ihm folgenden Weltraumfahrer wurden immer länger, ihre Aufträge immer komplizierter. Diese Leistungen zeigen uns, daß es der Mensch verstanden hat, die Naturgesetze, besonders auch die der *Mechanik*, zu erforschen und nutzbar zu machen.

Die *Mechanik* ist die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte (das ist die *Statik*) und von den Bewegungsänderungen der Körper unter dem Einfluß von Kräften (das ist die *Dynamik*).

Die *Mechanik* ist ein Zweig der Physik. Die Erkenntnisse auf diesem Gebiet sind durch die Beobachtungen und durch die Tätigkeit der Menschen, bei der Auseinandersetzung mit den Naturerscheinungen, insbesondere aber bei der Produktion erworben worden.



Die Kraft

Unter dem Einfluß der am Rotor wirksamen Hubkraft startet der Hubschrauber. Die Kraft ist eine wichtige physikalische Größe. Bekannt ist, daß Kräfte Bewegungs- oder Formänderungen hervorrufen. Dabei wirken immer mindestens zwei Körper wechselseitig aufeinander wie hier im Bild zum Beispiel der Hubschrauber und die Erde. Diese Einwirkung eines Körpers auf einen anderen bezeichnet man als Kraft.

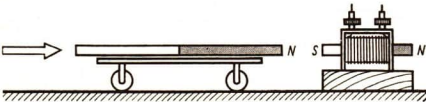
Die Wirkung der Kraft

Beim Fliegen wirkt auf den Hubschrauber die an der Hubschraube angreifende Kraft. Bei diesem Vorgang werden der Bewegungszustand und die Form eines Körpers beeinflusst.

• Nennen Sie Beispiele zur Bewegungs- und Formänderung!

Die Änderung des Bewegungszustandes von Körpern ist Untersuchungsobjekt der *Dynamik* (S. 16).

1 Der Bewegungszustand des Wagens mit dem Magneten wird durch die Feldkräfte der beiden Magnete geändert (Bild 8/3).



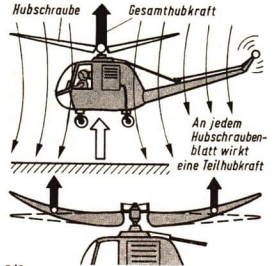
2 Die Kräfte der Magnetfelder wirken der Schwerkraft entgegen und halten den Magnetring im Zustand der Ruhe (der ebenfalls ein Bewegungszustand ist) frei schwebend (Bild 8/4).

Die Änderung der Form von Körpern ist Untersuchungsobjekt der *Festigkeitslehre* (siehe Unterrichtsfach „Sozialistische Produktion“).

► Mechanische Kraftwirkungen:

Durch eine Kraft wird der Bewegungszustand eines Körpers verändert.

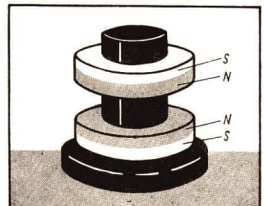
Durch eine Kraft wird die Form eines Körpers geändert.



8/2

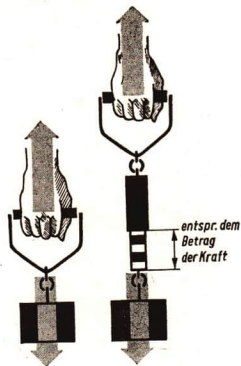
a) Der Hubschrauber wird gehoben
b) Die Hubschraube als Teil des Hubschraubers wird gehoben

8/3



8/4 Schwebender Magnetring

Die statische Kraftmessung



9/1

Schülerexperiment M 1 S. 128

Kräfte sind an ihren Wirkungen erkennbar. Ein Grundgesetz der Natur ist es, daß eine bestimmte Ursache, unabhängig vom Zeitpunkt und vom Ort ihres Wirkens, unter gleichen Bedingungen stets die gleiche Wirkung zur Folge hat. Nur unter dieser Bedingung ist es möglich, unterschiedliche Kräfte untereinander zu vergleichen. Wird der Vergleich mit einer Kraft von bestimmtem Betrag, der Kräfteinheit, durchgeführt, so kann man Kräfte auch messen. Das Messen physikalischer Größen ist ein wichtiges Verfahren, um physikalische Erscheinungen untersuchen und neue physikalische Gesetzmäßigkeiten erkennen zu können.

Hängt man an eine Federwaage einen Körper von der Masse 1 kg (siehe S. 31), so wird unter der Wirkung der Schwerkraft die Schraubenfeder der Waage verlängert. Der Betrag der Spannkraft der Feder ist dem Betrag der wirkenden Schwerkraft gleich. Die Wirkung der Schwerkraft, die Längenänderung der Feder, kann gemessen werden. Sie ist unter gleichen Bedingungen immer wieder gleich groß.

Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß die Dehnung der Schraubenfeder dem Betrag der einwirkenden Kraft proportional ist. Durch einen Körper mit der Masse 2 kg wird die Schraubenfeder der Waage um den doppelten Betrag verlängert, und bei einer Masse von 3 kg wird eine dreifache Verlängerung der Feder erreicht. Dieser physikalische Zusammenhang ist auch unter dem Namen *Hookesches Gesetz*¹ bekannt.

Die Längenänderung einer Feder kann daher zum Messen einer Kraft benutzt werden.

Die Kraft, mit der ein Körper von der Masse ein Kilogramm auf einer geographischen Breite von 45° und in Meereshöhe gegen eine Unterlage wirkt, ist die Kräfteinheit Kilopond (kp).

Das Kilopond kp ist eine Einheit der Kraft.

Das Newton N ist eine weitere Einheit der Kraft, wobei 1 kp = 9,81 N gilt.

Weitere Einheiten der Kraft sind das Megapond (Mp), das Pond (p) und das Millipond (mp).

$$1 \text{ Mp} = 1000 \text{ kp} = 10^3 \text{ kp}$$

$$1 \text{ kp} = 1000 \text{ p} = 10^3 \text{ p}$$

$$1 \text{ p} = 1000 \text{ mp} = 10^3 \text{ mp}$$

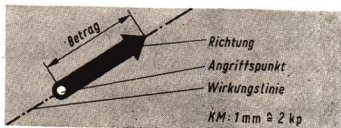
Die in der Mechanik außer dem Kilopond noch verwendete Kräfteinheit Newton wird später beschrieben (S. 34).

¹ ROBERT HOOKE, englischer Physiker, 1635 bis 1703

Die Kraft als vektorielle Größe

Es gibt physikalische Größen wie z. B. die Kraft, die durch die Angabe von Zahlenwert und Einheit noch nicht eindeutig bestimmt sind. Wenn man für solche Größen auch eine Wirkungslinie und die Richtung ihrer Wirkung angeben muß, um eine eindeutige Aussage zu erhalten, dann bezeichnet man sie als vektorielle Größe.

Physikalische Größe = Zahlenwert · Einheit			
F	=	1	· kp



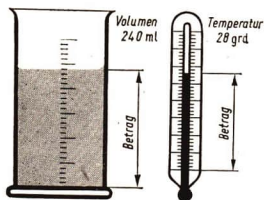
▷ Vektorielle Größen sind gerichtete Größen

Im Gegensatz dazu stehen ungerichtete Größen, die bereits durch Zahlenwert und Einheit eine eindeutige Aussage ergeben. Man bezeichnet sie als skalare Größen.

▷ Skalare Größen sind ungerichtete Größen

Die Bezeichnung einer vektoriellen Größe erfolgt durch Buchstaben mit einem darüber gesetzten Pfeil, z. B. \vec{F} . Soll nur der Betrag einer vektoriellen Größe angegeben werden, so läßt man den Pfeil weg, zum Beispiel F .

10/1 Vektor (mit Wirkungslinie und Richtung)



10/2 Skalare (keine Wirkungslinie, keine Richtung)

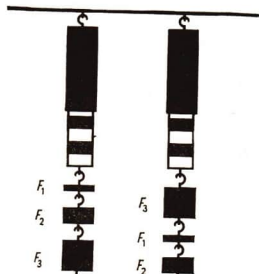
Das Verschieben von Kräften

Werden die an einer Federwaage hängenden Wägestücke durch längere Fäden miteinander verbunden oder auch untereinander vertauscht, so bleibt die Wirkung der Kräfte an der Federwaage unverändert (Bild 10/3).

Zur Lösung bestimmter Aufgaben ist es häufig notwendig, den Angriffspunkt der Kraft auf ihrer Wirkungslinie zu verschieben. Das ist gestattet, da sich dadurch die Kraftwirkung nicht ändert.

Bei sehr schweren Güterzügen auf Strecken mit großer Steigung reicht mitunter die Zugkraft einer Lokomotive nicht aus. Eine zweite Lokomotive wird zum Ziehen oder Schieben eingesetzt.

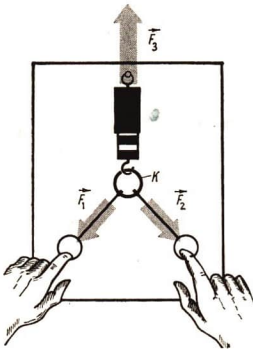
Kräfte können auf ihrer Wirkungslinie verschoben werden, ohne daß sich die Kraftwirkung ändert.



10/3

Das Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften

Früher wurden Segelflugzeuge mit Hilfe der menschlichen Muskelkraft gestartet. In Startrichtung des Flugzeuges darf sich aber niemand aufhalten, deshalb zogen seitwärts zwei Mannschaften an Seilen. Unter bestimmten Voraussetzungen bewirkten die Kräfte der beiden Mannschaften genauso eine Vorwärtsbewegung des Flugzeuges, als wenn eine Kraft wirkt.



11/2

Das Zusammensetzen von Kräften

Bisher ist die Wirkung *einer* Kraft betrachtet worden. Meist wirken jedoch auf einen Körper *mehrere* Kräfte. Um die Wirkung mehrerer Kräfte auf einen Körper zu untersuchen, wird Versuch 5 durchgeführt.

Beim Ziehen an den beiden Fäden greifen an dem Körper K (Ring) zwei Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 an. Die Lage und die Skale der Federwaage geben die Richtung und den Betrag der Kraft \vec{F}_3 an.

1. Prüfen Sie, ob es möglich ist, mit anderen Kräften \vec{F}_1 und \vec{F}_2 (Betrag, Richtung) die gleiche Kraftwirkung am Ring zu verursachen.

2. Ersetzen Sie die Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 durch nur eine Kraft, ohne daß sich \vec{F}_3 ändert. Welche Wirkungslinie, Richtung und welchen Betrag hat diese Kraft?

Kräfte im Gleichgewicht. An einem Körper können zwei oder auch mehrere Kräfte so angreifen, daß dieser seine Lage nicht verändert. Die Wirkungen der Einzelkräfte heben sich dann auf. Man sagt, die am Körper angreifenden Kräfte befinden sich im Gleichgewicht. Zwei Kräfte können in ihrer Wirkung durch eine Kraft ersetzt werden. Diese Kraft wird **resultierende Kraft** genannt. Eine Grundaufgabe der Statik besteht darin, für mehrere an einem Körper angreifende Kräfte die resultierende Kraft zu bestimmen. **Kräfte mit gleicher Wirkungslinie.** Da Kräfte vektorielle Größen sind, kann die Aufgabe, mehrere Kräfte zu einer resultierenden Kraft zusammensetzen, auf die Addition von Vektoren zurückgeführt werden.

Die Gleichung hierfür lautet:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = \vec{R}$$

In den Sonderfällen bei gleicher Wirkungslinie der Kräfte geschieht dies einfach durch Addition der Beträge unter Beachtung eines Vorzeichens, das die Richtung der Kraft angibt.

In diesen Fällen (Bild 12/1) gilt

$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = R$$

$$R = F_1 + F_2$$

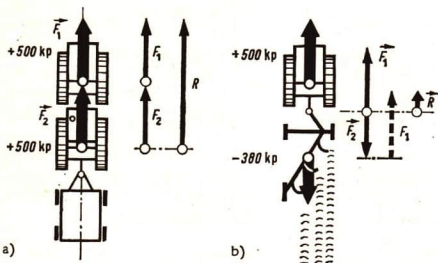
$$R = + 500 \text{ kp} + 500 \text{ kp}$$

$$R = + 1000 \text{ kp}$$

$$R = F_1 + F_2$$

$$R = + 500 \text{ kp} - 380 \text{ kp}$$

$$R = + 120 \text{ kp}$$



12/1

Wie groß ist in einem beliebigen Beispiel der Betrag der resultierenden Kraft bei Gleichgewicht aller wirkenden Kräfte?

Kräfte mit verschiedenen Wirkungslinien. Wenn der Versuch 5 richtig ausgeführt wurde, dann mußte aus der zweiten Aufgabe als Ergebnis gefunden werden (Bild 12/2): Der Betrag der resultierenden Kraft \vec{R} ist genau so groß wie der Betrag der Kraft \vec{F}_3 ; die Richtung von \vec{R} ist entgegengesetzt zur Richtung von \vec{F}_3 . Die Kraft \vec{R} ersetzt die beiden Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 .

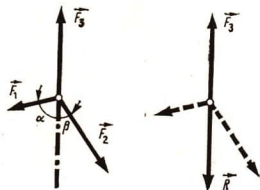
Auch hier wird die resultierende Kraft \vec{R} durch Vektoraddition (die für alle vektoriellen Größen Gültigkeit hat) ermittelt:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

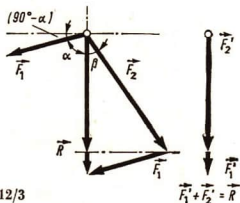
Um den Betrag R zu errechnen, muß nach Bild 12/3 gesetzt werden:

$$R = F_1 \cdot \sin(90^\circ - \alpha) + F_2 \cdot \cos \beta$$

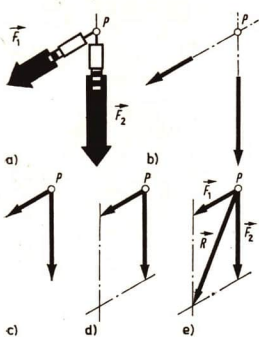
Erfahrungsgemäß setzt sich der Betrag der resultierenden Kraft, also R , aus den senkrecht auf die Wirkungslinie von



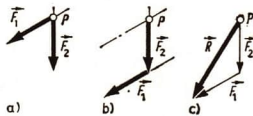
12/2



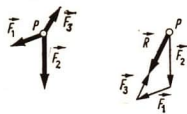
12/3



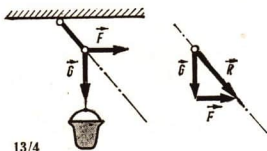
13/1



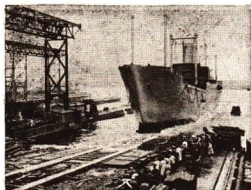
13/2



13/3



13/4



13/5 Stapelauf eines Schiffes

\vec{R} projizierten Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 zusammen. Dieses Verfahren läßt sich auch grafisch ausführen. Hierfür gibt es zwei Methoden.

Beim *Kräfteparallelogramm* verschiebt man die beiden Kraftvektoren (Bild 13/1b) entlang ihrer Wirkungslinien, bis ihre Angriffspunkte im Schnittpunkt der Wirkungslinien zusammenfallen (13/1c). Dann zieht man parallel zu den Kraftvektoren \vec{F}_1 und \vec{F}_2 je eine Hilfslinie so, daß ein Parallelogramm entsteht (13/1d). Die Diagonale in diesem Parallelogramm ergibt die Richtung und den Betrag der resultierenden Kraft \vec{R} (13/1e).

Wenn mehrere Kräfte zusammenwirken, dann ist die Parallelogramm-Methode umständlich. Beim *Krafteck* wendet man die Methode der Vektoraddition an.

Man zeichnet einen Vektor und fügt an dessen Spitze den nächsten Vektor an (13/2b). Die Verbindungslinie zwischen dem Angriffspunkt des ersten und der Spitze des letzten Vektors stellt den Vektor der resultierenden Kraft dar (13/2c), unabhängig davon, wie viele Kräfte auf den Punkt P wirken (13/3).

Wenn Kräfte rechtwinklig zueinander wirken (Bild 13/4), kann mit dem Lehrsatz des Pythagoras der Betrag der resultierenden Kraft ermittelt werden.

Gegeben:

$$G = 8 \text{ kp}$$

$$F = 6 \text{ kp}$$

Gesucht:

$$R$$

Lösung:

$$R^2 = G^2 + F^2$$

$$R^2 = 8^2 \text{ kp}^2 + 6^2 \text{ kp}^2$$

$$R^2 = 64 \text{ kp}^2 + 36 \text{ kp}^2$$

$$R^2 = 100 \text{ kp}^2$$

$$R = 10 \text{ kp}$$

Das Zerlegen von Kräften

Mehrere Kräfte können zu einer Gesamtkraft zusammengesetzt werden. Daraus ergibt sich die Frage, ob eine Kraft auch in mehrere Teilkräfte zerlegt werden kann. Zu diesem Zweck betrachten wir Bild 13/5.

Durch das Schiffsgewicht werden zwei Wirkungen hervorgerufen: 1. Das Schiff wird senkrecht auf die Bahn gedrückt. 2. Das Schiff wird abwärts gezogen.

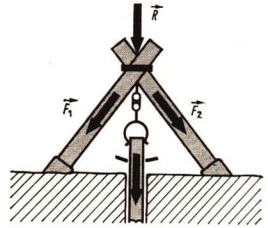
Nach unseren Erkenntnissen ist nur eine Kraft die Ursache, d. h., die Kraft Schiffsgewicht wirkt in zwei Teilkräften in verschiedene Richtungen.

Die Komponenten einer Kraft. In der Statik ist es oft notwendig, eine Kraft in mehrere Einzelkräfte verschiedener Richtung zu zerlegen, weil die auf zusammengesetzte Kör-

per (Fachwerkträger, Maschinenteile) einwirkenden Kräfte von mehreren Konstruktionsteilen aufgenommen und übertragen werden müssen. In solchen Fällen sind die Wirkungslinien, aber noch nicht die Richtungen und die Beträge der Einzelkräfte bekannt (Bild 14/1).

Die Einzelkräfte werden auch *Kraftkomponenten*, kurz *Komponenten* genannt.

Die Richtung der Komponenten. Im Bild 14/2 sind Wandkräne dargestellt. Bei Belastung verhalten sich die einzelnen Teile nicht wie starre Körper, sondern sie sind dann entsprechend dem Hooke'schen Gesetz mehr oder weniger elastisch; sie dehnen sich und verdrehen sich.

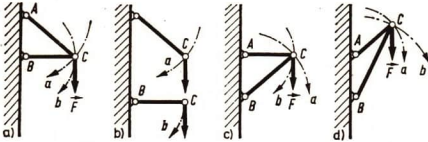


14/1

14/2 Wandkräne

Bild 14/2b zeigt die Wirkung der Kraft auf die einzelnen Streben des Wandkranes nach Bild 14/2a.

Stellen Sie die Richtung der Komponenten in den Bildern c und d fest.



Die Kraft \vec{F} wird von den Streben AC und BC des Wandkranes aufgenommen. Somit ist eine Zerlegung der Kraft \vec{F} in zwei Komponenten notwendig. Die Wirkungslinien dieser beiden Kraftkomponenten gehen durch die Punkte A und C beziehungsweise B und C.

Um die Richtung der Komponenten von \vec{F} zu ermitteln, muß man deshalb die Streben AC und BC in A und B drehbar gelagert betrachten. Im Bild 14/2b ist gezeigt, auf welcher Bahn sich bei dieser Annahme der Punkt C um A bzw. um B bewegen würde.

Wenn Punkt C auf der Bahn b bewegt wird, bedeutet das, daß eine Kraft die Strebe AC auf Zug beansprucht.

Die Richtung der Komponente in der Strebe AC geht von A nach C. (14/2 a).

Wenn Punkt C auf der Bahn a bewegt wird, bedeutet das, daß eine Kraft die Strebe BC auf Druck beansprucht.

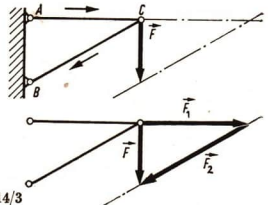
Die Richtung der Komponente in der Strebe BC geht von C nach B. (Bild 14/2 a).

Die Beträge der Komponenten. Um die Beträge der Komponenten zu ermitteln, müssen an den Angriffspunkt und die Pfeilspitze des zu zerlegenden Kraftvektors \vec{F} wie in Bild 14/3 die Wirkungslinien so angetragen werden, daß sie sich schneiden.

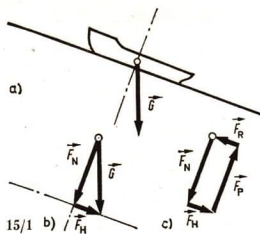
Zeichnet man auf den Wirkungslinien, ausgehend von C und endend an der Pfeilspitze von \vec{F} , die Kraftpfeile der Einzelkräfte, so erhält man die Vektoren \vec{F}_1 und \vec{F}_2 .

Fragen und Aufträge – Mechanik 1 bis 10 (S. 117)

Versuche – Mechanik 1 bis 5 (S. 120)



14/3



Das Gewicht des Schiffes auf der geneigten Ebene (Bild 15/1 a) kann zerlegt werden in eine Komponente senkrecht zur Gleitbahnoberfläche, die Normalkraft \vec{F}_N und in eine Komponente parallel zur Gleitbahn, die Hangabtriebskraft \vec{F}_H (Bild 15/1 b). Gleichgewichtszustand besteht dann, wenn zu diesen Komponenten entsprechende Gegenkräfte vorhanden sind. Es sind dies die Druckwiderstandskraft \vec{F}_P der Gleitbahn und die Reibungskraft F_R der Gleitbahn.

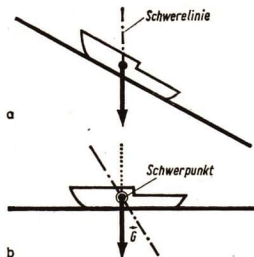
Mit diesen Kräften ist das Kräfteck geschlossen (Bild 15/1 c). Es besteht **Kräftegleichgewicht**.

In obigem Beispiel kann beim Einzeichnen des Gewichts nicht willkürlich irgendeine Gerade als Wirkungslinie gewählt werden. Aus Erfahrung legt man die Wirkungslinie so, daß sie durch den Mittelpunkt des Schiffskörpers hindurchgeht. Das ist aber für Körper mit ungleicher Massenverteilung nicht richtig.

Das Gewicht wird durch die Erdanziehungskraft hervorgerufen. Das heißt aber, daß auf jeden Teil des Körpers eine Kraft wirkt. Das Gewicht ist somit die Resultierende dieser denkbar vielen Einzelkräfte.

Die Wirkung des Gewichts kann durch eine entgegengesetzt gerichtete Kraft gleichen Betrages aufgehoben werden. Die Wirkungslinie dieser Gegenkraft ist somit auch die Wirkungslinie des Gewichts. Sie wird **Schwerelinie** genannt.

Da die Schwerelinie immer senkrecht verlaufen muß, wird eine andere Schwerelinie ermittelt, wenn der Körper zum Beispiel in eine andere Lage gedreht wird (Bild 15/2). Doch alle gefundenen Schwerelinien schneiden sich in einem Punkt. Dieser Punkt ist der **Angriffspunkt** des Gewichts. Er wird auch als **Schwerpunkt** bezeichnet.



15/2

Das Tragseil einer Seilbahn wird mit einer Spannkraft von 2500 kp durch ein Ankerseil straff gehalten. Wie groß sind die im Ankerseil und im Mast wirkenden Kräfte?

Grafische Lösung:

Der Seilspannkraft $F = 2500$ kp muß eine Kraft z am Ankerseil entgegenwirken. Diese setzt sich zusammen aus der Einzelkraft $y = 2500$ kp und der Einzelkraft x .

Die Kräfte sind den gegebenen Längen proportional. Somit sind geometrische Figur und Kräfteck ähnlich. Demzufolge gilt für y : $5,0 \text{ m} \cong 2500 \text{ kp}$ und für x :

$4,0 \text{ m} \cong 2000 \text{ kp}$. Als Kräftemaßstab wird gewählt KM:

$1 \text{ mm} \cong 100 \text{ kp}$.

z wird im Kräfteck gemessen und mit dem Kräftemaßstab umgerechnet: $z \approx 3100 \text{ kp}$.

Rechnerische Lösung:

$y: 5,0 \text{ m} \cong 2500 \text{ kp}$

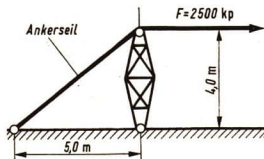
$x: 4,0 \text{ m} \cong 2000 \text{ kp}$

$$z^2 = x^2 + y^2$$

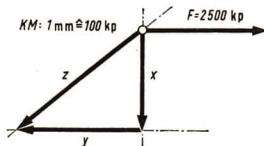
$$z^2 = 4\,000\,000 \text{ kp}^2 + 6\,250\,000 \text{ kp}^2$$

$$z = \sqrt{10\,250\,000 \text{ kp}^2}$$

$$z \approx \underline{\underline{3200 \text{ kp}}}$$

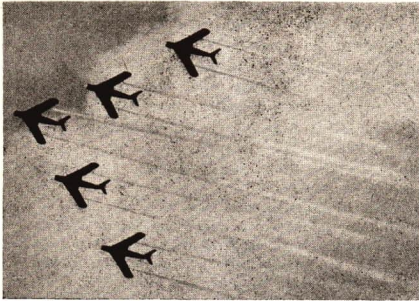


15/3



15/4

Die Geschwindigkeit



Bei Flugvorführungen kann man die Flugbahn der Flugzeuge auf Grund von Rauchstreifen beobachten.

Die oft sehr komplizierten Bahnen der einzelnen Punkte des Flugzeugkörpers reichen jedoch noch nicht aus, um einen Bewegungsvorgang genau zu bestimmen. Hierzu werden noch einige typische Größen, sogenannte Kenngrößen, benutzt.

Ruhe und Bewegung

Die Bewegung ist etwas, was allen Körpern eigen ist. Friedrich Engels nennt die Bewegung die Daseinsweise der Materie.

Im philosophischen Sinne bedeutet Bewegung nicht nur die Orts- oder Lageveränderung eines Gegenstandes im Raum. Der Begriff Bewegung umfaßt alle vor sich gehenden Prozesse und Veränderungen in der belebten und in der unbelebten Natur.

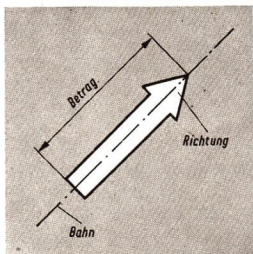
Eine mechanische Bewegung liegt vor, wenn ein Körper seine Lage gegenüber einem anderen Körper verändert. Man sagt: Der Körper bewegt sich relativ zu dem anderen Körper. Dieser zweite Körper, auf den man sich bei der Beschreibung des Bewegungsvorganges bezieht, heißt *Bezugssystem*.

Bei jeder Bewegung eines Körpers läßt sich somit auch immer ein Bezugssystem finden oder ein Bezugssystem angeben, demgegenüber sich der Körper in Ruhe befindet. Beispielsweise ist ein im Gepäcknetz eines fahrenden Eisenbahnzuges befindlicher Koffer relativ zum Zug in Ruhe, relativ zur Erdoberfläche in Bewegung. Im allgemeinen ist das Bezugssystem fest mit der Erde verbunden. Das wird meist nicht besonders erwähnt. Man bezeichnet daher einen Körper als **in Ruhe** befindlich, wenn er sich relativ zur Erdoberfläche nicht bewegt.

In Wirklichkeit sind alle gegenüber der Erdoberfläche ruhenden Körper in bezug auf das Sonnensystem in Bewegung. Auch die Sonne ist nicht in Ruhe; sie bewegt sich mit großer Geschwindigkeit durch den Weltraum. Es gibt kein Bezugssystem, das sich absolut in Ruhe befindet.

► **Alles in der Natur ist in ständiger Bewegung.**

Die Geschwindigkeit als vektorielle Größe



Um eine Bewegung beschreiben zu können, muß man als erstes die Bahn des sich bewegenden Körpers ermitteln. Weiterhin müssen die Länge des zurückgelegten Weges und die Zeitdauer der Bewegung bekannt sein.

Bahn, Weg und Zeit stellen die Bestimmungsstücke oder Kenngößen einer Bewegung dar. Diese drei Kenngößen sind in dem einen physikalischen Begriff Geschwindigkeit zusammengefaßt. Die Geschwindigkeit gibt den jeweiligen Bewegungszustand eines Körpers an, nämlich die Richtung und den Betrag.

Die Geschwindigkeit ist die physikalische Größe, die den Bewegungszustand eines Körpers angibt. Sie ist eine vektorielle Größe.

17/1

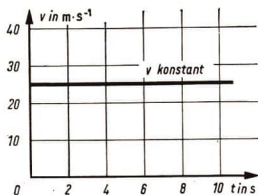
Die geradlinig gleichförmige Bewegung

Für die geradlinig gleichförmige Bewegung ist der Geschwindigkeitsvektor konstant.

Für den Betrag der Geschwindigkeit gilt:

Die Geschwindigkeit v ist der Quotient aus zurückgelegtem Weg s und der benötigten Zeit t .

$$v = \frac{s}{t}$$



Eine besonders übersichtliche Darstellung von Bewegungsvorgängen erhält man durch Diagramme.

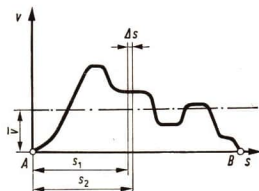
Bild 17/2 gibt das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm der gleichförmigen Bewegung eines Eisenbahnzuges wieder. Die Gerade verläuft parallel zur Zeitachse. Die Geschwindigkeit ändert sich nicht. $v = \text{konstant}$.

Einheiten der Geschwindigkeit sind z. B.: $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ und $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

In der Seefahrt ist als Geschwindigkeitseinheit auch der Knoten (kn) zulässig. Er beruht auf der Seemeile (sm) als Einheit des Weges.

$1 \text{ kn} = 1 \text{ sm} \cdot \text{h}^{-1}$ bzw. $1,852 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

17/2



Die mittlere Geschwindigkeit

In der Natur läuft kaum ein Vorgang völlig gleichförmig ab. Das gilt auch für Bewegungsvorgänge. Aber auch die technischen Bewegungsvorgänge verlaufen trotz größtmöglicher Präzision ungleichförmig, wie man bei genauen Untersuchungen feststellen kann. Die Ursache für die

17/3

Ungleichförmigkeit der Bewegungen ist das ständige Einwirken von Kräften auf die bewegten Körper.

Sehr häufig wird ein bestimmter Bewegungsablauf, zum Beispiel vom Zeitpunkt t_1 bis Zeitpunkt t_2 ($\Delta t = t_2 - t_1$) oder auf dem Wege $\Delta s = s_2 - s_1$, durch die sogenannte *mittlere Geschwindigkeit* gekennzeichnet. Hierzu berechnet man die Geschwindigkeit, die der Körper bei gleichförmiger Bewegung haben würde, ohne also dabei die einzelnen Geschwindigkeitsänderungen zu berücksichtigen.

Die mittlere Geschwindigkeit v ergibt sich als Quotient aus dem Gesamtweg s und der benötigten Gesamtzeit t :

$$v = \frac{s}{t}$$

Zur Überwachung des Straßenverkehrs werden von der Verkehrspolizei Geschwindigkeitskontrollen durchgeführt. Dazu wird eine Meßstrecke von z. B. 125 m gewählt und die Durchfahrzeit bei höchstzulässiger Geschwindigkeit von z. B. $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ bestimmt.

Gegeben:

Lösung:

$$v = 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{50\,000 \text{ m}}{3\,600 \text{ s}}$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$s = 125 \text{ m}$$

$$t = \frac{125 \text{ m} \cdot 3600 \text{ s}}{50\,000 \text{ m}}$$

Gesucht:

$$t = 9 \text{ s}$$

t

Alle Fahrzeuge, die weniger als 9 s zum Durchfahren der Strecke benötigen, fahren schneller, als es zulässig ist.

Die Augenblicksgeschwindigkeit

Aus Bild 17/3 ist ersichtlich, daß zu bestimmten Zeitpunkten andere Geschwindigkeiten auftreten können als die mittlere Geschwindigkeit.

Um die Augenblicksgeschwindigkeit v zu bestimmen, muß zum Messen die Zeitspanne Δt sehr klein gewählt werden. Dann ist auch die Meßstrecke Δs sehr klein. Es gilt für die Augenblicksgeschwindigkeit

$$v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \text{ oder } v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (\Delta t \text{ ist sehr klein!})$$

Die Augenblicksgeschwindigkeit wird z. B. am Tachometer angezeigt.

Die Addition von Geschwindigkeiten

Bei Bewegungen gilt der Satz von der Unabhängigkeit der Bewegungen.

Führt ein Körper mehrere Bewegungen gleichzeitig aus, so überlagern sich die Einzelbewegungen, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen.

Die Gültigkeit dieses Satzes ist im Experiment geprüft worden.

Ein Segelflugzeug besitzt eine (vertikale) Sinkgeschwindigkeit von $v_1 = -0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Es befindet sich während eines Fluges in einem Strom vertikal aufsteigender Warmluft mit einer Geschwindigkeit von $v_2 = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Welche Vertikalgeschwindigkeit hat das Segelflugzeug?

$$\begin{aligned} v &= v_1 + v_2 \\ v &= -0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} + 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ v &= +1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Das Segelflugzeug steigt mit einer Geschwindigkeit von $1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Ein Flugzeugführer erfährt vor Antritt eines Fluges, daß er auf seiner Flugstrecke von A nach B, die 85 km lang ist, eine Flugzeit von 30 min einhalten muß und daß er Seitenwind von $45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ rechtwinklig zur Flugstrecke haben wird. Mit welcher Geschwindigkeit muß der Flugzeugführer fliegen?

Lösung:

Bekannt ist die Geschwindigkeit \vec{v} . Die Richtung ist durch die Flugstrecke von A nach B, der Betrag durch die vorgegebene

Bedingung gegeben: $v = \frac{85 \text{ km}}{0,5 \text{ h}} = 190 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Die Geschwindigkeit \vec{v} setzt sich aus der unbekanntes Geschwindigkeitskomponente \vec{v}_1 , die der Flugzeugführer bei seinem Flug einzuhalten hat, und der Komponente \vec{v}_2 , die durch den Seitenwind hervorgerufen wird, zusammen:

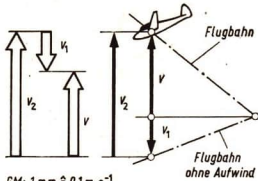
$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Das Aufzeichnen des Geschwindigkeitsdreiecks bringt die grafische Lösung des Problems.

Für die Geschwindigkeitsbeträge gilt:

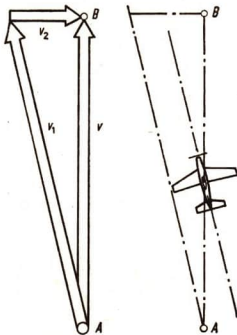
$$\begin{aligned} v_1 &= \sqrt{v^2 + v_2^2} \\ v_1 &= \sqrt{190^2 \text{ km}^2 \cdot \text{h}^{-2} + 45^2 \text{ km}^2 \cdot \text{h}^{-2}} \\ v_1 &= \sqrt{38125 \text{ km}^2 \cdot \text{h}^{-2}} \\ v_1 &\approx 195 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

Es muß eine Fluggeschwindigkeit von etwa $195 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ in der gefundenen Richtung eingehalten werden.



GM: $1 \text{ mm} \approx 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

19/1



GM: $1 \text{ mm} \approx 3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

19/2

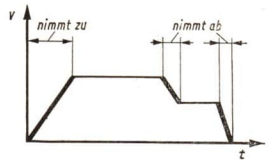


Die Beschleunigung

Ein Zug fährt ab. Der Lokführer schaltet auf Vollgas, und der Zug setzt sich in Bewegung. Er fährt immer schneller. Die Ursache dafür ist die Zugkraft der Diesellok. Unter der Einwirkung der Zugkraft verändert der anführende Zug seine Geschwindigkeit.

Die Änderung des Bewegungszustandes

In Bild 17/2 war die Geschwindigkeit einer geradlinig gleichförmigen Bewegung betrachtet worden. Sie hat einen über die gesamte Strecke gleichbleibenden Betrag. Viel häufiger sind aber die Fälle, bei denen die Geschwindigkeit nicht immer gleich bleibt, wo sich also Richtung beziehungsweise Betrag der Geschwindigkeit ändern. Zum Beispiel wechselt ein Fahrzeug sehr oft die Geschwindigkeit. Im Bild 20/2 sind mehrere Teile einer Geschwindigkeitskurve besonders gekennzeichnet. Es handelt sich um die Abschnitte, in denen der Wechsel von einem Betrag der Geschwindigkeit zu einem anderen stattfindet.



20/2

In der Natur und auch bei allen technischen Wirkungsabläufen gibt es keine spontanen Veränderungen oder Vorgänge, die nicht auf eine Ursache zurückzuführen sind. Wenn z. B. die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges geändert werden soll, dann muß eine Kraft auf das Fahrzeug ausgeübt werden. Je schneller oder je „plötzlicher“ die Veränderungen vor sich gehen sollen, um so größer muß die einwirkende Kraft sein.

- ☛ Welche Kräfte können die Geschwindigkeit eines Eisenbahnzuges verringern?

Ist die Geschwindigkeitsänderung je Zeiteinheit von Zeitpunkt zu Zeitpunkt immer gleich, so wird diese Bewegung als *gleichmäßig beschleunigt* bezeichnet. Um die Änderung der Geschwindigkeit beschreiben zu können, hat man den Begriff **Beschleunigung** a eingeführt. Die Beschleunigung wirkt in Bewegungsrichtung; sie ist eine vektorielle Größe.

Unter Beschleunigung a versteht man den Quotienten aus der Geschwindigkeitsänderung Δv und der dazugehörigen Zeit Δt

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad (\text{Geschwindigkeitsänderung in der Zeit } \Delta t)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (\text{Zeitdauer der Geschwindigkeitsänderung})$$

Ein PKW fährt mit einer Geschwindigkeit von $75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ hinter einem LKW. Zum Überholen des Lastkraftwagens benötigt der PKW-Fahrer eine Zeit von 5 Sekunden, wobei die Geschwindigkeit zum Schluß des Überholens $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ beträgt. Wie groß ist die Beschleunigung, die dem Fahrzeug erteilt wurde?

Gegeben:

$$v_1 = 75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$v_2 = 90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\Delta t = 5 \text{ s}$$

Gesucht:

a

Lösung:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

$$a = \frac{(90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} - 75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 5 \text{ s}}$$

$$a \approx \underline{\underline{0,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

Wenn ein Fahrzeug abgebremst wird, dann verringert sich die Geschwindigkeit v . Eine solche Verzögerung wird als negative Beschleunigung bezeichnet. Die Beschleunigung erhält somit ein negatives Vorzeichen.

Ein Radfahrer fährt mit einer Geschwindigkeit von $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Vor einem Hindernis bringt er sein Fahrrad innerhalb von 4 Sekunden zum Stillstand. Wie groß ist die Verzögerung?

Gegeben:

$$v_1 = 18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$v_2 = 0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\Delta t = 4 \text{ s}$$

Gesucht:

a

Lösung:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

$$a = \frac{(0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} - 18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 4 \text{ s}}$$

$$a = \underline{\underline{-1,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

Wenn bei einer beschleunigten Bewegung die Größen v_1 und t_1 gleich Null sind, d.h., der Beschleunigungsvorgang beginnt mit dem Zustand der Ruhe, dann erhält man folgende Gleichungen:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}, a = \frac{v_2}{t_2}$$

Schreibt man für v_2 und t_2 einfach v und t , so erhält man für die Beschleunigung

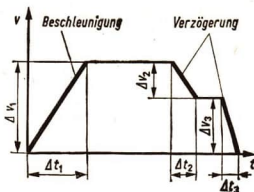
$$a = \frac{v}{t}$$

Durch Umformen erhält man eine Gleichung für das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung:

Die Geschwindigkeit ist gleich dem Produkt aus Beschleunigung und Zeit.

$$v = a \cdot t$$

Im Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm (Bild 22/1) ist die beschleunigte Bewegung als ansteigende Geschwindigkeitskurve und die verzögerte Bewegung als fallende Geschwindigkeitskurve zu erkennen.

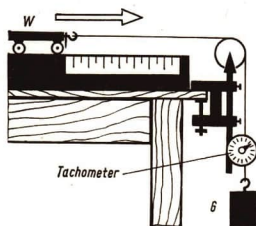


22/1

Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Wirkt auf einen Körper nur eine konstante Kraft, so bewegt sich der Körper geradlinig vorwärts. Seine Geschwindigkeit wird dabei immer größer.

Ein Wagen wird durch eine Kraft G gleichmäßig beschleunigt. Es wird der Weg s in Abhängigkeit von der Zeit t gemessen. Gleichzeitig soll die Geschwindigkeit v mit einem Tachometer gemessen werden.



In einem Versuch wurden folgende Werte ermittelt (gerundete Mittelwerte aus jeweils 5 Messungen):

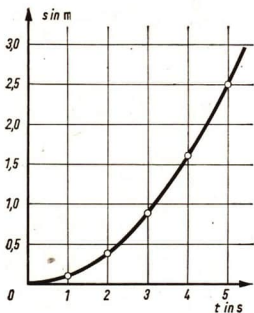
Gemessene Werte			Errechnete Werte		
1	2	3	4	5	6
Zeit t in s	Weg s des Wagens in m	Geschwindigkeit v in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Beschleunigung a in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	t^2 in s^2	$\frac{s}{t^2}$ in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
0	0,0	0,0	0,2	0	0,1
1	0,1	0,2	0,2	1	0,1
2	0,4	0,4	0,2	4	0,1
3	0,9	0,6	0,2	9	0,1
4	1,6	0,8	0,2	16	0,1

Durch Vergleich der Spalten 2 und 5 erkennt man, daß der Weg proportional dem Quadrat der Zeit ist (Bild 23/1):

$$s \sim t^2.$$

Der Quotient $\frac{s}{t^2}$ ergibt einen konstanten Wert k :

$$\frac{s}{t^2} = k \text{ oder } s = k \cdot t^2$$



23/1 Weg-Zeit-Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Auch die Beschleunigung während des Versuchsablaufs hat einen bestimmten Wert, nämlich

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}, \quad a = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Ein Vergleich der Beschleunigung a mit dem Faktor k (Spalten 4 und 6) ergibt

$$k = \frac{a}{2}$$

Somit erhält man das

Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung:

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

Welche Gleichung ergibt sich hieraus für die Beschleunigung a ?

Der Anfang einer Rodelbahn ist auf einer Länge von 100 m geradlinig und gleichmäßig geneigt. Ein Schlitten durchfährt diesen Teil der Bahn in 10 s. Welche Geschwindigkeit in $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ erreicht der Fahrer, wenn es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt?

Gegeben:

$$s = 100 \text{ m}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

Gesucht:

v

Lösung:

$$v = a \cdot t$$

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

daraus folgt

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

$$v = \frac{2s}{t}$$

$$v = \frac{2 \cdot 100 \text{ m}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Nebenrechnung:

Umrechnung in $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$:

$$20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{km}}{\frac{1}{3600} \text{h}}$$

$$\underline{\underline{20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 72 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}}}$$

Der Fahrer erreicht mit seinem Schlitten nach 10 s eine Geschwindigkeit von $72 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Der freie Fall

Wir wissen aus unserer Erfahrung: Alle Körper im Anziehungsbereich der Erde unterliegen der Schwerkraft. Mit den Kenntnissen über die Beschleunigung muß man annehmen, daß jeder fallende Körper unter dem Einfluß dieser Schwerkraft eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ausführt. Das ist eine Hypothese.

Die Hypothese dient als Richtschnur für weitere Überlegungen und für den Aufbau von Versuchsreihen. Sie nimmt größere Wahrscheinlichkeit an, wenn sie durch Versuchsergebnisse immer wieder bestätigt wird.

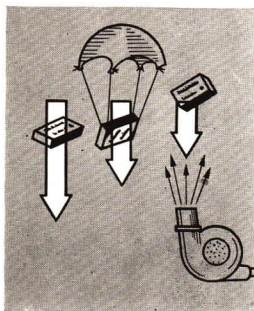
Besteht kein Zweifel mehr an der Richtigkeit einer solchen Annahme, so wird die Hypothese zur **Theorie**.

Stehen einzelne Versuchsergebnisse im Widerspruch zur Annahme, so muß geprüft werden, welche anderen gleichzeitig wirkenden Faktoren das Ergebnis beeinflussen können. Diese Faktoren sind in neuen Versuchsreihen auszuschließen. Nach diesem Verfahren wird das erwartete Ergebnis immer mehr eingegrenzt, bis die Wahrscheinlichkeit besteht, daß ein unverfälschtes Ergebnis vorliegt.

7
 Durch Versuchsreihen soll geprüft werden, ob auf einen fallenden Körper außer der Schwerkraft noch weitere Kräfte einwirken. Man läßt eine Streichholzschachtel zu Boden fallen und ermittelt die Fallzeit.

Danach befestigt man die Schachtel an einem Seidenpapierschirm, entnimmt der Schachtel soviel an Masse, wie durch den Schirm hinzugefügt wurde und ermittelt erneut die Fallzeit. Sie ist größer. Die Fallzeit ist auch größer, wenn man einen Luftstrom der fallenden Schachtel entgegenrichtet.

Ergebnis: Der Luftwiderstand wirkt als zusätzliche Kraft der Fallbewegung entgegen und bewirkt eine Verlängerung der Fallzeit,



24/1

Erfolgt die Fallbewegung eines Körpers völlig ungehindert, allein durch das Einwirken der Schwerkraft auf den Körper, so wird die Bewegung als **freier Fall** bezeichnet.

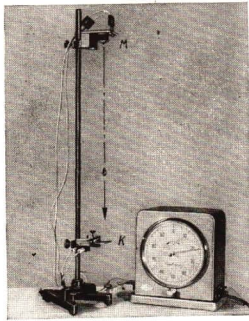
Man kann die Gesetzmäßigkeit des freien Falles von Körpern exakt nur im luftleeren Raum, im luftgefüllten Raum nur angenähert und mit luftwiderstandsarmen Körpern auf kurzen Fallstrecken ermitteln.

Somit gelten nur für den freien Fall die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Die Beschleunigung nimmt beim freien Fall einen ganz bestimmten Wert an. Man bezeichnet ihn mit dem Buchstaben g und nennt ihn die **Fallbeschleunigung**.

Die Gesetze des freien Falls lauten dann:

Weg-Zeit-Gesetz:	$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$
Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz:	$v = g \cdot t$
Geschwindigkeit-Weg-Gesetz ¹ :	$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s}$

¹ $t = \frac{v}{g}$; $t^2 = \frac{2s}{g}$; quadriert man die erste Gleichung und setzt t^2 gleich, so folgt $\frac{v^2}{g^2} = \frac{2s}{g}$ und $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s}$.



25/1 Bestimmung der Fallbeschleunigung g mit Hilfe einer Demonstrationsstoppuhr. Bei Betätigung des Schalters gibt der Haltemagnet M die Kugel frei. Gleichzeitig beginnt die Uhr zu laufen. Die auf dem Kontakt K auftreffende Kugel stoppt die Uhr

Die Fallbeschleunigung läßt sich annähernd durch den in Bild 25/1 beschriebenen Versuch ermitteln. Da die Schwerkraft vom Ort abhängig ist, ist auch die beim freien Fall auftretende Beschleunigung ortsabhängig. So ist zum Beispiel wegen der Abplattung der Erde an den Polen die Fallbeschleunigung dort größer als am Äquator. In vielen Fällen ist es jedoch ausreichend, mit einem international festgelegten Normwert zu rechnen.

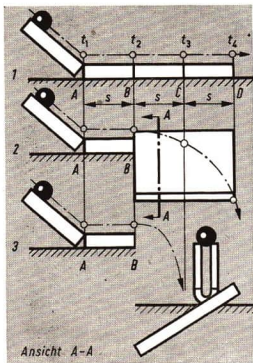
Der Wert für die Fallbeschleunigung (auch Erd- oder Schwerebeschleunigung) beträgt $9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Der gerundete Wert ist

$$g \approx 9,81 \text{ ms}^{-2}.$$

25/2 Abhängigkeit der Fallbeschleunigung vom Ort

Beispiel	Höhe	g in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Äquator	0	9,78
Pol	0	9,83
Mount Everest	8840 m	9,65
	300 km	8,96
	über der Erde	
	40000 km	0,19
	über der Erde	



25/3

Zusammengesetzte Bewegungen

Alle Bewegungen, die komplizierter sind als die bisher besprochenen, lassen sich aus einfacheren Bewegungsabläufen zusammensetzen. Die Begründung dafür geht auf den Satz von der Unabhängigkeit der Bewegungen (s. Seite 19) zurück.

Angenähert kann man eine zusammengesetzte Bewegung nach folgendem Versuch herbeiführen.

Einer Kugel wird eine Geschwindigkeit v erteilt, die infolge der geringen Reibungskräfte über die Teilstrecke s hinweg annähernd gleich bleibt (Bild 25/3-1). Läßt man daraufhin die Kugel beim Punkt B auf ein quer zur Bewegungsrichtung geneigtes Brett rollen, dann erhält die Kugel infolge der Hangabtriebskraft eine ungleichförmige (beschleunigte) Bewegung quer zur ursprünglichen Bewegungsrichtung.

Beide Bewegungen werden von der Kugel gleichzeitig ausgeführt, ohne daß dadurch die einzelnen Bewegungen gestört werden; das zeigt der Vergleich mit dem Versuch 25/3-3 ohne geneigtes Brett.

Die *Wurfbewegungen* sind immer zusammengesetzt aus einer geradlinigen gleichförmigen Bewegung (ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes) und aus der gleichmäßig beschleunigten Bewegung des freien Falls.

Je nach der Richtung des geradlinigen gleichförmigen Bewegungsanteils unterscheidet man den *senkrechten Wurf nach oben*, den *senkrechten Wurf nach unten*, den *waagerechten Wurf* und den *schrägen Wurf*.

Für den Wurf senkrecht nach oben oder nach unten gelten folgende Beziehungen:

Größe	Gleichförmige Bewegung	Freier Fall	Lotrechter Wurf	
			nach unten	nach oben
Geschwindigkeit	v_0	$v = g \cdot t$	$v = v_0 + g \cdot t$	$v = v_0 - g \cdot t$
Weg	$s = v_0 \cdot t$	$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$	$s = v_0 \cdot t + \frac{g}{2} \cdot t^2$	$s = v_0 \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2$
Zeit	$t = \frac{s}{v}$	$t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$	$t = \frac{v_0 - v}{g}$	$t = \frac{v_0}{g}$

Hieraus erhält man eine Gleichung für die Steighöhe.

Da $t = \frac{v_0}{g}$ ist, erhält man durch Einsetzen

$$v_0 \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2 = v_0 \cdot \frac{v_0}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v_0^2}{g^2}$$

$$s = \frac{v_0^2}{g} - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{g}$$

$$s = \frac{v_0^2}{2g}$$

Bei den Wurfbewegungen gibt die Richtung der Geschwindigkeit \vec{v}_0 der geradlinigen gleichförmigen Bewegung die *Anfangsrichtung*, der Betrag von \vec{v}_0 die *Anfangsgeschwindigkeit* deswurfes an.

■ Eine mechanische Handramme wird bei jedem Arbeitsgang 30 cm nach oben geschleudert. Wieviel Rammstöße können mit dieser Ramme in der Minute im Höchstfalle erzielt werden?

Gegeben:

Steighöhe $s = 0,3 \text{ m}$
 $g = 10 \text{ ms}^{-2}$

(T : Zeit für den gesamten Arbeitsgang)

t' : Fallzeit der Ramme

t : Steigzeit der Ramme

Gesucht:

Anzahl der Arbeitsgänge
 je Minute



Lösung:

$$T = t + t'$$

$$t = \frac{v_0}{g}$$

$$t' = \sqrt{\frac{2s}{g}}$$

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot s \cdot g} \text{ also } t = \frac{\sqrt{2 \cdot s \cdot g}}{g}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}} = t'$$

Bei einem Wurf nach oben sind die Steigzeit und die Fallzeit gleich!

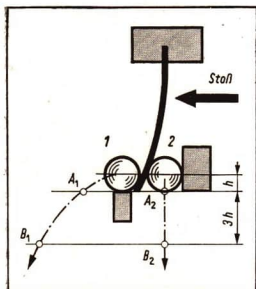
$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^2}{10 \text{ m}}}$$

$$t \approx 0,25 \text{ s}$$

$$T \approx 0,5 \text{ s}$$

Mit dieser Ramme werden in einer Minute höchstens 120 Arbeitsgänge erzielt.

Die zusammengesetzte Bewegung des waagerechten Wurfes läßt sich folgendermaßen veranschaulichen:



27/1

Mittels einer Versuchsanordnung nach Bild 27/1 können die senkrecht durchfallenen Strecken der beiden Teilbewegungen miteinander verglichen werden. In gleichen Zeiten sind die Fallstrecken beim waagerechten Wurf (Kugel 1) und beim freien Fall (Kugel 2) gleich groß.

Um zu untersuchen, mit welcher Anfangsgeschwindigkeit ein Fußball nach dem Stoß fortfliegt, wurde dieser von einer Plattform, die erhöht liegt ($s_h = 2,5 \text{ m}$), waagrecht weggeschossen. Der Ball flog 14 m weit.

Errechnen Sie die Anfangsgeschwindigkeit!

Gegeben:

$$s_h = 2,5 \text{ m}$$

$$s = 14 \text{ m}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Gesucht:

$$v_0$$

Lösung:

$$s = v_0 \cdot t$$

$$v_0 = \frac{s}{t}$$

$$v_0 = \frac{14 \text{ m}}{0,7 \text{ s}}$$

$$v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_0 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$t \approx 0,7 \text{ s}$$

Nebenrechnung:

$$s_h = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

$$t^2 = \frac{2 \cdot s_h}{g}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s_h}{g}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^2}{10 \text{ m}}}$$

Fragen und Aufträge – Mechanik
11 bis 23 (S. 117)

Versuche – Mechanik
6 bis 10 (S. 120)

Die Anfangsgeschwindigkeit des Fußballs beträgt etwa $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

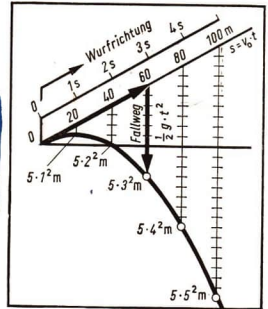
Bei einem *schrägen Wurf* wird der Körper unter einem beliebigen Winkel α zur Waagerechten geworfen. Auch hier erhält man, ähnlich wie bei dem waagerechten Wurf, die Bahn der Wurfbewegung, der gleichförmig geradlinigen Bewegung und der Fallbewegung.

Die Bahnkurven bei waagerechten oder bei schrägen Würfen sind Parabeln.

10

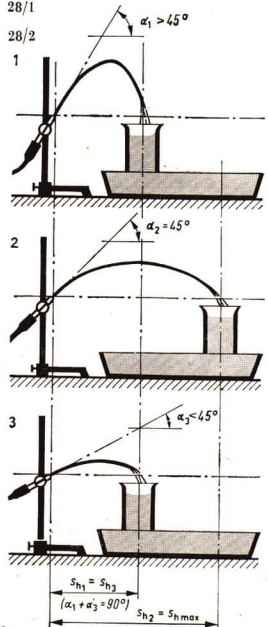
Untersucht man mittels eines Wasserstrahls die Wurfweite und die Steighöhe in Abhängigkeit vom Steigungswinkel, so kommt man zu folgendem Ergebnis (Bild 28/2):

1. Die Wurfweite und die Steighöhe sind von der Anfangsgeschwindigkeit und von dem Steigungswinkel abhängig.
2. Die größte Wurfweite wird bei dem Steigungswinkel $\alpha = 45^\circ$ erreicht.
3. Bei Steigungswinkeln, die sich zu 90° ergänzen ($\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$), erhält man gleiche Wurfweiten.

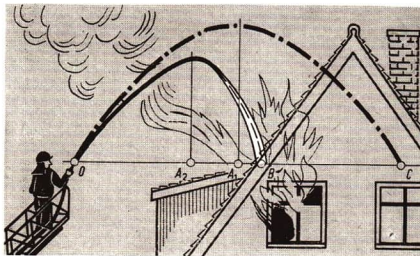


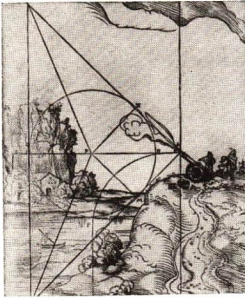
28/1

28/2



28/3 Die Bahn des Wasserstrahls ist durch den Einfluß des Luftwiderstandes etwas verkürzt.





29/1 Vorstellung von der Geschößflugbahn im Mittelalter
TARTAGLIA läßt für Anfang und Ende der Flugbahn noch geradlinige Stücke zu

Die Entdeckung der Fallgesetze

Bis weit in das Mittelalter hinein gab es einen Stillstand in der Entwicklung der Naturwissenschaften. „Die Wissenschaft war die Magd der Theologie“, das heißt, der Theologie kam in allen Fragen das letzte Wort zu. Dadurch sollte verhindert werden, daß durch die Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschung berechnete Zweifel an der Richtigkeit religiöser Glaubenssätze und der biblischen Darstellung aufkamen. Die sich herausbildenden neuen kapitalistischen Produktionsverhältnisse führten in der Renaissance zu einer verstärkten Beschäftigung mit technischen und naturwissenschaftlichen Problemen. Die Bourgeoisie als aufstrebende Klasse gegenüber dem Feudaladel benutzte die kopernikanische Anschauung vom Aufbau des Sonnensystems mit den Planeten. Damit machte sie sich frei von den Dogmen der römisch-katholischen Kirche. Jedoch mußten die Einwände gegen das kopernikanische Weltssystem mit der sich um die Sonne drehenden Erde beseitigt werden.

Beispielsweise war eine Erklärung notwendig, warum durch die sich drehende Erde kein Sturm entsteht und warum ein hochgeworfener Gegenstand gegenüber der Erde nicht zurückbleibt. Es galt daher, zum Beispiel die Gesetze des freien Falls zu untersuchen. Den Ausgangspunkt für die Entwicklung der Dynamik bildeten aber die praktischen Erfordernisse des Geschützwesens, das damals immer größere Bedeutung erlangte.

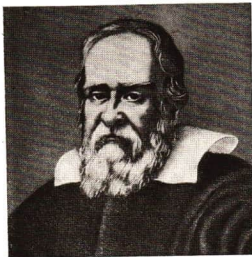
NICOLA TARTAGLIA (1499 bis 1559) widerlegte zum Beispiel die scholastische Ansicht, daß eine Kanonenkugel sich zuerst geradlinig bewegt, dann stehenbleibt und senkrecht nach unten fällt. Er wagte es aber nicht, den damaligen Ansichten voll zu widersprechen.

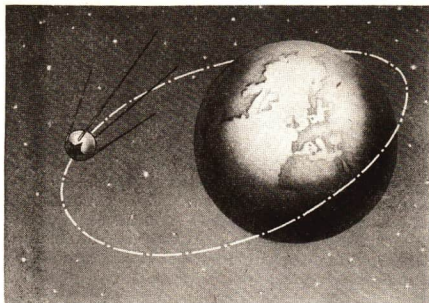
Als einer der ersten trat der große italienische Gelehrte GALILEO GALILEI gegen die Scholastiker auf. Er wurde 1564 in Pisa geboren. Mit 25 Jahren erhielt er eine Professur an der Universität Pisa. Von 1592 bis 1609 lehrte GALILEI an der Universität Padua. Von größter Bedeutung sind vor allem seine Untersuchungen über die Bewegungsgesetze, die 1638 veröffentlicht wurden. Bereits um 1590 hatte GALILEI die Lehre des ARISTOTELES, daß die Körper um so schneller fallen, je schwerer sie sind, angegriffen.

Zur Begründung seiner Behauptung, daß beim freien Fall alle Körper gleich schnell fallen, führte GALILEI am schiefen Turm zu Pisa Fallversuche durch. Aber die Anhänger des ARISTOTELES glaubten eher den Büchern als den Versuchen. Da GALILEI theoretisch nachweisen konnte, daß für die Bewegung auf der geneigten Ebene ähnliche Verhältnisse gelten müssen, bestätigte er die Gesetze an einer Fallrinne. Die von ihm beschriebenen Versuche stellen noch heute eine Glanzleistung der Experimentierkunst dar. Man muß vor allem bedenken, daß ihm dazu keine Uhren im heutigen Sinne zur Verfügung standen!

Wegen der Verbreitung seiner naturwissenschaftlichen Erkenntnisse wurde er vor ein Inquisitionsgericht gestellt und zu langjähriger Haft verurteilt.

29/2 GALILEO GALILEI (1564 bis 1642)





Die Grundgesetze der Mechanik

1678 erschienen „Die mathematischen Prinzipien der Naturwissenschaft“ des englischen Physikers ISAAC NEWTON. Dieses Buch enthält auch die Gesetzmäßigkeiten der Mechanik der Himmelskörper. Am 4. Oktober 1957 kreiste der sowjetische Sputnik I als erster künstlicher Himmelskörper um die Erde.

ISAAC NEWTON beschreibt unter anderem drei Gesetze, die von grundlegender Bedeutung für die Mechanik sind.

Das Trägheitsgesetz

Wenn der Bewegungszustand eines Körpers geändert werden soll, dann muß eine Kraft auf den Körper einwirken. Der Körper setzt der Bewegungsänderung einen Widerstand entgegen.

Diese Eigenschaft, einer Bewegungsänderung einen Widerstand entgegenzusetzen, besitzen alle Körper. Man bezeichnet sie als Trägheit.

- *Nennen Sie Beispiele, bei denen die Trägheit der Körper wirksam wird!*

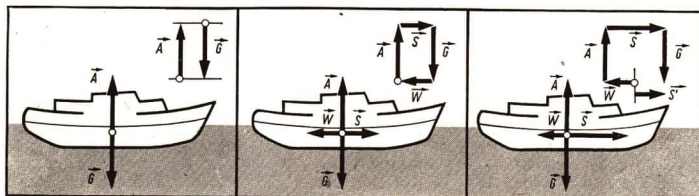
Der Begriff Trägheit stammt von GALILEI, aber erst ISAAC NEWTON erkannte die Trägheit als Eigenschaft aller Körper. Er hat den Schluß gezogen, daß ein Körper, auf den keine Kraft einwirkt, in seinem Bewegungszustand beharrt. Diese Erkenntnis wurde in dem Trägheitssatz zusammengefaßt:

Jeder Körper beharrt in Ruhe oder in geradlinig gleichförmiger Bewegung, solange die Resultierende aller einwirkenden Kräfte Null ist.

Durch Umkehrung des Trägheitsgesetzes erhält man den Satz:

- ▷ **Wirkt nur eine Kraft auf einen frei beweglichen Körper ein, so ändert dieser seinen Bewegungszustand.**

Eine Änderung des Bewegungszustandes erfolgt beispielsweise dann, wenn ein Körper beschleunigt wird. Bei einem am Landungssteg festgemachten Schiff wirken nur Gewicht G und Auftriebskraft A . Die Kräfte heben einander auf. Das Schiff bleibt relativ zum Landungssteg in Ruhe (Bild 31/1a).



31/1a

31/1b

31/1c

Während der Fahrt wirken am Schiff Gewicht G und Auftriebskraft A , Schubkraft S und Wasserwiderstandskraft W . Die Kräfte heben einander auf. Das Schiff bleibt relativ zum Landungssteg in gleichförmiger Bewegung (Bild 31/1b). Beim Anfahren wirken auf das Schiff Gewicht und Auftriebskraft, Schubkraft S und Wasserwiderstandskraft W . Da $S > W$ ist, erfolgt eine Beschleunigung, d. h. Änderung des Bewegungszustandes (Bild 31/1c).

Die Ursache einer Beschleunigung oder Verzögerung ist stets eine Kraft.

Die Masse

Alle Körper besitzen eine Reihe von Kenngrößen. Dazu gehört neben dem Volumen auch die Masse. Durch die physikalische Größe Masse werden zwei Eigenschaften der Körper erfasst:

1. Alle Körper sind schwer.

Alle Körper haben ein Gewicht. Diese Kraft ist auf die Eigenschaft der Masse, schwer zu sein („schwere Masse“), zurückzuführen. Ein Körper von der Masse 1 kg wirkt in unseren Breitengraden mit einer Kraft von 1 kp auf seine Unterlage. Ein Körper von der Masse 1 kg, der sich etwa 40 000 km über der Erde befindet, hat ein Gewicht von 0,2 kp. Ein Körper von der Masse 2 kg hat am gleichen Ort das doppelte Gewicht. Masse und Gewicht sind am gleichen Ort proportional, es gilt $m \sim G$.

2. Alle Körper sind träge.

Die Änderung des Bewegungszustandes wird durch eine Kraft verursacht. Die dadurch auftretende Beschleunigung ist abhängig von der Masse („träge Masse“).

Um die Massen verschiedener Körper miteinander vergleichen oder messen zu können, hat man ein Urmaß für die Masse geschaffen. Es ist ein Platin-Iridium-Zylinder bestimmter Abmessungen (Bild 32/1).

▷ Die Einheit der Masse ist das Kilogramm

Vielfache und Teile der Einheit der Masse sind die Tonne (t), die Dezitonne (dt), das Gramm (g), das Milligramm (mg)

$$\begin{aligned} 1 \text{ t} &= 1000 \text{ kg} = 10^3 \text{ kg} & 1 \text{ kg} &= 1000 \text{ g} = 10^3 \text{ g} \\ 1 \text{ dt} &= 100 \text{ kg} = 10^2 \text{ kg} & 1 \text{ g} &= 1000 \text{ mg} = 10^3 \text{ mg} \end{aligned}$$

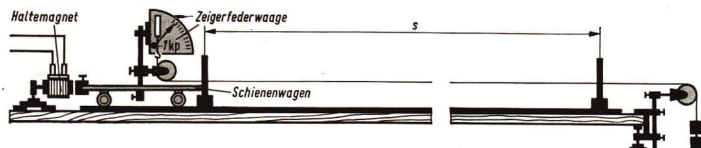


32/1

Das Beschleunigungsgesetz

Die quantitativen Zusammenhänge zwischen der Masse eines Körpers, den wirkenden Kräften und der Beschleunigung lassen sich durch folgenden Versuch ermitteln (Bild 32/2).

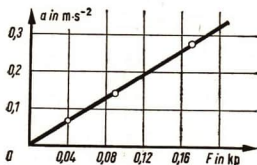
32/2



32/3 Abhängigkeit der Beschleunigung von der wirkenden Kraft¹ bei konstanter Masse

Beschleunigte Masse m	Wirkende Kraft F	Fahrstrecke s	Fahrzeit t	Beschleunigung $a = \frac{2s}{t^2}$	Quotient $\frac{a}{F}$
in kg	in kp	in m	in s	in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kp}^{-1}$
6	0,17	2,00	3,8	0,277	1,63
6	0,09	2,00	5,3	0,143	1,59
6	0,04	2,00	7,6	0,069	1,73

¹ Die Federwaage zeigt außer der beschleunigenden Kraft \vec{F} auch die zur Überwindung der Reibungskraft notwendige Kraft \vec{R} an, d. h. insgesamt $\vec{F} + \vec{R}$. Die Reibungskraft muß vorher gesondert bestimmt werden.



33/1 Abhängigkeit der Beschleunigung von der wirkenden Kraft F ($m = \text{const}$)

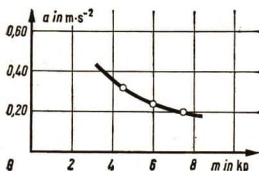
Der Quotient aus $\frac{a}{F}$ ist konstant. Zwischen der Beschleunigung und der Kraft besteht also direkte Proportionalität. Die grafische Darstellung ergibt eine Gerade (Bild 33/1).

Bei konstanter Masse ist die Beschleunigung a der einwirkenden Kraft F proportional. $a \sim F$.

Bei einer zweiten Versuchsreihe wird die Kraft konstant gehalten. Die Wagenmasse wird durch Auflegen von zusätzlichen Körpern geändert:

Wirkende Kraft F	Wagenmasse m	Fahrstrecke s	Fahrzeit t	Beschleunigung $a = \frac{2s}{t^2}$	Produkt $m \cdot a$
in kp	in kg	in m	in s	in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	in $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
0,15	4,5	2,00	3,6	0,31	1,40
0,15	6,0	2,00	4,1	0,24	1,44
0,15	7,5	2,00	4,5	0,20	1,50

33/2 Abhängigkeit der Beschleunigung von der beschleunigten Masse bei konstanter Kraft



33/3 Abhängigkeit der Beschleunigung von der Masse bei konstanter Kraft

Das Produkt aus Masse und Beschleunigung ist konstant. Daraus folgt, daß Beschleunigung und Masse einander umgekehrt proportional sind. Die grafische Darstellung zeigt folgenden Kurvenverlauf (Bild 33/3).

Bei konstanter Kraft ist die Beschleunigung a der Masse m umgekehrt proportional. $a \sim \frac{1}{m}$

Aus den Ergebnissen der beiden Versuchsreihen zur Beschleunigung von Körpern $a \sim F$ und $a \sim \frac{1}{m}$ ergibt sich somit folgende Abhängigkeit:

Durch eine Kraft wird eine Beschleunigung verursacht. Sie erfolgt in Krafrichtung und ist der Kraft direkt, der Masse umgekehrt proportional.

Schreibt man $a \sim F$ unter Verwendung eines Proportionalitätsfaktors als Gleichung, so erhält man $a = k \cdot F$. Die Beschleunigung eines bewegten Körpers ist nicht nur von der wirkenden Kraft F abhängig, sondern auch noch von einer Größe k . Diese Größe ist durch die zweite Versuchsreihe bestimmt worden: $a \sim \frac{1}{m}$. Sie wird durch die Eigenschaft des bewegten Körpers, seine träge Masse,

wiedergegeben. Der Proportionalitätsfaktor k ist identisch mit der physikalischen Größe $\frac{1}{m}$. Somit erhält die Gleichung $a = k \cdot F$ die Form $a = \frac{1}{m} \cdot F$ oder $a = \frac{F}{m}$.

Löst man diese Gleichung nach F auf, so erhält man das Newtonsche Grundgesetz der Mechanik:

Die Kraft ist gleich dem Produkt aus Masse und Beschleunigung

$$F = m \cdot a$$

Setzt man in der Gleichung $F = m \cdot a$ für die Masse die Einheit 1 kg und für die Beschleunigung die Einheit $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ein, so ergibt sich daraus die Kräfteinheit: $1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Diese Kräfteinheit wurde zu Ehren des englischen Physikers NEWTON 1 Newton (N) genannt.

Die Kraft 1 Newton erteilt einem Körper mit der Masse 1 kg die Beschleunigung $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Da $F = m \cdot a$ ist, gilt für das Gewicht $G = m \cdot g$. Zwischen den Einheiten der Kraft bestehen daher die Beziehungen: $1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ oder $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$ und $1 \text{ N} \approx 0,102 \text{ kp}$. Die exakte, gesetzlich festgelegte Umrechnung ist: $1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N}$.

Welche Antriebskraft wirkt bei einem Motorrad, das aus dem Stand in 5 s die Geschwindigkeit von $36 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ erreicht? Die Gesamtmasse mit Fahrer beträgt 150 kg. (Die Reibung bleibt unberücksichtigt.)

Gegeben:

$$\begin{aligned} m &= 150 \text{ kg} \\ v &= 36 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \\ &= \frac{36 \cdot 10^3 \text{ m}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Gesucht:

F

Lösung:

$$F = m \cdot a \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F = \frac{150 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m}}{5 \text{ s}^2}$$

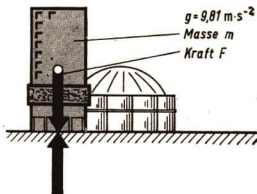
$$F = 300 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Die Antriebskraft beträgt 300 N.

Die Antriebskraft 300 N ist in kp umzurechnen!

$$\begin{aligned} 1 \text{ N} &\approx 0,102 \text{ kp} \\ 300 \text{ N} &\approx 300 \cdot 0,102 \text{ kp} \\ &= 30,6 \text{ kp} \end{aligned}$$

Die Antriebskraft beträgt etwa 30,6 kp.



34/1

Die dynamische Kraftmessung

Bei der statischen Kraftmessung (s. S. 9) wird die verformende Wirkung einer Kraft ausgenutzt, zum Beispiel bei der Federwaage. Auf Grund der Gleichung $F = m \cdot a$ kann eine Kraft, zum Beispiel das Gewicht eines Körpers, mittels der Änderung des Bewegungszustandes bestimmt werden. Diese Art der Kraftmessung bezeichnet man als **dynamische Kraftmessung**; denn es gilt für einen Körper mit der Masse $m = 5 \text{ kg}$:

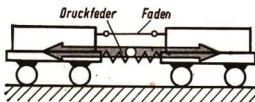
$$\begin{aligned} F &= m \cdot a & x \text{ kp} : 49,05 \text{ N} &= 1 \text{ kp} : 9,81 \text{ N} \\ F &= 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} & x &= \frac{1 \text{ kp} \cdot 49,05 \text{ N}}{9,81 \text{ N}} \\ F &= 49,05 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} & & \\ F &= 49,05 \text{ N} & x &= \underline{\underline{5 \text{ kp}}} \end{aligned}$$

Aus der Umrechnung der Kräfteinheiten ergibt sich, daß ein Körper mit der Masse 5 kg das Gewicht 5 kp besitzt (45. Breitengrad, Meereshöhe). Die Angaben in kp und in kg haben den gleichen Zahlenwert. Es handelt sich aber um ganz verschiedene Größen, so daß man niemals für das Gewicht (oder überhaupt für Kräfte) die Einheit kg benutzen darf. Da früher das Kilogramm als Kräfteinheit benutzt wurde, findet man Kräfte oft noch in kg angegeben. Dies ist heute nicht mehr zulässig!

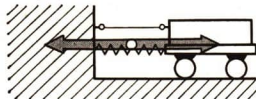
Durch welche physikalische Größe wird die Änderung des Bewegungszustandes ausgedrückt?

Fragen und Aufgaben – Mechanik
24 bis 32 (S. 118.)

Versuche – Mechanik
11 bis 14 (S. 121)



35/1 Beim Durchtrennen des Fadens erfolgt eine Kräfteinwirkung auf beide Wagen. Sie legen gleiche Wege zurück, wenn $m_1 = m_2$ ist.



35/2 Die Kraftwirkung erfolgt auf Wagen und Wand. Die Wirkung auf die Wand kann nicht unmittelbar beobachtet werden

Das Wechselwirkungsgesetz

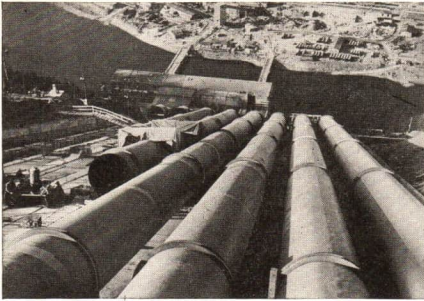
Im Abschnitt „Die Kraft“ (S. 8) wurde bereits darauf hingewiesen, daß immer mindestens zwei Körper wechselseitig aufeinander einwirken und diese Einwirkung aufeinander als Kraft bezeichnet wird (eine Kraft wirkt also niemals nur auf *einen* Körper).

Stützt man sich zum Beispiel auf den Tisch, so tritt durch die elastische Verformung der Tischplatte eine Gegenkraft auf. Zieht ein Magnet ein Stück Eisen an, so zieht das Eisen auch den Magneten an.

Springen wir von einem im Wasser treibenden Boot ins Wasser, so werden beim Absprung der Körper und das Boot beschleunigt.

Newton brachte diese Zusammenhänge in dem nach ihm benannten Newtonschen Wechselwirkungsgesetz zum Ausdruck.

Zu jeder Kraft gehört eine gleich große Gegenkraft



Mechanische Energie

Energie ist gespeicherte Arbeit. In immer größerem Maße setzt der Mensch Energiespeicher ein. Der von Urjägern auf den Bären herabgestürzte Felsen, der Schmiedehammer, das gestaute Wasser eines Speicherkraftwerkes sind Beispiele dafür, wie die Menschen physikalische Gesetze anwenden.

Mechanische Arbeit

Das Wort Arbeit wird im täglichen Leben für sehr unterschiedliche Tätigkeiten gebraucht (körperliche und geistige Arbeit, Hand- und Maschinenarbeit, Lernarbeit, gesellschaftlich notwendige Arbeit usw.).

- ▶ Arbeit im physikalischen Sinn wird stets dann verrichtet, wenn eine Kraft längs eines Weges wirkt.

In den Fällen, wo durch die Kraft eine Verschiebung eines Körpers erfolgt, ohne daß der Körper beschleunigt wird, spricht man von *Verschiebungsarbeit*.

- Welche physikalischen Voraussetzungen bedingen die Verschiebung eines Körpers?

Wenn ein Körper beschleunigt wird, dann bezeichnet man die verrichtete Arbeit als *Beschleunigungsarbeit*.

- Welcher physikalische Zusammenhang besteht zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung eines zu beschleunigenden Körpers?

Bleibt die einwirkende Kraft konstant, so gilt für die mechanische Arbeit unter der Voraussetzung, daß Kraft und Wegrichtung zusammenfallen,

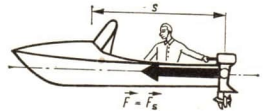
$$W = F \cdot s \quad (\text{bei Verschiebung})$$

$$W = m \cdot a \cdot s \quad (\text{bei Beschleunigung})$$

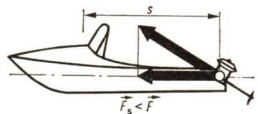
Die Einheit der Arbeit ist das **Newtonmeter (Nm)**.

Eine weitere Einheit ist: $1 \text{ kpm} \approx 9,81 \text{ Nm}$.

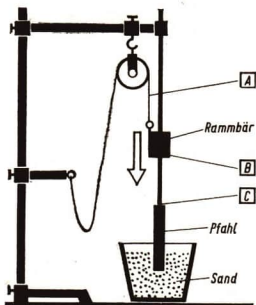
Zur Umrechnung: $1 \text{ Nm} \approx 0,102 \text{ kpm}$.



36/1 Die Schubkraft \vec{F} der Schraube wirkt in Bewegungsrichtung des Bootes, d.h. in Richtung des Weges



36/2 Schubkraft des Außenbordmotors \vec{F} und Bewegungsrichtung fallen nicht zusammen. In Bewegungsrichtung wirkt die Komponente \vec{F}_s



37/1 Modell einer Ramme
 Als Rammbar dient der Fuß einer
 Holzschen Klemme, der auf einem
 Stativstab gleitet

Potentielle Energie

Bild 37/1 zeigt eine Versuchsanordnung, die die Wirkungsweise einer Pfahlramme veranschaulicht. Hebt man den Rammbar, der das Gewicht G besitzt, um die Höhe h , so wird dabei eine Arbeit verrichtet:

$$W = G \cdot h.$$

Der gehobene Rammbar hat einen besonderen Zustand erlangt:

Er besitzt gespeicherte Arbeit oder **potentielle¹ Energie**. Beim Niederfallen wird diese Arbeit wieder frei, indem der Pfahl in den Sand getrieben wird.

Nicht nur gehobene Körper besitzen potentielle Energie. Beim Spannen einer Uhrfeder wird *Spannarbeit* verrichtet, bei der Betätigung einer Luftpumpe *Kompressionsarbeit*. Eine gespannte Feder oder komprimierte Luft besitzen potentielle Energie.

Es gilt:

Als **potentielle Energie** bezeichnet man die Fähigkeit eines Körpers, auf Grund seiner Lage oder seines Spannungszustandes Arbeit verrichten zu können.

Die potentielle Energie läßt sich durch die Arbeit angeben, die zum Heben oder Spannen notwendig war. Zum Heben eines Körpers vom Gewicht G um die Höhe h muß die Arbeit $G \cdot h$ verrichtet werden.

Nach dem Grundgesetz der Mechanik ist $G = m \cdot g$. Somit ist die **potentielle Energie eines gehobenen Körpers**

$$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h.$$

Wird eine Feder durch Auseinanderziehen um die Strecke s gespannt, so ist die Kraft zum Spannen der Feder um so größer, je mehr die Feder auseinandergezogen wird. Hat die Spannkraft am Ende des Spannens den Wert F erreicht, so ist für die gesamte Strecke die mittlere Federkraft vom Werte $\frac{F}{2}$ anzusetzen. Somit ist die potentielle Energie einer Feder

$$W_{\text{pot}} = \frac{F}{2} \cdot s.$$

Einheiten der Energie sind das Kilopondmeter und das Newtonmeter.

Obwohl Arbeit und Energie die gleiche Einheit besitzen, handelt es sich um verschiedene physikalische Begriffe. Die Energie ist durch den *Zustand* eines Körpers festgelegt. Die Arbeit dagegen ist das *Ergebnis* eines Vorganges.

¹ potentiell, von potentia (lat.): Können, Fähigkeit

Kinetische Energie

Nicht nur gehobene Körper und gespannte Federn besitzen Energie. Auch jeder sich bewegende Körper hat die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Man nennt diese Arbeitsfähigkeit **Bewegungsenergie** oder **kinetische¹ Energie**.

Die kinetische Energie eines Körpers mit der Geschwindigkeit v wird durch die Arbeit gemessen, die verrichtet werden muß, um ihn auf die Geschwindigkeit v zu beschleunigen. Diese Beschleunigungsarbeit W wird auf einer bestimmten Strecke s verrichtet. Somit gilt:

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot s.$$

Setzt man $s = \frac{a}{2} \cdot t^2$, so erhält man

$$W = m \cdot a \cdot \frac{a}{2} \cdot t^2 = m \cdot \frac{(a \cdot t)^2}{2} \text{ oder, da}$$

$$a \cdot t = v \text{ ist, } W = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

Somit ist die kinetische Energie eines Körpers

$$W_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

■ Welche kinetische Energie besitzt ein Eisenbahnzug mit einer Masse von $8 \cdot 10^5 \text{ kg}$ bei einer Geschwindigkeit von $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$?

Gegeben:

$$m = 8 \cdot 10^5 \text{ kg} \\ v = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Lösung:

$$W_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Gesucht:

$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2$$

W_{kin}

$$\underline{\underline{W_{\text{kin}} = 16 \cdot 10^7 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m} = 16 \cdot 10^7 \text{ Nm.}}}$$

Die kinetische Energie des Zuges beträgt $16 \cdot 10^7 \text{ Nm}$.

Geben Sie den Wert in kpm an!

Das Energieerhaltungsgesetz

Gibt man bei dem Versuch nach Bild 37/1 den Rammbar frei, so wird an ihm Beschleunigungsarbeit verrichtet. Die potentielle Energie wandelt sich dabei nach und nach in kinetische Energie um.

Der Tabelle 39/1 ist zu entnehmen, daß sich die potentielle Energie am Ende der Fallstrecke vollständig in kinetische Energie umgewandelt hat. Die letzte Spalte zeigt, daß die Summe der beiden Energien zu jedem Zeitpunkt gleich groß ist.

¹ kinetisch, von kinesis (griech.); Bewegung

Beobachtungspunkt		Höhe über Erde	Geschwindigkeit v	$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$	$W_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$	$W_{\text{pot}} + W_{\text{kin}}$
A	Beginn des Fallens (nur W_{pot})	h	0	$m \cdot g \cdot h$	0 (da $v = 0$)	$m \cdot g \cdot h + 0 = m \cdot g \cdot h$
B	Punkt B wird durchlaufen (W_{pot} und W_{kin})	$h - h_1$	$\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$	$m \cdot g (h - h_1)$ $= m \cdot g \cdot h$ $- m \cdot g \cdot h_1$	$\frac{m \cdot 2 \cdot g \cdot h_1}{2}$ $= m \cdot g \cdot h_1$	$m \cdot g \cdot h$ $- m \cdot g \cdot h_1$ $+ m \cdot g \cdot h_1$ $= m \cdot g \cdot h$
C	Auftreffen (nur W_{kin})	0	$\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$	0 (da $h = 0$)	$\frac{m \cdot 2 \cdot g \cdot h}{2}$ $= m \cdot g \cdot h$	$0 + m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot h$

39/1: Angaben über die potentielle und kinetische Energie des fallenden Rammhäx für drei Bahnpunkte

Die Energie ist also nicht verschwunden, sondern hat sich nur von einer Form in eine andere umgewandelt.

Was geschieht mit der kinetischen Energie?

Bild 40/1 kann man entnehmen, daß die einmal zugeführte Energie erhalten bleibt. Sie ändert aber mehrmals ihre Erscheinungsform. Bei den Energieumwandlungen wird stets Arbeit verrichtet, im genannten Beispiel Beschleunigungs- und Verformungsarbeit.

Es gilt ganz allgemein:

Wenn eine Arbeit verrichtet wird, findet eine Energieumwandlung statt. ◀

Bei der Darstellung nach Bild 40/1 wurde vorausgesetzt, daß die Stahlkugel stets wieder die ursprüngliche Höhe erreicht. Das ist in Wirklichkeit nicht der Fall. Durch die Reibung, den Luftwiderstand und die Verformung wird Wärme erzeugt. Die mechanische Energie nimmt daher ab. Dafür tritt Wärmeenergie auf.

Die Summe aller Energien, z.B. mechanische Energie, Wärmeenergie, elektrische Energie oder Kernenergie bleibt in einem abgeschlossenen System immer konstant.

Es gilt das Gesetz von der Erhaltung der Energie:

Energie kann nicht verschwinden, Energie kann nicht von selbst entstehen. Es treten nur Energieumwandlungen auf. Die Summe aller Energien ist konstant. ◀

$$W_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$W_{\text{kin}} = \frac{1200 \text{ kg} \cdot 40^2 \cdot 10^4 \text{ m}^2}{2 \cdot 36^2 \cdot 10^4 \text{ s}^2}$$

$$W_{\text{kin}} \approx 74\,100 \text{ Nm}$$

$$W_{\text{kin}} \approx 7\,550 \text{ kpm.}$$

Beim plötzlichen Abbremsen (Zusammenstoß) wird diese Energie als („Verformungs-“) Arbeit frei! Diese Energie könnte den Wagen aber auch 6,3 m hochschleudern!

Die Bedeutung des Gesetzes von der Energieerhaltung

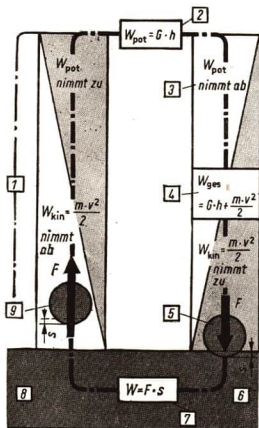
Die bewußte Ausnutzung der potentiellen Energie zählt zu den ältesten Erfahrungen der Menschen. Schon in der Urgemeinschaft wurde bei Schwerkraftfallen und beim Bogen aufgespeicherte mechanische Arbeit angewandt.

Selbstverständlich wußten damals die Menschen über die Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Zusammenhänge noch nicht Bescheid. Unsere heutigen Erkenntnisse wurzeln aber letztlich alle in den Erfahrungen und Erkenntnissen, die die Menschen im Laufe der Entwicklung sammelten. So versuchten seit dem 16. Jahrhundert viele Erfinder, eine Maschine zu bauen, der einmalig Energie zugeführt wird und die dann ständig Arbeit verrichtet. Eine solche Vorrichtung nennt man ein Perpetuum mobile¹. Trotz jahrhundertelangen Suchens konnte eine solche Maschine nicht geschaffen werden. Das ist nach dem Energieerhaltungsgesetz auch nicht möglich.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie wurde erst im 19. Jahrhundert formuliert. Unter den Wegbereitern im 17. und 18. Jahrhundert sind besonders DESCARTES, LEIBNITZ und LOMONOSSOW zu erwähnen.

Die Triebfeder auch der physikalischen Entwicklung ist die Produktion. Mit der Erfindung der Dampfmaschine wurde es notwendig, die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Energieformen zu finden, um einen hohen Wirkungsgrad der Maschinen zu erreichen. Unter den vielen Gelehrten, die diese Zusammenhänge aufdeckten, sind vor allem JULIUS ROBERT MAYER, JAMES PRESCOTT JOULE und HERMANN VON HELMHOLTZ zu nennen. Unabhängig voneinander gelangten sie zu der Erkenntnis, daß die Energie unerschöpfbar und unzerstörbar ist und nur von einer Form in eine andere umgewandelt wird.

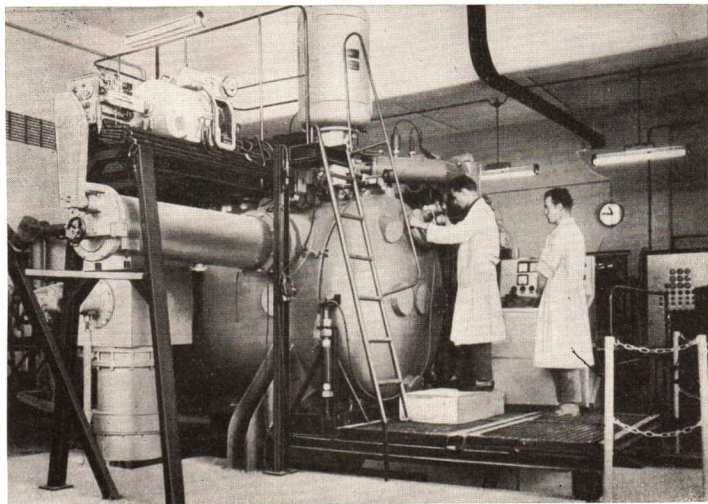
Die Entdeckung des Energieerhaltungsgesetzes war von überragender Bedeutung. Dadurch kam klar zum Ausdruck, daß sich die Entwicklung in der Natur entsprechend unserer dialektisch-materialistischen Weltanschauung vollzieht und nicht durch das Wirken „göttlicher Kräfte“, die von außerhalb unserer materiellen Welt wirksam würden.



40/1 veranschaulicht die Umwandlung mechanischer Energieformen bei einer springenden Stahlkugel (ohne Berücksichtigung der Reibung und des Luftwiderstandes). Verfolgen Sie die Vorgänge von links aus den Pfeilen folgend!

- 1 Hubarbeit wird einmalig von außen zugeführt
- 2 Die gehobene Kugel besitzt nur potentielle Energie
- 3 Während des freien Falls wird Beschleunigungsarbeit verrichtet.
- 4 Dabei wandelt sich W_{pot} in W_{kin} um.
- 5 Die auftreffende Kugel besitzt nur noch kinetische Energie.
- 6 Beim Auftreffen wird Verformungsarbeit verrichtet.
- 7 Die kinetische Energie wandelt sich in potentielle Energie des verformten Körpers um.
- 8 Beim Entspannen des verformten Körpers wird Beschleunigungsarbeit verrichtet.
- 9 Während der Aufwärtsbewegung wird Hubarbeit verrichtet. Dabei wandelt sich W_{kin} in W_{pot} um.

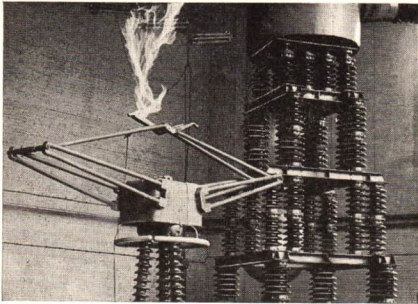
¹ perpetuus (lat.): unaufhörlich, mobilis (lat.): beweglich



Elektrizitätslehre

Die schnelle Erhöhung der Arbeitsproduktivität ist eine bedeutungsvolle Aufgabe für die Werktätigen in der DDR beim Aufbau des Sozialismus. Dazu werden moderne Produktionsverfahren, Maschinen und Geräte benötigt. Die dafür eingesetzten Anlagen und Maschinen enthalten elektrische und elektronische Bauelemente, deren Wirkungsweise auf dem physikalischen Vorgang der Stromleitung durch feste, flüssige oder gasförmige Körper und auf dem Wirken von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern beruht.

Viele Wissenschaftler haben durch ihre Forschung auf diesem physikalisch-technischen Gebiet dazu beigetragen, daß die Arbeitsproduktivität gesteigert werden kann. Ein Beispiel für die Bedeutung der Wissenschaft als Produktivkraft zeigt der Elektronenstrahl-Mehrkammerofen aus dem Forschungsinstitut „Manfred von Ardenne“. Dieser Schmelzofen und das Schmelzverfahren wurden auf Grund der Ergebnisse wissenschaftlicher Forschungsmethoden entwickelt.



Die in einer Hochspannungsanlage aufgespeicherte Energie wird in einem Prüffeld zur Auslösung gebracht. Als Gegenpol der Anlage dient das Prüfstück. Solche Hochspannungsanlagen werden in den Forschungsinstituten zum Untersuchen elektrostatischer Erscheinungen benutzt.

Die elektrische Ladung

Ein elektrischer Strom stellt eine gerichtete Bewegung von Ladungsträgern dar. Ursache der Bewegung ist eine Kraft. Ladungsträger sind Elektronen und Ionen.

Untersuchungen haben ergeben, daß die Elektronen als Bausteine der Atome eine negative Ladung tragen.

● Wiederholen Sie die Kenntnisse vom Bau der Atome und vom Aufbau der Stoffe aus Atomen!

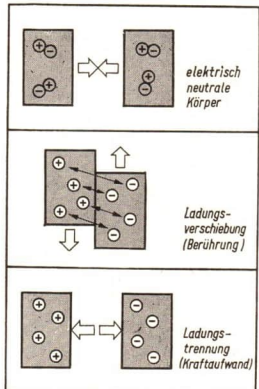
Jeder Körper besteht aus Atomen, die in ihrer Hülle so viele Elektronen enthalten, wie der Atomkern Protonen mit positiven Ladungen aufweist. Dadurch erscheint ein Körper nach außen hin elektrisch neutral. Werden einem Körper Elektronen entzogen, so überwiegt die positive Ladung der Atomkerne, er ist damit positiv geladen; werden dem Körper Elektronen zugefügt, so ist er negativ geladen. Die Art der Ladung eines Körpers ist also nur vom Mangel bzw. Überschuß von Elektronen abhängig. Dieser Zustand läßt sich mit Prüfgeräten nachweisen.

► Positive Ladung: Elektronenmangel

Negative Ladung: Elektronenüberschuß

10
▼ Reibt man einen PVC-Stab mit einem Wollappen und berührt ihn dann mit einem Polprüfer, so leuchtet die berührende Elektrode kurz auf. Der PVC-Stab war negativ aufgeladen, denn in einer Glimmlampe leuchtet die Elektrode auf, die am Minuspol liegt.

42/2



Die Ladungstrennung

Im üblichen Sprachgebrauch wird noch oft von einer Erzeugung von Elektrizität gesprochen. Diese Formulierung ist falsch, da sie den materiellen Charakter der Elektrizität verleugnet. In Wirklichkeit handelt es sich stets um eine Trennung negativer und positiver Ladungsträger voneinander.

Die Ladungstrennung ist bei dem im Bild 42/2 gezeigten Beispiel auf die Berührung zweier verschiedener Körper beim Reiben zurückzuführen. Dabei können die Elektronen von dem einen Körper auf den anderen übertreten¹. Trennt man danach die Körper voneinander, so verbleiben auf dem einen überschüssige Elektronen; er ist elektrisch negativ geladen. Auf dem anderen Körper ist ein Elektronenmangel entstanden; er ist positiv geladen. Diese Vorgänge sind bei Isolierstoffen deutlich zu beobachten. Bei Metallen sind die Aufladungserscheinungen geringer, weil sich die ungleichmäßige Verteilung der Elektronen infolge der größeren Beweglichkeit im Metall schneller wieder ausgleicht.

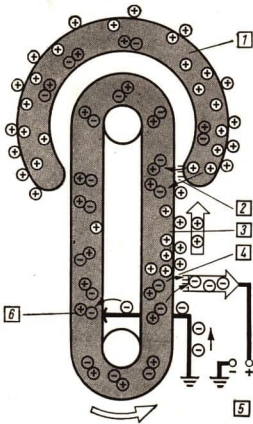
Bei der Trennung zweier Körper können sich zwischen den dabei getrennten Ladungen sehr hohe elektrische Spannungen ausbilden. Solche Erscheinungen müssen aus Sicherheitsgründen beachtet werden.

Bei der Herstellung von Geweben, Papier und Plastfolien entstehen durch die Berührung des schnellbewegten Materials mit den Maschinenteilen leicht hohe Aufladungen, die zu Störungen der Produktion führen können. An solchen Maschinen müssen besondere Vorrichtungen zum Ableiten der elektrischen Ladungen angebracht werden. Auch an Treibriemen entstehen elektrische Aufladungen, die zu Funkenüberschlag und damit zu einem Brand oder einer Staubexplosion führen können.

Welche Vorrichtungen haben Treibstoff-Tankwagen zum Ausgleich elektrischer Ladungen?

Im Bandgenerator wird diese Art der Ladungstrennung bewußt ausgenutzt, um hohe elektrische Spannungen zu erzeugen. Den ersten Bandgenerator konstruierte 1933 der niederländische Physiker VAN DE GRAAF.

Einem umlaufenden endlosen Band aus Gummi, Seide oder Plast werden fortlaufend über einen Sprühkamm, der am Pluspol einer Spannungsquelle liegt, Elektronen entzogen. Über einen weiteren Kamm entzieht das Band der Metallhaube Elektronen, so daß sie positiv aufgeladen wird. Das Transportband verläßt die Haube ungeladen und der Vorgang wiederholt sich. Mit sehr großen Bandgeneratoren können Spannungen von mehreren Millionen Volt erzeugt werden.



- 1 - Metallhaube (positive Ladung)
- 2 - Übergang negativer Ladung von der Haube auf das Band
- 3 - Band (Transport positiver Ladung)
- 4 - Metallbürste (Abnahme negativer Ladung)
- 5 - Ladungsquelle
- 6 - Ergänzung negativer Ladung

43/1 Wirkungsweise des Bandgenerators

¹ Der Übergang der Elektronen erfolgt gesetzmäßig auf Grund der verschiedenartigen chemischen Bindung der Stoffe (siehe auch „Austrittsarbeit“ auf S. 80).

Elektrizitätsmenge

Verbindet man zwei entgegengesetzt geladene Körper leitend, so fließt in der Verbindungsleitung so lange ein Strom, bis die Ladungen ausgeglichen sind. Hierbei fließen Elektronen vom negativ geladenen zum positiv geladenen Körper. Die Gesamtzahl der Elektronen, die der positiv geladene Körper aufgenommen bzw. der negativ geladene abgegeben hat, entspricht der transportierten Elektrizitätsmenge oder Ladung Q . Um diese quantitativ zu bestimmen, wird die Stromstärke I und die Zeit Δt des Stromflusses gemessen. Die Stromstärke I ist der Quotient aus der Ladung Q und der Zeit Δt , in der diese Ladung durch den Leiterquerschnitt fließt:

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

Für die Ladung ergibt sich:

$$Q = I \cdot \Delta t$$

- Die Elektrizitätsmenge ist das Produkt aus der Stromstärke und der Zeit, in der der Stromfluß stattfindet.

Die Einheit der Elektrizitätsmenge ist die Ampere-sekunde, $[Q] = \text{As}$. Zu Ehren des französischen Physikers CHARLES AUGUSTE DE COULOMB (1736 bis 1806) bezeichnet man eine Ampere-sekunde als Coulomb (Kurzzeichen C) $1 \text{ As} = 1 \text{ C}$. Die kleinste nachgewiesene Ladung ist die Ladung eines Elektrons. Man bezeichnet sie als die Elementarladung e , sie beträgt $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$.

Diesen Wert bestimmte erstmalig experimentell der amerikanische Physiker R. A. MILLIKAN 1913. Sämtliche auftretenden Ladungen sind ganzzahlige Vielfache dieser Elementarladungen.

In einem Leiter fließt während vier Sekunden ein elektrischer Strom mit einer Stärke von zwei Ampere.

Wie groß ist die transportierte Elektrizitätsmenge? Wie groß ist die Anzahl der Elektronen, die an diesem Ladungstransport beteiligt sind?

Gegeben:

$$I = 2 \text{ A} \quad \Delta t = 4 \text{ s}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

Gesucht:

Q und n

Lösung:

$$Q = I \cdot \Delta t$$

$$Q = 2 \text{ A} \cdot 4 \text{ s}$$

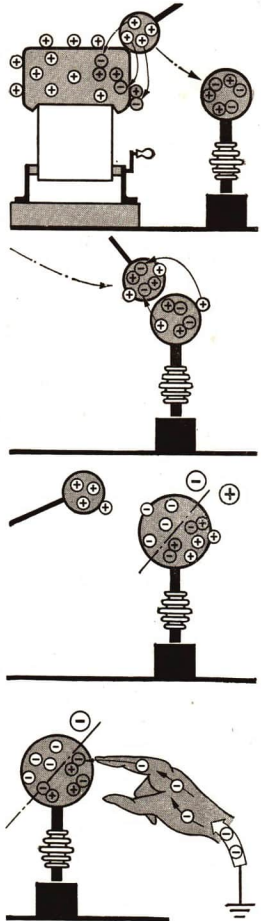
$$Q = 8 \text{ As}$$

$$n = \frac{Q}{e}$$

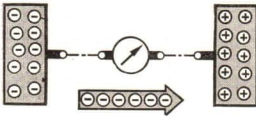
$$n = \frac{8 \text{ As}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}}$$

$$n = 5 \cdot 10^{19}$$

Die Ladung beträgt 8 As; $5 \cdot 10^{19}$ Elektronen sind am Ladungstransport beteiligt.

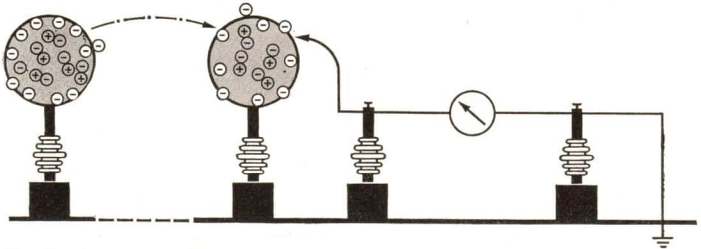


44/1 Verschiedene Möglichkeiten zur Aufladung einer Metallkugel



45/1 Ladungstransport

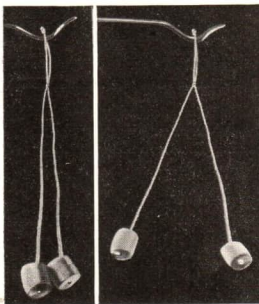
Es ist möglich, gut isolierte Metallkörper von einer Gleichspannungsquelle oder einem geladenen Körper aufzuladen. Das Entladen wird z. B. durch Ableiten der Ladung zur Erde erreicht, wobei während einer kurzen Zeit ein Strom fließt, dessen Stromstärke jedoch nicht konstant ist. Man nennt einen solchen Vorgang einen Stromstoß. Zum Messen von Stromstößen verwendet man ballistische Galvanometer. Der Zeiger des Instrumentes kann wegen der Trägheit nicht dem Momentanwert der Stromstärke folgen. Genaue Untersuchungen zeigen, daß der maximale Zeigerausschlag der zugeführten Ladung proportional ist.



45/2 Versuchsanordnung zum Messen einer Ladung

Von einer geladenen Metallkugel (Bild 45/2) überträgt man einen Teil der Ladung auf eine zweite, gleich große Kugel. Diese Metallkugel wird über ein Spiegelgalvanometer entladen. Der Stromausschlag wird abgelesen. Man entnimmt der ersten Kugel erneut Ladung und stellt fest, daß diese Ladung nur noch halb so groß ist.

Die Ladungsträger verteilen sich beim Laden gleichmäßig auf die zu ladenden Körper.



45/3 Elektrisches Doppelpendel aus Holundermarkstückchen

Kraftwirkung zwischen elektrisch geladenen Körpern

Man kann einem Körper im allgemeinen nicht ansehen, ob er geladen ist oder nicht. Man erkennt dies aber an bestimmten Kraftwirkungen, die zwischen elektrisch geladenen Körpern auftreten.

Körper mit gleichartigen Ladungen stoßen einander ab, Körper mit ungleichartigen Ladungen ziehen einander an.

Hängt man zwei Holundermarkstückchen an Seidenfäden auf und berührt sie mit einem geladenen Körper, so werden sie gleichartig

aufgeladen (Bild 45/3). In diesem Zustand wirken zwischen beiden Körpern abstoßende Kräfte. Je größer die Ladungen sind, um so weiter entfernen sich die Stückchen voneinander.

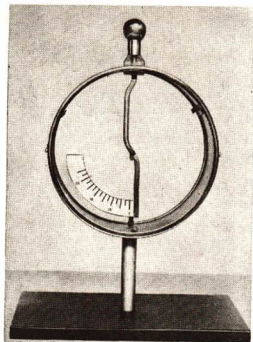
Im Braunschen Elektrometer wirkt die abstoßende Kraft zwischen dem gleichartig geladenen Zeiger und einem feststehenden Metallteil, da beide mit der Konduktorkugel leitend verbunden sind. Der Ausschlag ist auf einer Skale ablesbar. Sie ist meist in kV eingeteilt.

Influenz

Schon im Altertum war in Griechenland bekannt, daß geriebene Bernsteinstücke bestimmte leichte Körper anziehen. Aus dem griechischen Wort für Bernstein „Elektron“ sind die Bezeichnungen Elektrizität, elektrisch und Elektron abgeleitet. Aber erst als im 18. und 19. Jahrhundert die Physik zu einer systematischen Wissenschaft entwickelt wurde, untersuchten die Naturforscher die Naturvorgänge genauer und fanden Erklärungen für die Elektrizität.

Es ist bekannt, daß zwei geladene Körper aufeinander eine Kraft ausüben. Untersucht man die Einwirkung einer geladenen Kugel auf eine ungeladene, so kann man feststellen, daß auf der ungeladenen Kugel eine Ladungstrennung hervorgerufen wird.

Diese Erscheinung wurde auch im Bild 44/1 dargestellt.

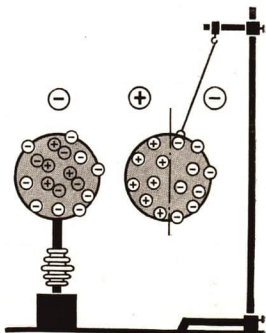


46/1 Braunsches Elektrometer

► Die Ladungstrennung auf einem Körper durch Einwirken einer anderen Ladung nennt man Influenz.

12

▼ Nähert man einer ungeladenen Kugel (außenverspiegelte Glas- kugel) eine negativ geladene Metallkugel, dann wird sie zu ihr hingezogen. Die freien Elektronen werden zu der der Metallkugel abgewandten Seite der Kugel bewegt. Der Metallkugel gegenüber liegt eine positive Ladung. Berührt man die der Metallkugel abgewandte Seite mit einer Erdleitung oder auch nur mit der Hand, so werden die Elektronen abgeleitet, und auf der Kugel bleibt eine positive Ladung zurück.



46/2 Influenzwirkung zwischen einer Metallkugel und einer an einem Seidenfaden hängenden Kugel

Die Kraftlinien des elektrischen Feldes

Elektrisch geladene Körper üben auf andere geladene Körper ohne gegenseitige Berührung Kräfte aus.

► Zwischen zwei elektrisch geladenen Körpern kann an jedem Ort des Raumes eine Kraft gemessen werden. Die Gesamtheit dieser Kräfte, die den Punkten des Raumes zugeordnet sind, ist das elektrische Feld.

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, elektrische Felder nachzuweisen. Gipskristalle, Bärlappsporen oder Haarkäcksel auf einer Glasplatte oder Grieskörner in Öl ordnen sich unter Einfluß eines elektrischen Feldes in bestimmten Kraftlinien an. Derartige Kraftlinienbilder wurden von dem englischen Physiker MICHAEL FARADAY beobachtet. Er schuf daraufhin eine Modellvorstellung vom elektrischen Feld.

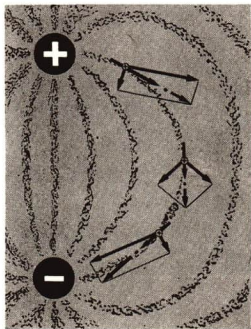
Sinn und Aufgabe von Modellen. Der Mensch ist tief verwurzelt in den Eindrücken und Erfahrungen des täglichen Lebens. Deshalb versucht er auch in Gebieten wie z.B. in der Elektrizitätslehre oder in der Atomphysik, in die seine Sinne ihm keinen unmittelbaren Zugang ermöglichen, Erfahrungen und wissenschaftliche Ergebnisse durch anschauliche Bilder (z.B. Atommodelle) verständlich zu machen. Auch wenn hierdurch die Wirklichkeit nicht vollständig erfaßt wird, können solche Modellvorstellungen sehr fruchtbar für die Forschung sein. Wenn diese Vorstellungen, wie z.B. beim elektrischen Feld oder beim Atom, dem Erfahrungsbereich zu einem bestimmten Zeitpunkt der Forschung angepaßt sind, so ermöglichen sie Fragestellungen für neue Versuche, deren Ergebnisse unter Umständen zu einer Verfeinerung oder zu einer Veränderung des Modells führen.

Ein Modell ist nie ein absolut getreues Abbild der Wirklichkeit, sondern es spiegelt nur eine oder einige Seiten des betrachteten Dinges oder Prozesses wider, aber das sind gerade die im jeweils gegebenen Zusammenhang wesentlichen Seiten. Modelle sind nur sinnvoll, wenn sie auf der Grundlage gesicherter Erfahrungen entwickelt werden. Dann können sie ein immer getreueres Abbild der Wirklichkeit auf dem Wege „der ewigen unendlichen Annäherung des Denkens an das Objekt“ (LENIN) werden.

Die Kraftlinienbilder entstehen durch das Aneinanderreihen von kleinen Körpern infolge Influenz und der Kraftwirkungen im elektrischen Feld.

Die von den beiden Ladungen auf den Körper ausgeübten Kräfte bilden eine Resultierende, deren Wirkungslinie die Tangente an die Kraftlinie bildet. Die Tangente an die Kraftlinie gibt die Richtung des Kraftvektors in jedem Punkt des Feldes an (Bild 47/1). Das Feld ist aber nicht nur auf den Linien wirksam, sondern auch zwischen ihnen, es erfüllt den ganzen Raum. An welchen Stellen sich die in das Feld eingebrachten Körperchen (Grieß, Gips usw.) zu einer Kette entsprechend einer Kraftlinie ordnen, hängt von der zufälligen Lage der Körperchen im Raum ab.

Es gibt unendlich viele Kraftlinien im Raum. Ihr Verlauf wird durch einige charakteristische Kraftlinien zeichnerisch veranschaulicht. Dabei muß beachtet werden, daß meist vom räumlichen Feld nur ein ebener Schnitt dargestellt wird. Allgemein gilt für ein Feld:



47/1 Das elektrische Feld zwischen den beiden Ladungen wird durch kleine Körperchen sichtbar gemacht

- Durch einen Punkt läuft immer nur eine Kraftlinie. Kraftlinien können sich nicht schneiden. Die Kraftlinien liegen in der Zeichnung dort dichter, wo das Feld stärker ist.

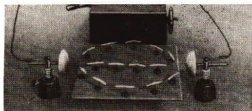
Man hat für die Kraftliniendarstellung weiter festgelegt:

- Der Richtungssinn einer elektrischen Kraftlinie ist der von der positiven zur negativen Ladung.

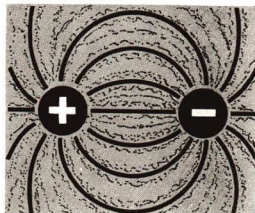
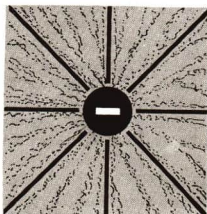
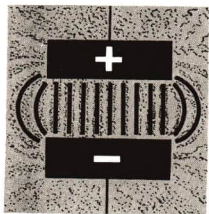
Zwischen zwei verschiedenen geladenen, parallelen Platten tritt ein Feld auf, das man als *homogenes elektrisches Feld* bezeichnet (s. Bild 48/2).

Im homogenen elektrischen Feld verlaufen die Kraftlinien geradlinig parallel zueinander und haben überall den gleichen Abstand. Das Feld an den Rändern ist inhomogen, man nennt es auch *Streifeld*.

Weitere Kraftlinienbilder zeigen den Kraftlinienverlauf, der zu einer Anziehung oder Abstoßung geladener Körper führt. Man muß sich vorstellen, daß in Richtung der Kraftlinien Zugkräfte und quer zu ihnen Druckkräfte auftreten (s. Bilder 48/4 und 49/1).



48/1 Nachweis des elektrischen Feldes in einer Ebene mit Papierfähnchen



Der materielle Charakter des Feldes

Elektrische Felder bestehen kontinuierlich im ganzen Raum zwischen Körpern; sie sind Träger von Energie und können sich gegenseitig überlagern.

Elektrische Felder üben Kräfte (Anziehung und Abstoßung) auf Körper aus. Alle diese Eigenschaften existieren ständig.

Elektrische Felder sind eine *Form der Materie*, denn sie bestehen unabhängig von unserem Bewußtsein, sie sind physikalisch durch ihre Wirkungen nachweisbar und auch meßbar.

48/2 Elektrisches Feld zwischen zwei Platten

48/3 Radiales Feld einer elektrischen Ladung (Grieß in Öl)

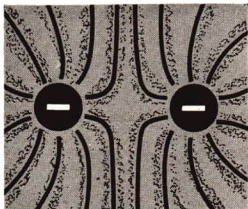
48/4 Kraftlinienverlauf zwischen ungleichartig geladenen Körpern

- Elektrische Felder sind eine Zustandsform der Materie.

Die elektrische Feldstärke

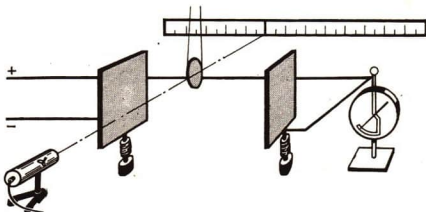
Man kann sich nicht mit der Feststellung begnügen, daß in einem elektrischen Feld auf Körper Kräfte ausgeübt werden. Es ist ein Grundprinzip der physikalischen Arbeitsmethode, die bei einer Erscheinung beteiligten Größen mit Zahlenwert und Einheit in ihrer mathematischen Abhängigkeit voneinander zu erfassen. Dazu müssen hier die Beziehungen zwischen der Kraft, der felderzeugenden Ladung und einer Probeladung untersucht werden. In grober Annäherung kann man die Verhältnisse aus den folgenden einfachen Versuchen erkennen.

Zwischen zwei Platten wird ein elektrisches Feld aufgebaut (Bild 49/2). Eine als Pendel aufgehängte, negativ geladene Metallscheibe dient als Probekörper zum Messen der Kräfte. Durch die Kraftwirkung des elektrischen Feldes auf die Ladung des Probekörpers wird dieser abgelenkt. Die Auslenkung der Scheibe ist der ablenkenden Kraft proportional. Der Betrag der Ablenkung der Scheibe ist ein Maß für die ablenkende Kraft. Verändert man die Ladung der Scheibe, so verändert sich auch die vom Feld an derselben Stelle hervorgerufene Kraft.



49/1 Kraftlinienverlauf zwischen gleichartig geladenen Körpern

49/2 Versuchsanordnung zur Untersuchung der Feldkräfte



Durch mehrmaliges Halbieren der Probeladung kann festgestellt werden, daß die Kraft F des elektrischen Feldes proportional der Probeladung Q_{pr} ist. Der Quotient aus F und Q_{pr} ist also an dieser Stelle konstant. Mit diesem Quotienten kann die elektrische Feldstärke E beschrieben werden. Für den Betrag der elektrischen Feldstärke gilt:

Die elektrische Feldstärke E ist der Quotient aus der Feldkraft F und der Probeladung Q_{pr}

$$E = \frac{F}{Q_{pr}}$$

Die elektrische Feldstärke ist eine vektorielle Größe, die die gleiche Richtung hat wie die an der Probeladung angreifende Feldkraft. Die Einheit der elektrischen Feldstärke ist 1 Newton je Amperesekunde:

$$1 \frac{\text{N}}{\text{As}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Das elektrische Feld als Energieträger

Durch die Kräfte im elektrischen Feld können geladene Körper genauso bewegt werden wie beim Einwirken einer mechanischen Kraft. Die hierbei aufgewandte Arbeit kann im allgemeinen elementar nicht berechnet werden, da sich die Kraft längs des Weges ändert. Eine einfache Berechnung ist jedoch für das homogene Feld möglich.

14

Zwischen zwei Platten, die von einer Hochspannungsquelle aufgeladen wurden, hängt eine mit Aluminiumfolie umhüllte Hohlkugel (Bild 50/1). Man stößt die Kugel leicht gegen die eine Platte, so daß sie Ladung aufnimmt. Danach bewegt sie sich zu der anderen Platte, gibt hier ihre Ladung ab und nimmt eine entgegengesetzte Ladung auf. So pendelt die Kugel zwischen den beiden Platten hin und her, bis die Ladungen ausgeglichen sind.

Der Körper legt unter Einwirkung der Feldkraft F den Weg s zurück. Die mechanische Arbeit ist

$$W = F \cdot s.$$

Diese Arbeit wird vom Feld an die Kugel abgegeben. Die im elektrischen Feld gespeicherte Energie wandelt sich in mechanische Arbeit um. Dabei nimmt die Spannung zwischen den Platten ab (Bild 50/2).

Will man umgekehrt die Spannung erhöhen, so müssen Ladungen unter Aufwendung von Arbeit getrennt werden. Zwischen den beiden Ladungen entsteht dabei ein elektrisches Feld mit der Spannung U . Dieses Feld ist Träger der elektrischen Energie, die aus der aufgewendeten mechanischen Arbeit entstanden ist.

Die elektrische Energie kann bei einer Entladung der Körper wieder in andere Energiearten überführt werden. Eine teilweise Umwandlung in Lichtenergie tritt ein, wenn man einen geladenen Körper mit einer Glimmlampe berührt. Mechanische Energie läßt sich zurückgewinnen, wenn man die geladenen Körper aufeinander einwirken läßt, so daß eine Bewegung eintritt.

Im folgenden soll der Zusammenhang zwischen Arbeit, Spannung und Ladung untersucht werden.

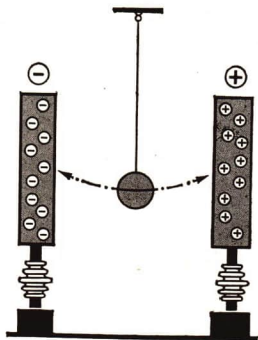
Aus der Definition der Feldstärke ergibt sich

$$F = E \cdot Q.$$

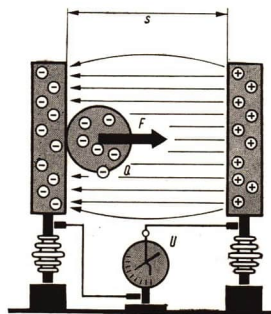
Mit dieser Feldkraft ist die Arbeit

$$W = E \cdot Q \cdot s.$$

Bisher haben wir nur festgestellt, daß zwischen getrennten Ladungen eine Spannung besteht. Mit den obigen Überlegungen kann eine genauere Definition der elektrischen Spannung erfolgen.



50/1 Bewegung eines Pendels im elektrischen Feld



50/2 Eine Ladung wird im elektrischen Feld bewegt

Der Quotient aus der Arbeit zum Verschieben einer Ladung im elektrischen Feld und dieser Ladung ist die Spannung zwischen Anfangs- und Endpunkt der Verschiebung.

$$U = \frac{W}{Q}$$

Hiermit läßt sich eine andere Größengleichung für die elektrische Feldstärke im homogenen elektrischen Feld aufstellen.

$$\frac{W}{Q} = E \cdot s \text{ und mit } E \cdot s = U \text{ ergibt sich}$$

$$E = \frac{U}{s}.$$

Als Einheit der elektrischen Feldstärke ergibt sich 1 Volt je Meter: $1 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$

Führen Sie die Umrechnung der Einheit $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$ in $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ durch!

Die Energie des elektrischen Feldes

Um einen Körper mit der Ladung Q zwischen zwei Punkten, zwischen denen eine Spannung U besteht, zu bewegen, muß man die Arbeit $W = Q \cdot U$ aufwenden.

Die Größengleichung benutzt man, um eine Einheit der Energie, hauptsächlich in der Atomphysik benutzt, das **Elektronenvolt**, zu definieren.

Ein Elektronenvolt ist die Energie, die ein Elektron beim Beschleunigen durch eine Spannung von 1 Volt gewinnt.

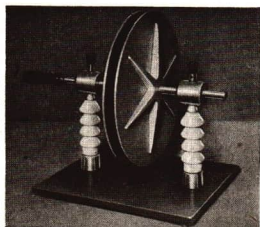
$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Js}.$$

Der Kondensator

In jedem elektrischen Feld ist Energie vorhanden. Schon früh in der Geschichte der Elektrotechnik hat man Möglichkeiten gefunden, elektrische Energie vorübergehend in geladenen Körpern zu speichern. Dazu diente u. a. die Leidener Flasche. Ein zylindrisches Glasgefäß ist von innen und außen mit einem Metallbelag versehen. Der eine Belag kann positiv und der andere negativ aufgeladen werden.

Laden und Entladen von Kondensatoren

Bei der Untersuchung des homogenen elektrischen Feldes werden zwei parallele, isoliert aufgestellte Platten ver-



51/1 Plattenkondensator

wendet. Diese Anordnung bezeichnet man als **Plattenkondensator**.

15

Ein Plattenkondensator wird an eine Gleichspannungsquelle über ein Spiegelgalvanometer angeschlossen. Er nimmt mit einem Stromstoß eine Ladung auf. Die eine Platte erhält negative Ladung, die andere Platte positive Ladung. Zwischen den beiden Platten besteht ein elektrisches Feld. Löst man die beiden Verbindungen zur Spannungsquelle, so bleibt das Feld als selbständiges elektrisches Feld bestehen. Ein Elektroskop zeigt dies an. Durch eine Verbindungsleitung, in der ein Spiegelgalvanometer liegt, werden die beiden Platten verbunden. Das Spiegelgalvanometer zeigt einen Entladungsstromstoß an, währenddessen das elektrische Feld abgebaut wird (Bild 52/1). Die elektrische Energie ist im Leiter in Wärme umgewandelt worden.

►

Ein Kondensator kann in einem Feld elektrische Energie speichern.

Die Kapazität des Kondensators

Wie überall in der Physik sind nun die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen Größen, also die funktionalen Zusammenhänge, festzustellen. Es gilt als erstes zu untersuchen, welche Beziehungen zwischen der Spannung U und der Ladung Q am Kondensator bestehen.

16

Entsprechend der Versuchsanordnung Bild 52/2 wird durch Betätigung einer Morsetaste ein Kondensator abwechselnd aufgeladen und wieder entladen. Am Spannungsmeßgerät ist die jeweilige Ladespannung U abzulesen. Mit einem ballistischen Strommesser sind die beim Auf- und Entladen auftretenden Stromstöße, d.h. die Ladung Q , zu messen. Eine Versuchsreihe ergibt, daß die Ladung der Spannung proportional ist: $Q \sim U$ (Bild 53/1).

Der Quotient $\frac{Q}{U}$ von Ladung und Spannung hat für jeden Kondensator einen konstanten Wert. Man nennt diese Konstante die **Kapazität** eines Kondensators.

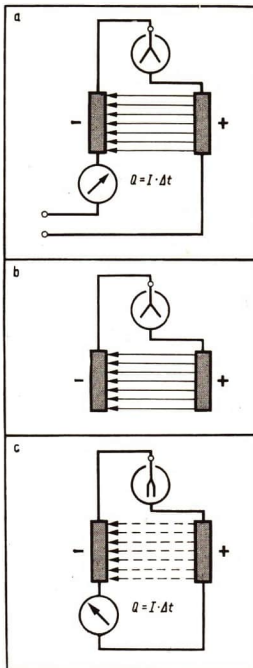
Kapazität eines Kondensators $C = \frac{Q}{U}$.

Die Einheit der Kapazität ist gesetzlich festgelegt. Sie ist nach dem englischen Physiker MICHAEL FARADAY das **Farad** benannt.

Ein Farad ist die Kapazität eines Kondensators, zwischen dessen Platten nach Aufnahme der Ladung 1 As die Spannung 1 Volt herrscht.

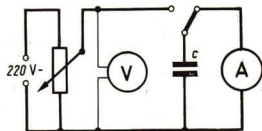
$$1 \text{ F} = \frac{1 \text{ As}}{1 \text{ V}}$$

Diese Einheit ist außerordentlich groß. Technische Kon-

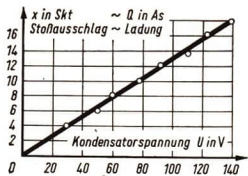


52/1

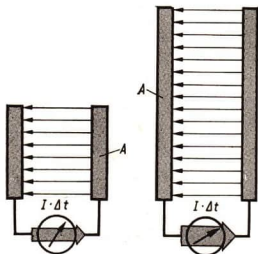
- a) Zufuhr negativer und positiver Ladung auf einen Kondensator
 b) Selbständiges elektrisches Feld am geladenen Plattenkondensator
 c) Ladungsausgleich



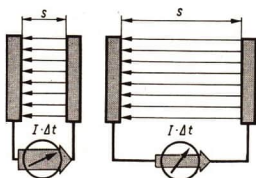
52/2 Versuchsanordnung zur Untersuchung der Beziehung zwischen Ladung und Spannung am Kondensator



53/1 Grafische Darstellung der Abhängigkeit der Ladung von der Spannung. Auf der Ordinatenachse sind die Skalenteile der Stoßausschläge eines Strommeßgeräts abgetragen, die der Ladung proportional sind



53/2 Abhängigkeit der Kapazität von der Plattenfläche



53/3 Abhängigkeit der Kapazität vom Plattenabstand

densatoren haben erheblich kleinere Kapazitäten. Darum sind die kleineren Einheiten gebräuchlich:

1 Mikrofarad $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$

1 Nanofarad $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$

1 Picofarad $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$.

Kapazität und Abmessung des Kondensators

Die Kapazität des Kondensators ist von den Abmessungen und den Eigenschaften seiner Bauteile abhängig. Das kann experimentell nachgewiesen werden.

Versuchsreihe 1 - Kapazität und Plattengröße

Kondensatoren, deren Flächen A sich wie 1 : 2 : 3 : 4 verhalten (Bild 53/2), werden bei gleichem Plattenabstand unter gleicher Spannung aufgeladen. Die Ladungen werden durch die Entladungsstromstöße bestimmt. Sie verhalten sich ebenfalls wie 1 : 2 : 3 : 4. Daraus folgt: Die Ladung eines Kondensators ist der Plattenfläche proportional: $Q \sim A$.

Weil die Spannung konstant gehalten wurde und $C = \frac{Q}{U}$ ist, ergibt sich: $C \sim A$.

Die Kapazität ist der Plattenfläche proportional.

Versuchsreihe 2 - Kapazität und Plattenabstand

Ein Plattenkondensator wird bei verschiedenen Plattenabständen s mit der gleichen Spannung aufgeladen (Bild 53/3). Die Entladestromstöße werden in Skalenteilen am Strommeßgerät abgelesen und die Plattenabstände gemessen.

Es zeigt sich, daß die Produkte aus Ladung Q und Plattenabstand s konstant sind. Es ist

$$Q \sim \frac{1}{s}. \text{ Bei konstanter Spannung folgt daraus: } C \sim \frac{1}{s}.$$

Die Kapazität ist dem Plattenabstand umgekehrt proportional.

Die beiden Proportionalitäten sind zusammenzufassen:

$$C \sim \frac{A}{s}.$$

Versuchsreihe 3 - Kapazität und Dielektrikum

Bei den vorangegangenen Untersuchungen befand sich zwischen den Platten Luft. Man kann den Zwischenraum auch mit anderen Isolierstoffen ausfüllen.

Der Stoff, in dem sich das elektrische Feld ausbildet, wird **Dielektrikum** genannt. Verschiedene Dielektrika führen bei gleicher Plattengröße und gleichem Plattenabstand zu unterschiedlichen Kapazitäten eines Kondensators. Durch

genaue Messungen ist der Proportionalitätsfaktor zwischen der im Vakuum festgestellten Kapazität C_0 und dem Quotienten $\frac{A}{s}$ bestimmt worden. Man nennt ihn die absolute Dielektrizitätskonstante ϵ_0 .

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{s}$$

Ihr Wert ist $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$.

Befinden sich Isolierstoffe als Dielektrikum zwischen den Kondensatorplatten, so ist die Kapazität größer als im Vakuum. Für die verschiedenen Dielektrika ist der Zahlenwert bekannt, der angibt, um wieviel die Kapazität C größer ist als die Kapazität C_0 im Vakuum. Man nennt ihn die relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r eines Stoffes. Die Kapazität C eines Kondensators mit einem Dielektrikum ist demnach:

$$C = \epsilon_r \cdot C_0$$

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{s}$$

Welches Dielektrikum man zwischen die Platten eines Kondensators als Isolierstoff bringt, hängt nicht nur vom Wert der Dielektrizitätskonstanten, sondern auch von dessen Isolier-eigenschaften ab. Schlecht isolierende Stoffe führen bereits bei geringen Spannungen zu unerwünschten Entladungen in Form eines Funkendurchschlags durch das Isoliermaterial. Dadurch wird der Kondensator unbrauchbar. Bei der Anwendung eines Kondensators darf deshalb die angegebene maximale Durchschlags-spannung nicht überschritten werden.

Zwei kreisförmige Metallplatten mit 20 cm Durchmesser stehen sich in Luft mit 4 mm Abstand gegenüber. Bei Luftkondensatoren rechnet man hinreichend genau mit $\epsilon_r = 1$. Wie groß ist die Kapazität dieser Anordnung?

Gegeben:

$$D = 20 \text{ cm}$$

$$s = 4 \text{ mm}$$

$$\epsilon_r = 1$$

Gesucht:

C

Lösung:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{s}$$

$$A = \frac{D^2 \pi}{4}$$

$$A = \frac{0,2^2 \cdot 3,14}{4} \text{ m}^2$$

$$A = 0,034 \text{ m}^2$$

$$C = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 1 \cdot \frac{0,034 \text{ m}^2}{0,004 \text{ m}}$$

$$C = 69,6 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$C \approx 70 \text{ pF}$$

Die Kapazität beträgt etwa 70 pF.

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre 1 bis 20 (S. 122)

Versuche – Elektrizitätslehre 1 bis 7 (S. 126)

54/1 Dielektrizitätskonstanten einiger Stoffe

Stoff	ϵ_r
Vakuum	1
Helium	1,000 074
Wasserstoff	1,000 264
Sauerstoff	1,000 547
Luft	1,000 592
Papier	2
Petroleum	2,3
Transformatoröl	2,5
Gummi	2,8
Hartgummi	3,5
PVC-weich	4
Glas, Porzellan	5
Glimmer	7
Aluminiumoxid	8,5
Glyzerin	22
Wasser	81,6
Epsilon 7000	7000

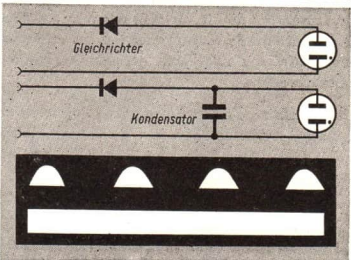
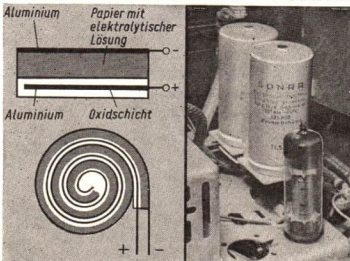
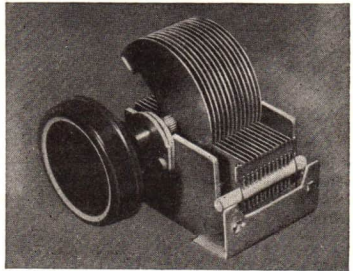
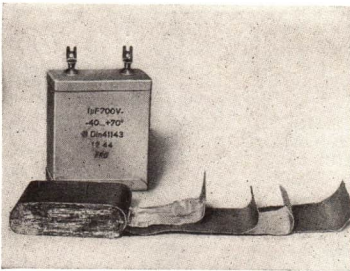
Technische Kondensatoren und ihre Anwendung

Wickelkondensatoren. Um möglichst große Plattenflächen aneinander zu bringen, werden Wickelkondensatoren gebaut. Zwischen den zwei zusammengerollten Streifen aus Aluminiumfolie liegt dünnes Paraffinpapier oder eine Plastfolie als Dielektrikum.

Drehkondensatoren. In der Funktechnik werden Kondensatoren mit veränderlicher Kapazität benötigt. Hierzu benutzt man Drehkondensatoren. Die Kapazität dieser Drehkondensatoren ist stufenlos veränderbar. Die Platten sind gegeneinander durch Luft isoliert.

Elektrolytkondensatoren sind Wickelkondensatoren. Zwischen zwei Aluminiumstreifen ist ein Papierstreifen gewickelt, der mit einer elektrolytischen Lösung getränkt ist. Die Lösung hat die Funktion der einen Kondensatorplatte. Der eine Aluminiumstreifen ist elektrolytisch mit einer sehr dünnen Aluminiumoxidschicht als Dielektrikum überzogen.

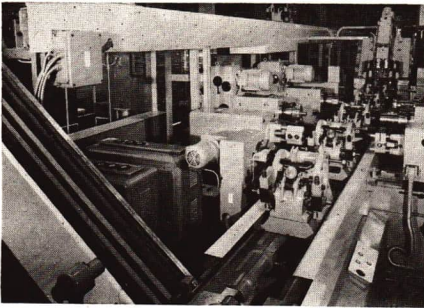
Glättung pulsierenden Gleichstroms. Bei der Gleichrichtung von Wechselstrom entsteht ein Gleichstrom mit schwankender Spannung (Skizze oben). Schaltet man einen Kondensator parallel, so wird der Gleichstrom geglättet. Während der Höhepunkte der Spannung werden Ladungen gespeichert, die während der Tiefpunkte der Spannung wieder abgegeben werden (Skizze unten).



Das magnetische Feld

Zahlreiche Elektromotoren treiben die Maschinen in dieser Taktstraße. Automatisch wird das Werkstück auf der Taktstraße transportiert, und automatisch verrichten die Maschinen ihre Arbeit. Mit Hilfe elektrischer Anlagen wird der Ablauf gesteuert.

In den Elektromotoren, den Schalt- und Steuerungsgeräten dieser Industrieanlagen werden die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes ausgenutzt.



Das Magnetfeld stromführender Leiter

Wir haben schon in der 8. Klasse einige Grundkenntnisse über die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes¹ gewonnen. Hier sollen sie noch einmal zusammengefaßt und erweitert werden. Jeder stromführende Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben.

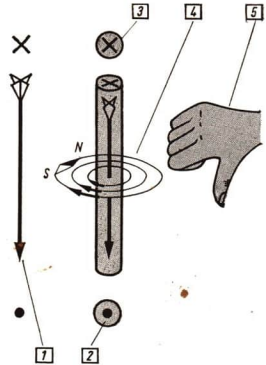
Im Raum um einen stromführenden Leiter sind magnetische Kraftwirkungen vorhanden.

- ▶ Um einen stromführenden Körper oder Dauermagneten kann an jedem Ort des Raumes eine Kraft gemessen werden. Die Gesamtheit dieser Kräfte, die den Punkten des Raumes zugeordnet sind, ist das magnetische Feld. Das magnetische Feld ist eine Form der Materie.

Die Kraftwirkungen können z.B. durch Eisenfeilspäne nachgewiesen werden. Die Richtung der magnetischen Kraftlinien ist die, in die sich der Nordpol einer Magnetnadel einstellt. An einem geraden Leiter kann die Richtung der Kraftlinien mit Hilfe der *Rechten-Faust-Regel* festgestellt werden.

- ▷ Umschließt man einen Leiter mit der rechten Faust so, daß der abgespreizte Daumen in die elektrische Stromrichtung weist, dann zeigen die Fingerspitzen die Richtung der magnetischen Kraftlinien an.

¹ Es ist festgelegt, daß die elektrische Stromrichtung im äußeren Teil eines Stromkreises vom Pluspol zum Minuspol geht. Demgegenüber erfolgt die Bewegung der Elektronen im äußeren Teil eines Stromkreises, entsprechend der Richtung des Elektronenstromes, vom Minuspol zum Pluspol.



56/1 Rechte-Faust-Regel für den geraden stromführenden Leiter

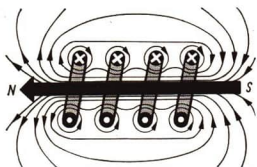
1 – Richtungspfeil für die elektrische Stromrichtung

2 – Symbol: Strom fließt auf den Betrachter zu

3 – Symbol: Strom fließt vom Betrachter weg

4 – Magnetfeld mit Kraftlinienrichtung

5 – rechte Hand

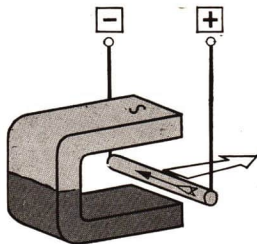


57/1 Magnetische Kraftlinien an einer stromführenden Spule

In einer stromführenden Spule überlagern sich die Magnetfelder der einzelnen Windungen zu einem Gesamtfeld. Für die Richtung des Magnetfeldes einer Spule gilt die Rechte-Faust-Regel.

Hält man an einer Spule die gekrümmten Finger der rechten Faust in die elektrische Stromrichtung, so zeigt der abgepreizte Daumen die Richtung der magnetischen Kraftlinien an.

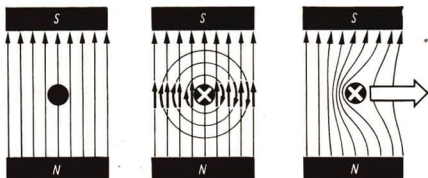
Die magnetischen Kraftlinien verlaufen außerhalb der Spule vom Nordpol zum Südpol. Demzufolge zeigt der Daumen der rechten Faust gleichzeitig den Nordpol einer stromführenden Spule an.



57/2 Versuchsanordnung zur Bewegung eines stromführenden Leiters im Magnetfeld

Kraftwirkungen an stromführenden Leitern

Gerader Leiter im Magnetfeld. In einem Magnetfeld befindet sich ein stromführender Leiter. Durch die Wechselwirkung der Magnetfelder des Hufeisenmagneten und des Leiters bewegt sich der Leiter in der eingezeichneten Richtung.

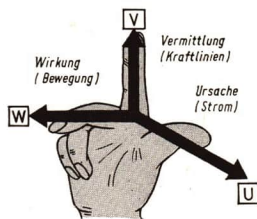


57/3 Kraftlinienverlauf am stromführenden Leiter im Magnetfeld

Die beiden Magnetfelder überlagern sich so, daß auf der einen Seite des Leiters ein stärkeres Magnetfeld auftritt als auf der anderen. Dadurch wird eine Kraft auf den Leiter ausgeübt, und er gerät in Bewegung.

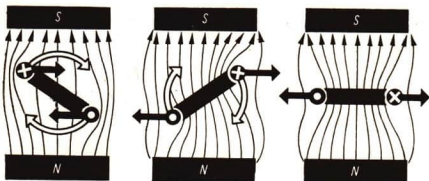
Die Richtungen der Kraft, des elektrischen Stromes und des Magnetfeldes lassen sich mit der Drei-Finger-Regel der rechten Hand erfassen.

Man stellt Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger der rechten Hand senkrecht zueinander. Bringt man den Daumen in die elektrische Stromrichtung (Ursache), den Zeigefinger in die Richtung der Kraftlinien (Vermittlung), so zeigt der Mittelfinger die Bewegungsrichtung (Wirkung) des Leiters an (UVW-Regel).



57/4 Drei-Finger-Regel für die Bewegung eines stromführenden Leiters im Magnetfeld (UVW-Regel)

Spule im Magnetfeld. In einem homogenen Magnetfeld befindet sich eine drehbar gelagerte, stromdurchflossene Spule (Bild 58/1).



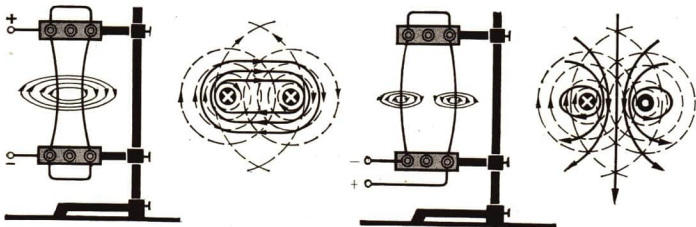
58/1 Feldlinienverlauf an einer drehbaren stromführenden Spule im Magnetfeld

Auf die Leiter dieser Spule werden Kraftwirkungen ausgeübt, die zu einer Drehung der Spule führen.

Die Drehbewegung wird beendet, wenn die Achse des Spulenfeldes senkrecht zur Achse des Magnetfeldes steht. Dann wirken die Kräfte nicht mehr drehend auf die Spule.

22 **Wäre auch eine Bewegung des Hufeisenmagneten möglich? Begründen Sie Ihre Aussage!**

Kraftwirkungen zwischen parallelen Leitern. Zwei Lamettafäden werden senkrecht parallel zueinander gespannt. Sie werden einmal in gleicher Richtung von einem Strom durchflossen und einmal in entgegengesetzter Richtung. Durch die Magnetfelder, die



sie umgeben, treten anziehende oder abstoßende Kräfte auf. Der Feldlinienverlauf, durch den diese Kraftwirkungen bedingt sind, ist in den Bildern eingezeichnet.

Der gesetzmäßige Zusammenhang bei der Kraftwirkung zwischen zwei parallelen Leitern ist zur Festlegung der gesetzlichen Einheit für die Stromstärke benutzt worden.

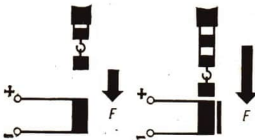
58/2 Kraftwirkungen zwischen parallelen Leitern mit gleicher Stromrichtung

58/3 Kraftwirkungen zwischen parallelen Leitern mit entgegengesetzter Stromrichtung

Eisen im Magnetfeld

Bringt man einen Eisenkern in das Magnetfeld einer Spule, so wird die Kraftwirkung erheblich verstärkt.

Die gleichen magnetischen Eigenschaften wie Eisen, nur in schwächerem Maße, zeigen die anderen zwei Metalle der Eisengruppe, Nickel und Kobalt. Das magnetische Ver-



58/4 Spule ohne und mit Eisenkern im Magnetfeld

halten der Eisenmetalle wird nach ihrem wichtigsten Vertreter *Ferromagnetismus* genannt. Aber auch die magnetischen Eigenschaften der einzelnen Eisenmetallsorten sind verschieden. Dies beweist folgender Versuch:

In eine stromdurchflossene Spule werden zwei Stahlstäbe von gleicher Länge und von gleichem Querschnitt gebracht. Der eine Stab besteht aus geglühtem Stahl, der andere aus gehärtetem Stahl. Durch das Magnetfeld der Stromspule werden beide Stäbe magnetisiert.

Beide Stäbe werden dann aus der Spule herausgenommen und in Stahlfeilspäne getaucht. Durch die Menge der festgehaltenen Feilspäne wird die Stärke des zurückgebliebenen Magnetismus veranschaulicht. Es erweist sich, daß an dem gehärteten Stahlstab eine weit größere Menge von Spänen haften bleibt als an dem geglühten Stahlstab.

Man nennt Stoffe (wie geglühten Stahl), die in einem Magnetfeld leicht magnetisiert werden, ihren Magnetismus aber außerhalb dieses Magnetfeldes wieder verlieren, *magnetisch weich*.

Solche Stoffe, die ihren Magnetismus außerhalb des erregenden Magnetfeldes beibehalten, nennt man *magnetisch hart*.

Der nach der Magnetisierung zurückgebliebene Magnetismus wird *remanenter*¹ Magnetismus genannt.

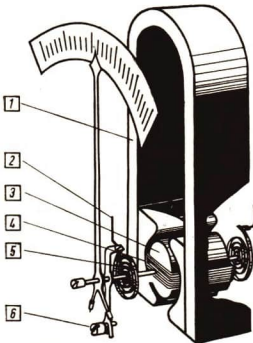
Da magnetisch harte Stoffe einen starken remanenten Magnetismus behalten, heißen sie auch *permanent*² *magnetisch*.

Für viele Meßinstrumente und für Lautsprecher sind magnetisch harte Stoffe erforderlich, die ihren Magnetismus jahrelang beibehalten.

Das Drehspulmeßwerk

Zum Überprüfen und Überwachen von elektrischen Anlagen und zum Aufbau von Versuchsschaltungen werden elektrische Meßgeräte benötigt, deren Wirkungsweise zum Teil auf den bereits bekannten Gesetzmäßigkeiten von der Bewegung stromführender Leiter im Magnetfeld beruht.

In einem Drehspulmeßwerk befindet sich eine Spule (4) auf einem leitenden, drehbaren Aluminiumrahmen (3) im Magnetfeld eines Dauermagneten (1). Sie wird von zwei Spiralfedern (5), die gleichzeitig der Stromzuführung dienen, in einer Gleichgewichtslage gehalten. Fließt durch die Spule ein Gleichstrom, so tritt eine Kraftwirkung auf die



59/1 Drehspulmeßwerk

- 1 – Permanentmagnet
- 2 – Stromanschluß
- 3 – Metallrahmen
- 4 – Drehspule
- 5 – Feder
- 6 – Einstellexzenter

¹ remanere (lat.): zurückbleiben.

² permanere (lat.): dauernd bleiben.

Spule ein. Die Spule wird so weit gedreht, bis die rücktreibende Kraft der Federn den ablenkenden Kräften das Gleichgewicht hält. Diese Kräfte sind von der Stromstärke abhängig. Es entsteht ein Zeigerausschlag, der von der Stromstärke bestimmt ist.

Die Meßwerke sind so konstruiert, daß die Spulen einen kleinen Widerstand haben und daß der maximale Zeigerausschlag bei Stromstärken von wenigen Milliampere eintritt. Durch Vorwiderstände oder Nebenwiderstände können die Drehspulmeßgeräte als Spannungs- oder Stromstärkemeßgeräte eingesetzt werden.

In Bild 60/1 ist die Schaltung für ein Spannungsmeßgerät gezeigt. Die Spule des Meßgerätes ist so angeschlossen, daß der Spannungsabfall des Elektrogerätes angezeigt wird. Beim Stromstärkemeßgerät wird das Gerät in die stromführende Leitung geschaltet.

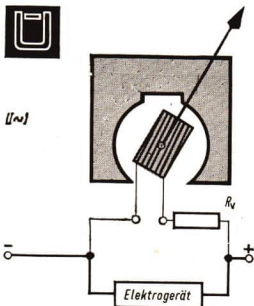
● *Wie wird der Meßbereich bei Spannungs- und Stromstärkemeßgeräten erweitert? Fertigen Sie dazu entsprechende Schaltskizzen an!*

Bei Änderung der Stromrichtung erfolgt die Drehung der Spule und damit der Zeigerausschlag in entgegengesetzter Richtung. Darum muß man an Drehspulmeßgeräten auf den richtigen Anschluß achten. Durch Wechselstrom müßte die Drehspule dauernd hin- und hergedreht werden. Auf Grund ihrer Trägheit kann sie aber dem schnellen Wechsel der Stromrichtung nicht folgen und bleibt in Ruhe.

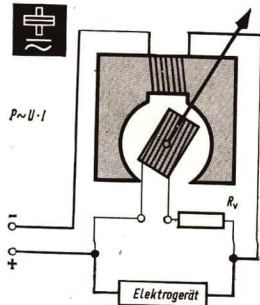
▷ **Drehspulmeßgeräte eignen sich nur für Stromstärke- und Spannungsmessungen von Gleichstrom.**

Um Wechselströme mit ihnen messen zu können, muß ein Meßgleichrichter eingebaut sein, der den Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt. Meßgleichrichter sind in den Vielfachmeßgeräten eingesetzt.

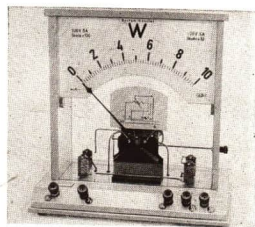
Soll ein Meßgerät eine elektrische Leistung anzeigen, so muß der Zeigerausschlag von der Spannung und der Stromstärke abhängig sein. Das kann man ebenfalls mit einem Drehspulmeßwerk erreichen. Man ersetzt den permanenten Magneten durch einen Elektromagneten. Seine Wicklung besteht aus wenigen Windungen dicken Drahtes. Diese wird wie beim Stromstärkemeßgerät in den Stromkreis geschaltet, so daß der gesamte Strom hindurchgeleitet wird. Die Drehspule wird über einen Vorwiderstand wie ein Spannungsmeßgerät angeschlossen. Durch diesen Aufbau wird die Kraftwirkung auf die Spule, und damit der Zeigerausschlag, von dem Produkt aus Spannung und Stromstärke abhängig. Die Skale ist in Watt oder Kilowatt eingeteilt.



60/1 Prinzipschaltbild und Symbol eines Spannungsmeßgeräts



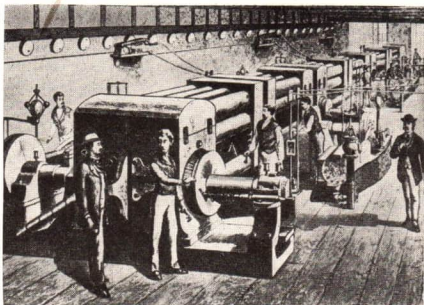
60/2 Prinzipschaltbild und Symbol eines Leistungsmeßgeräts



60/3 Leistungsmeßgerät für Unterzweckzwecke

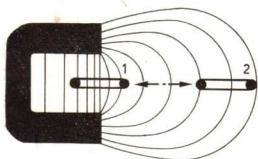
Die elektromagnetische Induktion

Dem englischen Physiker MICHAEL FARADAY gelang 1831 eine bedeutende Entdeckung. Damals war schon bekannt, daß sich ein stromführender Leiter in einem Magnetfeld bewegt. FARADAY untersuchte, ob dieser Vorgang umkehrbar ist. Bewegte er einen Leiter in einem Magnetfeld, so trat in dem Leiter eine Spannung auf. Das erste Kraftwerk in New York lieferte im Jahre 1881 nach diesem Prinzip elektrischen Strom.



Erzeugung von Induktionsspannungen

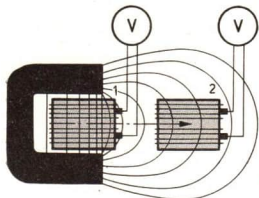
An unseren Fahrrädern benutzen wir eine sogenannte Dynamomaschine als Spannungsquelle für die Beleuchtung. Öffnet man ihr Gehäuse, so findet man darin eine Spule und einen Magneten. Es soll hier untersucht werden, wie durch das Einwirken von Magnetfeldern in Spulen eine Spannung erzeugt wird.



61/2 Die Bewegung einer Leiterschleife im Magnetfeld liefert eine elektrische Spannung

Wir bewegen in einer Anordnung nach Bild 61/2 eine Leiterschleife in einem Magnetfeld hin und her. Der Spannungsmesser zeigt hierbei wechselnde Ausschläge nach beiden Seiten an.

Man bezeichnet Spannungen, die durch eine solche Einwirkung von Magnetfeldern entstehen, als **Induktionsspannung**, und den Vorgang selbst als **elektromagnetische Induktion**.



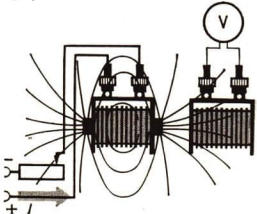
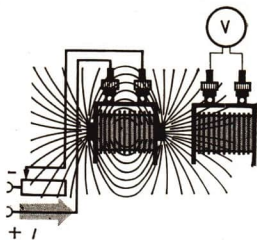
61/3 Bewegung einer Spule im Feld eines Hufeisenmagneten

Wir wiederholen den Versuch 24 mit einer **Spule**. Die Windungen der Spule stellen eine Reihenschaltung von Leiterschleifen dar. Die Induktionsspannungen addieren sich zu einer größeren Spannung. Diese ist der Windungszahl N_{nd} der Induktionsspule proportional.

Wir erkennen aus diesen Versuchen deutlich, daß die Induktionsspannungen nur so lange auftreten, wie die Bewegung andauert, d.h. solange dabei das von der Spule umschlossene Magnetfeld geändert wird. Es ist gleichgültig, ob man den Magneten oder die Spule bewegt; in jedem Falle wird dabei eine Spannung induziert.

Modellmäßig wird ein stärkeres Magnetfeld durch eine größere Zahl dichter liegender Feldlinien dargestellt. Die Änderung des von einer Leiterschleife umschlossenen Magnetfeldes ist im Feldlinienbild dadurch zu erkennen, daß sich in einer bestimmten Zeit die Anzahl der Feldlinien ändert, die durch die Leiterschleife führen.

Der Spannungsstoß. Bei einer schnellen Bewegung entsteht eine hohe Induktionsspannung für eine kurze Zeit, bei einer langsamen Bewegung dagegen tritt eine kleine Induktionsspannung für eine längere Zeit auf. Es ist daher für die quantitative Erfassung des Induktionsvorganges nicht die Spannung, sondern das Produkt aus der Spannung und der Zeitdauer, $U \cdot \Delta t$, der **Spannungsstoß** (in Vs) heranzuziehen.



62/1 Induktionsschleife im veränderlichen Feld eines Elektromagneten

26

Bringt man die Induktionsschleife in das Magnetfeld eines Elektromagneten, so kann man das von der Spule umschlossene Magnetfeld auch ändern, ohne die Spule oder den Magneten zu bewegen. Eine Veränderung der Stromstärke in dem Elektromagneten führt zu einer Änderung der Stärke des Magnetfeldes, das die Spule durchsetzt.

Wenn die Stromstärke in einem Elektromagneten verändert wird, tritt in einer Induktionsschleife, die sich in seinem Magnetfeld befindet, ein Spannungsstoß auf.

Das Induktionsgesetz

Eine quantitative Auswertung des Versuchs 26 ergibt:

Der Spannungsstoß ist proportional der Stromstärkeänderung.

$$U \cdot \Delta t \sim \Delta I.$$

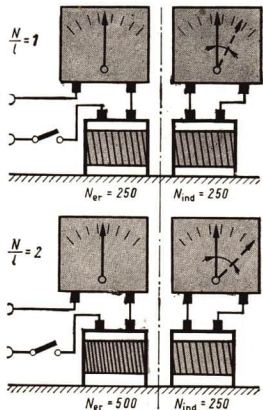
Entsprechend Bild 62/2 wird bei konstanter Erregerstromstärkeänderung ΔI die Abhängigkeit des Spannungsstoßes von der Windungszahl je Länge der Erreger- und Induktionsspule gemessen. Dazu werden Erreger- und Induktionsspulen mit verschiedener Windungszahl und gleicher Länge benutzt.

Aus den Experimenten ergibt sich:

Der Spannungsstoß ist proportional der Windungszahl N_{er} je Länge l der Erreger- und Induktionsspule

$$U \cdot \Delta t \sim \frac{N_{er}}{l}$$

Stehen Erreger- und Induktionsschleife nicht gegenüber, sondern bilden einen Winkel miteinander, so entsteht ein kleinerer Spannungsstoß. Die Ursache liegt darin, daß



62/2 Abhängigkeit des Spannungsstoßes von der Windungszahl je Länge der Erreger- und Induktionsspule

nur ein Teil des Magnetfeldes die Windungen der Induktionsspule mit der umschlossenen Fläche A durchsetzt. Genaue Messungen ergeben:

Der Spannungsstoß ist proportional der wirksamen Fläche A der Induktionsspule.

$$U \cdot \Delta t \sim A$$

Zusammenfassend kommt man zu

$$U \cdot \Delta t \sim \frac{N_{er}}{l} \cdot \Delta I \cdot A$$

Andererseits ist der Spannungsstoß proportional der Windungszahl N_{ind} der Induktionsspule (vgl. S. 62).

Damit erhält man

$$U \cdot \Delta t \sim \frac{N_{er}}{l} \cdot N_{ind} \cdot \Delta I \cdot A$$

Durch Einführung der Induktionskonstanten μ_0 als Proportionalitätsfaktor erhält man

$$U \cdot \Delta t = \mu_0 \cdot N_{ind} \frac{N_{er}}{l} \cdot \Delta I \cdot A$$

Durch Meßverfahren wurde der Wert für die Induktionskonstante zu

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \text{ bestimmt.}$$

Begründen Sie die Einheit von μ_0 !

Bei den bisherigen Versuchen waren die Spulen luftgefüllt. Befindet sich in den Spulen ein anderer Stoff, so verändert sich der Spannungsstoß. Das wird in der Gleichung durch den Faktor μ_{rel} berücksichtigt.

$$U \cdot \Delta t = \mu_0 \cdot \mu_{rel} \cdot N_{ind} \frac{N_{er}}{l} \cdot \Delta I \cdot A$$

Das Produkt

$$\mu_0 \cdot \mu_{rel} \cdot \frac{N_{er}}{l} \cdot I \cdot A$$

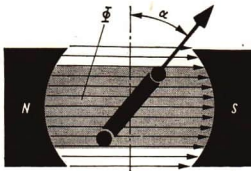
bezeichnet man als magnetischen Fluß Φ :

$$\Phi = \mu_0 \cdot \mu_{rel} \cdot \frac{N_{er}}{l} \cdot I \cdot A$$

Mit den Begriffen Spannungsstoß und magnetischer Fluß Φ ergibt sich aus den bisherigen Versuchen:

Eine Änderung des magnetischen Flusses $\Delta \Phi$ an einer Induktionsspule mit der Windungszahl N ruft einen Spannungsstoß vom Betrag $N \cdot \Delta \Phi$ hervor.

$$U \cdot \Delta t = N \cdot \Delta \Phi$$



63/1 Abhängigkeit des wirksamen Magnetfeldes von der Stellung der Induktionsspule

Energieumwandlung bei der elektromagnetischen Induktion

In den bisherigen Versuchen zur elektromagnetischen Induktion treten Induktionsspannungen mit verschiedener Polarität auf.

Es soll untersucht werden, von welchen Bedingungen die Richtung der Induktionsspannung und des Induktionsstromes abhängig ist.

27
▼ An einem dünnen Faden wird ein leichter Aluminiumring aufgehängt. Er stellt eine kurzgeschlossene Spulenwindung dar. Stößt man den Nordpol eines Stabmagneten durch den Ring, so weicht der Ring vor dem Magneten etwas aus.

Durch die Bewegung des Magneten gegenüber dem Ring wird in diesem eine Spannung induziert. Dadurch entsteht in dem kurzgeschlossenen Leiter ein Induktionsstrom. Dieser bewirkt um den Ring ein Magnetfeld. Das Magnetfeld liegt offensichtlich so, daß der Ring von dem Feld des Stabmagneten abgestoßen wird. Auf der dem Stabmagneten zugewandten Seite des Ringes liegt also ein Nordpol. Bringt man entsprechend der Rechte-Faust-Regel den Daumen in Richtung der Feldlinien des Induktionsstromes, so geben die gekrümmten Finger die Richtung des Induktionsstromes an (Bild 64/1). Zieht man den Stabmagneten schnell aus dem Ring heraus, so folgt der Ring dieser Bewegung etwas. Es muß jetzt auf der Seite des Ringes, die dem Magneten zugewandt ist, ein Südpol liegen. Die Richtung des Induktionsstromes verläuft entgegengesetzt. Arbeitet man bei diesem Versuch mit dem Südpol des Stabmagneten, so erfolgen die Bewegungen genauso, der Induktionsstrom fließt aber jeweils entgegengesetzt.

Ähnliche Versuche führte der russische Physiker H. E. LENZ (1804 bis 1865) aus und faßte die Ergebnisse in der nach ihm benannten **Lenzschen Regel** zusammen:

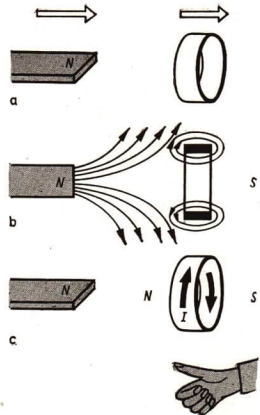
► **Der Induktionsstrom ist immer so gerichtet, daß er seiner Ursache entgegenwirkt.**

Diese Regel kann man in zweierlei Weise auslegen:

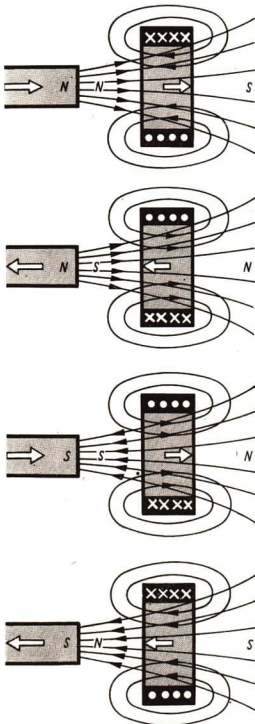
1. In den Versuchen ist die Ursache für den Induktionsstrom die *Relativbewegung* zwischen Magnet und Ring.

Infolge des Induktionsstromes wird in jedem Fall die Bewegung des Magneten gegenüber dem Ring gehemmt, indem eine vom Feld des Ringes ausgehende Kraft der Bewegungsursache des Magneten entgegenwirkt.

► **Der Induktionsstrom hemmt die mechanische Bewegung, die ihn hervorruft.**



64/1 a) Bewegung des Magneten und des Ringes
b) Verlauf der magnetischen Feldlinien
c) Richtung des Induktionsstromes



65/1 Die vier Möglichkeiten des Ringversuches

2. Die Ursache einer Induktionsspannung und ihres Induktionsstromes allgemein ist die Veränderung des von der Spule umschlossenen Magnetfeldes. Das Hineinstoßen bedeutet ein Verstärken des vom Ring umschlossenen Magnetfeldes. Das Magnetfeld des Induktionsstromes verläuft in diesem Falle immer dem Feld des Stabmagneten entgegen. Es schwächt dieses Feld. Beim Herausziehen des Magneten wird das umschlossene Feld schwächer. Das Magnetfeld des Induktionsstromes verläuft jetzt mit dem Feld des Stabmagneten gleichgerichtet und verstärkt dieses.

Das Magnetfeld des Induktionsstromes wirkt der Änderung des induzierenden Feldes entgegen.

Die Lenzsche Regel wird durch das negative Vorzeichen berücksichtigt: $U_i \cdot \Delta t = -N \cdot \Delta \Phi$.

Danach lautet das Induktionsgesetz:

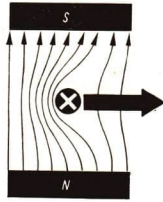
$$U_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Wir betrachten noch einmal den Ringversuch, diesmal in energetischer Hinsicht. Der Ring folgt der Bewegungsrichtung des Magneten. Zwischen den Feldern des Magneten und des Induktionsstromes im Ring besteht wegen der Wechselwirkung des Feldes eine mechanische Kraft, die entlang des Bewegungsweges wirksam wird. Es wird also mechanische Arbeit verrichtet. Die mechanische Arbeit wird im Ring in elektrische Energie umgewandelt; denn dort treibt eine Induktionsspannung einen Strom für kurze Zeit durch den Ring. Der Ring wird dadurch etwas erwärmt. Die Energiemenge ist bei diesem Versuch so klein, daß man sie nicht mit einfachen Mitteln messen kann. An die Generatoren der Kraftwerke, die durch Induktionsvorgänge mechanische in elektrische Energie umwandeln, werden dagegen erheblich größere mechanische Energien von den Antriebsturbinen abgegeben als z. B. von dem Rad, das den Fahrraddynamo antreibt. Kraftwerksgeneratoren werden deshalb gekühlt.

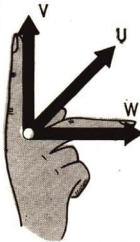
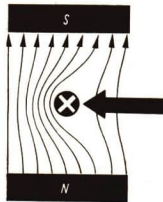
Durch die elektromagnetische Induktion kann mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt werden.

Diese Energieumwandlung ist auch in umgekehrter Richtung möglich. Die Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische wird bei der Behandlung der Elektromotoren näher untersucht. In den beiden gleichartigen Versuchsanordnungen des Bildes 66/1 ist die wechselseitige Umwandlung von elektrischer und mechanischer Energie gegenübergestellt. In einer Merkregel, der Dreifinger- oder UVW-Regel, ist das Ergebnis zusammengefaßt.

Einem stromdurchflossenen Leiter wird in einem Magnetfeld eine Bewegung erteilt



Ein in einem Magnetfeld bewegter Leiter wird von einem elektrischen Strom durchflossen



Elektrische Stromrichtung

Feldlinienrichtung

Bewegungsrichtung des Leiters

Daumen
U
(Ursache)

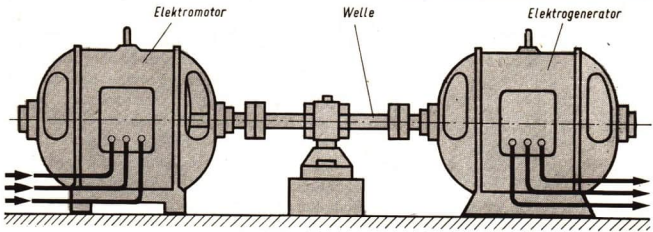
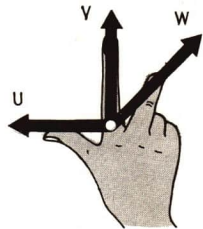
Zeigefinger
V
{ Vermittlung }

Mittelfinger
W
{ Wirkung }

Bewegungsrichtung des Leiters

Feldlinienrichtung

Elektrische Stromrichtung



Elektrische Energie
(Strom)

Mechanische Energie
Übertragungsverluste
(Drehbewegung)

Elektrische Energie
(Strom)

66/1 Umwandlung von elektrischer in mechanische und wieder in elektrische Energie

Die Selbstinduktion

Eine stromführende Spule befindet sich immer in ihrem eigenen Magnetfeld. Wird die Stromstärke in der Spule geändert, so ändert sich der die Spule durchsetzende magnetische Fluß Φ . Dies führt zu einer Induktionsspannung in der Spule selbst, der **Selbstinduktionsspannung** U_{is} . Berücksichtigt man, daß hierbei die Erregerspule zugleich Induktionsspule und somit N_{er} identisch mit N_{ind} ist und von allen den magnetischen Fluß bestimmenden Größen sich nur I ändert, so folgt:

$$U_{is} = -\mu_0 \cdot \mu_{rel} \cdot \frac{N^2}{l} \cdot A \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Die konstant bleibenden Größen faßt man zur Größe L zusammen. Damit ergibt sich:

$$U_{is} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Die Selbstinduktionsspannung in einer Spule wirkt der Stromstärkeänderung entgegen, durch die sie entsteht. Sie ist dem Betrag der Änderungsgeschwindigkeit der Stromstärke proportional.

Die Größe L in $V \cdot s \cdot A^{-1}$ ist von der Beschaffenheit der Spule und des sie umgebenden Stoffes abhängig und heißt **Induktivität**

Der Einheit der Induktivität hat man den Namen **Henry** gegeben (JOSEPH HENRY, amerikanischer Physiker, 1797 bis 1878).

Stromstärkeänderungen treten u.a. bei Ein- und Ausschaltvorgängen auf. Die dabei auftretenden Selbstinduktionsspannungen sollen anhand zweier Versuche (Bilder 67/1 und 67/2) nachgewiesen werden.

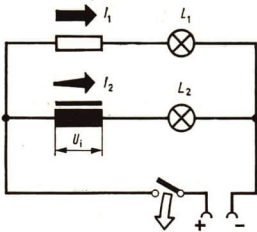
Vor die Lampe L_2 (Bild 67/1) ist eine Spule auf einem Eisenkern geschaltet, vor die Lampe L_1 ein Widerstand, der so eingestellt wird, daß beide Lampen gleich hell leuchten. Beim Einschalten stellt man fest, daß die Lampe L_2 etwas später aufleuchtet als die Lampe L_1 .

Nach der Lenzschen Regel muß die Selbstinduktionsspannung so gerichtet sein, daß sie ihrer Ursache entgegenwirkt. Die Ursache ist das Entstehen des Magnetfeldes. So ist die Selbstinduktionsspannung der angelegten Spannung entgegengerichtet und verzögert das Anwachsen der Stromstärke.

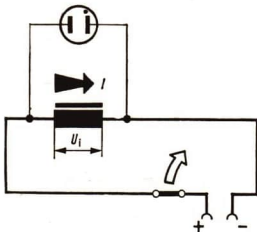
Der Nachweis der Selbstinduktionsspannung beim Ausschalten erfolgt mit einer Glühlampe. Sie hat eine Zündspannung von etwa 100 V und leuchtet beim Einschalten nicht auf. Im Augenblick des Ausschaltens leuchtet an der einen Elektrode kurz ein

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre 21 bis 34 (S. 122)

Versuche – Elektrizitätslehre 8 bis 9 (S. 126)



67/1 Nachweis der Selbstinduktionsspannung mit einer eisenerfüllten Spule



67/2 Nachweis der Selbstinduktionsspannung beim Ausschalten mit einer Glühlampe

Glimmlicht auf. An dieser Elektrode liegt der Minuspol der Selbstinduktionsspannung. Diese ist erheblich höher als die Spannung der Spannungsquelle.

Nach der Lenzschen Regel ist sie beim Ausschalten so gerichtet, daß sie den zuvor fließenden Strom kurzzeitig in seiner Richtung aufrechterhält. Selbstinduktionsspannungen treten auch auf, wenn die Stromstärkeänderung langsamer erfolgt als bei den Schaltvorgängen. Sie sind dann aber kleiner, weil die Zeit für die Feldänderung größer ist.

Magnetisches und elektrisches Feld

- *Vergleichen Sie das elektrische und magnetische Feld miteinander! Stellen Sie das Gemeinsame und die Unterschiede heraus!*

Zwischen beiden Feldern bestehen enge Zusammenhänge. Ein Versuch (Bild 68/1) soll das verdeutlichen:

- 30 **▼** In einem geladenen Plattenkondensator ist elektrische Energie gespeichert. Es besteht ein elektrisches Feld. Der Kondensator wird entladen. Die bis dahin aufgespeicherte Energie geht in Bewegungsenergie der Elektronen über. Die Elektronenbewegung ist von einem Magnetfeld begleitet.

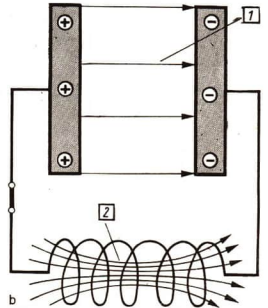
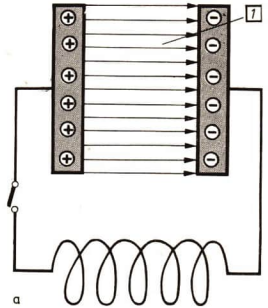
- ▷** Durch Veränderung eines elektrischen Feldes entsteht ein magnetisches Feld.

Ändert sich in einer Spule aus einer Windung der magnetische Fluß, so entsteht in ihr eine Induktionsspannung. In der geschlossenen Windung fließt ein Induktionsstrom. Das kann man so deuten, daß die Elektronen durch die Kraftwirkung eines elektrischen Feldes bewegt werden. Dieses Feld entsteht bei der Änderung des Magnetfeldes. So wie jedes Magnetfeld auch existiert, ohne daß man es z. B. mit Eisenfeilspänen nachweist, existiert auch das elektrische Feld ohne die Leiterschleife, die lediglich zum Nachweis dient. Die elektrischen Feldlinien umschließen das sich ändernde Magnetfeld wie die Leiterschleife.

Im Gegensatz zu den bisher behandelten elektrischen Feldlinien, die sich zwischen unterschiedlichen Ladungen ausbilden, sind diese in sich geschlossen.

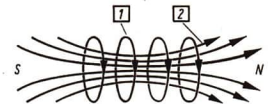
- ▷** Durch Veränderung eines magnetischen Feldes entsteht ein elektrisches Feld.

Die Umkehrbarkeit dieser beiden Vorgänge ermöglicht den Einsatz der Elektroenergie im Produktionsprozeß und im Nachrichtenwesen.



68/1 a) elektrisches Feld (1) am geladenen Plattenkondensator

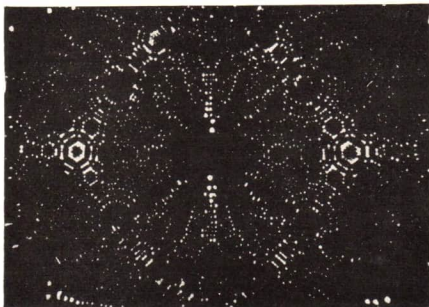
b) elektrisches (1) und magnetisches (2) Feld beim Entladen des Plattenkondensators über eine Spule (die geringere Feldlinienzahl soll die eingetretene Abnahme der Ladung andeuten)



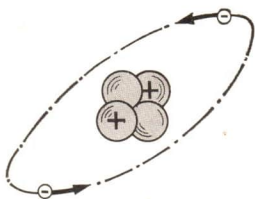
68/2 geschlossene elektrische Feldlinien (1) umgeben ein sich änderndes Magnetfeld (2)

Einiges vom Aufbau der Stoffe

Die Struktur der uns umgebenden Stoffe ist sehr unterschiedlich. Die Anordnung der Teilchen, aus denen die Stoffe aufgebaut sind, kann mit besonderen Untersuchungsverfahren festgestellt werden. Mit einem Feldionenmikroskop z.B. wird die Lage der Atome in einer sehr dünnen Wolframspitze sichtbar gemacht. (Radius der Spitze etwa $5 \cdot 10^{-6}$ cm). Man erkennt die regelmäßige Anordnung der Atome im Metall.



Aufbau der Atome



69/2 Modellbild des He-Atoms

Im Chemieunterricht wurde bereits erläutert, daß die Teilchen, die noch die Eigenschaft eines chemischen Elementes besitzen, Atome genannt werden. Diese bestehen aus einem positiv geladenen Kern und negativ geladenen Elektronen, die den Kern in großem Abstand umgeben (RUTHERFORD, 1871 bis 1937).

Bereits 1913 wies N. BOHR nach, daß mit diesem Modellbild vom Atom nicht alle physikalischen Erscheinungen richtig erklärt werden können. Wir benutzen heute zur Erklärung vieler Eigenschaften des Atoms ein Modellbild, das folgendes annimmt:

Die Atome bestehen aus einem elektrisch positiv geladenen Kern.¹ In großem Abstand von ihm befinden sich die elektrisch negativ geladenen Elektronen. Sie sind in fortwährender Bewegung. Der Ort der Elektronen ist nicht genau festgelegt. Man nennt den wahrscheinlichsten Aufenthaltsort der Elektronen eine Elektronenwolke. Die Entfernung der Elektronen vom Kern ist dabei direkt proportional einem bestimmten Energiebetrag.

Wird einem Elektron von außen Energie zugeführt (Strahlung), so springt es auf eine kernfernere Umlaufbahn. Springt ein Elektron infolge Unvollständigkeit einer inneren Elektronenschale oder -wolke in eine kernnähere Umlaufbahn, so gibt es einen entsprechenden Energiebetrag (Strahlung) ab.

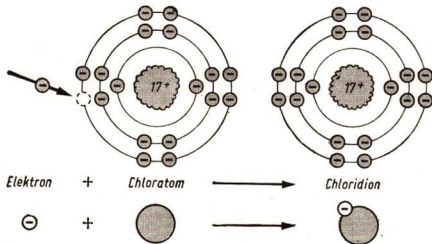
¹ Der Atomkern ist wiederum aus Kernbausteinen zusammengesetzt (siehe Kernphysik S. 95).

Ion und Ionenbeziehung

Für den Physikunterricht benutzt man folgende einfache Modellvorstellung:

- ▷ **Neutrales Atom:** Die Anzahl der positiven elektrischen Ladungen im Kern ist genau so groß wie die Anzahl der Elektronen bzw. elektrisch negativen Ladungen.

Um ein übersichtliches Bild vom Aufbau des Atoms zu erhalten, stellt man sich vor, daß sich die Elektronen auf Kreisbahnen oder Schalen um den Atomkern bewegen. Je größer der Abstand der Elektronen vom Kern, desto größer ist ihre gesamte Energie. Der günstigste energetische Zustand in einem Atom liegt dann vor, wenn jeweils acht Elektronen auf der äußersten Kreisbahn angeordnet sind. Dieser Zustand ist bei unterbesetzter äußerster Elektronenschale durch Elektronenaufnahme oder Elektronenabgabe zu erreichen.



70/1 Ionenbildung durch Elektronenaufnahme beim Chlor

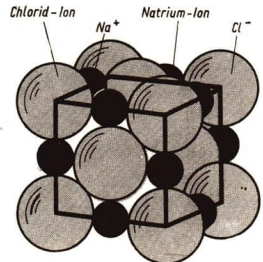
- ▷ **Durch Elektronenaufnahme oder Elektronenabgabe entstehen elektrisch aufgeladene Atome. Diese heißen Ionen.**

Lagern sich Atome verschiedener Elemente (z. B. Na und Cl) zusammen, so wird dabei zwischen Metall und Nichtmetall der Zusammenhalt der Teilchen häufig durch die elektrostatische Anziehungskraft (vgl. elektrisches Feld) zwischen den Ionen bewirkt.

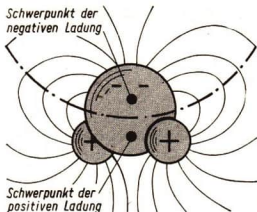
- **Geben Sie andere Beispiele für Ionenkristalle an!**

Atombindung

Bei der Zusammenlagerung der Atome von Nichtmetallen (Cl_2 ; H_2O ; O_2) wird der Zusammenhalt der Atome dadurch bewirkt, daß jeweils zwei Elektronen zwischen zwei Atomen



70/2 Ionenkristall des NaCl



71/1 Wassermolekül als Dipol

ausgetauscht werden. Man kann sagen, daß diese Elektronen zu beiden Atomen gleichzeitig gehören. Ein besonderer Zustand tritt dann ein, wenn durch die unterschiedliche Größe der zusammengefügteten Atome eine winklige Zusammenlagerung entsteht. Dies ist beispielsweise beim Wassermolekül der Fall. Der Ladungsschwerpunkt der positiven Ladung fällt dann nicht mit dem Ladungsschwerpunkt der negativen Ladung zusammen. Es entsteht ein elektrischer Dipol, der von einem elektrischen Feld umgeben ist.

Wassermoleküle bilden elektrische Dipole. Diese sind von einem elektrischen Feld umgeben.

Aufbau der Metalle

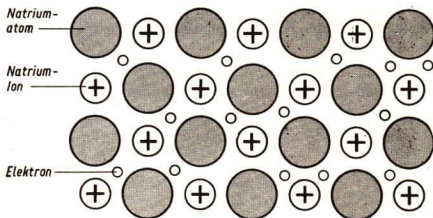
Die Atome sind im Metall regelmäßig angeordnet (Bild 71/2). Sie bilden einen Kristall.

Wodurch werden die Atome eines Metalls zusammengehalten?

Es ist bekannt, daß in Metallen ein elektrischer Strom fließen kann. Dabei werden Elektronen bewegt. Diese beweglichen Elektronen werden von den Metallatomen abgegeben. Sie führen stets eine regellose Bewegung im Kristallgitter aus, und es findet dabei ständig ein Austausch zwischen beweglichen und gebundenen Elektronen statt. Es wandelt sich laufend ein Metallion in ein Metallatom um (und umgekehrt). Dieser ständige Platzwechsel der Elektronen bewirkt den Zusammenhalt der Metallionen im Kristallgitter.

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre 35 bis 38 (S. 124)

71/2 Metallische Bindung im Natrium





Leitung in Flüssigkeiten

Auf den Straßen unserer Republik rollen viele Kraftfahrzeuge. Die form-schöne Gestaltung wird meist noch unterstrichen durch verchromte, blitzende Teile. Diese Chromüberzüge werden auf elektrochemischem Wege hergestellt. Dabei spielen elektrische Leitungsvorgänge in Flüssigkeiten wie Lösungen aus Salzen oder Metallschmelzen eine wichtige Rolle.

Die Dissoziation

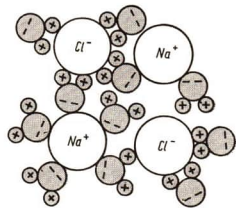
Auf Grund der Ladungsverteilung im Wassermolekül (elektrisches Feld) tritt beim Lösen von Ionenkristallen in Wasser ein Vorgang ein, den man als Dissoziation bezeichnet. Bei der Dissoziation werden die Ionen des zu lösenden Stoffes (Elektrolyt genannt) voneinander getrennt. Durch die elektrostatische Anziehungskraft der Wasserdipole wird die Bindungskraft zwischen den Ionen überwunden.

Natriumchlorid – im Kristall sind Natrium- (Na^+) und Chlorid-Ionen (Cl^-) vorhanden – wird in Wasser dissoziiert.

Das Kristallgefüge zerfällt. Die Ionen führen im Wasser eine ungeordnete Bewegung aus. Sie lagern sich dabei mit Wasserdipolen zusammen (Hydratation) und können sich auch zeitweilig wieder zu NaCl verbinden (Dissoziationsgleichgewicht).

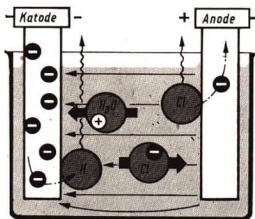
Die Ionen sind Träger einer Anzahl von Elementarladungen. Diese ist durch die Zahl der aufgenommenen oder abgegebenen Elektronen bestimmt.

Lösungen, in denen elektrische Ladungsträger vorhanden sind, werden Elektrolytlösungen genannt.



72/2 Natrium- und Chlorid-Ionen, von Wassermolekülen umgeben

Stoff	Ionen	Beispiel	Elementarladungen
Säure	Hydronium-Ion und Säurerest-Ion	$\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{--}$	2 e
Salz	Metall-Ion und Säurerest-Ion	$\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	e
Hydroxid	Metall-Ion und Hydroxid-Ion	$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2(\text{OH})^-$	2 e



73/1 Ionenbewegung und Ladungstransport in einer Elektrolytlösung unter dem Einfluß des elektrischen Feldes

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre 39 bis 42 (S. 124)

Versuche – Elektrizitätslehre 10 bis 14 (S. 126)

Der Ionenstrom

Bringt man in eine Elektrolytlösung zwei Elektroden, die an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen sind, dann geraten die Ionen durch die Kraft des elektrischen Feldes zwischen den beiden Elektroden in Bewegung.

Wasserstoff- und Metall-Ionen sind elektrisch positiv, Säure- und Hydroxid-Ionen sind elektrisch negativ geladen.

Daraus ergibt sich, daß in Elektrolytlösungen einzelne Bestandteile chemischer Verbindungen voneinander getrennt werden können. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Elektrolyse**.

Die elektrische Leitung in Flüssigkeiten ist eine Ionenleitung. Die Ionen werden durch die elektrische Antriebsenergie einer Spannungsquelle bewegt (elektrisches Feld). Mit der Entladung der Ionen an den Elektroden ist eine Zersetzung des Elektrolyten verbunden.

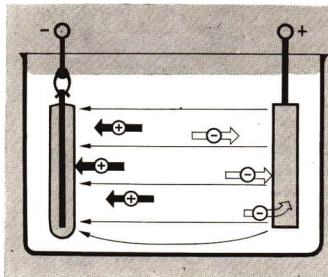
Anwendungsbeispiele

Galvanostegie (Bild 73/2)

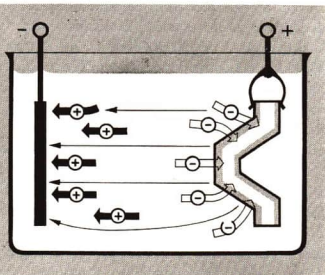
Durch eine Salzlösung, aus deren Metall ein Überzug auf einem Gegenstand hergestellt werden soll, wird Gleichstrom geleitet. Der Gegenstand wird als Katode in den Stromkreis gebracht. Der metallische Überzug haftet fest und kann sehr dünn und gleichmäßig hergestellt werden.

Aloxydieren (Bild 73/3)

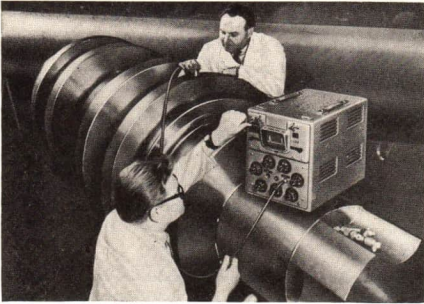
Aluminium kann elektrolytisch oxydiert und damit widerstandsfähig gemacht werden. Des Werkstück wird als Anode in einen Elektrolyten gebracht. Die dünne Aluminiumoxidschicht ist korrosionsbeständig und elektrisch schlecht leitend; durch Farbstoffe kann die Oxidschicht gefärbt werden.



73/2



73/3



Das zerstörungsfreie Prüfen von Werkstücken ist ein weitverbreitetes Verfahren. Die Meßergebnisse werden dabei durch einen Katodenstrahl-oszillografen aufgezeichnet. Katodenstrahlröhren wie auch andere gasgefüllte oder evakuierte Röhren werden auf der Grundlage physikalischer Gesetzmäßigkeiten gebaut, die bei der elektrischen Leitung in Gasen und im Vakuum auftreten.

Unselbständige Entladung

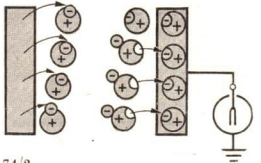
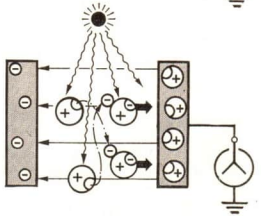
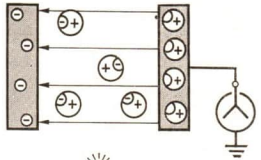
Bei der Leitung in Flüssigkeiten sind Ionen als Ladungsträger wirksam. Nun gilt es festzustellen, ob auch in Gasen eine Leitung durch Ladungsträger möglich ist. Hierzu führen wir den folgenden Versuch mit einem Gas durch, und zwar mit Luft:

Zwei Kondensatorplatten (Bild 74/2) werden mit einem Elektroskop verbunden und elektrisch aufgeladen. Der Ladungsunterschied bleibt, wie man mit dem Elektroskop nachweisen kann, längere Zeit erhalten. Die trockene Luft wirkt als Isolator. Wird die Luft zwischen den Platten erwärmt oder Röntgenstrahlen ausgesetzt, so geht der Ausschlag am Elektroskop zurück. Die Luft muß offensichtlich leitend geworden sein.

Durch die Zufuhr von Energie werden von den vorher neutralen Atomen oder Molekülen des Gases einzelne Elektronen abgespalten, die sich an neutrale Atome oder Moleküle anlagern. Es entstehen Ionen, die im elektrischen Feld den Ladungstransport ausführen. Da dieser Vorgang durch äußere Einflüsse hervorgerufen wird, sprechen wir von **unselbständiger Entladung**.

Unter dem Einfluß des elektrischen Feldes wandern die negativen Ionen zur positiven Platte des Kondensators. Die positiven Ionen wandern zur negativen Platte. Damit bilden diese Ionen als Ladungsträger den elektrischen Strom. Dieser Strom wird allerdings dadurch geschwächt, daß sich ein Teil der positiven und negativen Ladungsträger wieder vereinigt (*Rekombination*).

Zwischen der Bildung von Ladungsträgern und ihrer



74/2

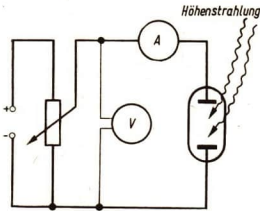
Vereinigung stellt sich ein Gleichgewicht ein, das im statistischen Mittel ein bestimmtes Überwiegen des einen Vorganges über den anderen aufrecht erhält. Das Überwiegen der Ladungsträgererzeugung äußert sich bei angelegter Spannung als elektrischer Strom.

Die Gasentladung findet unter diesen Bedingungen nur solange statt, wie in der Entladungsstrecke durch Energiezufuhr von außen immer wieder neue Ladungsträger erzeugt werden. Da durch den Einfluß kosmischer Strahlung und anderer, meist technischer Prozesse, in der atmosphärischen Luft immer Ionen vorhanden sind, erklärt sich auch, warum der Kondensator im Versuch 31 auch ohne sichtbare Energiezufuhr langsam entladen wird.

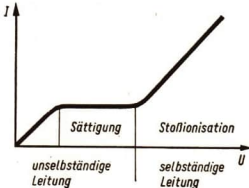
Bei der unselbständigen Gasentladung werden die Ladungsträger aus den Atomen bzw. den Molekülen des Gases durch Energiezufuhr von außen erzeugt.

Selbständige Entladung

Es liegt nahe zu untersuchen, ob durch eine Energiezufuhr aus dem Stromkreis selbst anstelle der Energiezufuhr von außen auch Ladungsträger erzeugt werden können. Das wäre dann der Fall (Hypothese), wenn die bei einer anfangs unselbständigen Entladung erzeugten Ionen im elektrischen Feld so stark beschleunigt würden, daß sie beim Aufprall auf die Katode dort Elektronen herausschlagen. Das setzt einen geringen Gasdruck und eine hohe Spannung voraus, damit die Ionen auch genügend stark beschleunigt werden. Zur Prüfung dieser Annahme wird folgender Versuch durchgeführt:



75/1



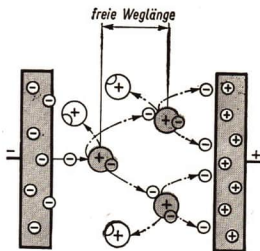
75/2

Eine Entladungsröhre (Bild 75/1) mit zwei plattenförmigen Elektroden ist mit einem Gas, dessen Druck nur einige Torr beträgt, gefüllt. Die Stromstärke soll in Abhängigkeit von der Spannung untersucht werden.

Erhöht man die angelegte Spannung, so ändert sich die Stromstärke in der in Bild 75/2 dargestellten Weise. Man erkennt, daß die Stromstärke anfangs annähernd proportional zur Spannung wächst, bis sie einen Wert annimmt, der bei steigender Spannung annähernd gleichbleibt. Die Stromstärke ist zunächst durch die Anzahl der Ionen, die immer durch **äußere Einflüsse** im Gas erzeugt werden, bestimmt (unselbständige Entladung). Steigert man die Spannung weiter, dann steigt die Stromstärke weiter an und erreicht hohe Werte. Der Grund dafür wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Stoßionisation. Auf die Ladungsträger zwischen den Elektroden wird eine Kraft $F = E \cdot Q$ ausgeübt. Diese Kraft ruft eine Beschleunigung der Ladungsträger, wie z. B. der Elektronen, hervor. Durch die Beschleunigung der Ladungs-

träger im elektrischen Feld wird ihre Geschwindigkeit und damit ihre kinetische Energie größer. Mit zunehmender kinetischer Energie können Elektronen beim Zusammenstoß mit neutralen Atomen aus diesen weitere Elektronen heraus schlagen. Man nennt diesen Vorgang **Stoßionisation**. Im Entladungsraum sind dann außer neutralen Atomen negative und positive Ladungsträger in gleicher Zahl vorhanden. Diesen Zustand eines Gases nennt man **Plasma**. Das Plasma besitzt eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Die aus den Atomen herausgeschlagenen Elektronen erhalten durch das elektrische Feld wiederum eine genügend große Energie. Sie können dann ebenfalls eine Stoßionisation auslösen. Dafür ist Voraussetzung, daß die Elektronen zwischen den Zusammenstößen einen Weg zurücklegen, der so groß ist, daß die aufgenommene kinetische Energie zur Ionisation der Atome des Gases ausreicht. Die zurückgelegte Wegstrecke zwischen zwei Zusammenstößen heißt **freie Weglänge**. Diese nimmt zu, wenn man den Druck in der Entladungsröhre verringert. Bei großer freier Weglänge für die Elektronen tritt bereits bei niedrigerer Spannung eine Stoßionisation ein als bei kleiner freier Weglänge.



76/1 Freie Weglänge der Elektronen in einem Gas

- Erklären Sie, warum die freie Weglänge bei einer Druckerniedrigung zunimmt!

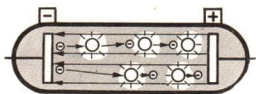
Die positiven Ionen schlagen beim Aufprall auf die Katode infolge ihrer kinetischen Energie Elektronen heraus. Diese im elektrischen Feld beschleunigten Elektronen treffen mit Molekülen zusammen und regen diese zum Leuchten an (**Glimmlicht**). Außerdem können sie eine Stoßionisation herbeiführen.

Glimmentladung. Der Vorgang der Gasentladung hängt sehr stark vom Druck des Gases ab. Dabei treten Leuchterscheinungen in der Gasentladungsstrecke auf, die als Glimmlicht bezeichnet werden. Das Glimmlicht erscheint bei hohem Gasdruck nur an der Katode, erfüllt bei abnehmendem Druck immer mehr die gesamte Entladungsstrecke und verlöscht bei weiterer Druckerniedrigung infolge der Abnahme der Anzahl der Gasmoleküle.

Bogenentladung. Führt man die Elektroden bei den unter der Glimmentladung genannten Bedingungen zusammen und zieht sie dann auseinander, findet eine Entladung in der Luft unter hoher Licht- und Wärmeentwicklung statt. Die dadurch ionisierte Entladungsstrecke ist so gut leitend, daß sehr hohe Ströme fließen. Man nennt diese Erscheinung **Bogenentladung**.

Funkenentladung. Bei geringem Abstand der Elektroden in einer Gasentladungsstrecke wird die auf die Elektronen

ausgeübte Kraft so groß, daß bei der Stoßionisation in den getroffenen Atomen Vorgänge ausgelöst werden, die zu einer Leuchterscheinung führen (s. Aufbau der Atome). Dabei tritt eine Erwärmung ein, und weitere Atome werden dadurch ionisiert. Damit nimmt die Zahl der Ladungsträger in einer sehr kleinen Zeitspanne so stark zu, daß eine augenblickliche Entladung stattfindet. Diese Erscheinung ist als Funkenentladung bekannt.



77/1 Leitungsvorgang in einer gasgefüllten Röhre

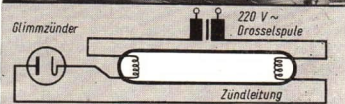
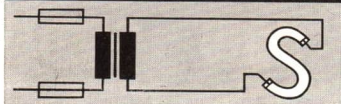
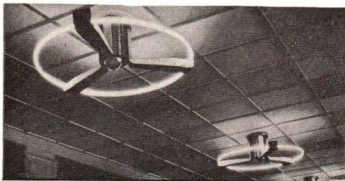
Bei der selbständigen Gasentladung werden die Ladungsträger durch Energiezufuhr aus dem Stromkreis selbst erzeugt.

Anwendungsbeispiel zur Glimmentladung

Leuchtröhren bestehen aus Glasröhren, in die Elektroden eingeschmolzen sind. In ihnen befindet sich Gas unter einem Druck von einigen Torr. Bei einer Spannung von 1000 V bis 3000 V findet eine selbständige Entladung statt. Die von Elektronen getroffenen Gasatome geben dabei die durch Stoß aufgenommene Energie als Licht ab.

Leuchtstofflampen sind mit Quecksilberdampf gefüllt. Infolge Stoßionisation senden die Quecksilbermoleküle ultraviolettes Licht aus. Dieses für uns unsichtbare Licht trifft auf eine auf die Innenseite der Lampe aufgetragene Leuchtschicht, die daraufhin sichtbares Licht ausstrahlt.

Die Zündspannung der Lampe liegt wesentlich höher als die Betriebsspannung von etwa 100 V. Beim Einschalten wird über einen Glimmzünder und die beiden Elektroden ein elektrischer Strom geleitet; dabei findet eine Glimmentladung im Glimmzünder statt. Der Bimetallstreifen im Glimmzünder wird dadurch erwärmt und schließt den Kontakt, die Glimmentladung verlöscht. Daraufhin kühlt sich der Bimetallstreifen ab und öffnet dabei den Stromkreis. Dadurch entsteht in der Drosselspule ein Induktionsspannungsstoß, der die Gasentladung zwischen den beiden Elektroden in der Lampe auslöst.



Elektronenstrahlen

Wird der Druck in einer Gasentladungsröhre so weit vermindert, daß die freie Weglänge der Länge der Entladungsröhre entspricht, dann können keine Zusammenstöße zwischen den im elektrischen Feld beschleunigten Elektronen und den Atomen oder Molekülen des Füllgases erfolgen. Die Elektronen prallen deshalb mit großer Energie auf die Glaswand der Entladungsröhre. Sie erzeugen auf ihr ein grünes Fluoreszenzlicht. Diese Elektronen großer Energie nennt man **Katodenstrahlen**, da sie von der Katode ausgehen. Die Katodenstrahlen wurden 1864 von HITTORF und GEISSLER eingehend untersucht. Diese Untersuchungen ergaben:

1. Katodenstrahlen üben eine mechanische Wirkung durch Stoß aus (Bild 78 a).
2. Sie bewirken beim Aufprall auf einen Körper infolge der Abgabe ihrer kinetischen Energie eine Erwärmung.
3. Sie laden ein Elektroskop elektrisch negativ auf (Bild 78b).
4. Sie werden in einem Magnetfeld senkrecht zu diesem abgelenkt (Bild 78 c).
5. Sie werden in einem elektrischen Feld zur positiv geladenen Platte hin abgelenkt (Bild 78 d).

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

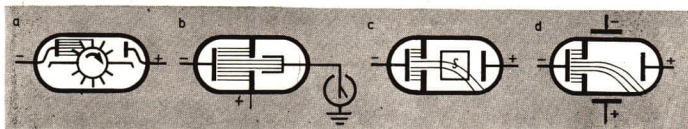
- **Katodenstrahlen bestehen aus Elektronen großer Geschwindigkeit. Ihre Masse und elektrische Ladung können durch Ablenkung im elektrischen und magnetischen Feld bestimmt werden.**

Heute sprechen wir ganz selbstverständlich von Atomen und Elektronen. Vor 50 Jahren war es für einige Naturforscher noch keine Selbstverständlichkeit, daß es tatsächlich Atome und Elektronen gibt. Die vielfältigen Ergebnisse der Physik, die immer wieder die bekanntgewordenen Eigenschaften der Elektronen bestätigen, ließen die Annahme über die Existenz von Elektronen zur Gewißheit werden. Die Entdeckung der Elektronen und ihrer Eigenschaften ist ein Beispiel für das Erkenntnisvermögen der Menschen, das die Grenzen unseres Wissens unaufhörlich erweitert.

Die Anwendungsgebiete der Katodenstrahlen sind in den letzten Jahren beträchtlich erweitert worden (s.S. 85).

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre 43 bis 50 (S. 124)

78/1 Wirkung der Katodenstrahlen



Leitung im Hochvakuum

In vielen Geräten sind Elektronenröhren die wichtigsten Bauelemente. Die Automatisierung unserer Betriebe ist ohne elektronische Hilfsmittel nicht denkbar. In den Elektronenröhren herrscht nahezu ein Vakuum, *Hochvakuum* genannt. Unter welchen Bedingungen dort eine Elektrizitätsleitung möglich ist, soll im folgenden Kapitel untersucht werden.



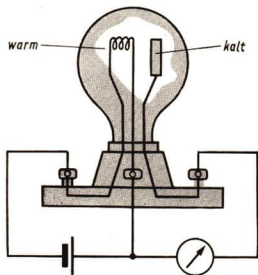
Die Glühemission

Wird der Druck in einer Gasentladungsröhre so weit vermindert, daß die freie Weglänge der im elektrischen Feld bewegten Elektronen größer ist als die Länge der Entladungsstrecke, dann können die wenigen, noch vorhandenen Atome oder Moleküle des Gases nicht mehr ionisiert werden. Damit hört auch die Herauslösung weiterer Elektronen aus der Katode durch den Aufprall von Ionen auf. Die selbständige Gasentladung erlischt.

Welche Bedingungen müßten geschaffen werden, damit auch in einem Hochvakuum zwischen zwei Elektroden ein Stromfluß stattfinden kann?

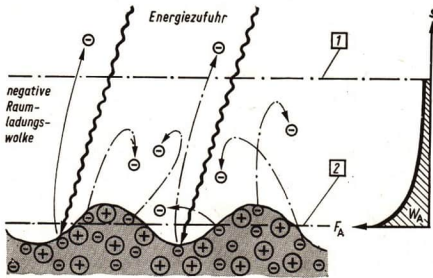
Nachdem 1854 GOEBEL und unabhängig von ihm 1872 LODYGIN die Glühlampe erfunden hatten, stellte Edison 1883 beim Experimentieren mit Kohlefadenlampen fest, daß von einer im Glas kolben eingeschlossenen Platte während des Betriebes der Lampe über ein Galvanometer ein Stromfluß erfolgte. Man erkannte bald, daß dieser Effekt durch den Austritt von Elektronen aus dem heißen Draht und ihr Auftreffen auf die am positiven Pol angeschlossene Platte hervorgerufen wurde.

Der Vorgang, daß aus einem glühenden Körper Elektronen austreten (emittieren¹), wird als **glühelastischer Effekt**, **thermische Emission** oder **Glühemission** bezeichnet. Prinzipiell findet eine Elektronenemission (unter Zufuhr von Energie) bei jeder Gasentladung statt. Sie läßt sich wie folgt erklären.



79/2 Glühlampe nach EDISON mit heißer und kalter Elektrode

¹emittieren (lat.): aussenden.



80/1 Oberfläche eines Metallkörpers Die durch die Strahlung übertragene Energie reicht aus, um einzelne Elektronen über die Grenze des Anziehungsbereiches der Metallionen (1) hinauszubefördern. Bei anderen Elektronen reicht die zugeführte Energie hierzu nicht, sie kehren zur Oberfläche des Metallkörpers (2) zurück. Diese ständig austretenden und wieder zurückkehrenden Elektronen bilden eine negative Raumladungswolke

Die Austrittsarbeit. Die im Metall vorhandenen „freien“ Elektronen (Seite 88) sind nicht in der Lage, ohne weiteres aus der Oberfläche des Metalls auszutreten; denn jedes emittierte Elektron hinterläßt im Kristallgitter eine Leerstelle, die wie eine positive Ladung wirkt. Dadurch besteht zwischen dem positiv geladenen Metall und dem emittierten Elektron eine Anziehungskraft. Soll ein Elektron die Oberfläche des Metalls verlassen, so muß es eine Energie besitzen, mit der es die Anziehungskraft überwinden kann. Die beim Austritt aus der Metalloberfläche zu verrichtende Arbeit wird **Austrittsarbeit** W_A genannt (Bild 80/1). Um die Oberfläche verlassen zu können, muß ein Elektron eine Energie besitzen, die größer oder gleich der Austrittsarbeit ist ($W_e \geq W_A$).

Unter normalen Bedingungen ist $W_e < W_A$.

Durch Energiezufuhr kann die Elektronenenergie erhöht werden. Dies ist durch Stoß von positiven Ionen (Feldemission, Seite 76), durch Wärmezufuhr (Glühemission), durch Bestrahlung mit Licht (Fotoemission) oder durch Auftreffen schneller Elektronen (Sekundäremission) möglich.

Damit wird erreicht, daß auch bei geringem Gasdruck und einem schwachen elektrischen Feld eine Leitung stattfindet. Ladungsträger sind nicht die Ionen dieses Gases, sondern die Elektronen. Der Widerstand gegen den Ladungstransport ist im Hochvakuum geringer als in einem Gasentladungsraum, außerdem läßt sich ein Elektronenstrom im Hochvakuum mit relativ einfachen Mitteln leicht beeinflussen.

Die Anzahl der von einer glühenden Elektrode abgegebenen Elektronen ist begrenzt. Sie hängt von der Größe der Elektrodenoberfläche, dem Elektrodenmaterial und der Katodentemperatur ab. In der Tabelle 81/1 sind für einige Stoffe die Austrittsarbeiten angegeben.

81/1 Austrittsarbeit je Elektron bei einigen Metallen

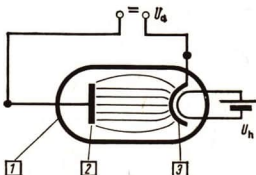
Metall	Kurzzeichen	Austrittsarbeit W_A	
		in eV	in Ws
Wolfram	W	4,53	$7,26 \cdot 10^{-10}$
Kupfer	Cu	4,39	$7,03 \cdot 10^{-10}$
Cäsium	Cs	1,4	$2,24 \cdot 10^{-10}$
Bariumoxid	BaO ₂	0,99	$1,32 \cdot 10^{-10}$

Welches Elektrodenmaterial emittiert auch bei niedrigen Temperaturen Elektronen?

Bei der thermischen Emission treten aus der Oberfläche glühender Metallkörper auf Grund der zugeführten Energie auch bei niedrigem Druck des Gases und bei geringer Spannung Elektronen aus.

Die Diode. Sie ermöglicht, einen Elektronenstrom durch ein Hochvakuum zu leiten. Sie besteht aus einem evakuierten Glaskolben (1), in dem zwischen einer Anode (2) und einer direkt oder indirekt elektrisch heizbaren Katode (3) ein elektrisches Feld besteht.

Wie würde sich eine direkte Heizung der Katode mit Wechselstrom auf die Elektronenemission auswirken?
Beschreiben Sie das Verhalten der emittierten Elektronen im elektrischen Feld!

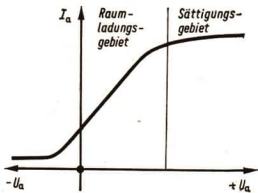


81/2 Glühkathoden-Diode mit indirekter Heizung

Den in der Röhre auftretenden elektrischen Strom nennt man Anodenstrom. Er besteht aus bewegten Elektronen. Ihre Bewegungsrichtung geht von der Katode zur Anode (Richtung des Elektronenstromes).

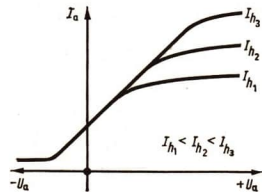
Kennlinie einer Diode. Mißt man die Anodenstromstärke I_A , dann erkennt man, daß sie von der Anodenspannung U_A und von der Heizspannung U_h abhängt (Bild 81/3).

Mit zunehmender Anodenspannung steigt die Anodenstromstärke. Der funktionale Zusammenhang $I_A = f(U_A)$ wird durch die Kennlinie der Röhre dargestellt. Die Abhängigkeit der Anodenstromstärke von der Heizstromstärke I_h zeigt die Kennlinienschar in Bild 81/4 rechts.



81/3

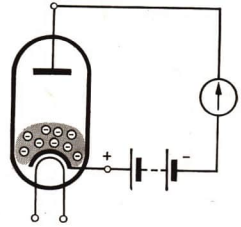
An der Kennlinie sind zwei Gebiete zu unterscheiden: das Raumladungsgebiet und das Sättigungsgebiet. Wird zwischen Katode und Anode eine niedrige Spannung gelegt, dann könnte man zunächst annehmen, daß alle von der Katode emittierten Elektronen schon zur Anode gelangen würden. Das ist jedoch nicht der Fall. Die emittierten Elektronen bilden vor der Katode eine negative Raumladungswolke. Erst durch größere elektrische Feldstärken erhalten sie eine Beschleunigung, so daß sie den Katodenraum verlassen können (Seite 75).



81/4

Wie ist der Stromfluß bei $U_A = 0$ V (Anlaufstrom) zu erklären?

Wirkungsweise der Diode. Bei angelegter positiver Anodenspannung werden die aus der Glühkatode emittierten Elektronen im elektrischen Feld beschleunigt. Im Vakuum wird die Elektronenbewegung nicht behindert. Es fließt ein **Elektronenstrom** von der Katode zur Anode. Im Teil des Stromkreises außerhalb der Diode kann dieser Strom durch ein Meßgerät nachgewiesen werden. Die aus der Glühkatode emittierten Elektronen werden von der Anodenspannungsquelle ständig ersetzt.



Polt man die Anschlüsse der Spannungsquelle um, so daß an die Katode der positive und an die Anode der negative Pol angeschlossen wird, dann ist die Anodenstromstärke fast null.

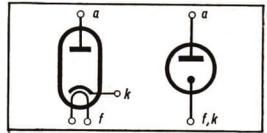
Die aus der Katode emittierten Elektronen werden durch die Kraftwirkung des jetzt umgepolten elektrischen Feldes zur Katode zurückgetrieben. Sie umgeben diese wie eine Wolke und verhindern durch die von ihr gebildete Raumladung ein weiteres Austreten von Elektronen.



82/1 Diode in Sperrrichtung geschaltet

► Eine Elektronenröhre läßt nur in einer Richtung den Elektronenstrom zu.

Diese Eigenschaft nutzt man zur Gleichrichtung von Wechselströmen aus. Man unterscheidet die Durchlaßrichtung (von der Katode zur Anode) und die Sperrichtung (von der Anode zur Katode).

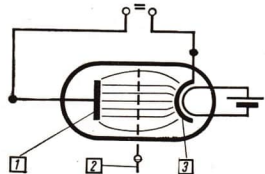


■ **Anwendung der Diode.** Legt man zwischen Anode und Katode einer Diode eine Wechselspannung, so fließt nur dann ein elektrischer Strom, wenn die Anode positiv und die Katode negativ gepolt ist. Von der Diode wird jeweils nur eine Halbperiode des Wechselstromes durchgelassen (Ventilwirkung). Es entsteht ein pulsierender Gleichstrom, dessen Stromstärke zwischen Null und einem Höchstwert schwankt. Gleichrichterschaltungen werden in Rundfunk- und Fernsehgeräten und vielen anderen elektrischen Geräten angewendet.

82/2 Schaltzeichen einer Diode mit indirekter Heizung und Schaltkurzzeichen einer Diode
a – Anode, k – Katode, f – Heizfaden

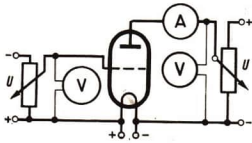
Die Triode. Die Elektronenröhre bietet die Möglichkeit, den Elektronenstrom von außen zu beeinflussen. Zu diesem Zweck wird zwischen Anode (1) und Katode (3) eine Elektrode angeordnet, die man als Gitter (2) bezeichnet.

Wirkungsweise der Triode. Legt man an das Gitter eine negative Spannung, dann werden die aus der Katode emittierten Elektronen zur Katode zurückgedrängt, der Anodenstrom wird gemindert.



Legt man an das Gitter eine positive Spannung, dann werden die emittierten Elektronen durch das elektrische Feld zwischen Gitter und Katode zusätzlich beschleunigt. Der Anodenstrom wird verstärkt. Dies gilt nur bis zu einem bestimmten Höchstwert. Der Grund dafür liegt erstens

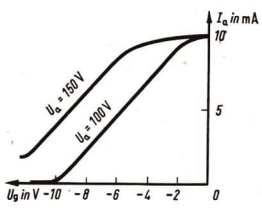
82/3 Glühkathoden-Triode
1 – Anode, 2 – Gitter, 3 – Katode



83/1 Schaltung zur Aufnahme der Trioden-Kennlinie

darin, daß nur so viele Elektronen im elektrischen Feld transportiert werden können, wie emittiert werden und zweitens darin, daß ein Teil der Elektronen durch das positiv geladene Gitter aufgefangen wird. Diese Elektronen fließen über die Gitterspannungsquelle ab. Sie bilden den (unerwünschten) Gitterstrom I_g .

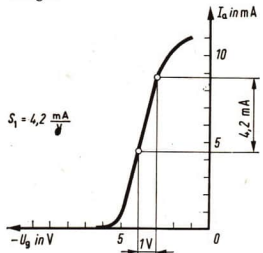
Wie würde sich eine Erhöhung der positiven Gitterspannung über den für die Röhre zulässigen Wert auswirken?



83/2 I_a-U_g -Kennlinien einer Triode bei zwei konstanten Anodenspannungen

Kennlinie einer Triode. Die Gitterspannung sowie die Anodenspannung werden über Potentiometerschaltungen verändert. Die Heizspannung wird konstant gehalten. Bei einer Meßreihe wird mit konstanter Anodenspannung gearbeitet. Durch stufenweises Ändern der Gittervorspannung U_g erhält man unterschiedliche Werte für die Anodenstromstärke I_a (Ordinate) in Abhängigkeit von der Gitterspannung U_g (Abszisse). Verbindet man die erhaltenen Punkte, dann bekommt man eine Kurve, die man I_a-U_g -Kennlinie der Triode nennt. Wählt man eine größere Anodenspannung, dann erhält man eine Kennlinie, die in der grafischen Darstellung nach links verschoben ist.

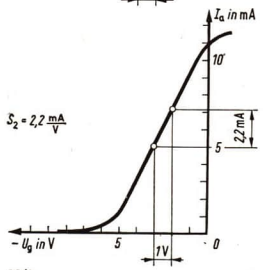
Erklären Sie dieses Verschieben der Kennlinie bei größerer Anodenspannung!



Bei der Aufnahme der Kennlinie muß man jeweils die nicht betrachteten Größen (hier U_H ; U_a) konstant halten. Das ist ein wichtiges methodisches Prinzip bei physikalischen Untersuchungen. Sobald man bestimmte Einflüsse auf einen Naturvorgang kennt und die Gesetzmäßigkeiten ergründen will, muß man möglichst viele der wirkenden Größen konstant halten und alle störenden Einflüsse ausschalten. Dadurch erkennt man die Gesetze, die beim Wirken der nicht konstant gehaltenen Größen gelten.

Steilheit der Triode. Die Steigung im geradlinigen Teil der Kennlinie gibt Aufschlüsse über die Verwendungsmöglichkeit einer Triode. Man nennt diese Steigung „Steilheit“ der Triode. Die Steilheit S ist durch den Quotienten aus der Änderung der Anodenstromstärke ΔI_a in mA und der Änderung der Gitterspannung ΔU_g in V gegeben.

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}$$



Die Steilheit ist ein Maß für die Steuerwirkung der Gitterspannung auf die Anodenstromstärke.

Mit der Triode kann man die Stromstärke in einem Stromkreis steuern. Die Steuersignale wirken in Form von sehr geringen Spannungsänderungen am Gitter, dadurch können große Stromstärkeänderungen hervorgerufen werden. Bei einer Verstärkerschaltung wird die Triode mit einem Arbeitswiderstand in Reihe geschaltet. Die Gitterspannungsänderung führt zu einer Änderung der Anodenstrom-

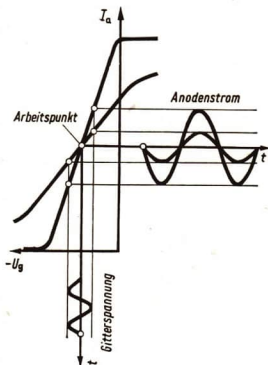
83/3

stärke. Diese erzeugt am Arbeitswiderstand einen Spannungsabfall. Am Arbeitswiderstand kann eine Spannung abgenommen werden, die wesentlich größer ist als die steuernde Gitterspannung.

Bei einer Triode mit großer Steilheit ist die Auswirkung der Gitterspannungsänderung auf die Änderung der Anodenstromstärke größer als bei einer Röhre mit kleiner Steilheit. Die Verstärkerwirkung der Röhre hängt allerdings nicht allein von der Steilheit der Röhre ab.

- ▷ Bei einer Triode wird durch die Gitterspannung die Anodenstromstärke nahezu trägheitslos gesteuert.

Steuerwirkung der Triode. Wegen der Steuerwirkung wird die Triode zur Verstärkung kleiner Wechselspannungen verwendet. Derartige Röhrenverstärker sind in Lautsprecheranlagen, in Rundfunkgeräten usw. enthalten. Als Beispiel wird ein Niederfrequenzverstärker betrachtet, der Tonfrequenzen (16 Hz bis 15 000 Hz) verstärkt.



84/1 Verstärkung der Anodenwechselstromstärke bei gleicher Gitterwechselspannung durch Röhren mit verschiedener Steilheit

35

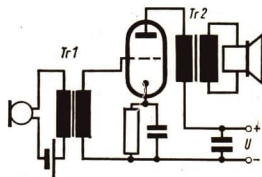


Zunächst führen wir einen Vorversuch ohne Elektronenröhre durch, um deren Einfluß richtig beurteilen zu können. Aus einem Mikrofon, einem Transformator Tr_1 mit einem Übersetzungsverhältnis 1 : 4, einer Gleichspannungsquelle von etwa 4 V und einem Lautsprecher mit einem Ausgangstransformator Tr_2 wird ein Stromkreis gebildet. Spricht man in das Mikrofon, so ist die Sprache im Lautsprecher nur schwach zu hören.

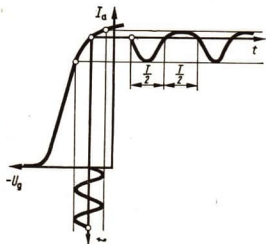
Nummehr legt man die Sekundärspule des Transformators in den Gitterstromkreis einer Triode (Bild 84/2). Die Gitterspannung wird negativ gewählt, was in diesem Falle nicht durch eine zusätzliche Gleichspannungsquelle, sondern durch den Widerstand an der Katode erreicht wird. Der Ausgangstransformator Tr_2 des Lautsprechers wird in den Anodenstromkreis eingeschaltet. Spricht man in das Mikrofon, so ist die Wiedergabe der Sprache wesentlich lauter als beim ersten Versuch.

Die Verstärkerwirkung kann man sich folgendermaßen klar machen: Der Anodenstrom erzeugt in der Primärspule des Ausgangstransformators Tr_2 einen Spannungsabfall, der wesentlich größer ist als die vom Mikrofon erzeugte Gitterwechselspannung. Die größere Energie am Ausgang des Verstärkers wird vorwiegend durch die Anodenspannungsquelle geliefert. Damit die Ausgangswechselspannung dieselbe Form wie die Gitterwechselspannung hat, muß die Röhre im geraden Teil der Kennlinie (Arbeitspunkt) betrieben werden. (Vergleiche Bild 84/1 mit Bild 84/3!)

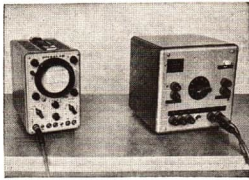
Die thermische Elektronenemission wird in einer besonderen Art von Elektronenröhren zur Erzeugung von Elektronenstrahlen mit relativ niedriger Spannung genutzt. Auf Seite 78 wurde bereits eine solche Gasentladungserscheinung erläutert, bei der aber bei kalter Katode und hoher Spannung ein Elektronenstrahl entsteht.



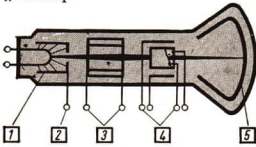
84/2 Einstufiger Mikrofonverstärker mit Triode



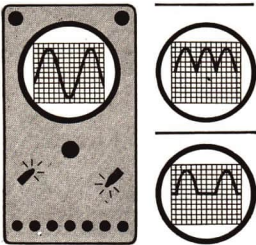
84/3 Schematische Darstellung der verzerrten Wiedergabe einer Sinus-schwingung



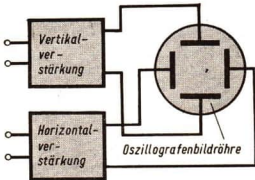
85/1 Katodenstrahloszillograf
„Picoskop“



85/2 Längsschnitt durch eine Katodenstrahlröhre



85/3 Schirmbilder eines Katodenstrahloszillografen



85/4 Blockschaltbild eines Katodenstrahloszillografen

Die Katodenstrahlröhre. Die Bildröhren der Fernsehkameras und der Fernsehempfänger sowie der Oszillografen sind besonders eingerichtete Katodenstrahlröhren (mit Hochvakuum und Glühkatode). Sie arbeiten alle nach dem gleichen Prinzip, bei dem die von der Katode ausgehenden Strahlen durch eine besondere Vorrichtung zu einem feinen Strahlenbündel vereint werden.

Die Elektronen im Katodenstrahl treffen mit großer Geschwindigkeit auf die vordere Fläche der Röhre und bringen dort eine Leuchtschicht (meist Zinksulfid) zum Leuchten.

Wird der Elektronenstrahl durch elektrische oder magnetische Felder beeinflusst (Seite 78), dann zeichnet er auf dem Schirm Kurven entsprechend der Ablenkung. Läßt man den Elektronenstrahl die gesamte Bildfläche zeilenweise überstreichen, dann kann damit ein Bild gezeichnet werden. Dafür ist allerdings Voraussetzung, daß die Helligkeit auf der Schirmfläche genau so verändert werden kann, wie es die Bildvorlage verlangt.

Der grundsätzliche Aufbau einer Katodenstrahlröhre ist auf dem Bild 85/2 zu erkennen. Die Katodenstrahlröhre besteht aus folgenden Teilen:

- | | |
|---------------------------|--|
| 1 — Glühkatode | zur Elektronenemission |
| 2 — Wehneltzylinder | zur Veränderung der Helligkeit des Katodenstrahles |
| 3 — Anoden | zur Bildung des Strahles |
| 4 — Je zwei Ablenkplatten | zur Ablenkung des Strahles in horizontaler und vertikaler Richtung durch zwei elektrische Felder |
| 5 — Leuchtschirm | zum Erzeugen eines Bildes. |

Was geschieht, wenn an die Ablenkplatten eine elektrische Gleichspannung gelegt wird?

Mit Hilfe eines Katodenstrahloszillografen lassen sich Wechselspannungen sichtbar machen. Dazu wird an die Horizontalablenkplatten eine Spannung gelegt, deren Betrag periodisch langsam von Null auf einen Höchstwert ansteigt und danach schlagartig auf Null absinkt. Der Elektronenstrahl wird in waagerechter Richtung abgelenkt, und auf dem Schirm entsteht ein waagerechter Strich. Legt man nun an die Vertikalablenkplatten eine beliebige Wechselspannung, so wird der Elektronenstrahl in vertikaler Richtung proportional zur angelegten Spannung abgelenkt. Es entsteht auf dem Schirm die Wechselspannungskurve (Bild 85/3 links).

Deuten Sie die in Bild 85/3 dargestellten Schirmbilder!

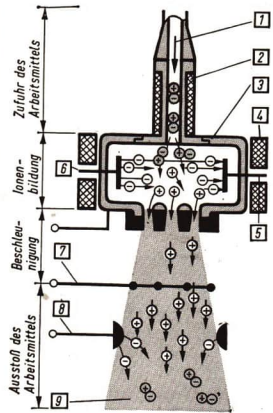
Ionentriebwerk für Raumflugkörper. Ionen lassen sich im elektrischen Feld stärker beschleunigen ($v_e < 8 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) als Verbrennungsgase in einer Düse ($v_e \leq 5 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), außerdem ist die thermische Belastung einer solchen Anlage geringer als die eines Raketentriebwerkes.

Ein Ionentriebwerk eignet sich deshalb für lange Betriebszeiten, wie sie bei kosmischen Flügen auftreten.

Im Ionentriebwerk (Bild 86/1) werden die Moleküle (1) des zugeführten Arbeitsmittels (z. B. Zäsium) vor der Ionisierungskammer (3) erwärmt (2). Die durch Stoßionisation zwischen den Elektroden (5, 6) gebildeten positiven Zäsiumionen werden im Magnetfeld (4) ausgesondert und im elektrischen Feld zwischen Ionisationskammer (3) und Elektrode (7) beschleunigt. An der Glühkatode (8) werden die Ionen neutralisiert und als Zäsiumdampfstrahl (9) ausgestoßen.

Der Wirkungsgrad solcher Triebwerke liegt über 0,8; die Schubkraft beträgt zur Zeit noch nur wenige Pond. Deshalb werden Ionentriebwerke vorerst als Steuertriebwerke erprobt.

In der Sowjetunion wurde im Dezember 1964 der erste mit Ionentriebwerken ausgerüstete Raumflugkörper, die Mars-sonde 2, gestartet.



86/1 Ionentriebwerk

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre 51 bis 60 (S. 125)

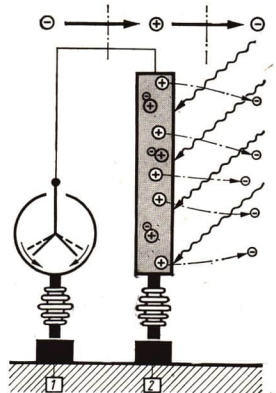
Die Fotoemission

Eine Elektronenemission kann aus einem Metall unter niedrigem Gasdruck und bei schwachem elektrischem Feld außer bei Energiezufuhr durch Wärme auch durch Licht erreicht werden.

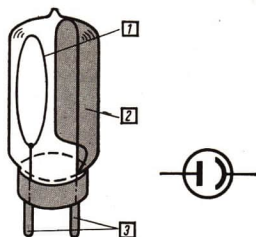
Eine Aluminiumplatte (2) mit frisch abgeschmirgelter Oberfläche wird isoliert aufgestellt und mit einem Elektroskop (1) verbunden. Diese Vorrichtung wird elektrisch negativ aufgeladen. Bei Bestrahlung der Aluminiumplatte mit Licht (Höhensonne, Lichtbogen) werden die Platte und das Elektroskop entladen. Bei positiver Ladung tritt keine Entladung ein.

Die Energie des auftreffenden Lichtes löst aus der bestrahlten Metallschicht Elektronen heraus. Dieser Vorgang heißt **lichtelektrischer Effekt** oder **Fotoemission**. Die emittierten Elektronen vermindern die negative Ladung der Platte und verursachen einen elektrischen Strom, wenn sie im elektrischen Feld infolge der einwirkenden Kraft zu einer positiven Platte oder in die umgebende Luft wandern können.

Bei der Glühemission hängt die Anzahl der emittierten Elektronen von der zugeführten Wärmeenergie (Tempe-



86/2 Experiment zur Fotoemission



87/1 Fotozelle und Schaltzeichen

ratur der Katode) ab. Läßt man beim Versuch zur Fotoemission eine gleiche Lichtmenge auf Schichten verschiedener Metalle fallen, so ändert sich die Elektronenemission in Abhängigkeit von der Austrittsarbeit W_A (vgl. Tabelle 84/1, Seite 81). Läßt man eine größere Lichtmenge einer bestimmten „Farbe“ auftreffen, so wird die zugeführte Energie größer, und es kann entsprechend mehr Elektronen die erforderliche Austrittsenergie vermittelt werden. Für ein bestimmtes Metall und eine bestimmte Strahlungsart (z. B. Licht der Farbe Rot oder Licht der Farbe Blau) gilt:

Bei der Fotoemission ist die Anzahl der freigesetzten Elektronen proportional zur Menge des einfallenden Lichtes.

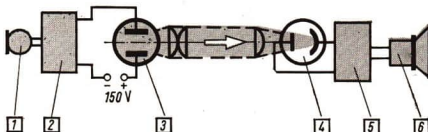
Die Fotozelle. Eine Leuchte wird auf eine lichtempfindliche Schicht gerichtet. Sofort nach dem Aufleuchten der Leuchte wird an der Schicht die Fotoemission ausgelöst. Eine besondere Vorrichtung zum Ausnutzen dieser schnellen Signalübermittlung ist die Fotozelle (Bild 87/1). Sie besteht aus einer evakuierten Röhre, in der eine unselbständige Entladung hervorgerufen wird.

Auf der Innenseite der Röhre befindet sich eine Metallschicht (2), aus der beim Auftreffen von Licht Elektronen emittiert werden. Diese Elektronen werden von der Drahtschleife (1) aufgefangen, die gegenüber der Metallschicht eine positive Spannung von etwa 100 V erhalten hat.

Anwendung von Fotozellen. Die Fotozelle kann auf Grund der Abhängigkeit des Elektronenstromes von der einfallenden Lichtmenge zur Umwandlung von Lichtsignalen in elektrische Signale verwendet werden. Diese können dann in einem Lautsprecher hörbar gemacht werden. Da der von der lichtelektrischen Zelle gelieferte Strom in der Regel sehr klein ist, wird zwischen Fotozelle und Lautsprecher ein Röhrenverstärker geschaltet.

87/2 Sender und Empfänger für ein tonmoduliertes Lichtbündel

- 1 – Mikrofon
- 2 und 5 – Verstärker
- 3 – Glühlampe
- 4 – Fotozelle
- 6 – Lautsprecher





Leitung in Festkörpern

Die Industrie und die Wirtschaft sind ohne moderne Rechenautomaten zur Lösung wissenschaftlich-technischer und ökonomischer Aufgaben nicht mehr denkbar. In diesen Rechenautomaten befinden sich sehr viele elektronische und andere elektrische Bauelemente, deren Wirkungsweise auf elektrischen Leitungsvorgängen in festen Körpern beruht.

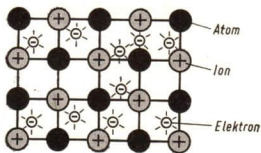
Leitung in Metallen

In Metallen sind von den Atomen des Kristallgitters Elektronen abgespalten. Die Abspaltung wird durch die Wärmebewegung der Atome und die elektrostatischen Kräfte der Ionen hervorgerufen. Die Elektronen wechseln ständig ihre Plätze, sie befinden sich in frei beweglichem Zustand im Metall. Die frei beweglichen Elektronen geben den Metallen die Eigenschaft der guten elektrischen Leitfähigkeit.

Die Gesamtheit der freien Elektronen im Metall bezeichnet man als Elektronengas. Das Modell des Elektronengases ist ein Hilfsmittel, mit dem sich die elektrischen Vorgänge in Metallen leichter erklären lassen.

Es hat mit den Gasen die leichte Beweglichkeit der Teilchen gemeinsam, unterscheidet sich von ihnen aber vor allem dadurch, daß die Elektronen des Modellgases das Metall nicht ohne weiteres verlassen können, denn negative und positive Ladungen sind in gleicher Anzahl vorhanden. Gleich den Molekülen eines Gases vollführen die freien Elektronen eine ungeordnete Wärmebewegung.

Legt man eine Spannung an den Leiter, dann kommt zu der ungeordneten Elektronenbewegung eine gerichtete Bewegung im elektrischen Feld hinzu. Bei ihrer Bewegung im elektrischen Feld stoßen die Elektronen ständig mit den Gitterbausteinen (Ionen) zusammen. Dabei geben sie einen Teil ihrer kinetischen Energie an diese ab (Überwindung eines Widerstandes). Das Metall erwärmt sich (Stromwärme). Mit zunehmender Erwärmung eines me-



88/2 Schematische Darstellung der metallischen Bindung

tallischen Leiters wird die kinetische Energie der Gitterbausteine größer; die Schwingungswerten der Ionen werden größer.

Bei Erwärmen eines Leiters kommt es zu häufigeren Zusammenstößen zwischen den Elektronen und den Gitterteilchen. Da durch die Erwärmung nicht mehr wesentlich mehr Elektronen freigesetzt werden, wird der Stromfluß geringer. Wir sagen, der elektrische Widerstand des Metalles hat sich vergrößert.

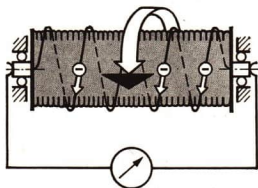
Diese Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes der Metalle von der Temperatur findet bei Widerstandsthermometern und bei der automatischen Regulierung von Stromstärken ihre Anwendung.

Die Elektronen bewegen sich in einem metallischen Leiter mit verhältnismäßig kleiner Geschwindigkeit. Die elektrische Signalübermittlung (Einschalten der elektrischen Beleuchtung, Funksignale usw.) erfolgt nahezu mit Lichtgeschwindigkeit ($300\,000\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$), weil die Ausbreitungsgeschwindigkeit des elektrischen Feldes die Signalgeschwindigkeit ist.

Nachweis der Leitungselektronen. Den Nachweis, daß bewegte Elektronen die Grundlage der Leitung in Metallen sind, erbrachte der Physiker TOLMAN. Er ging von der Überlegung aus, daß Elektronen infolge ihrer Masse bei Verzögerungsvorgängen einer Trägheitswirkung unterliegen und sich in der ursprünglichen Bewegungsrichtung weiterbewegen müssen. Das muß dann einen Stromstoß verursachen. TOLMAN verwendete eine Spule aus einem Draht von etwa 10 km Länge. Die Spule war drehbar gelagert und ihre Enden über Schleifkontakte mit einem Galvanometer verbunden. Versetzte er die Spule in schnelle Umdrehungen und bremste sie dann plötzlich ab, dann konnte er am Galvanometer den erwarteten Stromstoß ablesen. Aus dem Stromstoß konnte die spezifische Ladung des Elektrons berechnet werden. Man erhielt die gleichen Werte wie bei Versuchen mit Elektronen im Vakuum. Damit war bewiesen, daß bewegliche Elektronen die elektrische Leitung in Metallen verursachen.

Dieser Versuch Tolmans ist ein gutes Beispiel dafür, wie sich der Erkenntnisfortschritt in der Wissenschaft vollzieht. Auf Grund von bekannten Eigenschaften der Elektronen, der Trägheitsgesetze usw. wird eine Hypothese formuliert. („Im Metall sind freie Elektronen!“) Zur Überprüfung der Hypothese wird der Aufbau einer Versuchsanordnung überlegt und geschaffen. Die Durchführung des Versuchs bestätigt die Hypothese oder bestätigt sie nicht. Im geschilderten Versuch war das erstere der Fall.

Wenn die Hypothese nicht bestätigt wird, dann muß eine neue aufgestellt werden. Das Ergebnis bestätigt die Hypothese quali-



89/1 Versuch von TOLMAN zum Nachweis von Leitungselektronen

tativ („Es gibt freie Ladungsträger im Metall“) und quantitativ („Die freien Ladungsträger sind Elektronen“). Zusammen mit vielen anderen theoretischen Überlegungen bildete sich so die Elektronentheorie der Metalle heraus.

Leitung in Halbleitern

Während bei den metallischen Leitern (Cu, Ag, Al, Fe) eine Elektronenkonzentration von etwa 10^{22} Elektronen je Kubikzentimeter vorhanden ist, gibt es Stoffe wie zum Beispiel Si, Ge, Se, die nur eine solche von 10^{14} ... 10^{18} Elektronen je Kubikzentimeter aufweisen. Man nennt diese Stoffe auf Grund ihrer besonderen elektrischen Eigenschaften **Halbleiter**.

● Welche Auswirkung kann dieser Unterschied in der Elektronenkonzentration auf die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern haben?

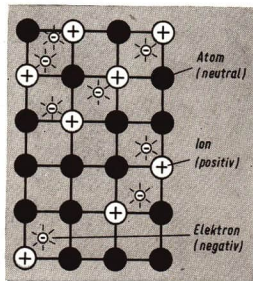
Bei $T = 0^\circ\text{K}$ sind reine Halbleiter Isolatoren.

Bauelemente aus Halbleitern werden als Dioden, Transistoren, Thermistoren, Fotowiderstände und Fotoelemente in der Technik eingesetzt.

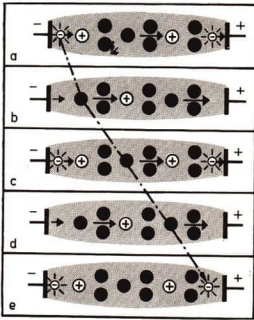
Die Eigenleitung. Bei Zimmertemperatur sind auf Grund der thermischen Energie bereits so viel Elektronen von den Atomen abgespalten, daß beim Anlegen einer Spannung ein Stromfluß im Halbleiter entsteht. Vor dem Herauslösen von Elektronen aus den Atomen (Energiezufuhr) waren die Atome elektrisch neutral. Nach dem Herauslösen liegen im Kristall neben beweglichen Elektronen auch Ionen vor, die ein Elektron zu wenig besitzen. Derartige Stellen im Kristall, an denen ein Elektron fehlt, nennt man Fehlstellen oder Löcher („positive Ladung“). Die Anzahl der beweglichen Elektronen und der positiven Löcher ist im Kristall gleich groß. Deshalb ist der Halbleiterkristall nach außen hin elektrisch neutral (Bild 90/1).

Legt man eine Spannung an einen Halbleiterkristall, dann wandern die Elektronen unter dem Einfluß des elektrischen Feldes. Dabei springen sie von Loch zu Loch. Die Elektronen bewegen sich in Richtung zum positiven Pol, und die positiven Löcher bewegen sich zum negativen Pol der Spannungsquelle. Die positiven Ionen bleiben dabei an ihren Plätzen im Kristallgitter (Bild 91/1).

Da die Elektronen bei ihrer Bewegung die Fehlstellen an den einzelnen Gitterplätzen ausfüllen, dafür aber an einer benachbarten Stelle ein Ion entsteht, kommt der Eindruck einer Wanderung positiver Ladungsträger zustande. Man



90/1 Ladungsträger im Halbleiterkristall. Nach außen hin ist der Halbleiterkristall elektrisch neutral. Der Gitteraufbau ist schematisch gezeigt.



91/1 Leitungsvorgang in Halbleitern (es ist der zeitliche Ablauf dargestellt)

kann deshalb die Löcher als frei bewegliche positive Ladungsträger ansehen. Ein stofflicher Transport erfolgt bei der Wanderung der Löcher, auch Defektelektronen genannt, jedoch nicht.

Unterscheiden Sie die Wanderung positiver Ladungsträger in einem Elektrolyten und in einem Halbleiterkristall!

Welche Wirkung hat die Erwärmung eines Halbleiters auf seine Leitfähigkeit?

Um diese Wirkung verstehen zu können, muß man den Aufbau des Halbleitermetalls betrachten.

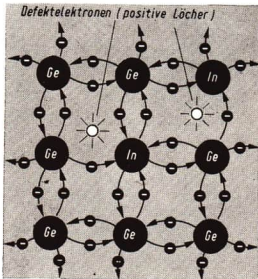
Die Gitterbausteine schwingen wie bei den Metallen mit einer größeren Schwingungsweite. Dadurch wird der Ladungsträgertransport etwas behindert. Gleichzeitig werden durch die Energiezufuhr mehr Elektronen befähigt, den Atomverband zu verlassen. Die Anzahl der beweglichen Elektronen steigt. Das bedeutet ein merkliches Anwachsen des elektrischen Stromes. Das hat wiederum zur Folge, daß der Widerstand eines Halbleiters durch die Temperaturerhöhung kleiner geworden ist.

Die in einem Halbleiterkristall vorhandenen beweglichen Elektronen und „positiven Löcher“ bewirken eine elektrische Eigenleitung. Die Leitfähigkeit nimmt mit zunehmender Temperatur zu.

Die Störstellenleitung. Fügt man einem vierwertigen Halbleitermetall (Ge, Si) drei- oder fünfwertige Fremdatome zu, so lagern sich diese im Kristall mit ein. Innerhalb des Kristallgefüges entstehen dadurch Störstellen. Eine kleine Indiumzugabe (In) führt dazu (Bild 91/2), daß für die Bindung dieses dreiwertigen Atoms an die vier vierwertigen Ge-Atome, die es umgeben, ein Elektron fehlt (vgl. Elektronenpaarbindung). Diese Fehlstelle wirkt sich wie ein positives Loch (Defektelektron) aus. Ein derartiger Kristall wird als *p-leitend* bezeichnet (p-positiv). Fügt man hingegen fünfwertige Arsenatome in den Kristall ein, so ist an den Störstellen jeweils ein Elektron zuviel (Überschußelektron) vorhanden.

Ein Halbleiterkristall mit fünfwertigen Fremdatomen wird *n-leitend* genannt (n-negativ). Während sich die eingefügten Elektronen und die entstandenen „Löcher“ bewegen können, sind die Fremdatome (In, As) fest in den Kristall eingebaut.

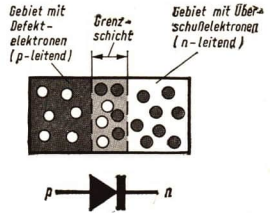
Die durch den Einbau von Fremdatomen beim Anlegen einer Spannung entstehende elektrische Leitung in Halbleitern nennt man Störstellenleitung. Sie kann entweder als Löcher- oder als Elektronenleitung auftreten.



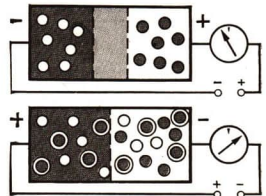
91/2 Durch den Einbau eines dreiwertigen Indiumatoms in ein Germaniumkristall entsteht ein positives Loch (Defektelektron)

Die Wirkungsweise der Halbleiter-Diode. Zum Bau von Halbleiterdioden werden ein p- und ein n-leitender Halbleiterkristall zusammengefügt.

An der Berührungsstelle der verschiedenen leitenden Halbleiterkristalle entsteht durch die Wärmebewegung der Elektronen (Diffusion) eine Grenzschicht. Dadurch wird das vorher ungeladene, d.h. elektrisch neutrale Gebiet gegenseitig aufgeladen. Es bildet sich ein elektrisches Feld, gegen das die weiterhin diffundierenden Ladungsträger anlaufen müssen (hoher Widerstand).

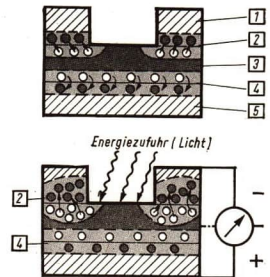


92/1 Halbleiterelement mit p-leitender und n-leitender Schicht und Schaltbild



92/2 Halbleiterdiode in Sperrrichtung und in Durchlaßrichtung gepolt

Schülerexperiment E 3 S. 132



92/3 Wirkungsweise eines Fotoelementes
1 - Kontaktring, 2, 4 - Grenzschicht, 3 - p-Halbleiter, 5 - Kontaktplatte

37 **Zunächst** wird der Halbleiterkristall so angeschlossen, daß der Minuspol der Spannungsquelle an das p-Gebiet und der Pluspol an das n-Gebiet angelegt werden.

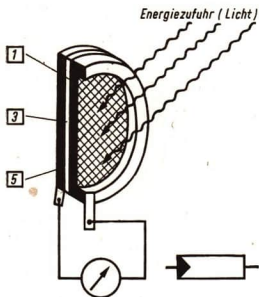
Infolge der durch das elektrische Feld auf die Ladungsträger wirkenden Kraft werden diese aus der Grenzschicht herausgezogen, die Elektronen in das n-Gebiet und die Löcher in das p-Gebiet. Die Grenzschicht verarmt an Ladungsträgern. Ohne Ladungsträger kann aber kein Strom fließen. Der mit einem empfindlichen Meßgerät noch meßbare kleinste Strom ist auf die Eigenleitung zurückzuführen.

38 **Legt man** den Minuspol der Spannungsquelle an das n-Gebiet und den Pluspol an das p-Gebiet, dann werden mehr Ladungsträger in die Grenzschicht hineingezogen. Dadurch wird ihr elektrischer Widerstand kleiner. Es kann ein merklicher elektrischer Strom fließen. Wird eine Halbleiterdiode mit Wechselspannung betrieben, so führt jeweils wie bei der Zweielektrodenröhre nur eine Halbwelle der Wechselspannung zum Stromfluß (Gleichrichterwirkung).

● **Vergleichen Sie die Wirkungsweise einer Halbleiterdiode mit der einer Röhrendiode!**

Das Halbleiter-Fotoelement. Wird ein p-Halbleiter (3) beiderseits mit Metall in Berührung gebracht (Bild 92/3), so treten Elektronen des Metalls in den Halbleiter und positive Löcher in das Metall über. Es bilden sich zwei Grenzschichten (2, 4). Ein weiteres Hinüberwandern von Ladungsträgern zwischen Metall und Halbleiter wird durch das entstehende elektrische Feld verhindert.

Wird der Halbleiter einseitig mit Licht bestrahlt, so werden in ihm Elektronen freigesetzt, die zu der die bestrahlte Seite der Halbleiterschicht berührenden Metallelektrode (1) wandern. Im Metall erniedrigen diese die Anzahl der positiven Löcher, während die zurückbleibenden Löcher die Anzahl der Elektronen vermindert. Damit sind in der Grenzschicht (2) des Metallringes (1) mehr negative Ladungsträger vorhanden als in der unbestrahlten Grenzschicht (4). Der Kontaktring (1) ist gegenüber der Kontaktplatte (5)



93/1 Aufbau eines Fotoelementes und Schaltzeichen für Fotoelement

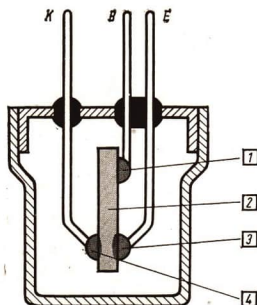
negativ aufgeladen. Werden beide Elektroden über ein Stromstärkemeßgerät miteinander verbunden, so kann ein elektrischer Strom nachgewiesen werden.

Welcher Pol des Meßgerätes muß an die Elektrode (5) angeschlossen werden?

Bei einem Halbleiter-Fotoelement wird durch Bestrahlung mit Licht eine elektrische Spannung erzeugt. Es wird Lichtenergie in elektrische Energie umgewandelt.

Halbleiter-Fotoelemente in der Bauweise nach Bild 93/1 werden zur Lichtmessung in elektrischen Belichtungsmeßgeräten und zur Stromversorgung von Satellitensendern verwendet.

Welcher Unterschied besteht zwischen einem Fotoelement und einer Fotozelle?



93/2 Transistor

Der Transistor. Ein Transistor (Bild 93/2) wird aus einem n-leitenden Germaniumkristallplättchen (2) hergestellt. Auf beiden Seiten wird je eine Indiumperle (3, 4) als Emitter (E) und Kollektor (K) aufgesetzt. Durch Erwärmung auf etwa 500 °C werden die so geschaffenen p-n-Übergänge (E—B und K—B) im Innern des Germaniumplättchens durch einen Diffusionsvorgang¹ einander soweit genähert, daß die verbleibende Grenzschicht etwa 0,01 mm dick ist. Diese Grenzschicht ist sehr wärmeempfindlich. Der Anschluß für die Basisleitung (B) wird mit einer Zinnperle (1) hergestellt, die auf das Germaniumplättchen aufgelötet wird.

Der Transistor besteht also gleichsam aus zwei gegeneinander in Reihe geschalteten Halbleiterdioden. Allerdings lassen sich mit zwei gegeneinander geschalteten Dioden keine Transistorwirkungen erzielen, da der Abstand der beiden p-Schichten einige Millimeter betragen würde.

Das Ergebnis des Experimentes (Seite 134) läßt folgende Erklärung für die Wirkungsweise des Transistors in Emitterschaltung zu:

Zur Erklärung der Funktion eines Transistors muß man die scheinbaren Bewegungen der positiven Ladungsträger (Löcher) betrachten. Der Übergang vom Emitter durch die Grenzschicht zur Basis ist nur durch einen kleinen Widerstand gehemmt (Durchlaßrichtung). Die positiven Ladungsträger erhalten durch die Spannung U_{BE} zwischen Basis und Emitter eine Strömungsgeschwindigkeit in Richtung auf den Kollektor. Sie gelangen dabei, wegen der

¹ Diffusion: Vermischen zweier Stoffe.

sehr dünnen Basisschicht ($< 10 \mu\text{m}$) in den Bereich der Spannung zwischen Kollektor und Emitter U_{CE} . Sie werden vom Kollektor (negativer Pol) aufgesogen. Einige wenige Löcher fügen sich in der Grenzschicht mit Elektronen zusammen (Rekombination). Diese gehen dem Kollektorstrom verloren, so daß $I_C < I_E$ ist. Für die bei der Rekombination verlorengegangenen Elektronen fließt im Basisstromkreis ein Basisstrom (I_B). Je nach der Stromstärke dieses Basisstromes werden mehr oder weniger Löcher in der Basisschicht rekombinieren. Mit Hilfe des kleinen Basisstromes läßt sich der Kollektorstrom beeinflussen.

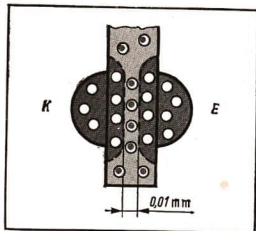
Wird in den Basiskreis eine Wechsellspannungsquelle gelegt, so ändert sich der Kollektorstrom im Rhythmus des Basisstromes.

► Beim Transistor kann durch eine kleine Basisstromstärke eine große Kollektorstromstärke trägheitslos gesteuert werden. Bei geeigneter Wahl der Widerstände kann eine Stromverstärkung herbeigeführt werden.

Ein Vergleich zwischen der Elektronenröhre und dem Transistor ergibt folgende Gegenüberstellung:

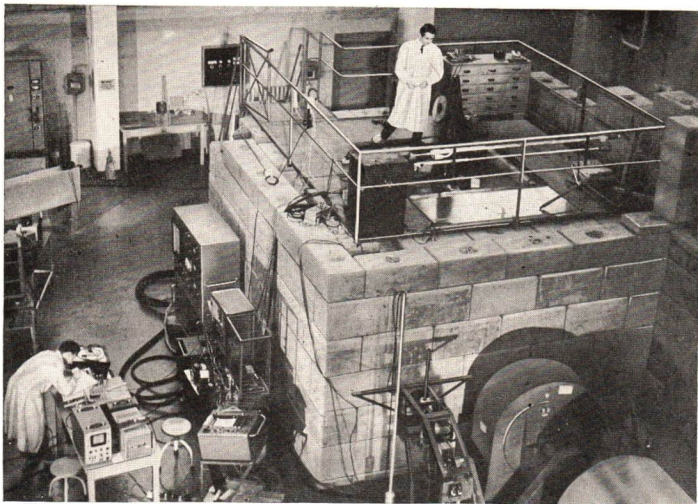
Elektronenröhre	Transistor
große Heizleistung (6 W)	keine Heizung
große Anodenspannung (250 V)	kleine Betriebsspannung (2 ... 9 V)
kein Gitterstrom	Basisstrom vorhanden
große Abmessungen	geringe Abmessungen
keine Temperaturabhängigkeit	große Temperaturabhängigkeit.

Wegen der Vorzüge der geringen Abmessungen und der kleinen Betriebsspannungen hat der Transistor große Anwendung bei Raumflugunternehmern, in transportablen elektronischen Geräten und in Rechenautomaten gefunden.



94/1 Vergrößerter Ausschnitt aus der Grenzschicht zwischen Kollektor und Emitter

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre 61 bis 70 (S. 125)

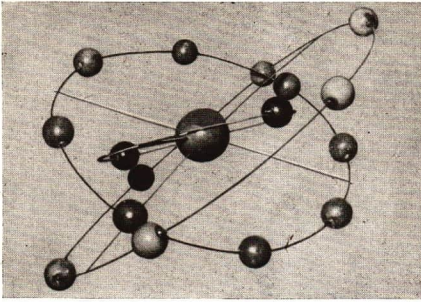


Kernphysik

Vor wenigen Jahrzehnten war die Atomphysik noch das Forschungsgebiet einiger weniger Wissenschaftler. Später wurden dann bedeutende Mittel und Arbeitskräfte für diese Forschungen bereitgestellt, weil deutlich geworden war, daß mit der Kenntnis von den Vorgängen innerhalb der kleinsten Teilchen der Stoffe wichtige Erscheinungen in der Natur erkannt und erklärt werden können.

Unsere Vorstellungen über all diese unseren Augen verborgenen Teilchen sind Modellvorstellungen.

Heute sind Wissenschaftler aller Nationen damit beschäftigt, immer weiter in das Innere der Stoffteilchen vorzudringen und diese Erkenntnisse für die Gesellschaft nutzbar zu machen. Beispiele dafür sind die Anwendung strahlungsaktiver Stoffe zum Erforschen biologischer Vorgänge, zum Erkennen und Heilen von Krankheiten, zum Prüfen und Messen in der Technik sowie die Umformung der Kernenergie zu nutzbarer elektrischer, thermischer oder mechanischer Energie.



Vom Bau des Atomkerns

Vom Atom ist heute allgemein bekannt, daß es aus einem Kern besteht, um den sich Elektronen bewegen. Beispiele chemischer Bindung wurden aus dem Aufbau der Elektronenhülle erklärt und das Elektron als Ladungsträger untersucht. Diese Erkenntnisse wurden in einer Jahrtausende währenden Forschungsarbeit durch viele Wissenschaftler zusammengetragen, und ständig werden diese Erkenntnisse ergänzt und erweitert.

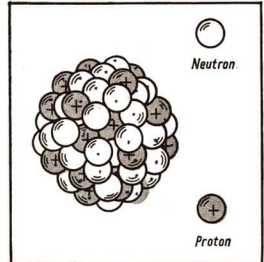
Grundsätzliches zum Bau des Atomkerns

Zu Beginn des Chemieunterrichts in der 9. Klasse sind grundlegende Kenntnisse über den Atombau vermittelt worden. Das Wesentliche und Bleibende kann in folgenden Sätzen zusammengefaßt werden:

- ▷ Atome bestehen aus einem sehr kleinen positiv geladenen Kern und einer Hülle, in der sich Elektronen bewegen. Diese haben bestimmte Energien. Eine Zufuhr von Energie bewirkt Lockerung und schließlich Lösung der Hüllenelektronen vom Kern.

Unsere Sinne ermöglichen uns keinen unmittelbaren Zugang zu dem winzigen Bereich eines Atoms. Deshalb versucht der Mensch, Erfahrungen der Forschung durch anschauliche Bilder, die dem täglichen Leben entnommen sind, verständlich zu machen. Man sagt: Wir denken in Modellen. So haben RUTHERFORD und BOHR vor etwa 50 Jahren ein Atommodell entwickelt, dessen Einzelheiten sich jedoch mit den wachsenden Erkenntnissen nicht mehr vereinbaren ließen. Modelle spiegeln immer nur gegenwärtige Erfahrungen wider und sind kein absolut getreues Abbild der Wirklichkeit. Wohl aber sind sie wertvolle Hilfen auf dem Wege „der ewigen unendlichen Annäherung des Denkens an das Objekt“ (LENIN). Unter Beachtung dieser wichtigen Aussage über die Bedeutung eines Modells kann man mit Sicherheit sagen:

- ▷ Protonen und Neutronen sind Bausteine der Atomkerne.



96/2 Bild vom Modell eines Atomkerns

Die Protonenzahl gibt die Anzahl der positiven Ladungen des Atomkerns an. Sie ist gleich der Kernladungszahl und damit auch gleich der Ordnungszahl im Periodensystem. Die Kerne aller Atome eines bestimmten Elementes enthalten die gleiche Anzahl Protonen; die Neutronenzahl kann dagegen verschieden sein. Die Summe aus Protonen- und Neutronenzahl nennt man Nukleon- oder Massenzahl. Die Atome eines Elementes, die gleiche Protonenzahl, aber unterschiedliche Neutronenzahl haben, verhalten sich chemisch gleichartig, unterscheiden sich aber in manchen physikalischen Eigenschaften. Sie heißen Isotope.¹ Die meisten Elemente kommen als Gemische aus Isotopen vor, das Zinn erreicht mit 10 Isotopen die größte bisher bekannte Zahl. Nur bei 21 Elementen kennt man nur je einen stabilen Atomkern.

Man kennzeichnet jedes Element durch sein chemisches Symbol, dem links oben die Massenzahl, links unten die Ordnungszahl als Index angefügt werden.

Beispiele: ${}^4_2\text{He}$, ${}^{14}_7\text{N}$, ${}^{23}_{11}\text{Na}$, ${}^{238}_{92}\text{U}$,

Isotope des ${}^1_1\text{H}$ – gewöhnlicher Wasserstoff

Wasser- ${}^2_1\text{H}$ – schwerer Wasserstoff oder Deuterium ${}^2_1\text{D}$

stoffs: ${}^3_1\text{H}$ – überschwerer Wasserstoff oder Tritium ${}^3_1\text{T}$

Natürlicher Sauerstoff ist ein Gemisch aus

${}^{16}_8\text{O}$ zu 99,76%

${}^{17}_8\text{O}$ zu 0,04%

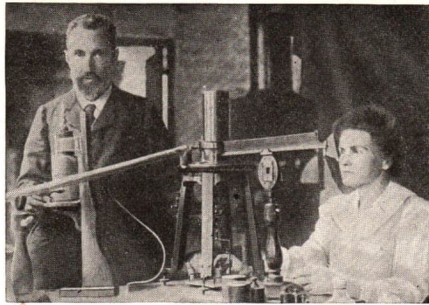
${}^{18}_8\text{O}$ zu 0,20%

Teilchen bzw. Element	Symbol	Massenzahl	Protonenzahl	Neutronenzahl	Kernmasse bzw. Teilchenmasse	Schreibweise
Neutron	n	1	0	1	1,00898 u	${}^1_0\text{n}$
Proton	p	1	1	0	1,00759 u	${}^1_1\text{p}$
Helium	He	4	2	2	4,00278 u	${}^4_2\text{He}$
Stickstoff	N	14	7	7	14,00368 u	${}^{14}_7\text{N}$
Sauerstoff	O	16	8	8	15,99561 u	${}^{16}_8\text{O}$
Natrium	Na	23	11	12	22,9910 u	${}^{23}_{11}\text{Na}$
Jod	J	127	53	74	126,9157 u	${}^{127}_{53}\text{J}$
Uran	U	238	92	146	238,125 u	${}^{238}_{92}\text{U}$

97/1 Charakteristische Größen einiger Atomkerne

Die atomare Masseneinheit (Formelzeichen u) ist gleich $\frac{1}{12}$ der Masse von ${}^{12}\text{C}$, dessen Kern aus 6 Protonen und 6 Neutronen besteht. $1 u = 1,660277 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

¹ isos topos (griech.): gleicher Ort.



Über spontane Kernumwandlungen

Zu den folgenreichsten physikalischen Erkenntnissen gehört die Entdeckung, daß Kerne sich ohne äußere Einwirkungen umwandeln können. Diese Erscheinung zwang dazu, den alten Begriff des Atoms als eines unveränderlichen Bausteins der Materie aufzugeben. Einen besonderen Anteil an dieser Entdeckung hat das Forscherpaar MARIE und PIERRE CURIE.

Die Radioaktivität

Im Jahre 1896 hat HENRI BECQUEREL nachgewiesen, daß Uranverbindungen Strahlen aussenden, die auf fotografische Platten einwirken. Auch bei Thorium und Aktinium wurde die gleiche Eigenschaft entdeckt. 1898 konnte das Ehepaar CURIE aus Uranerz ein bis dahin unbekanntes Element aussondern, von dem eine sehr starke Strahlung ausgeht. Sie nannten es *Radium* (Ra) „das Strahlende“ und die zunächst rätselhaften Vorgänge, die zur Strahlung führen, Radioaktivität.

Die Größe der Forschungsleistung wird man recht würdigen, wenn man bedenkt, daß 7 t Erz verarbeitet werden mußten, um 1 g Ra zu gewinnen. MARIE CURIE hat sich durch die jahrelange Arbeit mit radioaktiven Stoffen gesundheitlichen Schaden zugezogen, der zu ihrem Tode führte. PIERRE und MARIE CURIE haben es gleich WILHELM CONRAD RÖNTGEN abgelehnt, ihre Entdeckungen geschäftlich auszuwerten. Diese sollten zum Wohle aller Menschen dienen.

Die *dauernde* Energieabgabe durch Strahlung der radioaktiven Stoffe, an denen man lange Zeit keine Veränderung feststellen konnte, schien dem *Energieerhaltungsgesetz* (s. S. 39) zu widersprechen. Der Betrag der abgegebenen Energie konnte bestimmt werden, indem man alle Strahlen eines radioaktiven Präparats in einer Bleikapsel auffing, die in einem Eiskalorimeter stand. So wurde die Energie als Wärme gemessen.

1 g Ra liefert etwa $100 \text{ cal} \cdot \text{h}^{-1}$. Über lange Zeiträume ergeben sich erstaunlich hohe Werte. Die Herkunft der

umgesetzten Energie mußte also einen bisher noch unbekanntem Ursprung haben, auf den sich das Ziel der Forschung richtete.

Um 1903 lag eine experimentell gesicherte Theorie vor, nach der sich bei radioaktiven Atomen der Kern umwandelt. Schon im Laufe der ersten Untersuchungen konnten die folgenden Eigenschaften der radioaktiven Strahlung festgestellt werden:

1. Die Strahlen der radioaktiven Stoffe wirken auf die Fotoplatten auch durch lichtdichte Verpackung.
2. Sie bringen geeignete Stoffe zum Fluoreszieren.
3. Sie ionisieren die Luft.
4. Sie durchdringen alle Stoffe mehr oder weniger stark.
5. Sie üben eine Reizwirkung auf Organismen aus.
6. Die Strahlungsfähigkeit ist durch kein Mittel (Hitze, Kälte, Druck, chemische Einwirkung, elektromagnetische Felder) zu beeinflussen.

Die Emission von α -Teilchen

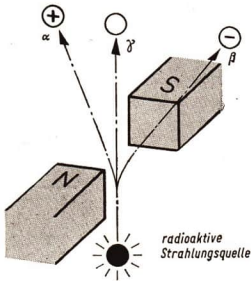
Mit Hilfe eines sehr starken Magnetfeldes wird ein Teil der Strahlen zwar sehr gering, aber deutlich abgelenkt. Die Richtung der Ablenkung läßt auf eine positive Ladung schließen.

Durch Vergleiche mit der Elementarladung des Elektrons und auf Grund der geringen Ablenkbarkeit der α -Strahlung fand RUTHERFORD, daß diese aus Teilchen von mindestens 3680mal größerer Masse als der eines Elektrons bestehen müsse.

Eine Deutung des Ergebnisses gelang RUTHERFORD, als er durch Spektraluntersuchungen *Helium* feststellte, sobald er die Strahlen in eine stark evakuierte Kammer eintreten ließ, in der elektrische Entladungen stattfanden. RUTHERFORD vermutete, daß die Strahlung aus Heliumionen besteht. Zur Nachprüfung ließ er sie von Blei absorbieren, das darauf im Vakuum geschmolzen wurde. Dabei entwich Helium. Da sich in allen radioaktiven Mineralien Helium nachweisen läßt, wurde die Vermutung zu einer begründeten Hypothese. Zur völligen Sicherung mußten umfangreiche Experimente durchgeführt werden.

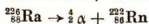
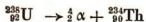
In mühsamen Versuchen wurden einzelne Teilchen aufgefangen, gezählt und die elektrischen Ladungen gemessen. Die Ladung jedes Teilchens bestand aus zwei positiven Elementarladungen, wie es die Chemie von den Heliumkernen mit der Massenzahl 4 (${}^4_2\text{He}$) lehrt. Man nennt sie α -Teilchen.

α -Teilchen sind positiv geladene Heliumkerne.



99/1 Aufspalten radioaktiver Strahlung durch ein Magnetfeld. Ein Teil der Strahlung, er wurde als α -Strahlung bezeichnet, verhält sich im Magnetfeld wie elektrisch positiv geladene Teilchen. Die β -Strahlung verhält sich wie elektrisch negativ geladene Teilchen

Bei der Abgabe eines Heliumteilchens nimmt die Massenzahl um die 4 Einheiten des Heliumkernes, die Ordnungszahl um 2 ab, z. B.

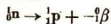


entsprechend seinen beiden positiven Ladungseinheiten.

Die Emission von β -Teilchen

Ein Teil des Strahlenbündels (Bild 99/1) wird schon in schwächeren Magnetfeldern genau so wie ein Elektronenstrahl sehr deutlich abgelenkt. Es konnte nachgewiesen werden, daß er aus sehr schnellen Elektronen besteht. Diese Strahlen nennt man Betastrahlen (β -Strahlen).

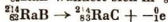
Da der Atomkern aber nur Protonen und Neutronen enthält, muß man annehmen, daß sich bei der Kernumwandlung auch eine Veränderung der Kernbauteilchen vollzieht. Bei der Emission von Betastrahlen wandelt sich jeweils ein Neutron in ein Proton um unter Abgabe eines Elektrons.



▷ β -Strahlen sind schnelle Elektronen.

Bei Aussendung eines β -Teilchens bleibt die Massenzahl des Kernes erhalten, da die Masse des Elektrons nur 0,0005 der Protonenmasse beträgt. Die Ordnungszahl steigt um 1, da dem Kern eine negative Ladungseinheit entzogen wird.

${}_{82}^{214}\text{RaB}$ wandelt sich in ${}_{83}^{214}\text{RaC}$ und ein Elektron um



Massenzahlen: $214 = 214 + 0$

Kernladungszahlen: $82 = 83 - 1$

Ein weiterer Anteil der radioaktiven Strahlung läßt sich nicht ablenken. Es sind die Gammastrahlen (γ -Strahlen). Sie sind dem Licht verwandt, haben ein hohes Durchdringungsvermögen und schädigen lebende Zellen. Von ihnen wird in Klasse 10 gesprochen.

Die Halbwertszeit

Die in der Natur vorkommenden radioaktiven Stoffe erschienen den Forschern anfangs in den möglichen Beobachtungszeiten unveränderlich zu sein. Das wäre jedoch ein Widerspruch zu den Naturgesetzen gewesen, wonach auch die radioaktive Strahlung nicht aus dem Nichts heraus entstehen konnte. Deshalb wurden genauere Unter-

suchungen mit feineren Meßverfahren und anderen Methoden angewendet. Diese Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß von einer bestimmten Menge eines radioaktiven Elements in gleichen Zeitabständen immer der gleiche Anteil zerfällt. So zerfällt beispielsweise von 1 g ^{226}Ra innerhalb von 1590 Jahren 0,5 g; innerhalb der nächsten 1590 Jahre zerfällt von den restlichen 0,5 g wieder die Hälfte, also 0,25 g. Man hat es nun für zweckmäßig gehalten, die Zeit, in der jeweils die Hälfte der vorhandenen Atome eines radioaktiven Elements zerfällt, als charakteristische Größe für den Zerfall festzulegen. Man nennt sie die *Halbwertszeit*. Das so ermittelte Gesetz liefert eine sichere Aussage darüber, wieviel radioaktive Atome aus einer großen Zahl in einer bestimmten Zeit zerfallen sind. Wann ein bestimmtes Atom zerfällt, läßt sich aber nicht voraussagen. Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die Halbwertszeiten verschiedener radioaktiver Stoffe sehr unterschiedlich. Sie umfassen die verschiedensten Zeitabschnitte zwischen etwa 10^{-6} s und 10^9 Jahren.

101/1

Halbwertszeiten einiger Elemente

Element	Zahlenwert	Einheit
$^{234}_{92}\text{U}$	$2,52 \cdot 10^5$	Jahre
$^{230}_{90}\text{Io}$	$8 \cdot 10^4$	
$^{226}_{88}\text{Ra}$	$1,59 \cdot 10^3$	
$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,825	Tage
$^{218}_{84}\text{RaA}$	3,05	Minuten
$^{214}_{82}\text{RaB}$	26,8	
$^{214}_{84}\text{RaC}'$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	Sekunden

Diese Tabelle zeigt zugleich, in welche Atomkerne sich der Atomkern des Elements ^{234}U nacheinander durch Abgabe von Kernteilchen umwandelt.

Das $^{234}\text{Uran}$ ist das Ausgangselement, aus dem sich durch radioaktiven Zerfall eine Reihe von anderen, ebenfalls wieder radioaktiven Elementen bildet. Aus der Kenntnis der Halbwertszeit für diesen Zerfallsprozeß weiß man heute, daß dieser seit etwa 2 Milliarden Jahren für die in den obersten Schichten der Erde vorhandenen Uranmengen abläuft. Damit ist von den Kernphysikern ein Meßverfahren zur Ermittlung des Erdzeitalters bzw. des Alters verschiedener Erdformationen gefunden worden. Von den Geologen und Archäologen wurden die nach dieser Methode gefundenen Altersangaben bestätigt. Danach schätzt man heute das Alter unserer Erde auf etwa 4 Milliarden Jahre.



Der Nachweis radioaktiver Strahlung

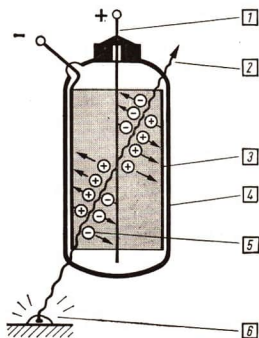
Das Streben der westdeutschen Politiker nach der Atombewaffnung ihrer Armee zwingt dazu, die Nationale Volksarmee der DDR mit entsprechenden Abwehrmitteln auszurüsten. Spezialtrupps in den Einheiten unserer NVA sind so zum Beispiel mit Such- und Meßgeräten ausgestattet, die radioaktive Strahlung in jedem Geländeabschnitt erkennen lassen.

Manche Laien meinen, alle Strahlen seien etwas „Strahlendes“, also Sichtbares. Das trifft auf die radioaktive Strahlung, auch Kernstrahlung genannt, nicht zu. Wir erkennen sie an ihren Wirkungen, zu deren Nachweis verschiedene Geräte entwickelt wurden. Die wichtigsten benutzen die Ionisation, die im Abschnitt Leitungsvorgänge in Gasen erläutert wurde. Alle radioaktiven Strahlen vermögen Elektronen aus den Atomen herauszulösen und dadurch Ionen zu erzeugen. Gase werden dabei leitfähig, und in einem abgeschlossenen Raume bildet sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes ein *Ionisationsstrom*. Man kann ihn messen und dadurch die Strahlungsintensität bestimmen.

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Das heute meist benutzte Meßgerät ist das Geiger-Müller-Zählrohr (Bild 102/2). Es besteht aus einem dünnwandigen Metallrohr oder einem mit einem Metallbelag versehenen Glasrohr (4), durch das axial ein dünner Draht (1) gespannt ist. Das Rohr ist meist mit einem Gasgemisch von Argon und Alkohol (manchmal auch mit Halogenen) gefüllt.

Gegenüber der Wand erhält der Draht eine Spannung von etwa 1200 V. Im Innern der Kammer (4) herrscht dadurch ein starkes elektrisches Feld. Die durch die radioaktiven Strahlen freigemachten Elektronen und die dadurch gebildeten Ionen werden beschleunigt, stoßen dabei mit neutralen Atomen zusammen und ionisieren auch diese. Es entsteht eine Lawine geladener Teilchen. Diese erzeugt im Zählrohrkreis (Bild 103/1) einen Stromstoß, der am

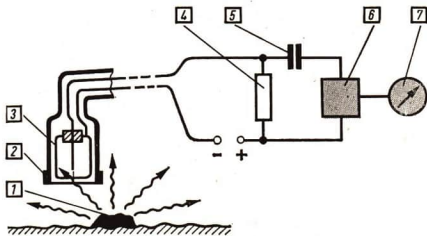


102/2 Ionisationskammer (Geiger-Müller-Zählrohr)

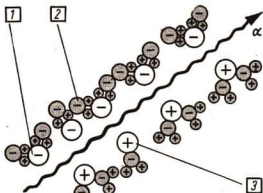
- 1 – Innenelektrode (Anode)
- 2 – radioaktive Strahlung
- 3 – Katode
- 4 – Vakuumbehälter
- 5 – ionisierte Gasteilchen
- 6 – radioaktiv strahlender Körper

103/1 Suchgerät

- 1 - radioaktiv strahlender Körper
- 2 - Suchkopf
- 3 - Ionisationskammer
- 4 - Widerstand
- 5 - Kondensator
- 6 - Verstärker
- 7 - Meßgerät

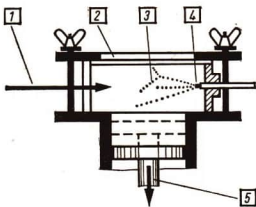


Widerstand (4) einen Spannungsstoß bewirkt. Dieser kann nach Verstärkung (6) registriert (7) werden. So lassen sich die einzelnen von den radioaktivem ausgestrahlten Teilchen zum Beispiel zählen.



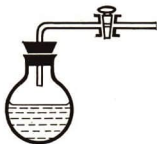
103/2 Ionen sind Kondensationskeime im Wasserdampf

- 1 - negative Ionen
- 2 - Wassermoleküle (Dipole)
- 3 - positive Ionen



103/3 Nebelkammer nach WILSON

- 1 - Lichteinfall
- 2 - Beobachtungsfenster
- 3 - Nebelspuren
- 4 - radioaktives Präparat
- 5 - Kolben



103/4

Die Wilsonsche Nebelkammer

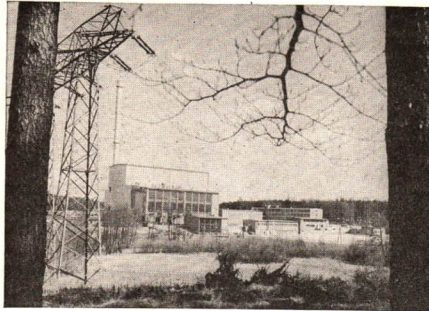
Der englische Physiker CH. T. R. WILSON (1869 bis 1959) beobachtete, daß Ionen als Kondensationskeime für Tröpfchen in übersättigten Dämpfen dienen können (Bild 103/2) und baute 1912 die ersten Nebelkammern. Die Übersättigung des Dampfes erreichte WILSON durch schnelle Ausdehnung von Luft, die mit Wasserdampf gesättigt war. Der räumliche Verlauf einfallender ionisierender Teilchen kann bei Beleuchtung beobachtet und auch fotografiert werden.

BLACKETT konstruierte als erster vollautomatische Kamern. Der russische Physiker SKOBELZYN machte die Nebelkammer durch Verwendung in *Magnetfeldern* zu einem Forschungsmittel für Massen- und Geschwindigkeitsbestimmung ionisierender Teilchen.

Welche Wirkung ruft ein Magnetfeld auf bewegte elektrisch geladene Teilchen hervor?

Versuch zur Wirkungsweise einer Nebelkammer

In einen Kolben füllt man etwas Wasser, bläst ein wenig Rauch hinein und verschließt ihn mit einem Stopfen, durch den ein mit Hahn versehenes Glasrohr führt (Bild 103/4). Man bläst kräftig Luft durch das Rohr und verschließt dann sofort den Hahn. Unter leichtem Erwärmen läßt man den Luft Raum sich mit Wasserdampf sättigen. Öffnet man darauf den Hahn, so tritt durch die Entspannung Abkühlung und Übersättigung mit Wasserdampf ein. Die feinen Rauchteilchen wirken als Kondensationskeime, es bildet sich deutlich Nebel. In ähnlicher Weise entstehen die bekannten Kondensstreifen aus den Abgasen von Flugzeugen.

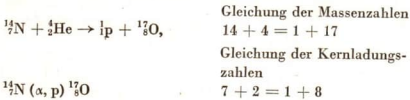


Die Kernreaktionen

Nachdem sich die Hypothese von den Kernumwandlungen bewährt hatte, konnten künstliche Umwandlungen versucht werden. RUTHERFORD, dem sie erstmalig gelangen, glaubte bis zu seinem Tode 1936 nicht daran, daß sie praktische Bedeutung erlangen könnten. Heute gibt es bereits in vielen Ländern sogenannte Atomkraftwerke wie das in der DDR in Rheinsberg, in deren Kernreaktoren die Umwandlung von Atomkernen zur Energiegewinnung genutzt wird.

Die Reaktion mit Protonen

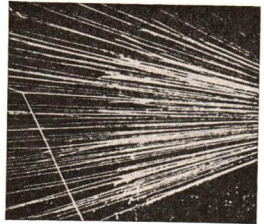
Die erste künstliche Kernumwandlung gelang E. RUTHERFORD im Jahre 1919. Er ließ schnelle α -Teilchen, die von Radium mit einer Geschwindigkeit von fast $20\,000\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ausgehen, auf Stickstoff auftreffen und konnte nachher Wasserstoffkerne (Protonen) nachweisen. RUTHERFORD gab dafür die folgende Erklärung: Die energiereichen α -Teilchen dringen gelegentlich in einen Stickstoffkern ein. Das dadurch entstandene Gebilde zerfällt sogleich in ein Proton und einen Rest, dessen Massenzahl und Kernladungszahl man errechnen kann, da die Summe der Massenzahlen und der Kernladungszahlen vor und nach der Reaktion gleich sein müssen. Der neue Kern ist ein Sauerstoffisotop:



- Welche Regel gilt für die oberen und unteren Indizes bei Atomumwandlungen?

Die Klammer drückt aus, daß ein α -Teilchen aufgenommen und ein Proton abgegeben wurde. BLAKETT ist es gelungen, den Vorgang in der Nebelkammer zu beobachten (Bild 104/2).

In 23000 Aufnahmen mit über 400000 Bahnen fand er 8 derartige Treffer. In den folgenden Jahren sind viele Kernumwandlungen durch „Beschuß“ mit schnellen Teilchen (Protonen, Deuteronen, ${}^{12}\text{C}$ u. a.) gelungen.



104/2 Nebelkammeraufnahme einer Kernreaktion (im Bild in der Mitte links ist ein Kern getroffen worden)

Die Reaktion mit Neutronen

Die Existenz des Neutrons ($\frac{1}{2}n$), eines „Nullten Elements“, war schon 1920 von RUTHERFORD vermutet worden. Aber erst 1932 konnte einer seiner Mitarbeiter, JAMES CHADWICK, sie nachweisen. Bei der Bestrahlung von Beryllium mit α -Strahlen entdeckten die deutschen Physiker BECKER und BOTHE eine von Beryllium ausgehende außerordentlich durchdringende Strahlung. Sie ging z. B. durch Bleischichten hindurch, welche die α - und β -Strahlen völlig absorbierten. Da man die neuen Strahlen im Magnetfeld nicht ablenken konnte, hielt man sie zunächst für γ -Strahlen mit hoher Energie. IRENE und FREDERIC JOLIOU-CURIE wiederholten die Versuche. Dabei stellten sie fest, daß die Luft besonders stark ionisiert wurde, wenn die Berylliumstrahlung auf wasserstoffhaltige Stoffe, z. B. Paraffin, auftraf. In Nebelkammeraufnahmen konnten aus dem Paraffin kommende ionisierende Protonenstrahlen nachgewiesen werden.

CHADWICK stellte daraufhin fest, daß die nicht ionisierende Be-Strahlung ungeladene Elementarteilchen enthielt, denen man den Namen **Neutron**, Symbol n , gab. Die Kernreaktion kann folgendermaßen dargestellt werden:

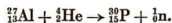


Die Erzeugung instabiler Kerne

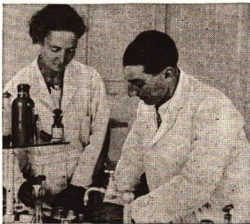
Die Ursache der natürlichen Radioaktivität sind Kernumwandlungen, die ohne Einwirkungen von außen eintreten. Bei den meisten künstlichen Kernumwandlungen entstehen instabile Kerne. Sie sind radioaktiv und zerfallen wie Radium mit einer meßbaren Halbwertszeit. Man spricht von einer künstlichen Radioaktivität, die meist als Emission von β -Teilchen auftritt.

Die künstliche Radioaktivität wurde erstmals herbeigeführt und beobachtet von dem französischen Forscherpaar IRENE und FREDERIC JOLIOU-CURIE.

Bei einem ihrer Versuche im Jahre 1932 ließen sie α -Teilchen von einem Poloniumpräparat auf Aluminiumatome einwirken. Dabei stellten sie zunächst eine starke Neutronenstrahlung fest. Der Vorgang läßt sich durch die folgende Reaktionsgleichung darstellen:



Außerdem beobachteten sie in der Nebelkammer dünne Bahnen, wie sie von Elektronen erzeugt werden. Die Ab-



105/1 IRENE (1897 bis 1956) und FREDERIC JOLIOU-CURIE (1900 bis 1958)

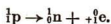
lenkung in einem elektrischen Feld ergab jedoch, daß diese Teilchen positive Ladung hatten. Solche Teilchen hatte man kurz vorher in der aus dem Weltraum stammenden Höhenstrahlung mit Hilfe von Nebelkammeraufnahmen entdeckt. Jetzt waren sie erstmalig bei einem Kernumwandlungsprozeß auf der Erde festgestellt worden. Man nennt diese Teilchen **Positronen** (0_1e oder e^+).

- ▷ Man muß also zwischen β^+ -Strahlung und β^- -Strahlung unterscheiden.

Nach Entfernen des radioaktiven Präparats hörte zwar, wie zu erwarten war, die Neutronenstrahlung sofort auf, die Positronenstrahlung aber dauerte an. Ihre Intensität nahm wie bei der natürlichen radioaktiven Strahlung ab. Die Halbwertszeit betrug 130,6 s. Das aus ${}^{27}_{13}\text{Al}$ durch den Beschuß mit α -Teilchen entstandene Phosphorisotop ${}^{30}_{13}\text{P}$ ist instabil. Es zerfällt unter Aussendung eines Positrons in einen stabilen Siliziumkern:



In dem Phosphorkern muß sich also ein Proton in ein Neutron und ein Positron verwandelt haben:



- ▷ Bei Kernreaktionen können radioaktive Kerne entstehen. Diese Erscheinung heißt künstliche Radioaktivität. Man kennt bisher rund 1000 verschiedene künstliche radioaktive Kerne.

Heute werden durch Bestrahlung viele Radioisotope (Radionuklide) hergestellt, die ausgedehnte Verwendung in der Forschung, der Technik und der Medizin finden.

Energiebilanz bei Kernreaktionen

Als man noch annahm, die Atomkerne seien aus *Protonen* und *Elektronen* zusammengesetzt, schien das Problem ihrer Festigkeit durch die *elektrostatische* Anziehung gelöst. Sie haben in der Elektrizitätslehre gelernt, daß zwischen positiv und negativ geladenen Körpern ein Feld besteht, in dem Kräfte wirken. Es mußte jedoch eine Erklärung für den Zusammenhalt des Kerns bei der Zusammensetzung aus *Protonen* und *Neutronen* gegeben werden: Die Protonen stoßen einander ab wegen ihrer gleichen positiven Ladung, *Gravitationskräfte* reichen nicht aus, um die Stabilität des Kerns zu erklären. Man nimmt heute besondere *Kernkräfte* an, die bei geringster Reichweite (Größenordnung 10^{-15} m)

außerordentlich groß sind. Das Wissen über die Kernkräfte ist noch unvollkommen und erfordert zu seiner Erweiterung Hilfsmittel der höheren Mathematik und immer größere technische Einrichtungen.

Einfacher lassen sich Aussagen über die Massen und die Bindungsenergien darstellen.

Der Massendefekt. Die mit modernen Methoden der Massenbestimmung ermittelten Werte zeigten eigenartige Ergebnisse. Es beträgt der Massenwert

$$\begin{aligned} \text{des Protons} \quad m_p &= 1,007596 \text{ u,} \\ \text{des Neutrons} \quad m_n &= 1,008983 \text{ u.} \end{aligned}$$

Bei einem Atomkern aus Z Protonen und N Neutronen erwartet man einen Massenwert $m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n$.

Er ist aber immer etwas kleiner als diese Summe. Daraus ergibt sich:

$$m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - \Delta m$$

Die Differenz heißt:

Massendefekt (Δm).

Zahlenmäßig gilt für den Heliumkern:

$$\begin{aligned} \Delta m &= Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m \\ \Delta m &= (2 \cdot 1,007596 \text{ u} + 2 \cdot 1,008983 \text{ u}) - 4,002775 \text{ u} \\ \Delta m &= 0,030383 \text{ u.} \end{aligned}$$

Ähnliches gilt für alle Kernumwandlungen. Daraus ergibt sich:

Bei der Bildung leichter oder der Spaltung schwerer Kerne tritt ein „Verlust“ an Masse ein (Massendefekt). ◀

Diese Masse kann nicht verschwunden sein. Eine Erklärung der Erscheinung gab ALBERT EINSTEIN (1879 bis 1955). Er hat in allgemeiner Form bewiesen, daß jeder Masse ein bestimmter Energiebetrag entspricht. Diese Beziehung zwischen beiden Größen wird ausgedrückt durch die **Einsteinsche Gleichung**

$$W = m \cdot c^2. \quad \blacktriangleleft$$

c bedeutet hierbei die Lichtgeschwindigkeit. So entspricht 1 g Masse der folgenden Energie:

$$\begin{aligned} W &= 0,001 \text{ kg } (3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 \\ W &= 9 \cdot 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m} \\ W &= 9 \cdot 10^{13} \text{ Nm} \quad \text{oder} \quad 9 \cdot 10^{13} \text{ Ws} = 25 \cdot 10^6 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

Diese Energiemenge wird bei einem Massendefekt (Δm) von 1 g frei. EINSTEIN hat seine Gleichung im Jahre 1905 theoretisch abgeleitet. Sie ist durch die Kernphysik als eines der bedeutungsvollsten Gesetze bestätigt worden.

Wenn es gelingt, einen schweren Kern annähernd zu halbieren, so muß Energie frei werden. Dasselbe gilt für das Verschmelzen von leichten Kernen. In beiden Fällen tritt als Äquivalent ein Massendefekt ein.

Die Massendefektwerte sind für die stabilen Kerne genau bestimmt worden. Wenn man sie in Energieeinheiten umrechnet, erhält man die **Bindungsenergie**, die bei der Bildung der Kerne frei würde und umgekehrt für die Zerlegung in ihre Bestandteile aufzuwenden wäre. Masse und Energie erweisen sich als zwei Eigenschaften der Materie, die unlösbar miteinander verbunden sind.

Die Kernspaltung

Bei der Umwandlung von Kernen durch Beschuß mit α -, β - oder anderen Teilchen waren zunächst Kerne entstanden, die im Periodensystem in der Nähe des umgewandelten Kernes zu finden sind. Ende 1938 konnten OTTO HAHN und sein Mitarbeiter FRITZ STRASSMANN in schwierigen chemischen Untersuchungen nachweisen, daß nach der Bestrahlung von Uran Barium auftritt. Das aber ist ein Spaltstück mittlerer Masse, denn das Uran hat die Massenzahl 235, Barium aber 142.

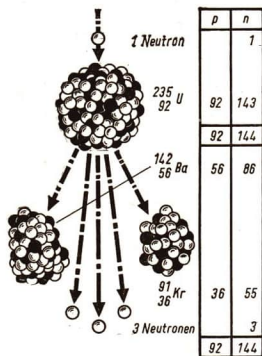
Wie sehr damals die Spaltung noch unwahrscheinlich erschien, ist aus den folgenden Sätzen der ersten Veröffentlichung Hahns vom 22. Dezember 1938 zu erkennen:

„Als Chemiker müßten wir eigentlich sagen, bei den neuen Körpern handelt es . . . sich um Barium . . . Als Kernchemiker können wir uns zu diesem allen bisherigen Erfahrungen der Kernphysik widersprechenden Sprung noch nicht entschließen.“

Das ungeheure Aufsehen, das diese Arbeiten in allen Forschungsstätten erregten, erklärt sich daraus, daß bei einer Spaltung des Urankerns durch Neutronen weitere Neutronen entstehen, die von neuem Kerne spalten können. Somit rückte eine praktische Verwendung der Kernspaltung in den Bereich der Möglichkeiten, an die selbst RUTHERFORD wegen der geringen Anzahl von Zufallstreffern bei den bisherigen Bestrahlungen nicht geglaubt hatte. Die Spaltungsneutronen wurden bald nachgewiesen, und überall setzte eine intensive Arbeit in den Forschungsstätten ein.

Vorgang der Kernspaltung. Der Vorgang der Kernspaltung wird durch das Bild 109/1 verdeutlicht.

Ein Neutron dringt in den Atomkern ein und führt zu einem Zwischenkern, der bald in mittelschwere Spaltstücke zerfällt. Bei



109/1 Kernspaltung

diesem Vorgang wird eine erhebliche Energie frei, und überschüssige Neutronen werden ausgeschleudert. Die Energie steckt als Bewegungsenergie in den Bruchstücken, den Neutronen, und in der β - und γ -Strahlung, die bei der Spaltung oder dem weiteren Zerfall der Bruchstücke ausgestrahlt wird.

Die Bewegungsenergie der Bruchstücke verwandelt sich bei der Abbremsung durch die Umgebung in Wärme. Eine derartige Umwandlung mechanischer Energie in Wärme ist Ihnen aus Bremsvorgängen im täglichen Leben und aus dem Unterricht der Klasse 8 bekannt. Als Äquivalent dieser Energie tritt ein Massendefekt ein, aus dem diese Energie errechnet werden kann. Man weiß heute:

Bei jeder Spaltung eines Urankerns wird eine Energie von Δ etwa $7,7 \cdot 10^{-15}$ kcal frei.

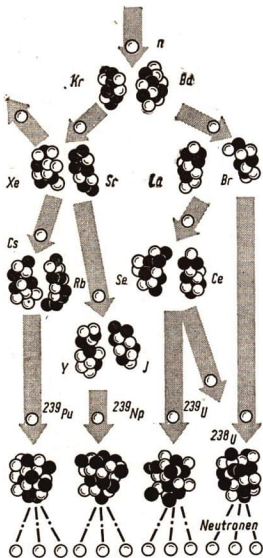
Um zu einem Vergleich mit der durch chemische Vorgänge frei werdenden Energie zu gelangen, zeigen wir folgendes Beispiel:

1 Grammatom ^{235}U (das sind 235 g) enthält $6,023 \cdot 10^{23}$ Atome. Wenn 235 g Uran gespalten würden, erhielte man $6,023 \cdot 10^{23} \cdot 7,7 \cdot 10^{-15}$ kcal. Ein Kilogramm würde 1000/235 mal so viel, d.h. $2 \cdot 10^{10}$ kcal liefern.

Vergleicht man damit die Energie von etwa 7500 kcal je kg, die bei der Verbrennung von Steinkohle frei wird, so erkennt man:

Die Spaltung von Uran liefert über 2 Millionen mal so viel Energie wie die Verbrennung der gleichen Menge Steinkohle.

Die ungesteuerte Kettenreaktion. Die Hahn'sche Entdeckung der Kernspaltung wurde durch die wichtige Entdeckung von I. und F. JOLIO-CURIE ergänzt, daß bei einer Spaltung 2 bis 3 Neutronen frei werden, die neue Spaltungen bewirken können. Es kann dadurch zu einer lawinenartig anschwellenden Kette von Spaltungen kommen (Bild 109/2).



109/2 Kettenreaktion

Oben hat ein Neutron einen Kern des ^{235}U in zwei Bruchstücke (Ba und Kr) gespalten; dabei entstehen zwei Sekundärneutronen. Diese zwei Neutronen treffen auf zwei Kerne ^{235}U und spalten den einen in Br + La und den anderen in Sr + Xe. Bei jedem dieser beiden Spaltvorgänge werden Neutronen frei, die wieder weitere Spaltungen bewirken oder mitunter von ^{238}U eingefangen werden, wobei sich dieses über ^{239}U und ^{239}Np zu ^{239}Pu umwandelt.

Die Kernspaltungen durch Protonen, Deuteronen oder γ -Strahlen großer Energie, wie man sie zum Beispiel in Beschleunigern erhält, vermögen keine Kettenreaktion

hervorzubringen, da durch die Spaltungen diese Teilchen sich nicht vermehren oder „reproduzieren“. Neutronen dagegen können Kettenreaktionen in Uran, Thorium und Plutonium erzeugen, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

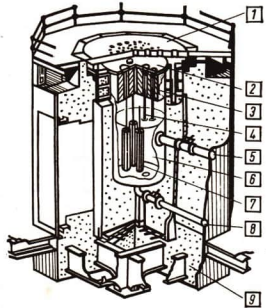
1. Es dürfen nicht zu viele Neutronen nach außen entweichen. Das wird verhindert bei genügend großer Menge des spaltbaren Stoffes. Die Mindestmasse für das Eintreten einer Kettenreaktion heißt die **kritische Masse**.
2. Das Spaltmaterial darf nicht zu viele Stoffe enthalten, die Neutronen auffangen.
3. Die frei werdenden Neutronen müssen eine bestimmte Energie (Geschwindigkeit) zum Auslösen einer neuen Spaltung haben.

Gesteuerte Kettenreaktion. Um die bei der Kernspaltung frei werdende Energie zu friedlichen Zwecken verwenden zu können, muß statt der schlagartigen Explosion die Spaltung von Atomkernen in dem jeweils erforderlichen Umfang herbeigeführt, also gesteuert werden. Dazu sind **Reaktoren** gebaut worden.

Die Energiewandlung ist in einem Reaktor zum Beispiel (Bild 110/1) nach folgendem Prinzip möglich:

Spaltbares Material wie ^{235}U oder ^{239}Pu wird in einem Behälter in Form von Stäben, Blöcken oder Platten angeordnet. Man bezeichnet diese Anordnung als Brennstoffelemente. Im spaltbaren Material tritt durch das natürliche Vorhandensein von Neutronen eine Kernspaltung ein. Durch die daraufhin einsetzende Kettenreaktion wird ständig eine ausreichende Zahl Neutronen erzeugt.

Die freigemachten Neutronen können infolge ihrer hohen Geschwindigkeit nicht mit Sicherheit auf spaltbare Atomkerne treffen. Sie fliegen zum Teil an ihnen vorbei ins Freie und die Kettenreaktion erlischt. Deshalb muß die Geschwindigkeit der Neutronen verringert werden. Zum Abbremsen der Neutronen eignen sich Stoffe, deren Atomkerne möglichst nicht größer als das Neutron sind, z. B. das Proton des Wasserstoff-Atomkerns. Bei einem Zusammenprall beider Teilchen geht ein großer Teil der Bewegungsenergie vom Neutron auf das Proton über.



110/1 Kernreaktor
 1 – Abdeckplatte
 2 – Deckel
 mit Beschickungsöffnungen
 3 – Aluminiumbehälter
 4 – Regulierstäbe
 5 – Abfluß des Energieträgers
 6 – Wasserfüllung
 7 – Brennstoffelemente
 8 – Zufluß des Energieträgers
 9 – Betonmantel

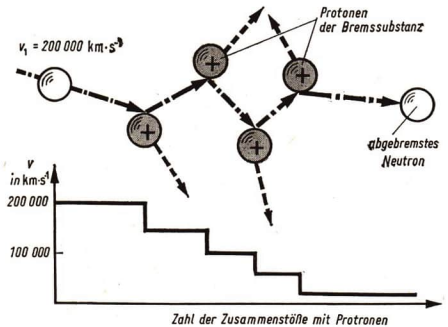
- Welche Geschwindigkeiten besitzt eine Billardkugel, nachdem sie zentral auf eine andere Billardkugel (gleich große Masse) oder auf die Kante des Billardtisches (wesentlich größere Masse) geprallt ist?

Die abgebremsten Neutronen (Bild 111/1) sind in der Lage, ^{235}U -Kerne zu spalten. Als Bremssubstanz wird im Reaktor Wasser (H_2O), schweres Wasser (D_2O) oder Grafit ver-

wendet. Damit die Kettenreaktion nicht explosionsartig anschwillt, muß die Zahl der frei werdenden Neutronen kontrolliert und beeinflußt werden. Zum Absorbieren überzähliger Neutronen werden Stäbe aus Kadmium oder Bor verwendet.

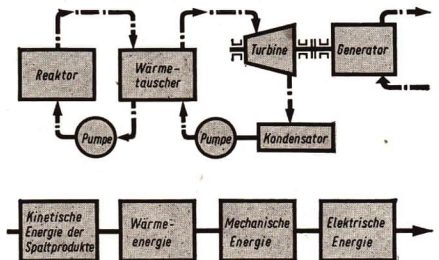
Die bei der Kernspaltung frei werdende Energie der Spaltprodukte kann als Wärmeenergie abgeleitet werden. Als Energieträger benutzt man zur Zeit noch ausschließlich Wasser.

Versuche der direkten Umwandlung von Kernenergie in elektrische Energie sind in sowjetischen Forschungsstätten bereits erfolgreich verlaufen.



111/1 Neutronen werden durch Protonen gebremst

Die meisten bisher gebauten Reaktoren dienen der Forschung und Ausbildung von Wissenschaftlern und Technikern. Der erste **Energiereaktor**, der nur der Erzeugung elektrischer Energie dient, wurde 1954 in der Sowjetunion



111/2 Blockschaubild einer Kernenergieanlage und Energiefluß

in Betrieb genommen. Er arbeitet bisher zuverlässig und hat eine Leistung von 5 MW. Inzwischen sind weitere, viel größere Kernkraftwerke (600 MW) gebaut worden. Das mit sowjetischer Hilfe gebaute Werk bei Rheinsberg am Stechlinsee ist 1966 mit einer Leistung von 150 MW in Dienst gestellt worden.

Über die Verwendung von Dampfturbinen mit Generatoren sind Sie schon in der 8. Klasse unterrichtet worden.

Verantwortungsbewußte Wissenschaftler

In den Reihen der Kämpfer für Frieden und Fortschritt stehen viele Wissenschaftler. Zu ihnen gehörten auch FREDERIC und IRENE JOLIOT-CURIE, die zu den bedeutendsten Kernphysikern zählen. FREDERIC JOLIOT-CURIE hat ein Verfahren zur Messung der Halbwertszeit von sehr kurzlebigen Substanzen entwickelt. Seine Untersuchungen bereiteten das Auffinden des Neutrons vor. Ihre Krönung fanden diese Arbeiten darin, daß er gemeinsam mit seiner Frau die künstliche Radioaktivität entdeckte.

Im Jahre 1935 erhielt das Ehepaar JOLIOT-CURIE den Nobelpreis für Chemie.

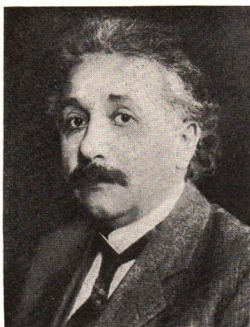
FREDERIC JOLIOT-CURIE hat auch Möglichkeiten zur Ausnutzung der bei der Spaltung von ^{235}U frei werdenden Energie entwickelt. Es ist sein Verdienst, daß am 15. Dezember 1948 der erste französische Kernreaktor „Zoe“ in Betrieb genommen worden ist. FREDERIC JOLIOT-CURIE hat schon während seines Studiums am chemisch-physikalischen Institut in Paris entschieden gegen jeden Krieg Stellung genommen. Als Praktikant kam er dann unmittelbar mit Arbeitern in Berührung und lernte hierbei ihre sozialen Probleme kennen. Dieser Einfluß wurde mitbestimmend für seine spätere politische Entwicklung, die ihren Höhepunkt fand, als er 1942 der Kommunistischen Partei Frankreichs beitrug. Er nahm am Kampf gegen die faschistische Besetzung Frankreichs teil. 1946 wurde er Hoher Kommissar für Atomenergie in Frankreich. Da er es ablehnte, Ergebnisse der Atomforschung kriegerischen Zwecken dienstbar zu machen, wurde er einige Jahre später seines Amtes enthoben.

Als die Weltfriedensbewegung immer mehr erstarkte und 1949 der Weltfriedensrat gegründet wurde, wählte man FREDERIC JOLIOT-CURIE zum Präsidenten. In dieser Eigenschaft wurde er Initiator des Stockholmer Appells zur Ächtung der Atombombe, zu dem sich über 500 Millionen Menschen aller Erdteile durch ihre Unterschrift bekannten. Seine Arbeit für den Frieden wurde 1951 durch die Verleihung des Leninpreises gewürdigt. Am 14. August 1958 starb FREDERIC JOLIOT-CURIE an den Folgen einer Krankheit, die er sich durch seine Forschungsarbeit zugezogen hatte. IRENE JOLIOT-CURIE war bereits am 17. 3. 1956 an den gleichen Folgen verstorben.

Der Präsident des Deutschen Friedensrates, Dr. Dr. h. c. W. FRIEDRICH, sagte in seinen Gedenkworten über FREDERIC JOLIOT-CURIE :



112/1 FREDERIC JOLIOT-CURIE



113/1 ALBERT EINSTEIN

„Er gehört zu den Größten, die der Menschheit das Tor in das Atomzeitalter aufgestoßen haben, und er gehört zugleich zu den ersten, die erkannten, daß diese neue Epoche gebieterisch neue Formen des internationalen Lebens und der zwischenmenschlichen Beziehungen verlangt.“

Ein anderer, ebenfalls der menschlichen Gesellschaft gegenüber besonders verantwortungsbewußter Wissenschaftler war ALBERT EINSTEIN, einer der bedeutendsten Physiker der Neuzeit. Er wurde am 14. März 1879 in Ulm geboren, studierte in Zürich Mathematik und Physik und erhielt später als Schweizer Staatsangehöriger eine Anstellung im Patentamt in Bern. In rascher Folge schuf er bedeutende Arbeiten über Molekularphysik. 1905 veröffentlichte er die spezielle Relativitätstheorie und schuf damit die Grundlage zum Erkennen der Bewegungsgesetze von Körpern, deren Geschwindigkeit sich der Lichtgeschwindigkeit nähert. Einsteins Gedanken wurden vielfach abgelehnt; sie sind aber gerade durch Erfahrungen in atomaren Gebieten glänzend bestätigt worden.

Von 1909 an war er Professor in Zürich, Prag und wiederum in Zürich. 1914 wurde er auf Anregung von MAX PLANCK nach Berlin berufen. Seit Beginn des 1. Weltkrieges trat er entschieden für Völkerverständigung und Frieden ein. 1933 verließ er das faschistische Deutschland und ging über Belgien nach den USA, wo er an der Universität Princeton lehrte. Auch hier trat er mutig gegen Krieg und Rassenhetze und gegen den Mißbrauch der Kernenergie zu Kriegszwecken auf. Er starb 1955.

OTTO HAHN, Chemiker, geb. 8.3. 1879, arbeitete bei RUTHERFORD, wurde 1928 Direktor eines Forschungsinstitutes in Berlin, 1946 Präsident der Max-Planck-Gesellschaft. Er entdeckte mehrere radioaktive Elemente und 1938 die Spaltung des Urankernes durch Neutronen, erhielt den Nobelpreis für Chemie 1944. HAHN ist mehrfach gegen die Verwendung der Kernenergie für Kriegszwecke aufgetreten und hat 1957 die feierliche Verpflichtung unterzeichnet, an der Herstellung von Atomwaffen unter keinen Umständen mitzuwirken.



113/2 OTTO HAHN

Die Kernfusion (Kernverschmelzung)

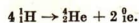
Eine zweite Möglichkeit, aus Kernumwandlungen Energie zu gewinnen, ist die *Synthese leichter Kerne*.

Die Erkenntnis, daß bei der Heliumsynthese sehr hohe Energiebeträge frei werden, hat eine Antwort auf die Frage nach dem *Entstehen der Sonnenenergie* gegeben.

Man weiß heute, daß diese Energie bei der Bildung von Atomkernen aus Protonen und Neutronen frei wird, und zwar im wesentlichen bei der Bildung von Heliumkernen. Alle Fixsterne bestehen vorwiegend aus Protonen und Neutronen.

Es gibt verschiedene Wege, auf denen in der hohen Temperatur von etwa $2 \cdot 10^7$ °K des Sonneninneren die stabilen Heliumkerne

${}^4_2\text{He}$ (α -Teilchen) entstehen können. Ihr Ergebnis ist die Bildung dieser Kerne aus 4 Protonen, wobei 2 Positronen frei werden:



Die Energie-Masse-Bilanzen für die Sonne ergeben, daß die dauernd ausgestrahlte Sonnenenergie (Leistung von $3,7 \cdot 10^{23}$ kW) noch für eine Zeit von etwa 10^{11} Jahren ausreicht.

▷ Man nennt solche Kernreaktionen, bei denen die Stoßenergie der Teilchen durch hohe Temperaturen erzeugt wird, **thermonukleare Reaktionen**.

Wenn man bedenkt, daß bei 1 kg Helium durch Fusion etwa 200 Millionen kWh, also 10mal soviel wie bei der Spaltung von 1 kg Uran, frei werden, so ist ersichtlich, daß eine technische Beherrschung thermonuklearer Reaktionen von größter Bedeutung ist.

Ökonomisch wichtig dabei ist die praktische Unerschöpflichkeit des Rohstoffes Wasser, der das zu der Reaktion besonders geeignete schwere Wasser ${}^2\text{D}$ zu etwa 0,016% enthält, das sich durch Isotopentrennung gewinnen läßt. Es wäre nötig, daß ein einmal eingeleiteter Verschmelzungsvorgang sich selbsttätig weiter fortsetzt, ähnlich wie ein Brand sich ausbreitet. Er müßte zugleich aber lenkbar und nicht eine Explosion sein. Die technische Energiegewinnung durch Kernverschmelzung ist eine noch unge löste Aufgabe, der aber die Zukunft gehören wird.

Die Freisetzung riesiger Energiemengen durch Kernspaltung und -verschmelzung ist zuerst in den ungesteuerten Kettenreaktionen der Atombomben angewendet worden, die 1945 von den USA auf die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki abgeworfen wurden.

Solange die Gefahr eines Krieges droht kann die Produktivkraft Wissenschaft auch in der sozialistischen Gesellschaft nicht voll dafür eingesetzt werden, die wirksamen Gesetzmäßigkeiten und günstigsten Bedingungen bei der Umwandlung der Atomkernenergie zur friedlichen Nutzung zu erforschen.

Von der Sowjetunion wurde im September 1959 der Vollversammlung der Vereinten Nationen folgender Vorschlag unterbreitet:

Alle im Besitz der Staaten befindlichen Atom- und Wasserstoffbomben werden vernichtet, ihre Produktion wird eingestellt. Die Energie der spaltbaren Materialien wird ausschließlich für friedliche, wirtschaftliche und wissenschaftliche Zwecke verwendet. Die Raketen aller Reichweiten für militärische Zwecke werden abgeschafft, und die Raketentechnik dient nur Transportzwecken und der Erschließung des Weltraumes zum Wohle der ganzen Menschheit.

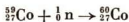
Die Anwendung radioaktiver Isotope

Radioaktive Isotope, heute meist Radionuklide genannt, spielen in der Chemie und bei der Untersuchung biologischer Vorgänge eine große Rolle. Mit ihrer Hilfe können von sonst unzugänglichen Stellen auf Grund der ausgesandten Strahlen Signale übermittelt werden. Der Transport solcher radioaktiv strahlender Stoffe zu den Verbrauchern erfolgt in Spezialbehältnissen und mit besonders gekennzeichneten Fahrzeugen.



Die Erzeugung von Radionukliden

Die in der Atomphysik gewonnenen Erkenntnisse werden nicht allein für die Energieerzeugung angewandt. Sie leisten der Menschheit auch auf andere Weise große Dienste. Besondere Bedeutung für die Wissenschaft und Praxis haben die radioaktiven Isotope, die Radionuklide, erlangt. Man kann Radionuklide grundsätzlich in jedem Reaktor gewinnen, sowohl in den ausschließlich der Forschung dienenden Versuchs- oder Forschungsreaktoren als auch in den Reaktoren der Atomkraftwerke. Will man von einem Element, z. B. von Kobalt, ein radioaktives Isotop erhalten, so bringt man es in den Moderator eines Reaktors. Die zahlreichen Neutronen, die den Moderator durchdringen, vereinigen sich zum Teil mit den Kobaltkernen und bilden dadurch andere radioaktive Kerne:



${}^{60}_{27}\text{Co}$ ist radioaktiv und geht unter Aussenden von β -Strahlen und γ -Strahlen in den Nickelkern ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ über:



Die Halbwertszeit für ${}^{60}\text{Co}$ beträgt 5,3 Jahre. ${}^{60}\text{Co}$ ist zur Zeit der stärkste γ -Strahler. Die intensive γ -Strahlung wird in der Technik und in der Medizin weitgehend ausgenutzt. Einige Anwendungsbeispiele aus dem Gesundheitswesen, der Industrieproduktion und der Forschung sind auf Seite 116 dargestellt.

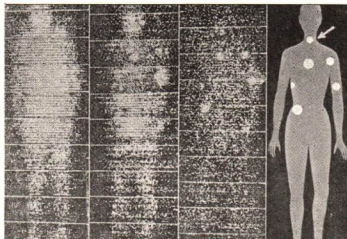
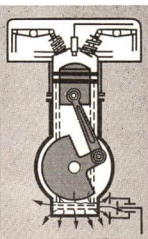
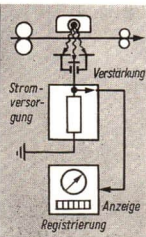
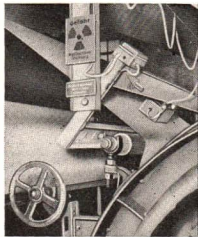
Anwendungsbeispiele für Radionuklide

Radioaktive Isotope sind ohne Energiezufuhr strahlungsintensiv, fast ortsunabhängig einsetzbar und bedürfen außer dem Strahlenschutz keiner komplizierten, teuren Anlagen.

Bestrahlungsverfahren. Bestrahlungsverfahren werden in der Medizin zur Therapie und in der Kunststoffindustrie zum Veredeln von Plasten verwendet. Stark wuchernde Gewebe (Geschwülste) sind besonders strahlenempfindlich. Plaste erhalten durch Bestrahlen eine höhere Festigkeit und Temperaturbeständigkeit.

Durchstrahlungsverfahren. Durchstrahlungsverfahren werden in der Industrie bei Kontrollgeräten angewendet. Gußteile, Schweißverbindungen und Schmiedestücke können auf verborgene Materialfehler geprüft werden. Weit verbreitet ist die mit Hilfe einer Strahlenquelle und einer Ionisationskammer durchgeführte berührungslose Dickenmessung von Folien.

Markierungsverfahren. Bei Markierungsverfahren fügt man stabilen Atomen radioaktive Isotope bei, die in geringsten Mengen durch ihre Strahlung nachweisbar sind. Der Verschleiß einzelner, mit radioaktiven Isotopen präparierter Maschinenteile kann so ohne Ausbau der Teile durch die radioaktive Strahlung der im Schmiermittel abgeführten Verschleißteilchen gemessen werden. In der Medizin wie auch in der biologischen Forschung ist dieses Verfahren geeignet, Stoffwechsel, Stofftransport und Stoffablagerung in lebenden Organismen zu beobachten.

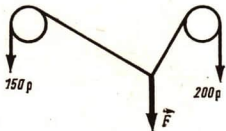


Aufgaben

Fragen und Aufträge – Mechanik

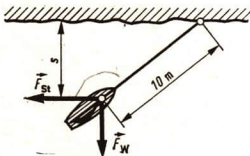
Die Kraft

1. Was versteht man unter einer Kraft? Welches sind die Wirkungen einer mechanischen Kraft?
2. Wie mißt man den Betrag einer Kraft?
3. Beschreiben Sie den Aufbau und die Wirkungsweise eines Kraftmessers!
4. An zwei untereinander befestigten Federwaagen hängt ein Körper mit einem Gewicht von 1 kp. Was zeigt jede der Federwaagen an (das Gewicht der unteren Federwaage bleibt unberücksichtigt)?
5. Die Enden einer über zwei festen Rollen liegenden Schnur sind belastet, so daß sie einen Winkel von 90° einschließen (Bild 117/1). Wie groß ist die Gegenkraft?



117/1

6. Auf ein Boot, das mit einem 10 m langen Seil am Ufer befestigt ist, wirkt die Strömung mit einer Kraft von 40 kp und der Wind, der quer zur Strömung weht, mit einer Kraft von 30 kp (Bild 117/2). Mit welcher Kraft wird das Seil belastet?



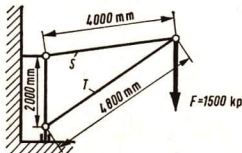
117/2

In welchem Abstand vom Ufer befindet sich der Befestigungspunkt des Seils am Boot, in dem alle drei Kräfte angreifen sollen?

7. Ein Körper hängt in der Mitte eines Bandes, dessen Enden in den Händen gehalten werden. Wird das Band stärker gespannt, wenn man die

Hände einander nähert oder wenn man sie voneinander entfernt?

8. Zwei Arbeiter tragen an einer Stange eine Last, wobei auf den einen der doppelte Teilbetrag der Last entfällt, die der andere zu bewältigen hat. An welcher Stelle der Stange hängt die Last?
9. Bei einem Stapellauf gleitet ein Schiffkörper mit einem Gewicht von 2000 Mp von einer Slipanlage mit den Maßen $h = 4,2$ m und $l = 84$ m abwärts. Wie groß ist die Hangabtriebskraft? Nur grafische Lösung!
10. Die in den Streben S und T des Drehkranes (Bild 117/3) wirkenden Kräfte sind zu ermitteln.



117/3

Die Bewegung

11. Ein Schnellzug bewegt sich auf gerader Strecke mit einer Geschwindigkeit von $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ gleichförmig. Welche Zeit benötigt er für eine Strecke von 500 m?
12. Ein Schiff legt in 3 Stunden stromabwärts eine bestimmte Strecke zurück. Für die gleiche Strecke benötigt es stromaufwärts 4 Stunden. Wie lange braucht ein in dem strömenden Wasser treibender Gegenstand, um die gleiche Strecke zurückzulegen?
13. Wie groß ist die mittlere Geschwindigkeit v in $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ bei folgenden sportlichen Leistungen
 - 13.1. Friedensfahrt Warschau – Berlin – Prag 2273 km; 55 : 23 : 39 h
 - 13.2. Skilanglauf; 30 km; 1 : 50 : 20 h
 - 13.3. Brustschwimmen; 200 m; 2 : 48,0 min

- 13.4. Eisschnelllauf; 500 m; 45 s
 13.5. Kurzstreckenlauf; 100 m; 13,5 s
 13.6. Kurzstreckenlauf; 60 m; 12,1 s
14. Ein PKW „Trabant“ erreicht 13 Sekunden nach dem Anfahren eine Geschwindigkeit von $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$; 37 Sekunden nach dem Anfahren eine Geschwindigkeit von $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Wie groß ist die als konstant angenommene Beschleunigung während der Geschwindigkeitserhöhung von $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ auf $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$?
15. Ein D-Zug verringert durch Bremsen seine Geschwindigkeit von $v_1 = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ auf $v_2 = 0$, d.h. bis zum Stillstand. Die Zeitdauer des Bremsens beträgt 36 s. Wie groß ist die Verzögerung (negative Beschleunigung)?
16. Ein Körper, der aus dem Zustand der Ruhe heraus gleichmäßig beschleunigt wurde, durchlief 180 m in 15 s. Wie weit war er nach 5 s vom Ausgangspunkt entfernt?
17. Ein Flugzeug rollt 790 m weit über die Startbahn und besitzt beim Abheben von der Erde eine Geschwindigkeit von $240 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Wie lange dauerte der Anlauf und mit welcher Beschleunigung bewegte sich dabei das Flugzeug! Die Bewegung wird als gleichmäßig beschleunigt angesehen.
18. Ein Körper bewegt sich gleichmäßig beschleunigt. Er hat am Ende der 1. Sekunde nach dem Bewegungsbeginn eine Geschwindigkeit von $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 18.1. Welchen Weg durchlief er in 2 s, in 3 s?
 18.2. Welche Geschwindigkeit hat der Körper am Ende der 5. Sekunde und welche Durchschnittsgeschwindigkeit während der 5 s?
 18.3. Zeichnen Sie das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm und das Weg-Zeit-Diagramm!
19. Der Korb eines Fahrstuhls wird im Verlauf der ersten 3 s gleichmäßig beschleunigt und erreicht eine Geschwindigkeit von $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Mit dieser Geschwindigkeit steigt er 6 s lang. Die letzten 3 s bewegt er sich gleichmäßig verzögert. Zeichnen Sie das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm des Fahrstuhls und ermitteln Sie die Steighöhe!
20. Ein Fallschirmspringer öffnet erst 4 Sekunden nach dem Absprung den Schirm.
- 20.1. Welchen Weg würde der Springer in den ersten drei Sekunden nach dem Absprung senkrecht nach unten zurücklegen, wenn der Luftwiderstand nicht berücksichtigt werden müßte.
 20.2. Wie groß ist der Fallweg in der 4. Sekunde?

21. In einen 170 m tiefen Schacht läßt man einen Stein fallen. Nach wieviel Sekunden hört man das Aufschlagen des Steines auf dem Boden (ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes)? Schallgeschwindigkeit $c = 330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
22. Bei Ausbruch eines Vulkans wurden Steine 200 m hoch geschleudert. Mit welcher Geschwindigkeit kamen sie aus dem Krater (ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes)?
23. In welcher Zeit hat sich die Geschwindigkeit eines nach oben geworfenen Körpers auf die Hälfte verringert?

Grundgesetz der Mechanik

24. Welches „Gewicht“ hätte eine Versuchsperson, deren Masse 70 kg beträgt, auf der Mondoberfläche? Angabe in kp! ($g_M = \frac{g}{6}$)

Gegeben:

Lösung:

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$F_M = m \cdot a$$

$$\frac{g_M}{6} = \frac{9,81}{6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$F_M = \frac{70 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m}}{6 \text{ s}^2}$$

Gesucht:

$$\text{„Gewicht“ } F_M \text{ in kp } F_M = \frac{70 \cdot 9,81}{6} \text{ N.}$$

$$\text{Da } 1 \text{ N} = \frac{1}{9,81} \text{ kp ist, folgt}$$

$$F = \frac{70 \cdot 9,81}{9,81 \cdot 6} \text{ kp}$$

$$F = \frac{70}{6} \text{ kp}$$

$$F = 11,67 \text{ kp}$$

Das „Gewicht“ der Versuchsperson beträgt nur noch 11,67 kp.

Berechnen Sie auf die gleiche Weise das veränderte „Gewicht“ der Versuchsperson für folgende Beispiele:

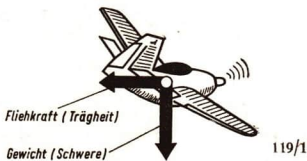
24.1. Raketenstart $a = 5 \cdot g$,

24.2. Raketenschlitten $a = 30 \cdot g$,

24.3. Abfangen aus dem Sturzflug $a = 4 \cdot g$.

25. Welche Kraft wirkt auf einen S-Bahn-Zug mit der Masse 288000 kg, wenn er in 20 s eine Geschwindigkeit von $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ erreicht? Reibung und Luftwiderstand werden vernachlässigt.
26. Ein Radfahrer, dessen Masse 60 kg beträgt, wird durch eine konstante Kraft beschleunigt. Nach 10 s hat er einen Weg von 50 m zurückgelegt. Wie groß ist die Kraft? Die Masse des Fahrrades beträgt 25 kg. Die Reibung bleibt unberücksichtigt. Angaben in Kilopond und in Newton.

27. Welche Kraft müssen die Bremsen eines Motorrades aufbringen, wenn die (negative) Beschleunigung $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ und die Gesamtmasse mit Fahrer 175 kg beträgt? Angabe in N und kp!
28. Bei dem berühmten Versuch OTTO v. GUERICKEs mit den Magdeburger Halbkugeln wurden auf jeder Seite 8 Pferde vorgespannt: „Die Kraft von 16 Pferden reichte nicht aus, um die Magdeburger Halbkugeln zu trennen.“ Überprüfen Sie die Richtigkeit dieses Satzes auf der Grundlage des Gesetzes vom Zusammenhang zwischen Kraft und Gegenkraft!
129. Warum müssen die Startblöcke beim Kurzstreckenlauf auf der Aschenbahn starr befestigt werden?
30. Zwei Schüler ziehen an einer Federwaage in entgegengesetzter Richtung. Was zeigt das Meßgerät an, wenn der eine Schüler eine Zugkraft von 25 kp , der andere Schüler aber eine Zugkraft von 10 kp aufbringen kann?
31. Die Masse eines Körpers ist eine physikalische Grundgröße. Beschreiben Sie die beiden Eigenschaften der Masse und deren Wirkung (Bild 119/1)!



32. Beschreiben Sie das Kräftespiel in dem in Bild 119/2 dargestellten Beispiel!



Mechanische Energie

33. Auf einem Schultisch liegt eine Ledertasche mit einer Masse von 3 kg . Die Tischhöhe beträgt $1,1 \text{ m}$. Der Tisch steht im 2. Stock des

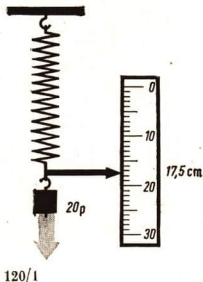
Schulgebäudes, der sich 8 m über dem Schulhof befindet. Die Höhe des Schulhofes beträgt 125 m über NN. Wie groß ist die potentielle Energie der Tasche (Angabe in kpm)? Erläutern Sie Ihre drei Lösungen!

34. Das Geschöß einer Kleinkaliberpatrone, Kaliber 22 ($5,6 \text{ mm}$) hat eine Masse von $2,55 \text{ g}$. Die Anfangsgeschwindigkeit ist $330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 34.1. Welche kinetische Energie besitzt das Geschöß?
- 34.2. Ein aus 10 m Höhe herabfallender Bleiblock von $1,4 \text{ kg}$ besitzt beim Aufschlag auf den Boden die kinetische Energie von 14 kpm . Vergleichen Sie den Wert mit dem von 34.1.
35. Welche Arbeit kann ein Körper mit einer Masse von 20 g bei einer Geschwindigkeit von $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ auf Grund seines Vorrates an kinetischer Energie verrichten?
36. Wie groß ist die Masse des Körpers, der bei einer Geschwindigkeit von $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ eine kinetische Energie von 250 kpm besitzt?
37. Welche kinetische Energie besitzt ein freifallender Körper von 1 kg Masse nach Ablauf von 5 s vom Fallbeginn an?
38. Auf einen Körper von 10 kg Masse wirkt eine konstante Kraft von $0,5 \text{ kp}$. Berechnen Sie die kinetische Energie, die der Körper nach 2 s vom Beginn der Kraftwirkung an besitzt!
39. Mit einem Hammer von 5 kg Masse werden die Hakennägel in die Eisenbahnschwellen eingeschlagen. Die Geschwindigkeit des Hammers beim Auftreffen beträgt $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dabei dringt der Nagel 20 mm in das Holz ein. Berechnen Sie die mittlere Kraft eines Hammerschlages auf den Hakennagel und die Dauer eines Schlages!
40. Auf gleicher Höhe befinden sich ein Stück Aluminium und ein Stück Blei gleichen Volumens. Welcher Körper besitzt mehr potentielle Energie?
41. Ein Körper ($G = 200 \text{ p}$), der senkrecht nach oben geworfen worden war, fiel nach 4 s wieder zurück auf den Boden. Berechnen Sie die potentielle Energie im höchsten Punkt!
42. Ein Ball von 50 p Gewicht sprang nach einem Fall aus 3 m Höhe wieder bis auf 2 m Höhe empor. Wieviel mechanische Energie ist verlorengegangen? Wie vereinbart sich das mit dem Energieerhaltungsgesetz? In welche Energieart ist in diesem Fall die mechanische Energie umgewandelt worden?

Versuche – Mechanik

Die Kraft

1. Bauen Sie aus einer Schraubenfeder, einer Spiralfeder, einer Blattfeder oder einem Gummischlauch einen Kraftmesser! Bringen Sie an einer Skale Markierungen für bestimmte Kräfte (z. B. für 10 p, 20 p, 30 p oder für 1 kp, 2 kp usw.) an!
2. Der am unteren Ende einer Schraubenfeder befindliche Haken ist mit einem Zeiger versehen (Bild 120/1). Beim Angreifen einer Kraft von 20 p zeigt der Zeiger an einer Skale 17,5 cm an, bei einer Belastung von 85 p werden 24,0 cm angezeigt.
An welchen Stellen der Skale müssen Sie die Markierungen für a) 50 p, b) 100 p, c) 150 p anbringen?



120/1



120/2

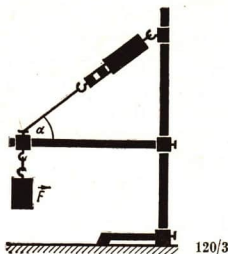
3. Bei einer Belastung von 1 kp wird eine Schraubenfeder um 5 cm gedehnt. Eine zweite, gleichartige Schraubenfeder wird mit der ersten verbunden (Bild 120/2).

Wie groß ist die Gesamtausdehnung beider Schraubenfedern bei gleicher Belastung?

(Das Gewicht der unteren Schraubenfeder soll nicht berücksichtigt werden!) Begründen Sie das Ergebnis!

4. In der Versuchsanordnung nach Bild 120/3 wird das Halteseil auf Zug, der Ausleger auf Druck beansprucht. Die Seilzugkraft kann an der Federwaage gemessen werden.

4.1. Bauen Sie die Versuchsanordnung mit eigenen Mitteln wie zum Beispiel mit Teilen aus einem Metallbaukasten und einer Schraubenfeder nach!

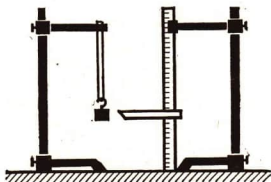


120/3

Wie muß der Ausleger beschaffen sein, damit er nicht knickt?

Welche Veränderungen am Halteseil müssen Sie vornehmen, wenn die Last vergrößert wird?

- 4.2. Bestimmen Sie zeichnerisch die Beträge der Komponenten für $\alpha = 25^\circ$ und $F = 1200$ p.
5. Ein Gummiband, etwa 60 cm lang, wird so verknotet, daß ein endloses Band entsteht. Dieses Gummiband wird nach Bild 120/4 aufgehängt und durch ein Massestück von 50 p vorbelastet.



120/4

Aufgabe:

5.1. Es ist eine Kennlinie des Federelementes bei Belastung mit weiteren 50-p-Massestücken aufzunehmen.

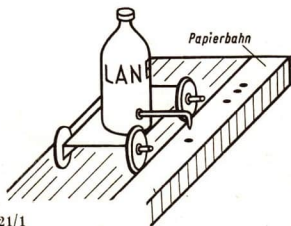
5.2. Es ist eine Skale für das untersuchte Federelement anzufertigen. Ablesegenauigkeit 10 p!

Die Bewegung

6. Zeichnen Sie die Diagramme für eine gleichförmige Bewegung mit der Geschwindigkeit $v = 14,5$ cm \cdot s $^{-1}$!
7. An einem elektrisch betriebenen Gerät (Schlagmühle, Plattenspieler, Tonbandgerät u.ä.) ist

aus dem Durchmesser und der Drehzahl die Umfangsgeschwindigkeit zu ermitteln. Drehzahlen sind entweder am Gerät angegeben oder können bei langsamlaufenden Geräten mit der Stoppuhr bestimmt werden.

8. Bauen Sie aus einem Metallbaukasten ein Fahrzeug, auf dem eine Plastikflasche aufgestellt werden kann. Die Plastikflasche ist im unteren Teil aufzubohren, mit einem Tropfer zu versehen (Bild 121/1) und mit Tinte gefüllt auf den Wagen zu stellen. Lassen Sie den Wagen von einer geneigten Ebene herabrollen, so daß die in gleichmäßigen Zeitabständen fallenden Tintentropfen auf einer Papierbahn die zurückgelegten Wege markieren. Weisen Sie die Gültigkeit des Weg-Zeit-Gesetzes der gleichmäßig beschleunigten Bewegung nach!



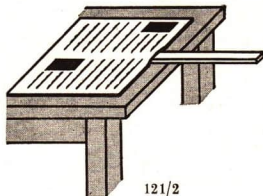
121/1

9. Fertigen Sie ein Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm und ein Weg-Zeit-Diagramm nach Übung 8 an!
 10. Befestigen Sie am Ende einer langen Schnur eine Mutter. Eine weitere Mutter ist in einem Abstand von 10 cm von der ersten einzuknoten. Errechnen Sie die Abstände für weitere einzuknotende Mütter, wenn die Mütter beim Fallenlassen der Schnur in gleichen Zeitabständen auf dem Boden auftreffen sollen. Prüfen Sie die Richtigkeit Ihrer Berechnung im Experiment!

Grundgesetze der Mechanik

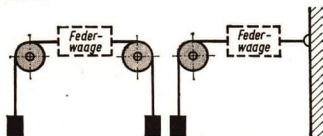
11. Zum Nachweis der Trägheit der Luft dient ein Versuch nach Bild 121/2. Über das Brettchen werden entsprechend der Abbildung einige Bogen Zeitungspapier gelegt. Führt man einen kräftigen Schlag mit einem Stativstab, flach gehaltenem Hammer oder ähnlichem gegen das überstehende Ende, so bricht es ab. Das Papier wird dabei

nicht beschädigt. Führen Sie den Versuch selbst aus, und geben Sie eine Erklärung!



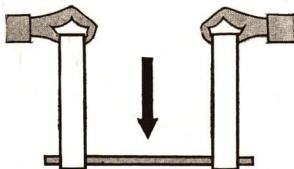
121/2

12. Welche Kraft zeigt die Federwaage bei einem Versuch nach Bild 121/3 an? Lösen Sie das Problem durch Überlegung und kontrollieren Sie das Ergebnis durch einen Versuch!



121/3

13. Stellen Sie eine Versuchsanordnung nach Bild 121/4 zusammen! Schlägt man mit einem Stativstab kräftig auf den trockenen Holzstab (Durchmesser 10 mm), so zersplittert er, ohne daß die Papierschlängen reißen. Geben Sie eine Erklärung!



121/4

14. Bauen Sie aus einem Metallbaukasten einen kleinen Wagen und befestigen Sie darauf einen aufgeblasenen Luftballon. Was geschieht, wenn die nach hinten gerichtete Luftballonöffnung freigegeben wird? Geben Sie eine Erklärung!

Fragen und Aufträge – Elektrizitätslehre

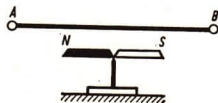
Das elektrische Feld

1. Mit welchen Hilfsmitteln kann man nachweisen, ob ein Körper geladen ist und welche Ladung er trägt?
2. Wie groß ist die in einer Stunde durch eine 40-Watt-Glühlampe fließende Ladung (Betriebsspannung 220 V)?
3. Erläutern Sie die Wirkungsweise eines Elektrometers!
Warum zeigt ein Elektrometer schon einen Ausschlag, wenn man einen elektrisch geladenen Körper nähert?
4. Wie weit ist ein Blitz entfernt, wenn man den Donner 14 s nach dem Blitzschlag hört?
5. Zwei Platten im Abstand von 0,25 m werden nacheinander von verschiedenen Spannungsquellen aufgeladen.
 - 5.1. Berechnen Sie die Feldstärke des homogenen Teils des elektrischen Feldes! (Taschenlampenbatterie 4,5 V, Netzspannung 220 V, Stromversorgungsgerät 600 V, Bandgenerator 400 000 V).
 - 5.2. Wie verändert sich die Feldstärke, wenn man den Plattenabstand bei angeschalteter Spannungsquelle verändert auf 0,15 m; 0,4 m; 1,2 m?
6. Unter welchen Bedingungen spricht man von einem selbständigen elektrischen Feld?
7. Wie erhält man zu einer vorhandenen Ladung eine gleich große Ladung mit entgegengesetztem Vorzeichen?
8. Nähert man einen negativ geladenen Körper einem positiv geladenen Elektroskop, so verringert sich der Ausschlag des Blättchens im Elektroskop. Bei weiterer Annäherung vergrößert er sich wieder. Warum?
9. Berechnen Sie die Kapazität eines Plattenkondensators (Plattenabstand 5 cm, Plattenfläche 400 cm², Dielektrikum Luft)!
10. Das Entladen einer Leidener Flasche mit der Ladung 0,00028 C dauert 0,7 s. Wie groß war die mittlere Stromstärke des Entladestromes?
11. Welche Geschwindigkeit hat ein Elektron, das ein Spannungsgefälle von 1 V bzw. 100 V durchlaufen hat? Die Masse eines Elektrons beträgt $9,1 \cdot 10^{-28}$ g.
12. Um einen Leiter bis zu einer Spannung von 500 V aufzuladen, führte man ihm eine Ladung von 0,01 C zu. Wie groß ist die Kapazität dieses Leiters in Farad und in Mikrofarad?

13. Welche Elektrizitätsmenge muß man einem Kondensator mit der Kapazität von 0,01 μF zuführen, um ihn bis zu einer Spannung von 300 V aufzuladen?
14. Wenn man an ein aufgeladenes Elektroskop mit 2 Blättchen die Hand heranhält, fallen diese etwas herab. Warum?
15. Der Durchmesser der Platten eines Luftkondensators mit veränderlichem Plattenabstand beträgt 16 cm. Wie groß ist die Kapazität dieses Kondensators bei folgenden Abständen der Platten: 10 cm, 1 cm, 1 mm?
16. Wie groß muß die Fläche der Metallfolien eines Wickelkondensators sein, der eine Kapazität von 4 μF hat? Als Dielektrikum dient Paraffinpapier (Dicke 0,03 mm).
17. An 2 Kondensatorplatten liegt eine Spannung von 150 V. Anschließend bringt man in den Luftzwischenraum Hartgummi.
 - 17.1. Wie ändern sich Kapazität und Ladung, wenn die Spannungsquelle angeschlossen bleibt?
 - 17.2. Wie ändern sich Spannung und Feldstärke, wenn die Platten nach dem Aufladen mit 150 V isoliert und von der Spannungsquelle abgetrennt aufgestellt werden?
18. In welcher Stellung hat ein Drehkondensator seine kleinste bzw. größte Kapazität?
19. Welche Ladung enthält ein auf 220 V geladener Kondensator von 1,5 μF ?
20. Ein Luftkondensator wird mit 80 V geladen, von der Spannungsquelle abgetrennt und mit Öl von $\epsilon_r = 2,1$ gefüllt.
Wie ändern sich Ladung und Spannung?

Das magnetische Feld

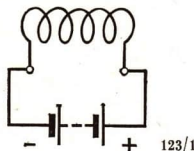
21. In welche Richtung muß man den Strom durch den Leiter AB im Bild 122/1 leiten, damit die Magnetnadel sich mit ihrem Südpol zum Beobachter dreht?



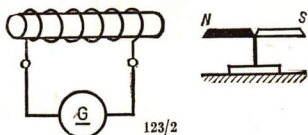
122/1

22. Warum werden die Enden eines hufeisenförmigen Elektromagneten in entgegengesetzter Richtung umwickelt?

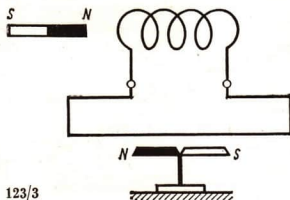
23. Bestimmen Sie die Pole der Spule, die im Bild 123/1 dargestellt ist!



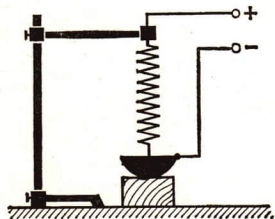
24. Bestimmen Sie die Pole der im Bild 123/2 dargestellten Spannungsquelle!



25. Mit welcher Bewegung des Magneten im Bild 123/3 kann man erreichen, daß sich die Magnetnadel mit dem Nordpol zum Betrachter hin dreht?

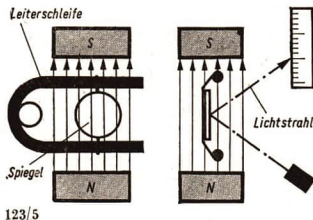


26. Ein Ende eines als Zylinderfeder gewickelten Leiters ist in eine Stativklemme eingeklemmt, und das andere taucht in eine Schale mit Queck-



silber (Bild 123/4). Beim Stromfluß durch den Leiter verkürzt sich dieser und öffnet dabei den Stromkreis. Dadurch verlängert er sich und schließt den Stromkreis wieder. Wie ist diese Erscheinung zu erklären?

27. Ähnlich wie ein Spiegelgalvanometer arbeitet ein Schleifenoszillograph. Erklären Sie an Hand der schematischen Darstellung im Bild 123/5 seine Wirkungsweise!



28. Ein Tonband enthält feine Eisenteilchen. Es wird bespielt, indem es an einem Spalt im Eisenkern eines Elektromagneten vorbeiläuft, in dem der Mikrofonwechselstrom fließt. Welche magnetischen Eigenschaften muß das Tonband besitzen?

Bei der Wiedergabe läuft das Tonband wieder an einem Spalt eines Eisenkerns vorbei, auf dem eine Spule montiert ist. Die magnetischen Wechselfelder des Bandes rufen in der Spule Wechselfeldspannungen hervor. Worin liegt die Übereinstimmung dieses Vorganges mit der Wirkungsweise eines Fahrraddynamos?

Überlegen Sie, wodurch man Tonbandaufzeichnungen löschen kann!

29. Eine Spule wird im Magnetfeld der Erde bewegt. Wie muß sie bewegt werden, damit eine Spannung induziert wird?

30. In einer Spule (1500 Windungen, Länge $l = 7$ cm) steigt die Stromstärke in 5 Sekunden gleichmäßig von 0,5 auf 4,5 Ampere. In der Spule befindet sich eine achsenparallele Induktionsspule von 200 Windungen und der Fläche von 4 cm^2 .

Wie groß ist die induzierte Spannung?

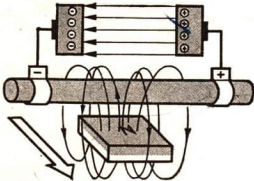
In welcher Zeit muß sich die Stromstärke ändern, damit eine Spannung von 200 Volt induziert wird?

31. Welche Bedeutung hat die Lenzsche Regel?

32. Warum würde es dem Satz von der Erhaltung der Energie widersprechen, wenn die Bewegung

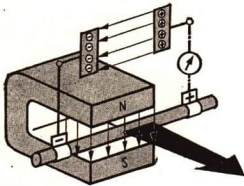
des Ringes (Bild 64/1) entgegengesetzt verlaufen würde, als sie es tut?

33. Erläutern Sie die physikalischen Vorgänge einschließlich der Energieumwandlung, die nach Bild 124/1 bei einer Veränderung des Magnetfeldes eintreten!



124/1

34. Erläutern Sie die physikalischen Vorgänge einschließlich der Energieumwandlung, die nach Bild 124/2 durch die Veränderung des elektrischen Feldes eintreten!



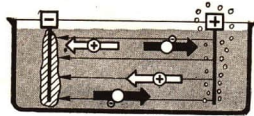
124/2

Aufbau der Stoffe

35. Erläutern Sie ein im Lehrbuch beschriebenes Modellbild zum Aufbau der Atome!
36. Die Ordnungszahl von Cu beträgt 29. Geben Sie an, wieviel positive Ladungen im Kern vorhanden sein müssen. Wieviel Elektronen befinden sich im neutralen Atom?
37. Wodurch unterscheidet sich der Zusammenhalt der Teilchen in einem Cu-Kristall und in einem NaCl-Kristall?
38. Welche Besonderheit liegt beim Aufbau der Wassermoleküle vor? Wie verhalten sich die Elektronen in einem Metall?
Geben Sie je zwei Beispiele für eine Ionenbindung, Atombindung und metallische Bindung an!

Leitung in Flüssigkeiten

39. Wie dissoziieren folgende Verbindungen: CaCl_2 ; AgNO_3 ; KCl ; KOH ; HCl ?
40. Erklären Sie, warum elektrische Anlagen trocken gehalten werden müssen!
41. Beschreiben Sie den Vorgang der elektrolytischen Abscheidung von Kupfer aus einer Kupferchloridlösung und die technische Anwendung dieses Verfahrens!

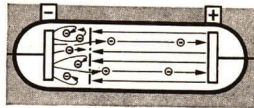


124/3

42. Warum kann für die Galvanostegie kein Wechselstrom verwendet werden?

Leitung in Gasen

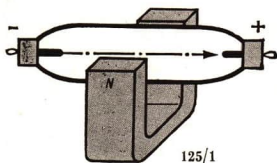
43. Welcher Unterschied besteht zwischen der elektrischen Leitung in Flüssigkeiten und in Gasen? Erläutern Sie den Leitungsmechanismus in einer Flüssigkeit und im Hochvakuum einer Elektronenröhre (Bild 124/4)!



124/4

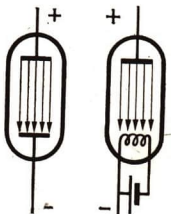
44. Unter welchen Bedingungen kann eine selbständige elektrische Leitung in Gasen erfolgen?
45. Wie erfolgt der Vorgang der Stoßionisation?
46. Nennen Sie Beispiele für die Anwendung der selbständigen Leitung in Gasen!
47. Geben Sie an Hand der Abb. 75/2 an, für welchen Bereich bei einer elektrischen Leitung in Gasen das Ohmsche Gesetz gültig ist!
48. Das Stromstärkemeßgerät zeigt bei einer elektrischen Leitung in einem Gas eine Stromstärke von $I = 0,0008 \text{ A}$ an. Wieviel Elektronen treffen in einer Sekunde auf die positive Elektrode auf? (Beachten Sie: $1 \text{ As} = 1 \text{ Coulomb}$; Ladung des Elektrons $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$).
49. Wohin werden Katodenstrahlen abgelenkt,

wenn man einen Magneten an die Röhre bringt, wie das im Bild 125/1 gezeigt ist?



125/1

50. Warum verschwinden in der Röhre 1 (Bild 125/2) bei genügend hohem Vakuum die Katodenstrahlen, aber in der Röhre 2 nicht?

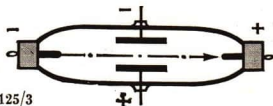


2 125/2

Die Elektronenemission

51. Unter welcher Bedingung treten Katodenstrahlen auf?
52. Katodenstrahlen werden in Elektronenmikroskopen angewendet. Zur Abbildung eines Gegenstandes müssen die Katodenstrahlen gebündelt werden. Bei Lichtstrahlen erfolgt diese Bündelung durch Glaslinsen. Was für Vorrichtungen können zur Ablenkung und Bündelung der Katodenstrahlen verwendet werden?
53. Weshalb nimmt der Anodenstrom einer Triode bei zunehmender positiver Gitterspannung schließlich wieder ab?
54. Welche Arten der Elektronenemission kennen Sie?
Wie kommt die Freisetzung der Elektronen zustande?
55. Erklären Sie Aufbau und Arbeitsweise einer Röhren-Diode!
56. Erklären Sie an Hand der Abb. 83/3 auf S. 83 die Begriffe Steilheit und Arbeitspunkt einer Röhren-Triode!

57. Auf welche Weise kann der Elektronenstrahl in einer Katodenstrahlröhre aus seiner Richtung abgelenkt werden?

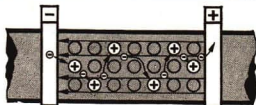


125/3

58. Unter welchen Umständen kann der Wehneltzylinder in einer Katodenstrahlröhre den Elektronenstrahl schwächen?
59. Skizzieren Sie den Aufbau einer Vorrichtung zum elektronischen Zählen von Werkstücken!
60. Stellen Sie einander gegenüber die Bedingungen für die Elektronenstromstärke und für die Elektronenenergie in einer Fotozelle!

Leitung in Festkörpern

61. Erläutern Sie prinzipiell den Leitungsmechanismus in Festkörpern (Bild 125/4) und geben Sie einen Überblick über das unterschiedliche elektrische Verhalten von Metallen und Halbleitern!



125/4

62. Worauf beruht die Eigenleitung in Halbleitern?
63. Durch welche Maßnahme wird die Störstellenleitung in Halbleitern hervorgerufen?
64. Wodurch bildet sich beim Zusammenfügen eines p- und eines n-Halbleiters eine Grenzschicht?
65. Erklären Sie die Wirkungsweise einer Ge-Diode, die mit Wechselstrom betrieben wird!
66. Wodurch kann ein pn-Halbleiter zu einer Spannungsquelle werden?
67. Warum können zwei gegeneinander geschaltete Ge-Dioden keinen Transistoreffekt ergeben?
68. Geben Sie in Stichpunkten die Vor- und Nachteile eines Transistors gegenüber einer Elektronenröhre an!
69. Bei einem Transistor in Emitterschaltung tritt bei einer Änderung des Basisstromes um 0,15 mA eine Änderung des Kollektorstromes um 6 mA ein. Wie groß ist seine Stromverstärkung?
70. Stellen Sie in ihrer Wirkungsweise einander gegenüber die Fotozelle und das Fotoelement!

Versuche — Elektrizitätslehre

Das elektrische Feld

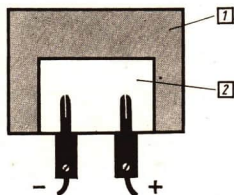
1. Reiben Sie einen Kamm, ein Lineal oder einen Zeichenwinkel aus PVC!
 - 1.1. Halten Sie den geriebenen Gegenstand über den Kopf eines Mitschülers und beobachten Sie die Haare!
 - 1.2. Nähern Sie den elektrisch geladenen Gegenstand einem Häufchen Papierschnitzel auf dem Tisch! Erklären Sie die Erscheinung!
2. Halten Sie einen Bogen Papier gegen die Wand eines Ofens und bürsten Sie mit einer Bürste mehrmals darüber! Das trockene Papier wird stark negativ aufgeladen und klebt am Ofen fest. Reißen Sie es im verdunkelten Raum ab und beobachten Sie die Funkenüberschläge!
3. Reiben Sie einen Hartgummi- oder Plastgegenstand und halten Sie diesen anschließend sehr nahe an einen schwachen Wasserstrahl, der senkrecht aus einem Wasserhahn fließt! Erklären Sie die beobachtete Erscheinung!
4. Fertigen Sie ein elektrisches Doppelpendel an! Untersuchen Sie damit die elektrische Ladung verschiedener Gegenstände (Glas und Hartgummi), nachdem Sie diese Stoffe mit verschiedenem Reibzeug (Wolle, Seide, Dederon) gerieben haben!
5. Es sind drei isolierte Kugeln gegeben, von denen eine positiv aufgeladen ist, während die anderen keine elektrische Ladung tragen. Wie können wir mit Hilfe der elektrisch geladenen Kugel eine der Kugeln positiv, die andere negativ aufladen, ohne daß die Ladung der ersten Kugel kleiner wird?
(Auch als Denkaufgabe lösbar.)
6. In einem Plattenkondensator (Plattenabstand 8 cm) wird mit Hilfe eines Bandgenerators ein selbständiges elektrisches Feld aufgebaut. Die Spannung zwischen den Platten wird mit einem Elektrometer gemessen.
Vergrößern Sie und verkleinern Sie den Plattenabstand des selbständigen elektrischen Feldes! Erklären Sie die Veränderungen der Spannung, die dabei auftreten!
7. Erzeugen Sie in einem Plattenkondensator bei kleinem Plattenabstand ein selbständiges elektrisches Feld! Beobachten Sie die Spannung zwischen den beiden Platten an einem Elektroskop, wenn Sie eine Glasplatte, eine Platte aus Plast, eine Gummiplatte oder ein trockenere Brett zwischen die Platten bringen!

Das magnetische Feld

8. Legen Sie einen Stabmagneten auf den Tisch und stellen Sie etwa 20 cm von einem seiner Pole entfernt eine Kompaßnadel auf. Bringen Sie zwischen den Magnetpol und die Kompaßnadel einen großen Nagel. Erklären Sie das Verhalten der Nadel!
9. Schließen Sie parallel zu der Magnetwicklung einer elektrischen Klingel einen Dreheisen Spannungsmesser an! Warum ist die so gemessene Spannung beim Betrieb der Klingel höher als die Spannung der angeschlossenen Spannungsquelle?

Leitung in Flüssigkeiten

10. Leiten Sie durch eine Kochsalzlösung einen elektrischen Strom, den Sie einer Taschenlampenbatterie entnehmen! Stellen Sie das Ergebnis fest und deuten Sie dieses!
11. Füllen Sie ein Becherglas mit Wasser und hängen Sie zwei Kohlestifte aus einer alten Taschenlampenbatterie hinein! Schließen Sie die Stifte an eine Gleichspannungsquelle von 4,5 V (Taschenlampenbatterie) an und schalten Sie einen Strommesser oder eine Glühlampe in den Stromkreis! Setzen Sie langsam immer mehr von einer konzentrierten Säure, Lauge oder Salzlösung zu! (Vorsicht bei Schwefelsäure!)
Beobachten Sie die Änderung der Stromstärke! Erklären Sie diese! Verändern Sie den Abstand der Kohlestifte voneinander! Nach welchem Gesetz ist die dabei auftretende Stromstärkeänderung zu erklären?
12. Vergleichen Sie experimentell die Leitfähigkeit von Metallen mit der Leitfähigkeit von Elektrolytlösungen! Spannen Sie dazu zwischen zwei Holzische Fußklemmen einen Kupferdraht, einen Konstantandrad oder einen mit Natriumchloridlösung getränkten Bindfaden mit jeweils gleicher Länge und gleichem Querschnitt! Verwenden Sie eine Gleichspannung von 4 V und zur Stromanzeige eine Glühlampe mit einer Nennspannung von 3,5 V! Was müssen Sie verändern, wenn bei eingespanntem Bindfaden die Glühlampe beim Schließen des Stromkreises nicht leuchtet?
13. Fertigen Sie sich Polreagenzpapier an! Filtrierpapierstreifen werden in einer Lösung von Natriumchlorid oder Kaliumnitrat getränkt, der



127/1

etwas Phenolphthaleinlösung zugesetzt ist. Legen Sie einen feuchten Streifen dieses Papiers auf eine Glasplatte (Bild 127/1)! Schließen Sie

zwei Verbindungsleitungen an eine Gleichspannung von etwa 20 V an und drücken Sie die beiden freien Bananenstecker nebeneinander auf das Papier!

Beobachten Sie die Veränderungen auf dem Papier und erklären Sie diese!

14. Hängen Sie in ein Becherglas zwei Kohlestäbe aus alten Flachbatterien und füllen Sie das Glas mit Kupfersulfatlösung! Schließen Sie an die Kohlestäbe eine Gleichspannung von etwa 4 V an! Beobachten Sie die Vorgänge und Veränderungen! Nach etwa 5 Minuten klemmen Sie die Spannungsquelle ab und schließen Sie an die Kohlestäbe eine Kleinspannungsglühlampe an! Erklären Sie die Vorgänge!

Fragen und Aufträge – Kernphysik

- Beschreiben Sie das Ihnen aus dem Unterricht bekannte Atommodell!
- Was wissen Sie über die Aufgabe eines Modells?
- Was besagen die beiden Indizes beim Symbol eines Elementes?
- Erklären Sie den Begriff Isotop!
- Beschreiben Sie den Aufbau der folgenden Atomkerne:
 ${}_{6}^{12}\text{C}$, ${}_{27}^{60}\text{Co}$, ${}_{8}^{16}\text{O}$, ${}_{8}^{17}\text{O}$, ${}_{1}^{2}\text{H}$, ${}_{80}^{204}\text{Hg}$.
- Leiten Sie die Ablenkung der α - und β -Strahlen im Magnetfeld aus der 3-Finger-Regel der rechten Hand (UVW-Regel) ab!
- Was bedeutet ${}_{14}^{29}\text{Si}(\alpha, n){}_{16}^{32}\text{Si}$?
- Welchen Forschern verdankt man die Entdeckung und Erforschung der Radioaktivität?
- Erläutern Sie den Begriff Halbwertszeit!
- Erklären Sie den Begriff der künstlichen Radioaktivität!
- Was versteht man unter Massendefekt?
- Woher stammt die Sonnenenergie?
- Welche Voraussetzungen hat eine Kettenreaktion?
- Wie erzeugt man Radioisotope?
- Was versteht man unter dem Markierungsverfahren?
- Auf welcher Eigenschaft der Organismen beruht die therapeutische Verwendung radioaktiver Strahlen?
- Welcher Unterschied besteht zwischen Kernumwandlung und Kernspaltung?
- Erklären Sie das große Durchdringungsvermögen der Neutronen!
- Wie verhält sich die Größe der Spaltenergie zur Verbrennungsenergie?
- Wie lautet die Einsteinsche Gleichung?
- Welche Wirkung hat die Aussendung eines α - bzw. β -Teilchens auf die Stellung eines Elementes im Periodensystem?

Schülerexperimente

Die Schraubenfeder als Kraftmesser

M 1

Aufgabe

1. Für eine Schraubenfeder ist eine Skale anzufertigen!
2. Ermitteln Sie Kennlinie und Arbeitsdiagramm der Feder!

Vorbetrachtungen

Erläutern Sie die Wirkung einer Kraft auf einen elastischen Körper! (Lb 9, S. 9).

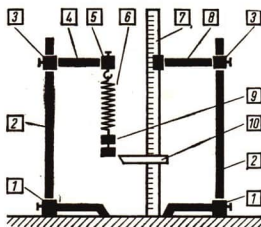
Geräte und Hilfsmittel

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Zwei V-FüÙe | 6. Zylindrische Zugfeder |
| 2. Zwei StativstÄbe 50 cm | 7. Lineal |
| 3. Zwei Universalmuffen | 8. Klemmhalter |
| 4. Stabstück 10 cm | 9. HakenkÖrper |
| 5. Ring mit Haken | 10. Zeiger |

Versuchsunterweisung

1. Aufbau des Versuchs nach Skizze
2. Vorspannen der Feder mit HakenkÖrper 100 p
3. Einstellen des Zeigers (Protokoll)
4. Belasten der Feder mit einem HakenkÖrper 20 p, Skale ablesen (Protokoll)
5. Stufenweise Belastung der Feder durch jeweils einen HakenkÖrper (20 p) mehr, Skale jeweils ablesen (Protokoll)
6. Wiederholen Sie die MeÙreihe mit einer Feder aus einem 100 mm langen StÜck Fahrradventilschlauch (Gummifeder)!

Versuchsaufbau



MeÙprotokoll

Federbelastung F in p		Zeigerstellung x in mm	Federweg $s = x - x_0$ in mm	Nutzbare gespeicherte Arbeit $W = (F - F_0) s$ in p · mm
F_0 (Vorbelastung)	100	x_0	—	—
F_1	120	x_1		
F_n		x_n		

Fehlerhinweise

Federweg ist außergewöhnlich unterschiedlich	Einzelne Windungen der Feder hafteten durch Rost oder Fett zusammen und lösten sich erst bei höherer Belastung Meßreihe wiederholen
--	---

Auswertung

1. Zeichnen Sie eine Skale, die zum Messen der Kräfte geeignet ist, die an der Zugfeder angreifen!
2. Zeichnen Sie ein Diagramm der Federkennlinie!
3. Errechnen Sie aus dem Diagramm die in der Zugfeder bei F_n nutzbare gespeicherte Arbeit (unter Beachtung der Vorbelastung)!
4. Zeichnen Sie in das Diagramm noch die Federkennlinie der Gummifeder ein!
5. Vergleichen Sie die Wirksamkeit einer Stahlfeder und einer Gummifeder anhand der beiden Kennlinien!

Aufgabe

1. Nehmen Sie die I_a-U_a -Kennlinie einer Triode für die beiden Gitterspannungen $U_g = 0\text{ V}$ und $U_g = -1\text{ V}$ auf!
2. Nehmen Sie die I_a-U_g -Kennlinie einer Triode für die beiden Anodenspannungen $U_a = 40\text{ V}$ und $U_a = 30\text{ V}$ auf!

Vorbetrachtungen

Erläutern Sie den Aufbau und die Wirkungsweise einer Triode!
Erklären Sie die Begriffe Steilheit und Arbeitsbereich der Röhre!
Wozu kann eine Triode verwendet werden? (Lb 9, S. 82 bis S. 84)

Geräte und Hilfsmittel

1. Stromstärkemeßgerät (I_{\max} 10 mA, Gleichstrom)
2. Spannungsmeißgerät (U_{\max} 10 V, Gleichstrom)
3. Spannungsmeißgerät (U_{\max} 50 V, Gleichstrom)
4. Grundplatte
5. Röhre DL 94 mit Röhrensockel auf Schaltbrett
6. Drehwiderstand 10 k Ω
7. Stromversorgungsgerät für Schülerexperimente

Versuchsunterweisung

1. Aufbau des Versuches nach Schaltbild.

Als Spannungsquelle für Gitter-, Heiz- und Anodenstromkreis dient das Stromversorgungsgerät.

Die Gitterspannung wird mit Hilfe des Drehwiderstandes im Stromversorgungsgerät eingestellt.

Aufnahme der I_a-U_a -Kennlinie

2. Einstellen einer Gitterspannung $U_g = 0\text{ V}$.
3. Einstellen einer Anodenspannung $U_a = 0\text{ V}$, Ablesen der Anodenstromstärke I_{a1} und ins Protokoll eintragen,
4. Stufenweise um jeweils 5 V die Anodenspannung erhöhen, die jeweils angezeigte Anodenstromstärke ablesen (Protokoll).

ACHTUNG!

Die Anodenspannung darf nicht über $U_a = 40\text{ V}$ erhöht werden, weil Spannungen über 40 V lebensgefährlich sind.

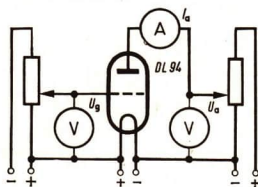
Die Heizspannung darf 1,4 V nicht überschreiten.

Die Anodenstromstärke darf 8 mA nicht überschreiten.

5. Dieselbe Meßreihe für I_{a2} wird nochmals wiederholt bei einer Gitterspannung $U_g = -1\text{ V}$.

Aufnahme der I_a-U_g -Kennlinie

6. Einstellen der Anodenspannung $U_a = 40\text{ V}$.
7. Einstellen der Gitterspannung $U_g = 0\text{ V}$ im Stromversorgungsgerät, Ablesen der Anodenstromstärke I_{a1} (Protokoll).

Versuchsaufbau

8. Stufenweise um jeweils 0,5 V die Gitterspannung verringern, die jeweils angezeigte Anodenstromstärke ablesen und ins Protokoll eintragen.

9. Dieselbe Meßreihe für I_{a2} wird nochmals wiederholt bei einer Anodenspannung $U_a = 30$ V.

Fehlerhinweise

Spannungsgerät für U_g zeigt undeutlich an	Falscher Meßbereich ($U_{max} = 50$ V) gewählt, $U_{max} = 10$ V
Spannungsmeßgerät schlägt in falsche Richtung aus	Gitter falsch gepolt
Skalenendwert des Spannungsmeßgeräts wird überschritten	Spannung vor Spannungsteiler zu hoch gewählt
Meßgerät für Anodenstromstärke zeigt nicht an	Katodenheizung (1,25 V \Rightarrow) nicht eingeschaltet oder Anodenspannung falsch gepolt
Skalenendwert des Meßgeräts für Anodenspannung wird erreicht	Falscher Meßbereich ($U_{max} = 10$ V) gewählt, $U_{max} = 50$ V wählen

Meßprotokoll

I_a - U_a -Kennlinie ($U_g = \text{konstant}$)										U_g in V
U_a in V	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
I_{a1} in mA										0
I_{a2} in mA										-1

I_a - U_g -Kennlinie ($U_a = \text{konstant}$)												U_a in V
U_g in V	0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	
I_{a1} in mA												40
I_{a2} in mA												30

Formeln

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \text{ bei } U_a = \text{konstant}$$

Auswertung

Zeichnen Sie die I_a - U_a -Kennlinien!

Vergleichen Sie diese Kennlinien und begründen Sie die Unterschiede im Verlauf der Kurven!

Stellen Sie die I_a - U_g -Kennlinien grafisch dar! Begründen Sie die Unterschiede! Berechnen Sie die Steilheit der gezeichneten Kennlinien!

Diagramm

Aufgabe

Ermitteln Sie die Kennlinie einer Germaniumflächendiode!

Vorbetrachtungen

Wie erfolgt der Ladungstransport in Halbleitern? Was versteht man unter n- oder p-Leitung? Beschreiben Sie die Bildung der Grenzschicht zwischen einem p-Gebiet und einem n-Gebiet! (Lb 9, S. 90 bis S. 92)

Geräte und Hilfsmittel

1. Schaltbrett Flächengleichrichter
2. Diode GY 111 auf Steckbrett
3. Spannungsmeßgerät
(U_{\max} 10 V und 1 V, Gleichstrom)
4. Stromstärkemeßgerät (I_{\max} 1 A; 100 mA; 10 mA und 1 mA, Gleichstrom)
5. Drehwiderstand 100 Ω
6. Stromversorgungsgerät für Schülerexperimente oder drei Flachbatterien je 4,5 V

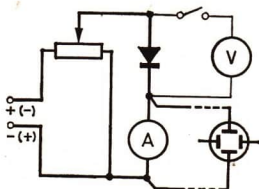
Versuchsunterweisung

1. Aufbau des Versuchs nach Schaltbild.
2. Diode in Sperrichtung in den Stromkreis schalten, Katode ist durch Farbring oder -punkt gekennzeichnet.
3. Einstellen einer Sperrspannung $U_{sp} = -10$ V, danach Spannungsmeßgerät abschalten und ablesen des Meßwertes für die Sperrstromstärke I_{sp} (Meßgerät I_{\max} 1 mA) und eintragen ins Meßprotokoll.
4. Stufenweise um jeweils 1 V die Sperrspannung erhöhen bis 0 V und die bei abgeschaltetem Spannungsmeßgerät abgelesenen Meßwerte ins Protokoll eintragen.
5. Spannungsquelle und Meßgeräte umpolen.
6. Einstellen einer Durchlaßspannung $U_d = 0$ V, Meßwert für die Durchlaßstromstärke I_d (Meßgeräte: U_{\max} 1 V; I_{\max} 10 mA; 100 mA; 1 A) ablesen und eintragen ins Protokoll.

ACHTUNG!

Darauf achten, daß Stromstärkemeßgeräte und Diode nicht überlastet werden! $I_{d \max} = 0,5$ A; Diode OA 625: $I_{d \max} = 10$ mA.

7. Stromstärkemeßgerät ersetzen durch Schuloszillografen.
8. Anlegen einer Wechselfspannung $U = 10$ V.

Versuchsaufbau

Fehlerhinweise

Meßgeräte zeigen nicht an	Meßgeräte falsch gepolt, umpolen
Zeiger des Spannungsmeißgeräts schlägt voll aus und zeigt bei Spannungserhöhung keine anderen Werte an (siehe Versuchsunterweisung Punkt 3 und 4)	Meßbereich zu klein, $U_{\max} = 10 \text{ V}$ wählen
Stromstärkemeißgerät zeigt nicht an	Meßbereich zu groß, $I_{\max} = 1 \text{ mA}$ wählen

Meßfehler

Alle Messungen sind mindestens dreimal auszuführen, und aus den zusammengehörigen Meßwerten ist der jeweilige Mittelwert zu bilden, der in das Diagramm eingesetzt wird.

Meßprotokoll

U_{sp} in V	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
I_{sp} in mA											
$n = 3$											
$\sum I_{sp}$ in mA											
\bar{I}_{sp} in mA											

U_d in V	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
I_d in mA									
$\sum I_d$ in mA									
\bar{I}_d in mA									

Formeln

$$I_a = f(U_a) \quad \bar{I} = \frac{\sum I}{n}$$

Auswertung

Übertragen Sie die Meßwerte in ein Koordinatensystem und zeichnen Sie die Kennlinie der Germaniumflächendiode!

Was ergibt sich aus der Kennlinie? Vergleichen Sie den Widerstand der Diode in Sperrichtung und in Durchlaßrichtung!

Warum liegen nicht alle Meßpunkte in unmittelbarer Nähe der Kennlinie? Wie kommt die im Oszillografen angezeigte Stromstärkekurve zustande?

Diagramm

Aufgabe

Untersuchen Sie die Steuerwirkung und bestimmen Sie die Stromverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung!

Vorbetrachtungen

Überlegen Sie, welche Funktionen an einer Röhrentriode die Anode, die Katode und das Gitter haben (Lb 9 S. 81 bis S. 83).

Geräte und Hilfsmittel

- Schaltbrett Transistor
- Zwei Stromstärkemeßgeräte (1 mA, 10 mA, Gleichstrom)
- Drehwiderstand 100 Ω
- Stromversorgungsgerät für Schülerexperimente
- Flachbatterie 4,5 V

Versuchsunterweisung

- Aufbau des Versuchs nach Schaltbild
- Prüfen der Schaltung vor Anlegen der Spannung
- Einstellen einer Basisstromstärke $I_B = 0$ mA
- Ablesen der Kollektorstromstärke I_C (Protokoll)
- Stufenweise Basisstromstärke um jeweils 0,1 mA steigern und zugehörige Kollektorstromstärke ablesen (Protokoll)

ACHTUNG!

Sollte der Kollektorstrom den Wert von 10 mA überschreiten, dann ist der Meßbereich des Stromstärkemeßgeräts auf 100 mA (Parallelwiderstand) zu erweitern.

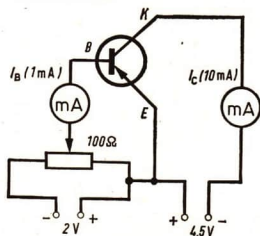
Meßprotokoll

U_{CE} in V	U_{BE} in V	I_B in mA	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
4,5	0	I_C in mA						
	⋮	ΔI_C in mA						
	2,0	ΔI_B						
		ΔI_C						

Auswertung

Was kann auf Grund der gewonnenen Meßwerte über die Änderung der Kollektorstromstärke bei zunehmender Basisstromstärke ausgesagt werden?

Versuchsaufbau



Lösungen

Mechanik

Die Kraft

4. 1 kp
5. $F = 250 \text{ p}$
6. $R = 50 \text{ kp}$; Abstand = 6 m
7. Die Kraft ist größer, wenn die Hände voneinander entfernt werden.
8. Der Angriffspunkt liegt in $\frac{1}{3}$ bzw. $\frac{2}{3}$ der Länge der Stange.
9. $F_H = 100 \text{ Mp}$
10. $F_S = 3000 \text{ kp}$; $F_T = 3600 \text{ kp}$

Die Bewegung

11. $t = 20 \text{ s}$
12. $t = 24 \text{ h}$
- 13.1. $v = 41,8 \text{ kmh}^{-1}$
- 13.2. $v = 16,3 \text{ kmh}^{-1}$
- 13.3. $v = 4,3 \text{ kmh}^{-1}$
- 13.4. $v = 40,0 \text{ kmh}^{-1}$
- 13.5. $v = 26,7 \text{ kmh}^{-1}$
- 13.6. $v = 17,9 \text{ kmh}^{-1}$
14. $a = 0,35 \text{ ms}^{-2}$
15. $a = -0,62 \text{ ms}^{-2}$
16. $s = 20 \text{ m}$
17. $t = 23,7 \text{ s}$; $a = 2,8 \text{ ms}^{-2}$
- 18.1. 2 m; 4,5 m
- 18.2. 5 ms^{-1} ; $2,5 \text{ ms}^{-1}$
19. $s = 27 \text{ m}$
- 20.1. $s = 44 \text{ m}$
- 20.2. $s = 34,5 \text{ m}$
21. $t = 6,4 \text{ s}$
22. $v = 63 \text{ ms}^{-1}$
23. $t = \frac{t_h}{2}$

Grundgesetze der Mechanik

- 24.1. $G = 350 \text{ kp}$
- 24.2. $G = 2100 \text{ kp}$
- 24.3. $G = 280 \text{ kp}$
25. $F = 160000 \text{ N}$
26. $F = 85 \text{ N} \approx 8,7 \text{ kp}$
27. $F = 875 \text{ N} \approx 89,2 \text{ kp}$
28. Es wirkt nur die Kraft von 8 Pferden. (Die übrigen 8 Pferde können durch eine sichere Befestigung ersetzt werden!)

29. Bei elastischer Befestigung würde eine unkontrollierbare, zusätzliche Kraft als Starthilfe wirken. Bei ungenügender Befestigung würden die Startblöcke nach hinten weggeschleudert und somit ein Teil der Beschleunigung für den Läufer verlorengehen.
30. 10 kp

Mechanische Energie

33. 3,3 kpm; 27,3 kpm; 402,3 kpm
- 34.1. $W_{\text{kin}} = 139 \text{ Nm} \approx 14,2 \text{ kpm}$
35. 1000 erg
36. 49 kg
37. 122,5 kpm
38. 0,5 kpm
39. $\approx 204 \text{ kp}$; 0,01 s
41. $\approx 3,9 \text{ kpm}$
42. = 0,05 kpm

Elektrizitätslehre

Das elektrische Feld

2. $Q = 655 \text{ As}$
4. $s = 4750 \text{ m}$

5. Tabelle der elektrischen Feldstärke in $\frac{\text{V}}{\text{m}}$

s in m	0,15	0,25	0,4	1,2	
U in V					
	4,5	30	18	11,2	3,75
	220	1470	880	550	183
	600	4000	2400	1500	500
	400000	2670000	1600000	1000000	330000

9. $C = 7,1 \text{ pF}$
10. $I = 4 \cdot 10^{-4} \text{ A}$
11. $v_1 = 5,9 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $v_2 = 5,9 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
12. $C = 2 \cdot 10^{-5} \cdot F \approx 20 \mu\text{F}$
13. $Q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{s}$
15. $C_1 \approx 1,8 \text{ pF}$;
 $C_2 = 17,9 \text{ pF}$;
 $C_3 = 179 \text{ pF}$
16. $A = 6,8 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$
19. $Q = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ As}$

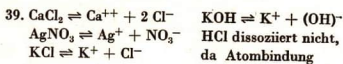
Das magnetische Feld

30. $U = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ V}$
 $\Delta t = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ s}$

Aufbau der Stoffe

36. 29 positive Ladungen im Kern;
29 Elektronen

Leitung in Flüssigkeiten



Leitung in Gasen

48. $\approx 5 \cdot 10^{15}$

Leitung in Festkörpern

69. Stromverstärkung $\alpha' = 40$

Register

- Ablenkplatten 85
Aloxydieren 73
Amperesekunde 44
Anode 81
Anodenspannung 81
Anodenstrom 81
Arbeit im elektrischen Feld 50
Arbeit, mechanische 36
Arbeitspunkt 84
Atom 97
atomare Masseneinheit 97
Atomkern 96
Augenblicksgeschwindigkeit 88
Austrittsarbeit 80
- Ballistik** 28
ballistisches Galvanometer 45
Bandgenerator 43
Basis 93
Bauelemente, elektronische 41
—, elektrische 41
Beschleunigung 20
Beschleunigungsarbeit 36
Bestimmungsstücke 17
Bestrahlungsverfahren 116
Bewegung 16
—, geradlinig gleichförmige 16
—, gleichmäßig beschleunigte 20, 22
Bewegungsenergie 38
Bezugssystem 16
Bindungsenergie 108
Bindungskraft 72
Bogenentladung 76
BOHR 96
Braunshes Elektrometer 46
Bremssubstanz 110
BECQUEREL, HENRI 98
- CHADWICK, JAMES 105
Coulomb 44
COULOMB, CHARLES AUGUSTE DE 44
CURIE 98
- Defektelektron 91
DESCARTES 40
- Deuterium 97
Dielektrikum 53
Dielektrizitätskonstante, absolute 54
—, relative 54
Dipol 71
Dissoziation 72
Dissoziationsgleichgewicht 72
Doppelpendel, elektrisches 45
Drehkondensator 55
Drehschulmeßwerk 58
Drei-Finger-Regel 57
Durchstrahlungsverfahren 116
Dynamik 7, 8
- Einheit 10
— der elektrischen Feldstärke 49
— der Induktivität 67
— der Kapazität 52
— der Ladung 44
EINSTEIN, ALBERT 107, 113
Einsteinsche Gleichung 107
Eigenleitung 90
Elektrische Feldstärke 49
— Spannung 43
— Stromrichtung 56
Elektrizitätsmenge 44
Elektrode 76
Elektrolyse 73
Elektrolyt 72
Elektrolytkondensator 55
Elektromagnetische Induktion 64
Elektrometer, Braunshes 46
Elektron 69, 71
Elektronengas 88
Elektronenmangel 42
Elektronenstrahl 85
Elektronenstrom 56, 82
Elektronenüberschuß 42
Elektronenvolt 51
Elementarladung 44
Emitter 93
Energieerhaltungsgesetz 38
Energie, mechanische 36
—, kinetische 38
—, potentielle 37
Energiumwandlung 39, 93
- Entladung 74
Erfahrung 23
Ergebnis 37
- Fallbeschleunigung 24
Fall, freier 23
Farad 52
FARADAY, MICHAEL 61
Fehlstelle 90
Feld, elektrisches 46
—, elektrisches, als Energieträger 68
—, homogenes, elektrisches 48
—, materieller Charakter 48
—, magnetisches 56, 68
Feldemission 80
Feldstärke, Einheit der 49
—, elektrische 49
Ferromagnetismus 59
Festigkeitslehre 8
Fluß, magnetischer 63
Fotoemission 80, 86
Fotoelement 92
Fotozelle 87
Funkenentladung 76
- GALILEI, GALILEO 29
Galvanometer, ballistisches 45
Galvanostegie 73
Gegenkraft 35
Geschwindigkeit 16
—, mittlere 17
Gleichgewicht 11, 15
Gleichung, Einsteinsche 107
Glimmentladung 76
Glimmlicht 76
glühelctrischer Effekt 79
Glühemission 79
Gitter 82
Gitterstrom 83
Gitterspannung 83
Grenzschicht 92
Größe, physikalische 10
—, skalare 10
—, vektorielle 10
Grundgesetz der Mechanik 34

- HAHN, OTTO** 108, 113
 Halbleiter 90
 Halbleiterdiode 92
 Halbwertszeit 100
 Hangabtriebskraft 25
HELMHOLTZ, HERMANN VON 40
 Heizspannung 81
HENRY, JOSEPH 67
 Hochvakuum 79
HOOKE, ROBERT 9
 Hooke'sches Gesetz 9
 Höhenstrahlung 106
 Hydratation 72
 Hydroxid 72
 Hypothese 23, 75, 89
- Induktion, elektromagnetische 61
 Induktionsgesetz 65
 Induktionskonstante 63
 Induktionsspannung 61
 Induktivität 67
 —, Einheit 67
 Influenz 46
 Ion 70
 Ionenkristall 70
 Ionentriebwerk 86
 Ionisationsstrom 102
 Isotope 97
- JOLIOT-CURIE, FREDERIC und
 IRENE** 112
JOULE, JAMES PRESCOTT 40
- Kapazität 52
 —, Einheit der 52
 Katode 81
 Katodenstrahl 78, 85
 Kenngrößen 17
 Kennlinie 81
 Kernladungszahl 100
 Kernfusion 113
 Kernkräfte 106
 Kernphysik 95
 Kernreaktionen 104
 Kernspaltung 107
 Kernumwandlungen 98, 104
 Kettenreaktion 109
 Kilopond 9
 Knoten 17
 Kollektor 93
 Kompressionsarbeit 37
 Kondensationskeim 103
 Kondensator 51
 —, Laden und Entladen eines 51
 Kraft 8
 —, resultierende 11
 Krafteck 13
 Krafteinheit 9
 Kräftemaßstab 15
 Kräfteparallelogramm 13
 Kraftkomponente 13
 Kraftlinienbilder 47, 48
 Kraftlinien des elektrischen Feldes
 46, 48
 Kraftmessung, dynamische 35
 —, statische 9
 Kraftwirkung, mechanische 8
 —, elektrische 45, 57
 —, magnetische 56
 Kristall 71
 Künstliche Radioaktivität 105
- Laden eines Kondensators 51
 Ladung 42
 —, felderzeugende 49
 Ladungsschwerpunkt 71
 Ladungstrennung 43
LEIBNIZ 40
 Leistungsmeßgerät 60
 Leitung 74, 88
 Leitfähigkeit, elektrische 88
 Lenzsche Regel 64
 Leuchtröhre 77
 Leuchtschirm 85
 Leuchtstofflampe 77
 lichtelektrischer Effekt 86
 Loch 90
LOMONOSSOW 40
- Magnetischer Fluß 63
 Magnetismus, permanenter 59
 —, remanenter 59
 Markierungsverfahren 116
 Masse 31
 —, kritische 110
 Masseneinheit, atomare 97
 Massendefekt 107
 Massenwert 107
 Massenzahl 97, 100
 Materie 48
 Materieller Charakter des Feldes 48
MAYER, JULIUS ROBERT 40
 Mechanik 7
 Metall 71
- Meßgleichrichter 60
MILLIKAN, R. A. 44
 Modell 47, 88, 96
 Modellbild 69
 Nebelkammer 103
 Neutronen 96, 105
 Newton 34
NEWTON, ISAAC 30
 Newtonmeter 36
 Perpetuum mobile 40
 Plasma 75
 Plattenkondensator 52
 Polprüfer 42
 Positronen 106
 Probeladung 49
 Protonen 42, 96
 Pythagoras, Lehrsatz 13
- Radioaktivität 98
 —, künstliche 105
 Radioisotope 106
 Radium 98
 Raumladung 81
 Reaktor 110
 Rechte-Faust-Regel 56, 57
 Rekombination 74
 Ruhe 16
RUTHERFORD 96
- Salz 72
 Sättigung 81
 Säure 72
 Schwerelinie 15
 Schwerpunkt 15
 Seemeile 17
 Sekundäremission 80
 Selbstinduktion 67
 Selbstinduktionsspannung 67
 Sonnenenergie 113
 Spannarbeit 37
 Spannungsstoß 62, 63
 Statik 7
 Steighöhe 26
 Steigungswinkel 28
 Steilheit 83
 Stoßionisation 75
 Strahlung 69
STRASSMANN, FRITZ 108
 Störstellen 91

Streifeld 48	Überschußelektronen 91	Weglänge, freie 76
Stromstoß 45	Unabhängigkeit der	Wehneltzylinder 85
Stromstärke 44	Bewegungen 19	Wickelkondensator 55
Stromverstärkung 94	Ursache 9	Widerstandsthermometer 89
Stromwärme 88	Urkilogramm 32	Wirkung 9
System, abgeschlossenes 39	UVW-Regel 65	Wirkungslinie 10
		Wurf 26
TARTAGLIA, NICOLO 29	Vektoraddition 13	Wurfparabel 28
Theorie 24, 89	Verschiebungsarbeit 36	
thermische Emission 79	Verstärkung 84, 94	Zahlenwert 10
thermonukleare Reaktion 113	Verzögerung 21	Zählrohr 102
Transistor 93		Zerfallreihe 101
Trägheitsgesetz 30	Wahrscheinlichkeit 24	Zustand 37
Tritium 97	Wechselwirkungsgesetz 35	

Bei Empfang und Abgabe des Lehrbuches vom Schüler auszufüllen

Lfd. Nr.	Name	Schuljahr	Zustand des Buches (0/0 vom Neuwert)	
			bei Empfang	bei Abgabe
1		19 --	neu	
2		19 --		
3		19 --		
4		19 --		

Quellennachweis der Bilder

Brunstein, W., Güstrow: 45/3, 60/3 · Bunschuh, W., Berlin: 25/1
 Deutsches Amt für Meßwesen und Warenprüfung, Berlin: 32/1 ·
 VEB Dieselmotorenwerk, Rostock: 116/3 · Foto-Brüggemann,
 Leipzig: 56/1 · VEB Funkwerk Erfurt: 74/1 · Hampel, Fritz, Han-
 gelsberg: 7/1, 11/1, 30/1 · Nerlich, Chr., Berlin: 95/1 · Photo-
 Kino-Krütgen, Halle: 26/1 · VWV Archiv, Berlin: 29/2, 41/1, 42/1,
 46/1, 48/1, 51/1, 55/1, 55/2, 60/3, 74/1, 96/1, 98/1, 104/2, 116/4 ·
 VWV M. Seifert: 55/3, 77/1, 77/2, 85/1, 115,1 · Zentralbild Berlin:
 8/1, 13/5, 16/1, 36/1, 72/1, 88/1, 102/1, 104/1, 105/1, 112/1, 113/1,
 113/2, 116/1 · Zentrale Bildstelle DR: 20/1.

Reproduktionen aus

W. Kaempfert, *Bahnbrechende Erfindungen in Amerika und Europa*, Rud. Moss Buchverlag Berlin 1927: 61/1 · W. P. Ryff, *Geometrische Büchsenmacherei*, 1547, deutsche Ausgabe eines Buches von N. Tartaglia: 29/1 · *Isotope in Forschung und Produktion*, VEB Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig: 116/2 · *Zeitschrift Jugend und Technik*: 69/1, 79/1.

Elektrotechnische Schaltzeichen



Induktiver Widerstand
mit Eisenkern



Gleichstromgenerator



Transformator



Gleichstrommotor



Transformator mit Kern



Wechselstromgenerator



Kondensator



Wechselstrommotor



Elektrolytkondensator



Phasenverschiebungsmesser



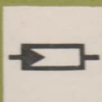
Kondensator, verstellbar



Glühkathoden-Diode



Duodiode



Fotoelement



Triode



Antenne



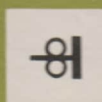
Fotozelle



Erde



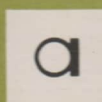
Katodenstrahl-Oszillograf



Kopfhörer



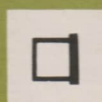
Glimmlampe



Mikrofon



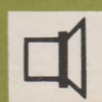
Transistor



Telefon



Halbleiter-Diode



Lautsprecher

