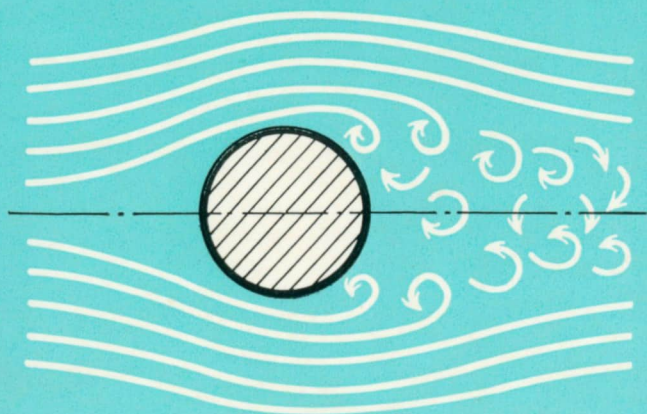


**Kleine  
Naturwissenschaftliche  
Bibliothek**

**LEIPZIG**



**MAKEJEWA/ZEDRIK**

**Verwunderliches  
aus der Physik**

# **Verwunderliches aus der Physik**

**G. P. MAKEJWA UND M. S. ZEDRIK**

**7. Auflage**

**Mit 45 Abbildungen**



**LEIPZIG**

---

**BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft  
Leipzig 1984**

Autoren:

G. P. Makejewa und M. S. Zedrik

Titel der Originalausgabe:

**Г. П. Макеева, М. С. Цедрик**

**Физические парадоксы и занимательные вопросы**  
Minsk 1961

Deutsche Übersetzung: Dr. Viktor Ziegler †

Wissenschaftliche Redaktion: Prof. Dr. K. Werner †

© BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1973

VLN 294-375/80/84 · LSV 1109

7. Auflage

Lektor: Dr. rer. nat. Ingrid Lischke

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung:

INTERDRUCK, Graphischer Großbetrieb Leipzig,

Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit, III/18/97

Bestell-Nr. 665 527 2

00415

## Vorwort zur russischen Ausgabe

In diesem Bändchen werden interessante Fragen aus verschiedenen Gebieten der Physik behandelt; die meisten sind in Gestalt physikalischer Paradoxa formuliert: Die Verfasser flechten bewußt Fehler in ihre Überlegungen ein, oder aber sie formulieren manche physikalischen Aussagen nicht vollständig genug, wodurch man auf unrichtige Ergebnisse kommt, die den allgemein bekannten physikalischen Gesetzen und der experimentellen Erfahrung widersprechen. Dem Leser wird empfohlen, den Fehler zu suchen und das falsche Ergebnis zu widerlegen. Eine solche Art der Darstellung ist nach unserer Meinung für den Leser recht vorteilhaft, da sie ihm einmal die Möglichkeit bietet, nach Entdeckung des Fehlers eine Wiederholung desselben zu vermeiden, und sie zum anderen einen tieferen Einblick in bereits bekannte Gesetze und Theorien gewährt. Das selbständige Suchen nach Fehlern dürfte zweifellos zur Steigerung des Interesses an physikalischen Problemstellungen beitragen.

In früherer Zeit waren die Broschüre von Wolshin, „Physikalische Paradoxa und Sophismen“, und das Buch von Hampson-Schäfer, „Paradoxa der Natur“, erschienen. Diese Bücher enthalten physikalische Paradoxa, die bis in die Gegenwart ihren pädagogischen und allgemeinbildenden Wert behalten haben. Einige hiervon wurden in unser Bändchen übernommen, allerdings geändert oder völlig neu gefaßt. Darüber hinaus entlehnten die Verfasser aus verschiedenen in- und ausländischen populärwissenschaftlichen Büchern einzelne physikalische Versuche und Fragestellungen, die bei Bedarf ebenfalls überarbeitet wurden.

Das vorliegende Büchlein ist nicht nur für Schüler gedacht, die sich für Physik interessieren und ihre Kenntnisse erweitern bzw. die Anwendung der in der Schule behandelten physikalischen Gesetze in der Praxis lernen wollen, sondern auch für Studenten an Fach- und Hochschulen geeignet. Auch der Physiklehrer wird dem Büchlein manches Material entnehmen können, durch das er den Unterricht und entsprechende Arbeitsgemeinschaften beleben kann.

Die Verfasser

# **Inhalt**

## **Problemstellungen**

Mechanik	5	
Molekularphysik	22	22
Elektrizität	26	
Optik	33	

## **Antworten**

Mechanik	37	
Molekularphysik	50	50
Elektrizität	55	
Optik	60	

# Problemstellungen

## Mechanik

1. Wenn zukünftige Weltraumfahrer auf dem Mars bei Regenwetter landen (angenommen, es gäbe dort ein solches), werden sie u. U. unter Regenschirmen aus dünnem Stahlblech Schutz suchen müssen, da gewöhnliche Stoffschirme nur einen sehr unzuverlässigen Schutz bieten würden. Was ist der Grund dafür?

2. Ein Diskuswerfer möge in Rostock eine Bestleistung von 57,92 m erzielt haben. Um diese Leistung in Prag zu überbieten, muß man offenbar unter sonst gleichen Bedingungen den Diskus um wenigstens 1 cm weiter werfen. Es stellt sich jedoch heraus, daß der Sportler in Prag sich mit einer Körperleistung begnügen kann, die in Rostock lediglich zu einer um mehrere Zentimeter geringeren Wurfweite reichen würde. Wie ist dies zu erklären?

3. Ein Traktor zieht einen Wagen mit einer gewissen Geschwindigkeit. Da die Wagenräder ohne zu gleiten über den Erdboden rollen, ist die Wagengeschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit des Traktors und ebenso auch gleich der Lineargeschwindigkeit des äußeren Radumfangs.

Die Schmutzteilchen, die sich vom oberen Punkt des Hinterrades ablösen, können keine Geschwindigkeit haben, die größer ist als die des Rades. Sie dürften demnach einen Wageninsassen, der z. B. im vorderen Teil des Wagens sitzt, nicht bespritzen. In Wirklichkeit wird er jedoch u. U. recht stark bespritzt; warum?

4. Nach dem Trägheitsgesetz wird ein Körper, der auf einer waagerechten Ebene ruht und einen Stoß parallel zur Ebene erhält, unaufhörlich in Bewegung bleiben, sofern keine Reibung wirkt. Ein solcher Körper verrichtet aber eine unendlich große Arbeit auf Grund seiner eigenen Translation, die offenbar das Ergebnis des ursprünglichen, mitunter recht unbedeutenden Anfangsstoßes darstellt. Wie läßt sich diese Erscheinung mit dem Energieerhaltungssatz in Einklang bringen?

5. Die Wirkung einer Kraft auf einen Körper hängt nicht davon ab, ob sich dieser in Ruhe oder in Bewegung befindet. Ein Stein, der von der Mastspitze eines stehenden Schiffes senkrecht

nach unten fällt, landet demnach am Fußpunkt des Mastes. Bei einem geradlinig und gleichförmig fahrenden Schiff dürfte demnach der Stein nicht, wie es in Wirklichkeit der Fall ist, am Fußpunkt des Mastes auftreffen, sondern dahinter, und zwar so weit, wie der während der Fallzeit des Steines vom Schiff zurückgelegte Weg ausmacht. Ist das richtig?

6. Nach einem von Newton formulierten Gesetz läßt sich der Bewegungszustand eines Körpers nur ändern, wenn eine von einem anderen Körper ausgehende äußere Kraft auf ihn einwirkt. Warum bleibt dann ein fahrendes Auto beim Bremsen stehen? Wo ist hier die äußere Kraft?

7. Das Gesetz über die Unabhängigkeit der Kräfte besagt: Wirken auf einen Körper gleichzeitig mehrere Kräfte ein, so ist die Bewegung, die von allen diesen Kräften einzeln erzeugt wird, die gleiche, als würde eine einzige Kraft allein auf den Körper einwirken.

Die Wirkung einer beliebigen Anzahl von Kräften läßt sich stets durch die Wirkung einer einzigen resultierenden Kraft ersetzen, indem man die Kräfte paarweise nach der Parallelogrammregel vereinigt. Es kann aber durchaus eintreten, daß ein Körper sich nicht von der Stelle rührt, wenn man ihn nacheinander mit zwei Kräften von jeweils einem Newton zu ziehen versucht. Er setzt sich dagegen bei einer Kraft von zwei Newton sofort in Bewegung. Zwei Kräfte von je einem Newton rufen also einzeln angelegt keine Bewegung hervor, dagegen erzeugen sie gemeinsam eine merkliche Bewegung. Wie vereinbart sich diese Tatsache mit dem Gesetz von der Unabhängigkeit der Kräfte?

8. Warum fliegen Flugzeuge gewöhnlich in großer Höhe?

9. Auf einem Tisch liegt ein Quader von 5 N Gewicht. Eine Last von 1 N hängt an einem am Körper befestigten und nach rechts

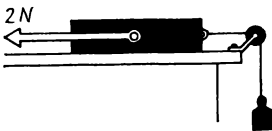


Abb. 1

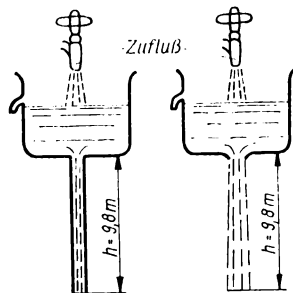


Abb. 2

über eine Rolle geführten Seil. Die Last übt somit eine Zugkraft nach rechts aus. Der Reibungskoeffizient für die Reibung zwischen den Oberflächen des Tisches und des Quaders betrage 0,4. Daher ist die Reibungskraft, die auf den Quader wirkt und der Zugkraft unserer Last entgegengesetzt gerichtet ist, gleich  $0,4 \cdot 5 \text{ N} = 2 \text{ N}$ . Daraus folgt, daß sich der Quader nach links bewegen muß, da die Reibungskraft den Zug der Last um 1 N übersteigt (vgl. Abb. 1). Ist dies wirklich der Fall?

10. Ein Schlüssel werde mit seinem Ring über einen runden Bleistift geschoben. Dann werde der Stift etwas geneigt, so daß der Schlüssel noch nicht rutscht. Sowie man den Stift dreht, beginnt der Schlüssel zu gleiten. Wie kommt das?

11. Ein Gefäß, das sich in einer Höhe  $h = 9,8 \text{ m}$  befindet, enthält eine Wasserschicht von 1 cm Höhe. Der Wasserspiegel wird auf irgendeine Weise konstant gehalten. Am Boden des Gefäßes befinde sich eine Öffnung von  $1 \text{ cm}^2$  Querschnitt. In diese Öffnung läßt sich ein senkrecht Rohr von 9,8 m Länge einführen.

Wir berechnen nun die Zeit, die  $1 \text{ cm}^3$  Wasser einmal mit Rohr (vgl. Abb. 2a) und zum anderen ohne Rohr (vgl. Abb. 2b) benötigt, um den Erdboden zu erreichen. Wir wollen annehmen, daß die Strömung durch das Rohr stationär ist und reibungsfrei verläuft.

Nach den Formeln

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

und

$$v = gt$$

erhalten wir (mit  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )  $t = 1,4 \text{ s}$  und  $v = 13,72 \text{ m/s}$ . Andererseits wird die gesamte Wassersäule von der Höhe  $h = 9,8 \text{ m}$  das Rohr in der Zeit  $t = h/v = 9,8 \text{ m} (13,72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}) = 0,7 \text{ s}$  durchströmen. Daraus folgt, daß  $1 \text{ cm}^3$  Wasser die Höhe von 9,8 m durch die Röhre in einer etwa halb so langen Zeit durchläuft wie ohne Rohr. Wie läßt sich dieser Umstand deuten?

12. Im luftleeren Raum fallen sämtliche Körper gleich schnell und erleiden natürlich auch die gleiche Beschleunigung. Zwei Kugeln, die im luftgefüllten Raum fallen, mögen gleiche Abmessungen haben, doch sei die eine aus Blei, die andere aus Holz. Der Luftwiderstand ist ihren Oberflächen proportional, und diese sind gleich. Folglich werden beide Kugeln in der Luft langsamer fallen als im luftleeren Raum und auch in diesem

Falle den Erdboden gleichzeitig erreichen. Die Beobachtung lehrt uns aber, daß dies nicht der Fall ist. Warum?

13. Wenn ein Körper vom Gewicht  $P$  auf eine Waagschale eine nach unten gerichtete Kraft ausübt, so drückt nach dem 3. Newtonschen Gesetz die Waagschale mit der gleichen Kraft  $P$  auf den Körper in der entgegengesetzten Richtung. Zwei entgegengesetzt gerichtete gleich große Kräfte müssen sich aber das Gleichgewicht halten. Demnach müßte eine Waage im Gleichgewicht bleiben, wenn wir auf die Waagschale einen Körper von beliebig hohem Gewicht legen. Ist dies wirklich der Fall?

14. Wir stellen uns auf eine Federwaage und bleiben ruhig stehen; nach Einspielen zeigt der Zeiger ein gewisses Gewicht an. Nun heben wir die Hände rasch in die Höhe, oder wir lassen sie schnell fallen. Offenbar wird sich dadurch unser Körpergewicht nicht ändern. Der Zeiger der Waage belehrt uns aber eines besseren: Während der Bewegung beobachten wir im

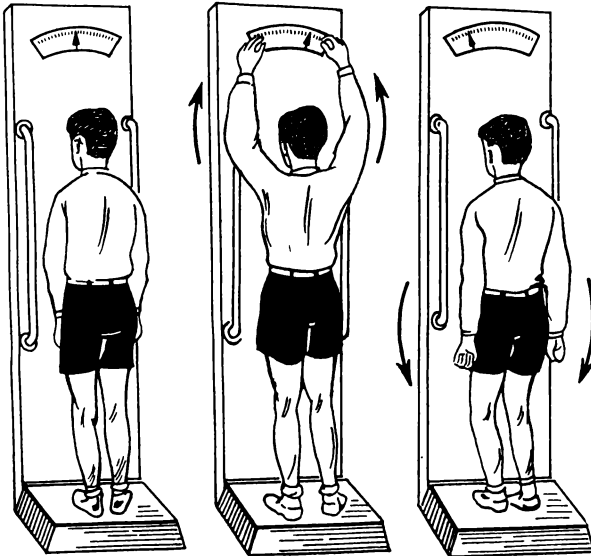


Abb. 3

ersten Falle eine Gewichtserhöhung, im zweiten eine Gewichtsverminderung (vgl. Abb. 3: gezeichnet ist die Zeigerstellung während der Bewegung). Wie ist diese Erscheinung zu deuten?

15. Das Gesetz von der Unabhängigkeit der Wirkung mehrerer

Kräfte führt, wenn man es der Parallelogrammregel der Kräfte gegenüberstellt, zu einem offensichtlichen Widerspruch. Nach dem ersten Gesetz wird der Punkt  $O$  (vgl. Abb. 4) bei gleichzeitiger Wirkung der Kräfte  $P$  und  $O$  den Weg  $OAV + OB = OA + AC$  durchlaufen. Nach dem zweiten Gesetz hingegen ist der Weg gleich  $OC$ , aber  $OC$  ist kleiner als  $OA + AC$ . Läßt man daher die Gültigkeit beider Gesetze zu, so ergibt sich dieser Widerspruch. Warum?

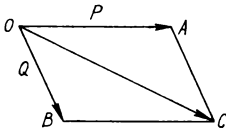


Abb. 4

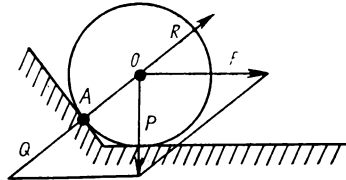


Abb. 5

16. Eine schwere Kugel ruht im Gleichgewicht auf einem horizontalen Fußboden, wobei sie gleichzeitig an der Wand anliegt, die mit dem Fußboden einen stumpfen Winkel einschließen möge. Wie wir aus der Abb. 5 ersehen, liefert die Schwerkraft, wenn man sie nach dem Parallelogrammsatz zerlegt, eine Komponente  $F$ , die die Kugel in Bewegung setzen müßte. In der Tat, nach dem 3. Newtonschen Gesetz ist die Komponente  $Q$  der Gegenwirkung der Wand  $R$  gleich, dieser aber entgegengesetzt gerichtet. Infolgedessen wirkt auf die Kugel nur die Kraft  $F$ , die die Kugel in ihrer Richtung in Bewegung versetzen müßte. In Wirklichkeit bleibt jedoch die Kugel in Ruhe. Was geht hier vor sich?

17. Die Arbeit  $A$  ist gleich dem Produkt aus der Kraft  $F$ , dem zurückgelegten Weg  $S$  und dem Kosinus des von der Krafrichtung und der Bewegungsrichtung eingeschlossenen Winkels ( $\cos \alpha$ ); es gilt somit  $A = FS \cos \alpha$ .

Ein Mann, der sich vergeblich müht, eine für ihn zu schwere Last zu heben, verrichtet keinerlei Arbeit, denn in diesem Falle ist der vom Angriffspunkt der Kraft zurückgelegte Weg gleich Null. Trotzdem verspürt der Mann nach seinem vergeblichen Bemühen eine Ermüdung, woraus wir schließen müssen, daß dennoch Arbeit verrichtet wurde. Ist das richtig?

18. Nach dem Gesetz von der Erhaltung und Umwandlung der Energie kann diese weder geschaffen noch vernichtet werden, sondern nur bei verschiedenen Vorgängen in Natur und Technik aus einer Form in eine andere übergehen, wobei sie quantitativ

unverändert bleibt. Wirft man jedoch einen Ball von einer geringen Höhe senkrecht nach unten, so kann er auf eine größere Höhe zurückprallen als die seiner Abwurfstelle. Auf einer größeren Höhe muß der Ball aber eine höhere Energie aufweisen. Folgt hieraus, daß für den betreffenden Fall das Gesetz von der Erhaltung und Umwandlung der Energie nicht zutrifft? Man begründe die Antwort!

19. Vor uns stehen zwei gleiche Schalen mit Quecksilber. In diese tauchen mit der Öffnung nach unten zwei luftleer gepumpte Gefäße ein. Beide Gefäße sind einander äußerst ähnlich

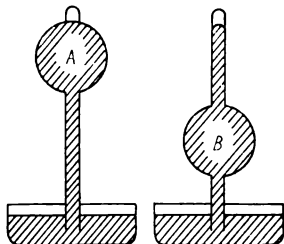


Abb. 6

doch sind die beiden kugelförmigen Erweiterungen A und B in beiden Gefäßen verschieden hoch gelegen. Das Quecksilber wird in beiden Gefäßen hochsteigen und die gleiche Höhe erreichen (vgl. Abb. 6). Hierbei leistet der atmosphärische Druck  $p$  in beiden Fällen die gleiche Arbeit  $pV$  ( $V$  bedeutet hierbei das Volumen des aus den Schalen verdrängten Quecksilbers). Im linken Gefäß ist die Hauptmasse des Quecksilbers in einer größeren Höhe als im rechten. Demnach ist auf Kosten der gleichen Arbeit in beiden Fällen ein verschieden großer Vorrat an potentieller Energie gespeichert worden, was dem Energiesatz offenbar widerspricht. Oder liegt ein Fehler der Betrachtung vor?

20. Ein Körper mit der Masse  $m$  möge sich in einem Zug befinden. Nun wird dieser Körper in Fahrtrichtung des Zuges mit einer auf den Zug bezogenen Geschwindigkeit  $v$  geworfen, wodurch ihm eine Energie  $mv^2/2$  zugeführt wird. Der Zug habe nach dem Wurf die Fahrgeschwindigkeit  $V$ . Der Körper hat nunmehr die Energie  $(mV^2/2) + (mv^2/2)$ . Man könnte die Überlegung aber auch anders anstellen. Der Körper bewegt sich nach dem Wurf mit einer Geschwindigkeit  $(V + v)$  gegen die Erde und hat demnach die Energie  $m(V + v)^2/2$ . Dieser Ausdruck ist um  $mVv$  größer als der vorhin gewonnene. Welche von den beiden Überlegungen ist nun falsch?

21. Sechs Elfenbeinkugeln wollen wir auf einem eigens dafür vorgesehenen Gestell bifilar derart aufhängen (vgl. Abb.7), daß

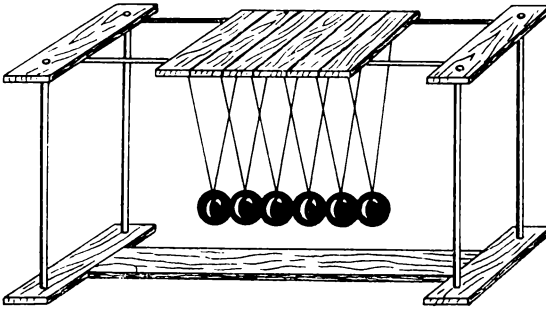


Abb. 7

sie sich gegenseitig berühren. Nun lenkt man eine Randkugel aus ihrer Ruhelage ab und läßt sie dann wieder los. Nach erfolgtem elastischem Stoß müssen sich nun offenbar die übrigen fünf Kugeln in der Stoßrichtung der ersten Kugel in Bewegung setzen. Beim Versuch müssen wir jedoch überrascht feststellen, daß nach dem Stoß nur eine Kugel am entgegengesetzten Ende ausschwingt, während alle übrigen Kugeln einschließlich der den Stoß auslösenden in Ruhe verharren. Warum?

22. Zu welcher Tageszeit wiegt ein Gewichtsstück am meisten?

23. Bekanntlich nimmt die Kraft, mit der die Gegenstände von der Erde angezogen werden, ab, sobald ihr Abstand von der Erdoberfläche größer wird.

Folglich müßte bei Annäherung eines Kilogrammgewichtsstückes an den Erdmittelpunkt sein Gewicht offenbar zunehmen und bei unbegrenzter Annäherung an den Erdmittelpunkt über alle Grenzen wachsen. In Wirklichkeit nimmt jedoch das Gewicht der Körper ab, sobald man sich in tiefere Schichten der Erdkugel begibt. Warum?

24. Viele Himmelskörper haben eine Masse, die die der Körper auf der Erdoberfläche weit übertrifft. Desgleichen sind aber auch die Abstände zwischen ihnen unverhältnismäßig viel größer als die zwischen den Gegenständen auf der Erde. Da aber die Anziehung der Körper untereinander dem Produkt ihrer Massen direkt, dem Quadrat ihrer Entfernung aber umgekehrt proportional ist, erscheint es verwunderlich, warum wir von der gegenseitigen Anziehung der Gegenstände auf der Erde nichts merken, während doch auf der anderen Seite die gegenseitige Anziehung

der Himmelskörper der Hauptfaktor ist, der deren gegenseitige Bewegung bestimmt.

25. In einem fahrenden Zuge müßten offenbar sämtliche Punkte in jedem Wagen sich in Fahrtrichtung des Zuges mitbewegen. Jedoch gibt es in jedem Wagen Punkte, die sich dauernd, bezogen auf den Gleiskörper, in der entgegengesetzten Richtung bewegen. Wo liegen diese Punkte?

26. Wir wollen annehmen, der Punkt A (vgl. Abb. 8) bewegt sich gleichförmig auf einem Radius des Kreises vom Mittelpunkt weg,

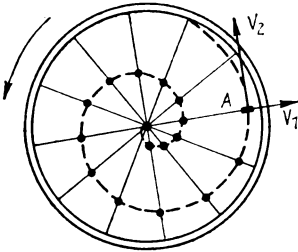


Abb. 8

während der Kreis selbst sich gleichförmig im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers dreht. In jedem Augenblick wird sich die Geschwindigkeit der zusammengesetzten Bewegung aus der Radialgeschwindigkeit  $v_1$  und der hierzu senkrechten Geschwindigkeit  $v_2$  zusammensetzen. Beide Bewegungen sind gleichförmig. Der Winkel zwischen den Geschwindigkeiten beträgt stets  $90^\circ$ . Demnach ist die resultierende Geschwindigkeit konstant, und die Bewegung dürfte demnach nicht längs einer Spirale erfolgen, wie das in Wirklichkeit zu beobachten ist. Wo liegt hier der Fehler?

27. Befestigt man am Reifen eines Fahrrades ein Stückchen farbiges Papier, so beobachtet man eine eigenartige Erscheinung. Beim Fahren ist das Papierstückchen recht deutlich zu erkennen, wenn es sich unten befindet. Ist es dagegen oben, dann blinkt es so undeutlich, daß man es kaum erkennen kann. Wie ist es zu erklären, daß in dem betreffenden Falle die Teile des in sich starren Rades eine unterschiedliche Geschwindigkeit aufweisen?

28. Zwei Kugeln mit dem Radius  $r$  mögen sich, wie in der Abb. 9 angegeben, auf zwei parallelen Geraden in entgegengesetzter Richtung rein translatorisch (d. h. ohne zu rotieren) mit jeweils der Geschwindigkeit  $v$  bewegen. Der Abstand zwischen den beiden parallelen Geraden sei  $d_0 = 2r$ . Zu einem bestimmten

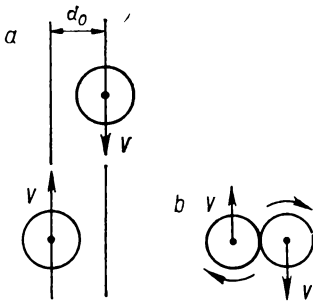


Abb. 9

Zeitpunkt findet eine Berührung zwischen den beiden Kugeln an der Oberfläche statt (Abb. 9b), wobei sie infolge der Reibung eine Drehbewegung erhalten, die in Abb. 9b durch die beiden Pfeile gekennzeichnet ist. Beide Kugeln rotieren also gleichsinnig. Wie ist das mit dem Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses in Einklang zu bringen?

29. Versetzt man eine Zentrifugalmaschine, auf der eine Scheibe mit Pendeln befestigt ist, in Umdrehung, so werden die kleinen Kugelpendel verschieden stark aus ihrer Ruhelage abgelenkt. Der Ausschlagwinkel eines Pendels ist dabei um so größer, je weiter es von der Achse entfernt ist (vgl. Abb. 10a).

Das erste Pendel befindet sich genau in der Achse der Scheibe,

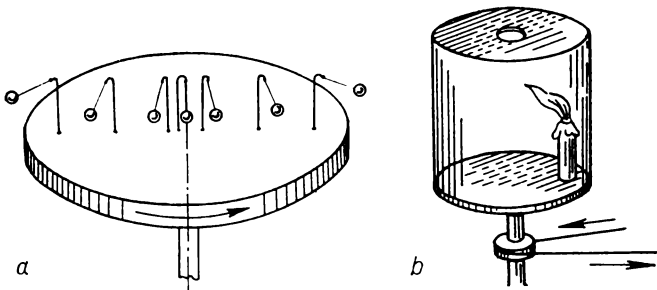


Abb. 10

weshalb auf dieses Pendel bei Drehung der Scheibe keine Zentrifugalkraft einwirkt. Es behält daher seine Ruhelage bei. Bei den anderen Pendeln ist die Zentrifugalkraft dem Abstand vom Scheibenmittelpunkt proportional.

Durch die gleiche Überlegung begründet man folgende Erscheinung: Befestigt man in einem Glaszylinder auf der Scheibe der Zentrifugalmaschine eine Kerze (vgl. Abb. 10b), so müßte bei Drehung der Scheibe die Flamme der Kerze offenbar um einen entsprechenden Winkel, bezogen auf die Achse, nach außen abgelenkt werden. Die Ablenkung müßte um so größer sein, je weiter die Kerze von der Achse entfernt ist. Diese Überlegung wird jedoch durch die Erfahrung nicht bestätigt; wo liegt der Fehler?

30. Auf einer schiefen Ebene rollen zwei Flaschen gleicher Masse hinunter. Die eine ist mit Wasser gefüllt, die andere mit einem

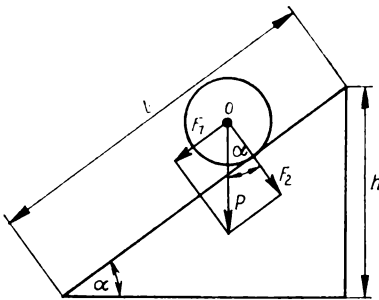


Abb. 11

Gemisch von Sand und Sägespänen (vgl. Abb. 11). Die Kraft  $F_1$ , die die Rollbewegung hervorruft, ist

$$F_1 = P \sin \alpha = \frac{mgh}{l} .$$

Die Masse  $m$  der Flaschen, die Erdbeschleunigung  $g$ , die Höhe  $h$  der schiefen Ebene, die Länge  $l$  der schiefen Ebene und die Kraft  $F_1$  bleiben während der ganzen Bewegung auf der schiefen Ebene konstant. Infolgedessen müßten beide Flaschen in der gleichen Zeit von der schiefen Ebene hinabrollen. Diese Behauptung widerspricht jedoch der Wirklichkeit: Die mit Wasser gefüllte Flasche rollt schneller hinab. Warum?

31. Die Zentrifugalkraft ist dem Betrage nach der Zentripetalkraft gleich, jedoch entgegengesetzt gerichtet. Sie wird durch die Formel

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

bestimmt, wobei  $m$  die Masse des materiellen Punktes,  $v$  dessen lineare Geschwindigkeit und  $r$  der Krümmungsradius ist. Bei sehr kleinem Radius kann diese Kraft offenbar sehr hohe Werte erreichen. Weshalb fliegen dann Teilchen, die sich in der Nähe des Erdpols befinden, nicht in den Raum davon? Weshalb durchbrechen die Teilchen, die sich in der Nähe der Erdachse befinden, da sie einer derart riesigen Zentrifugalkraft unterliegen, nicht das gesamte Erdmassiv, um auf diese Weise an die Erdoberfläche zu kommen?

32. Bekanntlich wird die Zentrifugalkraft nach der Formel

$$F = m\omega^2 r$$

oder

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

bestimmt. Demnach müßte die Zentrifugalkraft dem Radius sowohl direkt als auch umgekehrt proportional sein. Was geht hier vor sich?

33. Ein künstlicher Erdsatellit möge auf einer Kreisbahn umlaufen. Wird in einem solchen Satelliten eine eiserne Schraubmutter auf dem Wasser schwimmen oder untergehen?

34. Auf der Schale einer außerordentlich empfindlichen Hebelwaage ist in einem Gefäß eine gewisse Menge Petroleum austariert. Nun wird das Petroleum um einige Dutzend Grade erwärmt. Es möchte scheinen, daß hierbei das Gleichgewicht der Waage nicht gestört werden dürfte, da sich die Masse des Petroleum nicht verändert hat. Warum zeigt dann aber die Waage geringeres Gewicht an?

35. Auf einer Waage wird ein Gefäß austariert, das zu drei Vierteln mit Wasser gefüllt ist. Was geschieht mit der Waage, wenn man in das Wasser im Gefäß einen Gegenstand eintaucht, den man am anderen Ende mit der Hand festhält?

Die Waage müßte im Gleichgewicht verbleiben, denn der Gegenstand, der ins Wasser getaucht wurde, läßt sich nicht als zusätzliche Belastung auffassen. Sein Gewicht wirkt nicht auf die Waagschale, da er weder auf dem Wasser schwimmt, noch gegen den Boden oder die Wandung des Gefäßes drückt, sondern in der Hand verbleibt. Der Versuch ergibt aber, daß die Waage aus dem Gleichgewicht kommt und ein größeres Gewicht des Gefäßes anzeigt. Wie ist das zu erklären?

36. Ein zylindrisches Gefäß läßt sich mit Wasser füllen, durch eine leichte Platte verschließen und umkehren, ohne daß das

Wasser ausfließt. Der Luftdruck verhindert das Ausfließen. Nun wird das Gefäß nur halb gefüllt, wiederum verschlossen und umgekehrt. Dann wirkt nach unten der Druck der Wassersäule und der Druck der eingeschlossenen Luft, der gleich dem Atmosphärendruck ist. Nach oben drückt von außen her nur der Luftdruck. Demnach müßte das Wasser herauslaufen. Was geschieht tatsächlich?

37. Wir legen auf die Tischplatte ein Brettchen von 5 bis 6 mm Stärke, etwa 20 cm Breite und 60 cm Länge. Wir bringen dieses Brettchen am Tischrand so ins Gleichgewicht, daß es sich beim kleinsten Druck neigt oder hinunterfällt. Jetzt breiten wir über dem so aufgelegten Brettchen eine Zeitung aus. Schlagen wir nun kräftig auf das hervorstehende Ende des Brettchens mit der Faust, so erwartet man, daß es auf den Fußboden fällt. Die Erfahrung zeigt aber das Gegenteil: Das Brettchen verbleibt am Ort, als wäre es angenagelt (u. U. bricht es sogar). Woher kommt die Kraft, die das Brettchen an Ort und Stelle festhält?

38. Kann man am Grunde des Ozeans mit der Pistole schießen?

39. Am 4. Januar 1959, 5.55 Uhr Moskauer Zeit, hat die erste sowjetische kosmische Rakete, nachdem sie einen Weg von 370000 Kilometern zurückgelegt hatte, die Mondbahn gekreuzt und den interplanetaren Raum erreicht. Ihre Geschwindigkeit betrug zu diesem Zeitpunkt 2,2 km/s. Nach reichlich zwei Monaten hatte die Rakete 900000000 Kilometer zurückgelegt und die Erdbahn überschritten. Sie gelangte in den Raum zwischen Erde und Mars und wurde zu einem künstlichen Planeten, der mit einer Geschwindigkeit von 32 km/s auf seiner Bahn die Sonne umläuft. Woher stammt die zusätzliche Geschwindigkeit der Rakete?

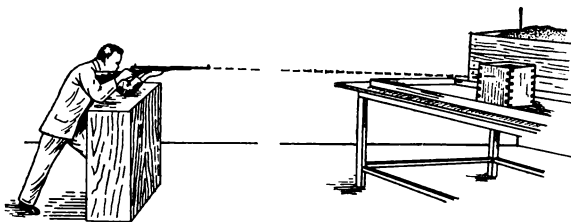


Abb. 12

40. Schießt man mit einem Karabiner durch ein hartgekochtes Ei (oder durch ein leeres Glasgefäß), so wird das Ei (oder das leere Gefäß) glatt durchschlagen, und das Geschosß hinterläßt

nur ein kleines Loch. Der restliche Teil des Eies (oder des Gefäßes) bleibt ganz. Schießt man jedoch auf ein rohes Ei oder ein mit Wasser gefülltes Glasgefäß – es genügt sogar eine abgedichtete Holzkiste – so zerspringt das Ei oder Gefäß in viele Stücke. – Man erkläre diesen Vorgang!

41. Das hydrostatische Paradoxon äußert sich darin, daß das Gewicht einer Flüssigkeit in einem Gefäß durchaus von dem Druck verschieden sein kann, den die Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes ausübt. So ist in Gefäßen, die oben weiter sind als unten, der Druck auf den Boden kleiner als das Gewicht der Flüssigkeit. In Gefäßen hingegen, die sich nach oben verengen, ist die entgegengesetzte Erscheinung zu beobachten. Im zylindrischen Gefäß sind beide Kräfte gleich. Gießt man die gleiche

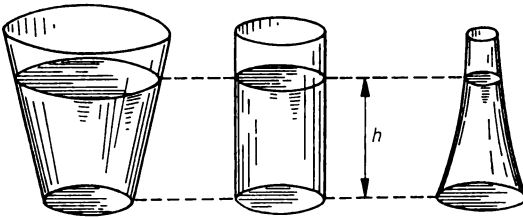


Abb. 13

Flüssigkeit in Gefäße verschiedener Form, jedoch gleicher Bodenfläche so ein, daß in sämtlichen Gefäßen der Flüssigkeitsstand gleich hoch ist (vgl. Abb. 13), so ist trotz des verschiedenen Gewichtes der Flüssigkeit der Druck auf den Boden der Gefäße derselbe, und zwar ist er gleich dem Gewicht des Wassers im zylindrischen Gefäß. Daraus ist zu entnehmen, daß der Druck in Flüssigkeiten dem Begriff des Gewichts widerspricht. Ist das wirklich der Fall?

42. Das hydrodynamische Paradoxon besteht darin, daß ein Kör-

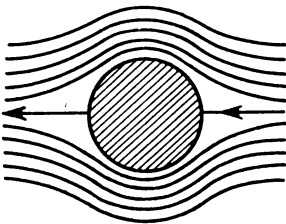


Abb. 14

per, der in einer Flüssigkeit ohne innere Reibung (ohne Zähigkeit) eine geradlinige gleichförmige Bewegung vollführt, keinen Widerstand in der Flüssigkeit findet (vgl. Abb. 14). In Flüssigkeiten, in denen innere Reibung vorhanden ist, kann ein derartiger Effekt selbstverständlich nicht auftreten.

Demnach dürfte ein Körper in einer Flüssigkeit ohne innere Reibung keinerlei Widerstand gegen eine Bewegung erleiden. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß bei hohen Geschwindigkeiten der Widerstand sogar in Gasen, deren Viskosität ja verschwindend gering ist, recht hohe Werte annehmen kann. Wie ist das zu erklären?

43. Aus einem Boot, das auf einem Teich schwimmt, wird ein Stein ins Wasser geworfen. Sinkt oder steigt dabei der Wasserspiegel?

44. Es hat sich herausgestellt, daß die Kraftwirkung die gleiche ist, wenn ein Körper in einem ruhenden Medium bewegt wird oder wenn sich das Medium mit der gleichen Geschwindigkeit gegen den ruhenden Körper bewegt. Bringt man jedoch eine Platte in einen Kanal (Abb. 15a), in dem das Wasser mit einer

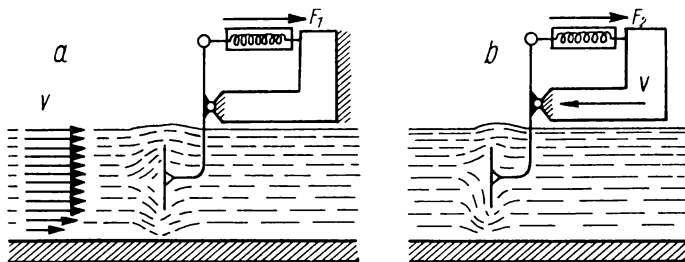


Abb. 15

bestimmten Geschwindigkeit  $v$  fließt, und mißt man den Widerstand  $F_1$ , den die Platte erzeugt, so ist die Widerstandskraft  $F_1$  größer als die Kraft  $F_2$ , die man benötigt, um die gleiche Platte mit der gleichen Geschwindigkeit  $v$  in demselben Kanal, jedoch bei ruhendem Wasser, zu bewegen (Abb. 15b). Diese experimentellen Ergebnisse stehen in deutlichem Widerspruch zu der oben gemachten Annahme. Was ist der Grund dafür?

45. Nimm einen Trichter und halte diesen in einer gewissen Entfernung von einer Kerzenflamme (vgl. Abb. 16). Blase nun mit aller Kraft gegen die Kerzenflamme: Diese wird dabei nicht einmal zucken. Bringt man den Trichter in unmittelbare Nähe

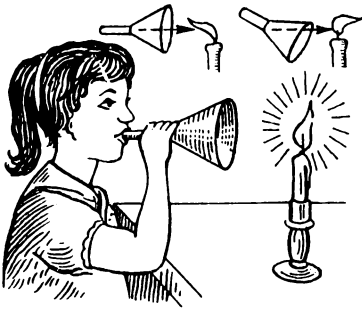


Abb. 16

der Kerzenflamme, so gelingt es trotzdem nicht, die Flamme auszublasen. Allerdings wird sich jetzt die Flamme in Richtung des Trichters neigen. Um die Flamme auszublasen, muß man den Trichter so halten, daß entweder der untere oder obere Rand der Trichteröffnung der Flamme genau gegenübersteht. Warum?

46. In den weiten Hals einer entsprechenden Flasche bringe man bei waagerechter Lage der Flasche einen leichten Korken (vgl. Abb. 17). Man möchte annehmen, daß es durch Blasen gegen den

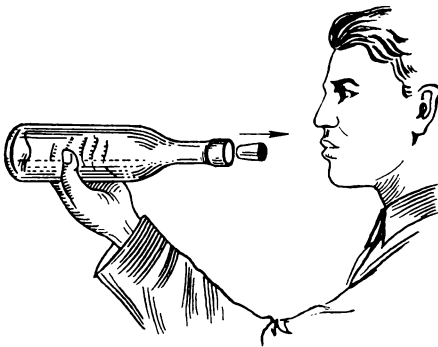


Abb. 17

Korken gelingen müsse, diesen in die Flasche zu bringen. In Wirklichkeit tritt aber genau das Gegenteil ein: Der Korken fliegt aus der Flasche heraus, und zwar um so schneller, je stärker man bläst. Wie läßt sich diese Erscheinung erklären?

47. Richtet man einen Luftstrahl durch ein Rohr, das senkrecht zu einer Platte steht (vgl. Abb. 18a), so wird der Luftstrahl,

nachdem er auf die widerstehende Platte stößt, auf diese einen Druck ausüben. Unter diesem Druck wird eine gefedert aufgehängte Platte um eine bestimmte Strecke in Richtung des Luftstromes bewegt. Nun verändern wir unsere Versuchsanordnung wie folgt: Wir nehmen zwei Platten, bohren in die eine hiervon ein Loch und führen durch dieses das Rohr hindurch. Die zweite Platte befestigen wir an dieser parallel so, daß der Abstand der beiden Platten veränderlich ist (vgl. Abb. 18b).

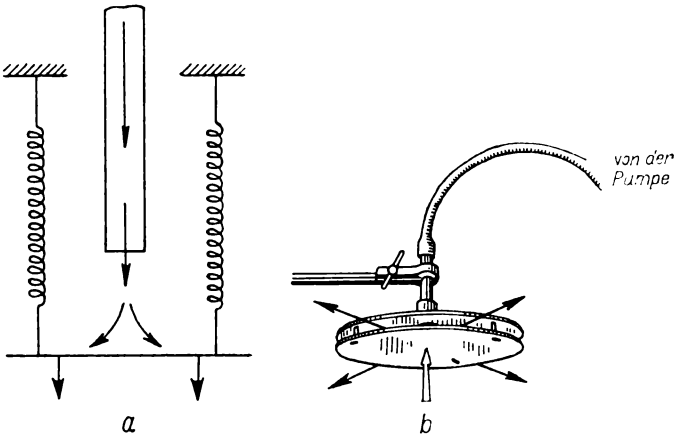


Abb. 18

Lassen wir nunmehr die Luft wieder durch das Rohr strömen, so wird die untere Platte, statt abgestoßen zu werden, im Gegenteil angezogen. Man benötigt erhebliche Kräfte, um die untere Platte wieder von der oberen zu entfernen. Man erhält auf diese Weise das folgende paradoxe Ergebnis: Befinden sich die Platten in großem Abstand voneinander, so wird die untere von der oberen abgestoßen. Sind hingegen die Platten nahe beieinander gelegen, so benötigt man eine erhebliche Kraft, um die Platten voneinander zu trennen. Man deute diese Erscheinung!

48. Wirft man einen Zylinder von 30 bis 35 N Gewicht horizontal, so wird er von seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung durch die Schwerkraft abgelenkt (Abb. 19a, gestrichelte Linie). Verleiht man im Augenblick des Abwurfes dem Zylinder eine Drehbewegung entgegen dem Uhrzeigersinn (Abb. 19b), so wird der Zylinder, wie verwunderlich dies auch erscheinen mag,

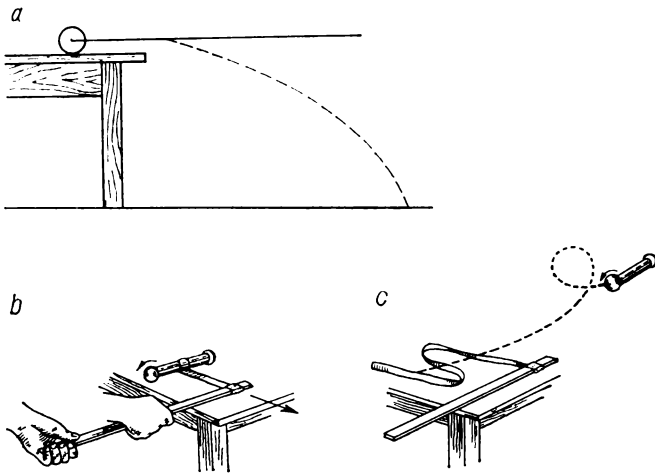


Abb. 19

gegenüber seiner ursprünglichen Flugbahn nach oben abgelenkt (Abb. 19c, gestrichelte Linie).

Warum weicht der rotierende Zylinder von seiner ursprünglichen Flugbahn nach oben ab?

49. Zwei gleich große Bechergläser sind bis zum Rand mit Wasser gefüllt, wobei in einem ein Stück Holz schwimmt. Was ist über das Gewicht der gefüllten Gläser zu sagen?

50. Warum fliegt nach Abschuß aus einem Gewehr das Geschoß mit hoher Geschwindigkeit, während Gewehr und Schütze nur einen verhältnismäßig geringen Rückstoß verspüren?

## Molekularphysik

51. Befindet sich am Fenster eines Zimmers ein Spalt, so tritt an diesem ein starker Luftzug auf. Im Winter spüren wir aber, wie es von einem Fenster zieht, dessen Rahmen so gut abgedichtet ist, daß die äußere Luft nicht durch irgendeinen Spalt eindringen kann. Warum zieht es dennoch am völlig geschlossenen Fenster?

52. Eine angezündete Flamme müßte stets sofort von selbst ausgehen, da die Verbrennungsprodukte aus Kohlendioxid und Wasserdampf bestehen, die weder selbst brennen noch die Verbrennung unterhalten. Die Flamme ist daher von Anfang an von unbrennbaren Stoffen eingehüllt, die den Zustrom der Luft fernhalten. Ohne Luft kann aber die Verbrennung nicht andauern, und die Flamme müßte ausgehen. Die Erfahrung überzeugt uns aber vom Gegenteil; warum?

53. Bekanntlich ist der Bodendruck in Gefäßen verschiedener Form, jedoch gleicher Bodenfläche der gleiche, wenn diese Gefäße mit derselben Flüssigkeit bis zur selben Höhe gefüllt sind (vgl. die Abb. 13 zu Frage 41). Wird die Flüssigkeit in einem Gefäß erwärmt, so nimmt ihre Dichte ab. Offenbar muß mit der abnehmenden Dichte auch der Bodendruck geringer werden. Warum ist diese Behauptung, die das Experiment zeigt, nur für Gefäße richtig, die oben weiter sind als unten?

54. Das Wasser gefriert bei einer Temperatur von  $0^{\circ}\text{C}$ . Die Umwandlung von Eis in Wasser erfolgt bei derselben Temperatur. Bringt man daher in ein Gefäß, das Wasser von  $0^{\circ}\text{C}$  enthält, ein Stück Eis von der gleichen Temperatur, so müßte entweder das Wasser gefrieren oder das Eis schmelzen. In Wirklichkeit erfolgt weder das eine noch das andere. Warum?

55. Wie bringt man Wasser zum Sieden, ohne es zu erwärmen?

56. Bekanntlich ist Sand etwa dreimal so schwer wie Wasser. Warum erzeugt dann ein verhältnismäßig schwacher Wind in der Wüste Sandwolken, die aus schweren Sandkörnern bestehen, während ein starker Orkan über dem Meer nur ganz geringe Mengen an Wasserspritzern hochtreibt?

57. Läßt man in ein Gefäß, in dem man vorher Wasser zum Sieden gebracht hat, nach dessen Entleerung einige Tröpfchen kalten Wassers fallen, so werden diese rasch verdampfen. Nun

erhitze man eine gut wärmeleitende Metallschale, deren Innenseite auf Hochglanz poliert ist, auf Rotglut. Man ist geneigt anzunehmen, daß in einer solchen Schale die Tropfen noch viel rascher unter Zischen verdampfen werden. Zu unserer Überraschung müssen wir aber feststellen, daß das Wasser, statt sofort zu verdampfen, in der Schale in Form einer flachgedrückten

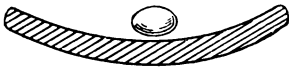


Abb. 20

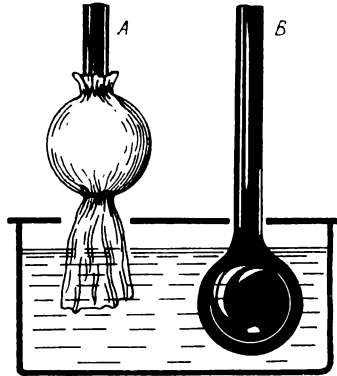


Abb. 21

Kugel (vgl. Abb. 20) mehrere Minuten liegen bleibt, um schließlich langsam zu verdampfen. Wie erklärt sich das?

58. Bekanntlich ist die Wärmeleitfähigkeit der Metalle erheblich höher als die des Glases. Warum werden dann Kalorimeter aus Metall und nicht aus Glas angefertigt?

59. Beim Fluten einer Talsperre wurden auch Reste von Steingebäuden mit überschwemmt. Warum ist das Eis über solchen Gebäuden weniger fest als an anderen Stellen der Talsperre?

60. Der russische Physiker Richmann wollte die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Metalle vergleichen und erhitze zu diesem Zwecke Metallkugeln gleicher Größe auf die gleiche Temperatur, um dann zu beobachten, wie rasch sich diese Kugeln abkühlten. Am raschesten kühlte sich die Bleikugel ab. Kann man hieraus schließen, daß das Blei eine höhere Wärmeleitfähigkeit besitzt als die anderen Metalle?

61. Bei windstillem Wetter verträgt man den Frost besser als bei starkem Wind. Der Wind erhöht die Ausdunstung der Haut und kühlt sie ab. Demnach müßte auch in einer Wüste bei großer Hitze der Wind Abkühlung bringen. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß in heißen Wüsten die Menschen bei Wind viel mehr unter der Hitze zu leiden haben. Warum?

62. Die Temperatur eines Gegenstandes, der in kaltes Wasser getaucht ist, müßte allem Anschein nach die gleiche sein wie die eines Gegenstandes, der von Wasser der gleichen Temperatur nur befeuchtet wird. In der Abb. 21 sind zwei Thermometer wiedergegeben, von denen das eine ins Wasser eintaucht, das andere sich aber über dem Wasser befindet, jedoch dadurch feucht gehalten wird, daß die Thermometerkugel mit Mull umwickelt ist, der seinerseits ins Wasser getaucht ist.

Warum zeigt das ins Wasser getauchte Thermometer stets eine höhere Temperatur an?

63. Warum wird der Wasserdampf in den Lokomotivkesseln überhitzt?

64. Bei beginnendem Frost gefriert feuchter Boden nicht so tief wie trockener. Woran liegt das?

65. Der Kohäsionsdruck (Binnendruck) des Wassers beträgt 11 000 atm. Warum spüren wir nichts von diesem riesigen Druck, wenn wir uns unter Wasser befinden? ( $1 \text{ atm} = 101325 \text{ N/m}^2$ .)

66. Kann man auf dem Mars Eier hart kochen?

67. Bei Frost unter  $-10^\circ \text{C}$  schmilzt das Eis unter dem Druck einer Schlittschuhkufe nicht mehr. Trotzdem gleitet der Schlittschuhläufer auf einem äußerst dünnen Wasserfilm. Warum?

68. Man gieße in eine Schüssel Wasser und werfe auf das Wasser 8 bis 10 halbe Streichhölzer. Nun nehme man ein Stückchen Zucker und berühre damit die Wasseroberfläche (vgl. Abb. 22).

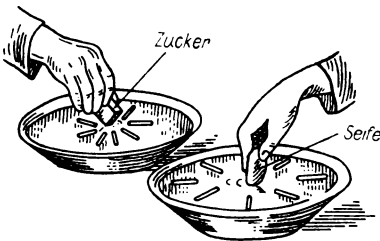


Abb. 22

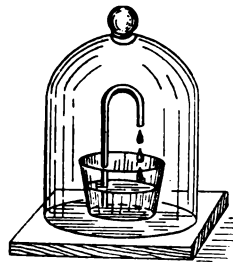


Abb. 23

Sämtliche Streichholzstücke werden sich dann um den Zucker versammeln. Dann mache man folgenden Versuch. Man tauche in das Wasser ein Stückchen Seife, und sofort schwimmen die Streichholzstückchen davon. Wie ist dies zu erklären?

69. Der Kapillardruck spielt eine äußerst große Rolle in der Natur, in der Landwirtschaft, im Haushalt und in der wissen-

schaftlichen Forschung. Er wird hauptsächlich dadurch hervorgerufen, daß durch die Wirkung der Oberflächenspannung der Druck im Innern einer Flüssigkeit um einen gewissen Betrag von dem äußeren Druck des Gases oder des Dampfes über der Flüssigkeitsoberfläche abweichen kann. Unter Anwendung der Kapillarität kann man ein perpetuum mobile konstruieren. Bringt man in ein Gefäß mit Wasser eine hinreichend enge, gebogene Kapillarröhre, so wird das Wasser zunächst durch die Kapillarität bis zum Knie hochsteigen und dann durch die Schwerkraft im absteigenden Ast der Röhre hinunterlaufen und in das Gefäß zurücktropfen. Um ein Verdunsten des Wassers zu verhindern, bringen wir die gesamte Vorrichtung unter eine Glocke (vgl. Abb. 23). Der beschriebene Prozeß könnte unbestimmte Zeit andauern. Die Energie der herabfallenden Flüssigkeit könnte man benutzen, um eine kleine Turbine anzutreiben. Wo liegt in unserer Überlegung der Fehler?

70. Stimmt die Schmelztemperatur stets mit der Erstarrungstemperatur desselben Stoffes überein?

71. Warum kann eine Kugel, die aus einem Einkristall gedreht ist, beim Erwärmen nicht nur ihr Volumen, sondern auch ihre Form ändern?

72. Warum zerspringt ein Kochsalzkristall durch einen Hammerschlag in Stücke, die zwar verschieden groß sind, jedoch stets eine quaderförmige Gestalt haben?

73. Ein amorpher Körper ist ebenso wie eine Flüssigkeit isotrop, d. h., seine Eigenschaften sind in allen Richtungen die gleichen. Im Gegensatz zu den amorphen Körpern sind die Kristalle anisotrop, d. h., ihre physikalischen Eigenschaften (mechanische, thermische, elektrische, magnetische, optische u. a.) sind je nach Richtung verschieden. Ein erstarrtes Metall stellt ein System aus sehr vielen aneinandergehefteten kleinen Kristallen dar. Besagt dies, daß die Eigenschaften eines solchen polykristallinen Körpers in allen Richtungen verschieden sind?

74. Warum sind Metalle mit feinkörniger Struktur fester als solche mit grobkörniger?

75. Der englische Physiker Maxwell stellte folgende Überlegung an: In der Zimmerluft befinden sich bei beliebiger Temperatur sowohl schnelle als auch langsame Moleküle. (In der Abb. 24 bedeuten Kugeln verschiedener Größe Moleküle verschiedener Gase, bei den schnellen Molekülen sind die Flügel nach hinten geklappt, bei den langsamen ausgebreitet.) In das Zimmer werde nun eine Trennwand eingezogen, in der sich eine kleine Tür befindet. An dieser Tür stehe ein Roboter als Pförtner, der schnelle

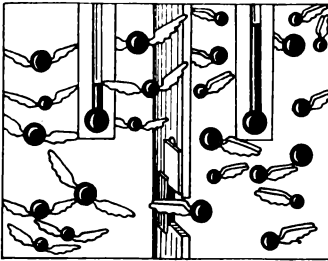


Abb. 24

und langsame Moleküle unterscheiden kann. Der Roboter hat den Auftrag, die Tür zu öffnen, sobald sich dieser von der einen Seite her ein schnelles Molekül nähert, während er den langsamen Molekülen den Weg zu versperren hat. Nach einer gewissen Zeit werden in dem einen Zimmerteil nur schnelle, in dem anderen nur langsame Moleküle vorhanden sein. Auf beiden Seiten der Trennwand werden demnach verschiedene Temperaturen herrschen. Ein Temperaturgefälle kann man aber ausnutzen, um mechanische Arbeit zu verrichten. Durch die beschriebene Vorrichtung kann man demnach ein perpetuum mobile konstruieren. Wie steht diese Überlegung mit der Wirklichkeit in Einklang?

## Elektrizität

76. Die Oberfläche einer Gummibläse, die wir auf eine isolierende Unterlage gelegt haben, überziehen wir mit einer leitenden Schicht einer Seifenlösung. Verbinden wir nun, nachdem wir die Blase elektrisch aufgeladen haben, diese mit einem Elektrometer, so wird der Zeiger ausschlagen. Vergrößern wir nun

das Volumen der Kugel, so werden wir feststellen, daß der Ausschlag des Zeigers abnimmt, obwohl sich die Ladung der Blase nicht ändert. Folgt aus diesen Überlegungen, daß das Potential eines Leiters, der mit der gleichen Elektrizitätsmenge aufgeladen ist, verschiedene Werte annehmen kann?

77. Der Gleichstrom in einem Leiter stellt eine gerichtete Bewegung freier Elektronen dar.

Der elektrische Strom breitet sich durch einen Leiter mit einer Geschwindigkeit aus, die praktisch der Lichtgeschwindigkeit gleich ist. Besagt das, daß sich die freien Elektronen in den Leitern mit Lichtgeschwindigkeit bewegen? Wäre das in Wirklichkeit der Fall, so müßte die Bewegung der Elektronen, die auf ihrem Wege mit anderen Elektronen zusammenstoßen, unweigerlich zu einer sehr raschen Erwärmung der Drähte der elektrischen Fernleitungen – überhaupt aller Leitungen – führen.

78. Bei Leitern mit konstantem Querschnitt ist der elektrische Widerstand  $R$  der Länge des Leiters  $l$  direkt und seinem Querschnitt  $F$  umgekehrt proportional, so daß

$$R = \sigma \frac{l}{F}$$

gilt, wobei  $\sigma$  den spezifischen Widerstand des leitenden Materials bedeutet. Würden wir daher die riesigen Elektroden einer Batterie ins Meer versenken, so müßten wir einen verschwindend geringen Widerstand erhalten, da wir in diesem Falle einen Leiter mit sehr großem Querschnitt haben. Infolgedessen müßte sich die Verlegung der teuren Unterwasserkabel für die telegraphische Überseeverbindung als überflüssig erweisen. Ist eine derartige Überlegung richtig?

79. Wodurch ist es zu erklären, daß die Sicherungen in einem Rundfunkempfänger häufig beim Einschalten durchbrennen?

80. Warum ist bei Kurzschluß die Spannung an den Klemmen der Stromquelle nahezu gleich Null, wo doch die Stromstärke im Kreis ihren größten Wert erreicht?

81. Ist die Arbeit, die eine Stromquelle im inneren Teil eines Stromkreises verrichtet, für eine gegebene Stromquelle eine konstante Größe? Man begründe die Antwort.

82. Aus dem Ohmschen Gesetz für ein Leiterstück,

$$I = \frac{U}{R}, \tag{1}$$

folgt, daß mit Erhöhung der Spannung  $U$  der Strom  $I$  im Stromkreis zunimmt ( $R = \text{const}$ ). Der Widerstand  $R$  kann nie negativ sein.

Die Besonderheit in der Wirkungsweise einer Dynatronverstärkerröhre mit vier Elektroden besteht darin, daß bei Erhöhung der Anodenspannung der Anodenstrom nicht, wie das nach dem Ohmschen Gesetz der Fall sein müßte, zunimmt, sondern im Gegenteil geschwächt wird. Dieses Ergebnis ist ein Kennzeichen dafür, daß der Widerstand im Stromkreis negativ ist. Wie verträgt sich diese Erscheinung mit dem Ohmschen Gesetz?

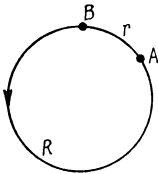


Abb. 25

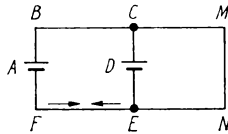


Abb. 26

83. Durch einen ringförmigen Leiter (vgl. Abb. 25) möge ein Induktionsstrom fließen. Der Widerstand des kleineren Teiles des Ringleiters zwischen den Punkten A und B sei bekannt und gleich  $r$ , der Widerstand im größeren Teil zwischen den gleichen Punkten sei  $R$ . Der Spannungsabfall im kleineren Teil des Leiters in der Richtung von A nach B, d.h. in der angegebenen Stromrichtung, sei im betrachteten Zeitpunkt gleich  $U$ . Unter diesen Bedingungen hat der Strom auf der Strecke zwischen A und B nach dem Ohmschen Gesetz den Wert

$$I = \frac{U}{r}. \quad (2)$$

Da der Strom in sämtlichen Querschnitten des Leiters die gleiche Stärke aufweisen muß und der Spannungsabfall zwischen den beiden Punkten auf dem großen Abschnitt in der Richtung von B nach A ebenfalls den Wert  $U$ , jedoch das umgekehrte Vorzeichen hat, gilt für den Strom auf diesem Abschnitt

$$I = -\frac{U}{R}.$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) folgt nun

$$r = -R.$$

Wo steckt hier der Fehler?

84. Die elektrischen Glühlampen in Straßenbahnwagen sind z. B. für eine Spannung von 120 V ausgelegt. Woher entnimmt man die zum Betrieb dieser Glühlampen erforderliche Spannung (Gleichstrom läßt sich ja nicht transformieren), wenn die Spannung in der Oberleitung der Straßenbahn 600 V beträgt?

85. Wenn an den Stromkreis *ABCDEF*A gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Spannungen angelegt werden, so fließt im Stromkreis überhaupt kein Strom (vgl. Abb. 26). Ebenso kann man unabhängig von irgendwelchen Stromverzweigungsgesetzen als selbstverständlich annehmen, daß bei Stromlosigkeit des Hauptkreises *ABCDEF*A auch in seiner Abzweigung *DCMNED* kein Strom fließt.

Andererseits wird aber die Parallelschaltung von Elementen zu einer Batterie gemäß der in der Abbildung angegebenen Schaltung vorgenommen. Auf Grund des oben Gesagten kann man daher annehmen, daß bei Parallelschaltung von Elementen kein Strom entnommen werden kann. Das stimmt jedoch nicht mit der Wirklichkeit überein.

86. Nach dem Jouleschen Gesetz gilt

$$Q = I^2 R t \quad \text{und} \quad Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Sollen beide Formeln richtig sein, so kommt man zu einem Widerspruch: Die Wärmemenge, die in einem Leiter bei Stromdurchgang erzeugt wird, ist dem Widerstand des Leiters sowohl direkt als auch umgekehrt proportional. Ist dies wirklich der Fall?

87. Um einen Teil der Energie eines elektrischen Stromes in Wärme umzuwandeln, muß dieser auf seinem Wege auf irgendeinen Widerstand stoßen. Zwischen der Kathode und der Anode irgendeiner Röhre wird keine Wärme abgegeben, da der Widerstand hier gleich Null ist (die Bewegung der Elektronen erfolgt stoßfrei). Der Anodenstrom fließt zweifellos durch die Anode, die einen bestimmten elektrischen Widerstand aufweist. Der Anodenstrom der Röhre eines Rundfunkempfängers habe etwa die Stärke von 0,05 A, während  $R = 0,02 \Omega$  ist. Aus dem Jouleschen Gesetz

$$Q = I^2 R t$$

folgt (unter Berücksichtigung der Umrechnung von Wattsekunden in Kalorien), daß an der Anode im Laufe eines Tages etwa die Wärmemenge ausgeschieden wird, die erforderlich ist, um  $1 \text{ cm}^3$  Wasser um  $1 \text{ grd}$  zu erwärmen. Unter diesen Umständen

dürfte es offensichtlich sein, daß die Anode überhaupt nicht erwärmt wird; in Wirklichkeit erwärmt sie sich jedoch mitunter sogar bis zur Rotglut. Warum?

88. Schaltet man in einer Wohnung einen starken Stromverbraucher ein (z. B. eine Kochplatte), so leuchten die Glühlampen im Augenblick des Einschaltens schwächer, dann aber wieder etwas stärker. Man erkläre die beobachtete Erscheinung.

Was würden wir beobachten, wenn an Stelle einer Kochplatte ein Widerstand aus Kohlefadenlampen eingeschaltet worden wäre?

89. Bekanntlich zieht ein Elektromagnet Eisengegenstände an. Nur ein Pol eines solchen Magneten zeigt eine schwächere Wirkung als beide. Daher muß man bei der Herstellung eines Elektromagneten auf einen geraden Stab zwei Spulen aufsetzen. Um beide Pole ausnutzen zu können, geben wir dem Elektromagneten anschließend eine Hufeisenform (vgl. Abb. 27). Es kann aber eintreten, daß ein derartiger Elektromagnet bei Beschickung mit Gleichstrom einen Eisenstab, der beide Pole berührt, nicht anzieht. Demnach zieht ein Pol Eisenstückchen an, zwei Pole hingegen nicht. Woher kommt das?

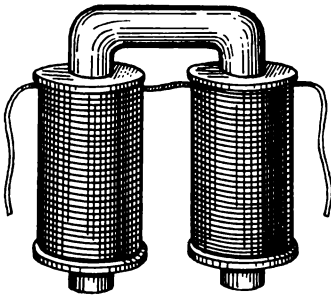


Abb. 27

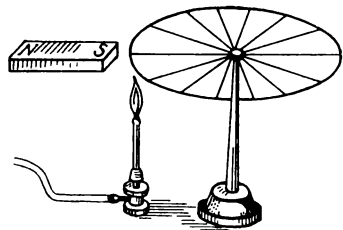


Abb. 28

90. Ein Speichenrad aus dünnem Eisendraht sei so befestigt, daß es sich in einer waagerechten Ebene mit äußerst geringer Reibung drehen kann (vgl. Abb. 28). In einer Entfernung von 1 bis 1,5 cm vom Umfang des Rades bringen wir einen Magneten an. Das eiserne Rad wird zwar vom Magneten angezogen, dreht sich jedoch nicht. Setzt man unter den Reifen des Rades einen Bunsenbrenner, und zwar gegenüber dem einen Magnetende, so wird sich die aufgenommene Wärme gleichmäßig über den gesamten Umfang des Rades verteilen. Das Rad müßte also nach wie vor

unbeweglich bleiben, da der Magnet gleich erwärmte Teile des Rades gleich stark anzieht. In Wirklichkeit beginnt sich das Rad zu drehen. Wo steckt in unserer Überlegung der Fehler?

91. Wie stellt man fest, ob in einem elektrischen Netz Wechselstrom oder Gleichstrom fließt, wenn man kein geeignetes elektrisches Gerät zur Verfügung hat?

92. Durch einen Papierkondensator geht Gleichstrom nicht hindurch. Schließt man über einen Kondensator eine Lampe an Wechselstrom an, so leuchtet diese. Ersetzt man jetzt im Kondensator das Papier durch ein besseres Dielektrikum, etwa durch Glas oder Porzellan gleicher Stärke, so brennt das Lämpchen heller. Bedeutet das, daß der Wechselstrom um so besser durch einen Kondensator hindurchgeht, je besser sein Dielektrikum isoliert?

93. Nach dem Coulombschen Gesetz ist die Wechselwirkung zwischen zwei elektrischen Ladungen im Wasser geringer als in der Luft. Man könnte meinen, daß dieser Umstand zur Konstruktion eines „perpetuum mobile“ ausgenutzt werden könnte, wenn man wie folgt verfährt: Zwei ungleichnamige Ladungen werden in den Punkten  $a$  und  $b$  (vgl. Abb. 29) angebracht. Nun braucht man sie nur noch in der Luft einander zu nähern, ins Wasser zu senken, dort auseinander zu ziehen, dann wieder in die alte Lage in der Luft zu heben und diesen Vorgang laufend zu wiederholen. Dabei ist die beim Annähern gewonnene Arbeit größer als die beim Auseinanderziehen aufgewendete, da die Wechselwirkungskräfte in der Luft größer sind als im Wasser. Man weise den Fehler der Überlegung nach.

94. Wir wollen annehmen, daß in unserer Nähe eine Hochspannungsleitung gerissen ist und den Erdboden berührt. Im gleichen Augenblick wird von dem Punkt, in dem der gerissene Draht auf die Erde aufgeschlagen ist, nach allen Richtungen ein starker

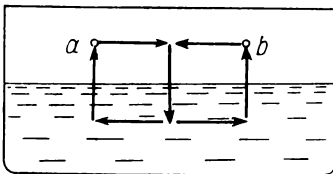


Abb. 29

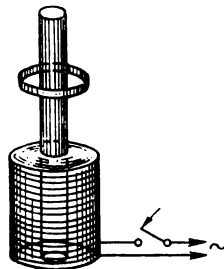


Abb. 30

elektrischer Strom zu fließen beginnen. Wann ist die Gefahr für uns geringer, bei feuchtem oder bei trockenem Erdboden? Man dürfte annehmen, daß wir uns bei trockenem Boden in geringerer Gefahr befinden, da der feuchte Boden den Strom besser leitet. In Wirklichkeit ist das Umgekehrte der Fall.

95. Wir stellen uns einen Transformator auf folgende Weise her: Auf einen Eisenkern mit Spule, die die Rolle der Primärwicklung spielt, setzen wir an Stelle der Sekundärwicklung einen Kupfer- oder Aluminiumring auf und schließen nun die Primärwicklung über einen Widerstand an das Wechselstromnetz an (vgl. Abb. 30). Wir halten den Ring dabei mit der Hand fest, damit er nicht davonfliegt, und müssen feststellen, daß er sich stark erwärmt. Offenbar entsteht um den Eisenkern bei Speisung der Spule mit Wechselstrom ein magnetisches Wechselfeld, das einen Induktionsstrom im Ring hervorruft. Der durch die Wicklungen der Primärspule hindurchgehende Strom reicht jedoch nicht aus, um diese zu erwärmen. Wieso erwärmt sich dann der Ring so stark, wo er doch wesentlich dicker ist als die Wicklung der Primärspule?

96. Schließt man eine elektrische Klingel an eine Taschenlampenbatterie an und berührt dann mit den Fingern die blankgemachten Anschlußklemmen der Klingel, so spürt man in den Händen elektrische Schläge. Wie kommt das, wenn man bedenkt, daß bei Berührung der beiden Pole der Taschenlampenbatterie von derartigen elektrischen Schlägen nichts zu spüren ist?

97. Der elektrische Strom ist eine gerichtete Bewegung elektrischer Ladungen; die Drähte, die zur Herstellung von Spulen verwendet werden, müssen einen möglichst geringen Widerstand aufweisen: Je geringer der Widerstand, um so weniger werden die Schwingungen in einem elektrischen Schwingkreis gedämpft. Außerdem gibt es aber Schwingkreisspulen, die aus einer mit einer dünnen Silberschicht überzogenen Glasröhre bestehen. Der Widerstand eines Glasstäbchens ist außerordentlich hoch. Wie lassen sich die beiden einander widersprechenden Aussagen in Einklang bringen?

98. Bekanntlich ist die Schärfe des Schattens, den ein undurchsichtiger Gegenstand auf einen Schirm wirft, nur von der gegenseitigen Lage von Lichtquelle, Gegenstand und Schirm abhängig. Als schattenwerfenden Gegenstand verwenden wir jetzt eine Gabel. Wie kommt es, daß bei senkrechter Stellung von Gabel und Schirm (vgl. Abb. 31) die Zinken der Gabel im Schattenbild völlig scharf durchgezeichnet sind, während bei waagerechter Lage von Gabel und Schirm der Schatten auf dem Schirm so stark verwaschen erscheint, daß man die einzelnen Zinken nicht mehr unterscheiden kann?

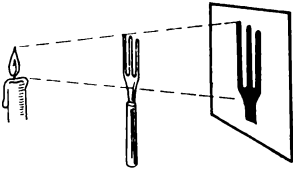


Abb. 31

99. Die Schatten der Telegrafmasten sind am Morgen und am Abend länger als gegen Mittag. Verändern sich auch die Schattenbilder der Telegrafendrähte im Laufe eines Tages?

100. Bringt man einen verhältnismäßig kleinen dunklen Gegenstand sehr dicht an einen ebenen Spiegel heran, so sieht man darin zwei Abbildungen des Gegenstandes. Allerdings erscheint dabei das eine der beiden Bilder weniger scharf. Wie kommt diese Erscheinung zustande?

101. Warum erscheinen die Spiegelbilder von Himmel, Wolken und Bäumen im Wasser stets dunkler, als es die Gegenstände in Wirklichkeit sind?

102. Warum werden die Schutzanzüge der Gießereiarbeiter manchmal mit einer dünnen Metallfolie überzogen?

103. Ein paralleles Strahlenbündel wird nach dem Durchgang durch eine Bikonkavlinse divergent. Infolgedessen ist es unmöglich, mit einer derartigen Linse ein reelles Bild zu erzeugen. Gibt es eine Bedingung, unter der eine Bikonkavlinse ein reelles

Bild erzeugen kann? Um welche Bedingung handelt es sich hierbei?

104. Bekanntlich breitet sich das Licht geradlinig aus. Es gibt allerdings Medien, in denen das Licht einen gekrümmten Weg nimmt. Wo sind derartige Erscheinungen zu beobachten?

105. Bekanntlich breitet sich die Wärme durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung aus. Doch auch ein Stück Eis kühlt seine Umgebung ab, ebenso wie ein Ofen um sich herum Wärme erzeugt. Bringt man nun an zwei gegenüberliegenden Wänden eines langen Saales große Hohlspiegel an und bringt in den Brennpunkt des einen ein Stück Eis, so zeigt ein Thermometer, das im Brennpunkt des anderen Hohlspiegels untergebracht ist, Kälte an. Folgt hieraus, daß kalte Körper die Kälte in der gleichen Weise ausstrahlen, wie warme Körper die Wärme abgeben?

106. Blickt man durch ein sauberes, leicht durchschimmerndes Gewebe auf das Licht einer entfernten Laterne, so sieht man eine Menge heller Fleckchen, die in einer wohlbestimmten Anordnung gruppiert sind. Zieht man das Gewebe stark auseinander oder neigt man es gegen die Blickrichtung, so ändern die Lichtflecken ihre Lage. Woher kommt das?

107. Papier und Stearin sind nahezu undurchsichtige Stoffe. Läßt man aber Stearin auf Papier tropfen, so erhält man bekanntlich einen durchscheinenden Fleck. Somit hat das undurchsichtige Stearin durch Ausfüllen der Poren des undurchsichtigen Papiers dieses durchsichtig gemacht. Wie kommt das?

108. Warum haben die Scheiben der Autoscheinwerfer auf der Innenseite eine geriffelte Oberfläche?

109. Warum kann man mit Hilfe eines Teleskops Sterne auch am Tage beobachten?

110. Man müßte annehmen, daß eine Lupe sämtliche Gegenstände „vergrößert“. Es gibt aber Gegenstände, die von einer Lupe nicht vergrößert werden. Um welche Dinge handelt es sich hier?

111. Warum schützen Brillen mit dunklen Gläsern die Augen des Elektroschweißers vor der schädlichen Wirkung der Strahlung des elektrischen Lichtbogens?

112. Warum wird die dem Flugzeugführer zugekehrte Seite der Luftschraubenblätter schwarz gestrichen?

113. Bei der Konstruktion verschiedener optischer Geräte wird oft die Frage nach der größtmöglichen Konzentration von Licht- oder Wärmeenergie gestellt. Als Beispiel für ein derartiges System kann der reflektierende Kegel (vgl. Abb. 32) dienen, des-

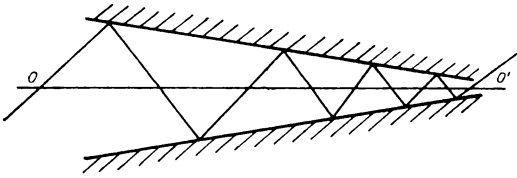


Abb. 32

sen Symmetrieachse  $OO'$  zugleich optische Achse des Systems ist. Ein Strahlenbündel, das durch die Grundfläche des Kegels  $O$ , dessen Innenfläche als ideal reflektierend angenommen sei, einfällt, wird nach mehrfachen Reflexionen früher oder später durch die Öffnung  $O'$  austreten, wobei diese beliebig klein sein kann. So mag es uns zumindest auf den ersten Blick erscheinen; ist das zutreffend?

114. Offensichtlich vertauscht ein Spiegel links und rechts. Warum vertauscht er nicht auch oben und unten?

115. Bekanntlich schneiden sich im Brennpunkt einer Sammellinse alle parallel einfallenden Strahlen; sie vermögen dort unter Umständen eine beträchtliche Wärmeentwicklung zu erzeugen („Brennpunkt“). Bedeutet dies, daß man einen im Brennpunkt befindlichen Körper, z. B. unter Benutzung der Sonne als Lichtquelle, beliebig hoch erhitzen kann?

116. In welcher Farbe erscheint der Himmel einem Beobachter auf dem Mond?

117. Man nehme in die linke Hand ein aus Papier zusammengerolltes Röhrchen, halte dieses vor das linke Auge und blicke durch dieses Röhrchen auf einen entfernten beleuchteten Gegenstand, z. B. auf ein Bild an der gegenüberliegenden Wand. Nun halte man die Handfläche der rechten Hand vor dem rechten Auge so, daß der linke Rand der Handfläche die Wandung des Röhrchens berührt. Beide Hände müssen einen Abstand von etwa 15 bis 20 cm vom Auge haben.

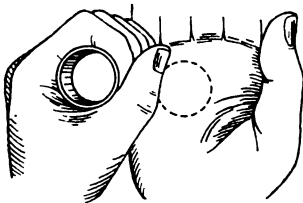


Abb. 33

Man sollte annehmen, daß es unter diesen Umständen Schwierigkeiten bereitet, irgend etwas mit dem rechten Auge zu sehen. Der erstaunte Beobachter wird aber feststellen, daß er durch eine Öffnung in der rechten Hand blickt und dabei das erwähnte Bild sieht. Die besagte Öffnung befindet sich etwa an der Stelle, an der in der Abb. 33 ein gestrichelter Kreis eingezeichnet ist. Man erkläre diese Erscheinung!

118. Bekanntlich erhält man beim Mischen blauer und gelber Farbe Grün. Demnach müßten wir, wenn wir ein Strahlenbündel des Tageslichts erst durch eine gelbe und dann durch eine blaue Scheibe hindurchtreten lassen, alles in grüner Farbe sehen. Die Erfahrung zeigt aber, daß man nach diesem Verfahren nur völlige Dunkelheit erhält. Besagt diese Beobachtung, daß die Regel der Farbmischung falsch ist?

119. Man nehme vom Bücherregal ein Buch, dessen Einband eine grelle Farbe, etwa Hellrot, hat. Besitzt der Einband einen Aufdruck, so wähle man irgendeinen Punkt, in dem sich zwei Linien schneiden. Falls ein Aufdruck nicht vorhanden ist, so bringe man auf dem Einband ein kleines Zeichen an. Nun halte man den Kopf und das Buch unbeweglich fest und fixiere mit den Augen den gewählten Punkt etwa eine halbe bis eine Minute lang. Während dieser Zeit darf man seine Augen nicht von dem gekennzeichneten Punkt abwenden und auf irgend etwas anderes schauen. Dieses Bestreben, die gleiche Blickrichtung beizubehalten, widerspricht unserer natürlichen Neigung und erfordert Willenskraft. Nach Verstreichen der genannten Zeit blicke man auf eine glatte weiße Fläche. Statt wie vermutet diese zu erblicken, sieht man das Bild des Buches, jedoch in einer anderen Farbe. Warum?

120. Erhitzt man über einer Spiritusflamme eine Kupferplatte, so läuft deren Oberfläche in verschiedenen Farben an. Woher kommt das?

121. Wodurch erklärt sich das regenbogenfarbige Schillern der Glanzlichter auf einer neuen Schallplatte, wenn man diese im reflektierten Licht betrachtet?

# Antworten

## Mechanik

1. In der äußerst dünnen Marsatmosphäre würden die Wassertropfen wegen des beträchtlich geringeren Luftwiderstandes eine Endgeschwindigkeit erreichen, die um ein Vielfaches die auf der Erde – wegen der dort herrschenden dichteren Atmosphäre und des entsprechend größeren Luftwiderstandes – übersteigt (auf der Erde erreicht die Fallgeschwindigkeit der Wassertropfen lediglich einen Wert von 10 bis 12 m/s). Bei dieser Geschwindigkeit hätten die Wassertropfen eine beträchtliche kinetische Energie und würden daher einen stoffbespannten Regenschirm u. U. leicht durchschlagen. (In Wirklichkeit weist die Marsatmosphäre jedoch nur einen sehr geringen Feuchtigkeitsgehalt auf, weshalb dort keine starken Regenfälle auftreten können.)

2. Ein Körper, der unter dem Abwurfwinkel  $\alpha$ , von der Waagerechten aus gemessen, mit der Geschwindigkeit  $v_0$  abgeworfen wird, durchfliegt die Strecke  $S = (v_0^2/g) \sin 2\alpha$ , wobei  $g$  die Fallbeschleunigung an der Stelle des Wurfes ist. In Prag hat  $g$  den Wert  $9,809 \text{ m/s}^2$ , in Rostock hingegen den Wert  $9,817 \text{ m/s}^2$ . Der Sportler, der in Prag  $57,93 \text{ m}$  weit wirft, würde daher in Rostock bei gleicher Leistung den Diskus nur  $57,88 \text{ m}$  weit werfen. Die oben angegebene Formel liefert allerdings beim Werfen im luft erfüllten Raum nur bei verhältnismäßig geringen Wurfgeschwindigkeiten einen richtigen Wert.

3. Der obere Punkt des Rades weist gegenüber der Erdoberfläche eine doppelt so hohe Geschwindigkeit auf wie der Wagen (vgl. Abb. 34). Daher können die Spritzer vom oberen Teil des

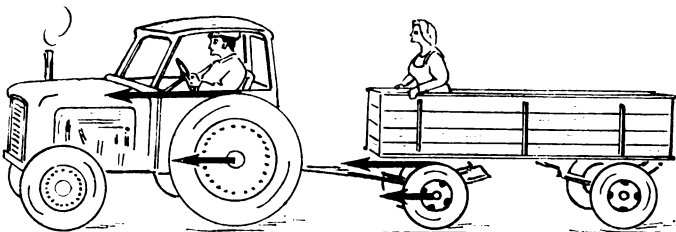


Abb. 34

Rades den Wageninsassen einholen bzw. überholen. Entsprechendes gilt natürlich auch z. B. für einen Radrennfahrer (Räder ohne Schutzblech!).

4. Ein Körper, der sich reibungsfrei entsprechend dem Trägheitsgesetz bewegt, verrichtet keinerlei Arbeit, da seine Bewegung kräftefrei erfolgt. Er behält die ihm beim Stoß übertragene Energie. Bei Berücksichtigung der Reibung wird er sich in Stoßrichtung geradlinig, jedoch nicht gleichförmig bewegen, sondern im Verlaufe einer gewissen Zeit abgebremst werden. Die ursprünglich dem Körper durch den Stoß mitgeteilte Energie wird zur Überwindung der Reibung verbraucht und in Wärme umgewandelt.

5. Das Gesetz von der Unabhängigkeit der Wirkung mehrerer Kräfte, das erstmalig von dem italienischen Gelehrten Galilei formuliert wurde, besagt, daß der Stein, den man von der Mastspitze aus frei fallen läßt, unter der Wirkung der Schwerkraft fallen und gleichzeitig die gleichförmige gradlinige Bewegung des Schiffes infolge seiner Trägheit fortsetzen wird. Somit landet der von der Erde angezogene Stein am Fußpunkt des Mastes, und zwar an der Stelle, auf die er bei stillstehendem Schiff gefallen wäre.

6. Beim Bremsen eines Kraftwagens verringern die Bremsbacken die Umdrehungsgeschwindigkeit der Räder, wodurch die Vorwärtsbewegung des Kraftfahrzeugs verlangsamt wird, denn im entgegengesetzten Falle müßten die Räder in eine Gleitbewegung übergehen. Die Reibung zwischen Rädern und Erdoberfläche verhindert das Gleiten, und diese Kraft ist es auch, die den Wagen zum Stehen bringt. In diesem Falle ist also die Erde der äußere Körper, von dem die Kraftwirkung ausgeht.

7. Das Gesetz von der Unabhängigkeit der Kraftwirkung wird in diesem Falle nicht verletzt. Bei unserer Überlegung hatten wir die Reibung zwischen dem bewegten Körper und der Oberfläche außer acht gelassen, auf der der Körper verschoben wurde. Außerdem gilt die Parallelogrammregel nur für gleichzeitig angreifende Kräfte.

8. Die Dichte der Atmosphäre nimmt mit der Höhe ab. Je höher daher ein Flugzeug fliegt, um so geringer wird der zu überwindende Luftwiderstand, eine um so höhere Geschwindigkeit kann daher das Flugzeug entwickeln.

9. Der Quader wird auf der Stelle liegen bleiben. Wirkt auf irgendeinen Körper eine äußere Kraft ein, die sein Gleiten auf einem anderen festen Körper hervorrufen müßte, so erfolgt so lange keine Bewegung, bis die Größe der äußeren Kraft einen

gewissen kritischen Wert übersteigt. Man bezeichnet diesen als die Haftreibung. Sobald die äußere Kraft dem Betrage nach die Haftreibung übersteigt, kann diese die äußere Kraft nicht mehr kompensieren, und die Gleitbewegung setzt ein. Die hierbei auftretende Widerstandskraft bezeichnet man als Gleitreibung.

Das Auftreten der Haftreibung ist die Ursache dafür, daß das „Anschieben“ und das nachfolgende Gleiten erst nach Anlegen einer Kraft möglich werden, die größer ist als die Haftreibung. Die Haftreibung selbst kann keinen Körper in Bewegung setzen.

Unsere Folgerung, daß der Quader sich nach links bewegen wird, ist falsch. Die Beziehung, nach der wir die Reibungskraft berechneten, gilt nur für die Bewegung. Die Bewegung nach rechts setzt ein, sobald das Gewicht der Last 2 N um einen gewissen Betrag übersteigt.

10. Zunächst verhindert die Haftreibung das Hinabgleiten. Wenn der Stift gedreht wird, so ist vom Schlüssel nur noch die kleinere Gleitreibung zu überwinden.

11. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Wassers, die wir nach der Formel  $v = gt$  berechnet hatten, erreicht den ermittelten Wert erst zum Zeitpunkt  $t = \sqrt{2h/g}$  und ist keineswegs auf dem ganzen Wege konstant.

Daher ist die Bestimmung der Ausflußzeit der Flüssigkeit durch das Rohr, die wir durch Division des gesamten Weges durch die Maximalgeschwindigkeit vorgenommen hatten, unzutreffend, denn diese Geschwindigkeit wird erst im Endpunkt dieses Weges erreicht. Bei der Berechnung dieser Zeit hätte man die mittlere Geschwindigkeit des Wassers einsetzen müssen.

Berücksichtigt man die Reibung, so ist die Endgeschwindigkeit der durch das Rohr fließenden Flüssigkeit kleiner als die Geschwindigkeit eines aus der gleichen Höhe frei herabfallenden Körpers, denn bei der Bewegung einer realen Flüssigkeit im Rohr dient der Wasserdruck nicht nur zur Erzeugung der Ausflußgeschwindigkeit, sondern auch zur Überwindung von Widerstandskräften.

12. Die Bleikugel habe die Masse  $M$ , die Holzkugel die Masse  $m$ . Als beschleunigende Kraft wirkt in beiden Fällen die Differenz zwischen der Schwerkraft und der für beide Kugeln gleichen Reibungskraft  $R$ . Die Bleikugel erhält daher eine Beschleunigung

$$B = \frac{M \cdot g - R}{M} = g - \frac{R}{M}, \text{ die Holzkugel } b = \frac{m \cdot g - R}{m} = g - \frac{R}{m}.$$

Da  $M > m$  ist, ist auch  $B > b$ ; die Bleikugel fällt schneller. Bei genauer Betrachtung muß auch der Auftrieb berücksichtigt werden, er wirkt im gleichen Sinne wie die Reibungskraft.

13. Das Gleichgewicht zwischen der Kraft  $P$  und der Gegenkraft der Waagschale besteht nur nach Einstellung der statischen Gleichgewichtslage. Vorher besteht in jedem Zeitpunkt dynamisches Gleichgewicht zwischen der Kraft  $P$ , der Trägheitskraft von Gewichtsstück und Waagschale und der Gegenkraft. Bei einer zu hohen Belastung der Waage wird die statische Gleichgewichtslage nicht erreicht bzw. nur dadurch, daß die Waagschale an einer Stelle anstößt oder die Waage zerstört wird.

14. Die Änderung in der Anzeige des Waagenzeigers läßt sich mit Hilfe des dritten Newtonschen Gesetzes erklären. Dieses Gesetz besagt, daß jede Wirkung eine dem Betrag nach gleiche, entgegengesetzt gerichtete Wirkung (Gegenwirkung) hervorruft. Bei raschem Heben der Arme (Beschleunigung nach oben) erfährt der Körper eine Gegenkraft nach unten, wodurch die Druckkraft auf die Unterstützungsfläche erhöht wird. Beim Herabfallen der Arme vermindert sich ihr Gewicht, wie das bei jedem beschleunigt fallenden Körper eintritt.

15. Die Behauptung, daß der Punkt  $O$  (Abb. 4) bei gleichzeitiger Wirkung der Kräfte  $P$  und  $Q$  den Weg  $OA + OB$  durchliefe, ist falsch. Das würde der Punkt tun, wenn die Kräfte nacheinander wirkten. Dazu brauchte er die doppelte Zeit.

Das Ergebnis der gleichzeitigen Wirkung der beiden Kräfte  $P$  und  $Q$  auf den Punkt  $O$  ist eine resultierende Kraft, deren Größe und Richtung durch die Diagonale  $OC$  des Kräfteparallelogramms gegeben ist.

16. Das schwere Kügelchen befindet sich auf dem waagerechten Fußboden auch bei Berührung der Wand im Gleichgewicht, da eine Gegenwirkung  $R$  der Wand gar nicht vorhanden ist.

17. Obwohl in diesem Falle keine mechanische Arbeit im üblichen Sinne verrichtet wird ( $S = 0$ ), haben dennoch die Muskeln durch ihre ständige Kontraktion eine Arbeit zu verrichten.

18. Der Ball sprang deshalb über die Abwurfhöhe hinaus zurück, weil ihm eine von Null verschiedene Anfangsgeschwindigkeit verliehen wurde und er deshalb nicht nur potentielle, sondern auch kinetische Energie besaß. Folglich behält auch in diesem Falle das Gesetz von der Erhaltung und Umwandlung der Energie seine Gültigkeit.

19. Das Einströmen des Quecksilbers in die luftleer gepumpten Gefäße ist ein irreversibler Vorgang, bei dem ein Teil der mechanischen Arbeit in Wärme umgewandelt wird. Der Luftdruck

leistet deshalb tatsächlich in beiden Fällen die gleiche Arbeit  $p \cdot V$ , jedoch wird im Falle A ein größerer Teil davon in potentielle Energie umgewandelt als im Falle B. Man kann das folgendermaßen einsehen: Der Massenmittelpunkt der Quecksilbersäule liegt links höher als rechts, folglich ist im Falle A eine höhere potentielle Energie vorhanden.

20. Bei der Angabe kinetischer Energien muß man ebenso wie bei der Angabe von Geschwindigkeiten das zugehörige Bezugssystem mit nennen. Legt man als Bezugssystem den fahrenden Zug zugrunde, so beträgt die Energie des geworfenen Körpers tatsächlich  $\frac{m}{2} \cdot v^2$ , legt man dagegen die Erde als Bezugssystem zugrunde, so hat er gegenüber dieser die Geschwindigkeit  $V+v$  und daher die kinetische Energie  $\frac{m}{2} \cdot (V+v)^2$ .

Da sich beim Übergang von einem Bezugssystem zu einem anderen die Geschwindigkeiten, nicht aber die Energien addieren, ist die erste Überlegung, nach der der Körper die Energie  $\frac{m}{2} \cdot v^2 + \frac{m}{2} \cdot V^2$  haben soll, falsch.

Bei einer genaueren Betrachtung müßte man auch den Rückstoß berücksichtigen, der beim Wurf auftritt und der wegen der großen Masse des Zuges jedoch eine sehr kleine Geschwindigkeitsänderung bewirkt. Prinzipiell ändert sich dadurch an den vorher ausgeführten Überlegungen nichts.

21. Sobald die äußere Kugel gegen die Reihe der übrigen Kugeln stößt, werden diese infolge des Stoßes zusammengedrückt. Die erste Kugel übt, sobald sie sich nach dem Stoß wieder ausdehnt, auf die zweite Kugel eine Wirkung aus, diese auf die dritte usw. Vom Augenblick des Stoßes an läuft durch die Kugelreihe gleichsam eine Druck- und Verdichtungswelle.

Sämtliche Kugeln außer der letzten sind nahezu völlig der Möglichkeit beraubt, sich von der Stelle zu bewegen, da sie von beiden Seiten durch benachbarte Kugeln festgehalten werden, und die gesamte Bewegungsenergie der stoßenden Masse einschließlich des Impulses geht somit in die Energie und in den Impuls der Druckwelle über. Anders liegen die Dinge bei der letzten Kugel. Nach ihrer Deformation durch die vorangehende dehnt sie sich wieder aus, findet aber dabei nach außen keinen Widerstand. (Gleichzeitig gilt für den ganzen Vorgang der Energie- und Impulssatz.) Die Energie (und der Impuls) der Verdichtungswelle kann sich demnach wieder in einer Bewegung äußern.

Die letzte Kugel schwingt daher mit einer Geschwindigkeit aus, die der Geschwindigkeit der wellenartigen Bewegung im Innern der vorangehenden Kugeln und der Geschwindigkeit der stoßenden ersten Kugeln gleich ist.

22. Für den Mittelpunkt der Erde herrscht an jedem Punkt ihrer Bahn Gleichgewicht zwischen der Anziehungskraft der Sonne und der Zentrifugalkraft; auf der der Sonne zugewandten Seite überwiegt die Schwerkraft, die mit kleiner werdendem Abstand zunimmt; auf der der Sonne abgewandten Seite die Zentrifugalkraft, die bei gleicher Winkelgeschwindigkeit mit wachsendem Abstand zunimmt. Daher tritt auf beiden Seiten eine entgegengesetzt zur Erdanziehung gerichtete Kraft auf. Ein Körper ist also mittags und um Mitternacht leichter als früh oder abends. Ein gleichartiger Effekt tritt infolge der Anziehungskraft des Mondes auf.

Die hier beschriebenen Kräfte sind übrigens auch die Ursache für das Auftreten von Ebbe und Flut.

Infolge des Auftriebs ist das Gewicht außerdem auch vom Luftdruck und von der Temperatur abhängig.

23. Mit dem tieferen Eindringen in die Erde wird das Gewicht eines Körpers, wenn man die Erddichte als konstant annimmt, nicht größer, sondern im Gegenteil kleiner, da die anziehenden Massen dann nicht mehr nur auf der einen Seite des Körpers, sondern beiderseitig von ihm verteilt sind. Im Endergebnis wirkt sich nur die Anziehungskraft der Kugel aus, deren Radius gleich dem Abstand vom Erdmittelpunkt bis zum Standort des Körpers ist.

24. Nicht nur die kosmischen Entfernungen, sondern auch die Massen der Himmelskörper sind unvorstellbar groß.

Die Anziehungskraft zwischen zwei Körpern berechnet sich nach der Formel ( $f$  = Gravitationskonstante)

$$F = f \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Daher ist die gegenseitige Anziehung der riesigen kosmischen Massen, obwohl diese durch entsprechend große Entfernungen zu dividieren sind, viel stärker spürbar als im Falle kleiner Massen in geringen Entfernungen. Vergleicht man z.B. die Anziehungskraft zwischen Erde und Mond mit der zweier Menschen im Abstand von 1 m, so sind die beiden Massen um den Faktor  $10^{24}$  bzw.  $10^{22}$  größer, der Abstand aber nur um den Faktor  $4 \cdot 10^8$ . So ziehen sich Erde und Mond mit einer Kraft von  $2 \cdot 10^{20}$  N an, während die Anziehungskraft zwischen zwei Men-

schen in der Entfernung von einem Meter nur 0,0003 N beträgt. Die Anziehungskraft zwischen zwei Schlachtschiffen in der Entfernung von 1 km macht 0,04 N aus. Die Kräfte von 0,0003 N und 0,04 N reichen natürlich bei weitem nicht aus, um etwa die Haftreibung der Sohlen am Erdboden oder gar den Wasserwiderstand gegen die Bewegung des Schiffes zu überwinden.

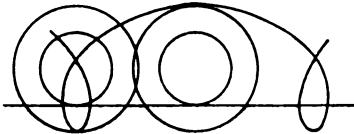


Abb. 35

25. Die Räder der Eisenbahnwagen weisen an ihrer Peripherie vorspringende Ränder (Spurkränze) auf. Der am tiefsten gelegene Punkt dieses Spurkranzes bewegt sich bei rollendem Zug Bruchteile einer Sekunde lang nach rückwärts. Das Gesagte veranschaulicht die Abb. 35, in der die von einem äußersten Spurkranzpunkt beschriebene Kurve wiedergegeben ist.

26. Die Geschwindigkeit  $v_2$  ist nicht konstant, sondern hängt von der Lage des Punktes A auf dem Kreise ab, da  $v_2 = \omega r$  ist, wobei  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung und  $r$  der Abstand des Punktes A von der Rotationsachse ist. Der Punkt A gerät also bei seiner Radialbewegung in Gebiete mit größerem Radius, und seine Geschwindigkeit nimmt zu.

27. Der obere Teil eines rollenden Rades bewegt sich in der Tat schneller als der untere, da jeder Radpunkt zwei Bewe-

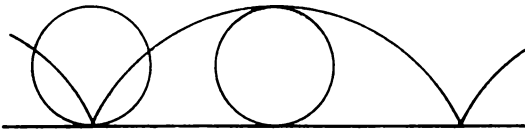


Abb. 36

gungen vollführt: Er rotiert um die Achse und bewegt sich gleichzeitig mit der Achse mit. Es erfolgt somit eine Addition zweier Bewegungen. Oben wird die lineare Umfangsgeschwindigkeit der Rotationsbewegung mit der Geschwindigkeit der Translationsbewegung addiert. Unten heben sich die beiden Geschwindigkeiten auf, da sie entgegengesetzt gerichtet sind. Am langsamsten bewegen sich die Punkte – gesehen vom Be-

zugssystem Erde –, die den Erdboden berühren. Die Abb. 36 zeigt die Bahnkurve (Zykloide), die von einem beliebigen Peripheriepunkt eines rollenden Rades beschrieben wird.

28. Nach der Berührung erhalten die beiden Kugeln eine Drehbewegung. Falls der Abstand zwischen den Bahnkurven beider Kugeln um mindestens eine verschwindend kleine Größe geringer ist als die Summe der beiden Kugelradien, tritt zweifellos bei der Berührung eine Reibung auf, die zu der Drehbewegung der beiden Kugeln Anlaß gibt.

Man muß zwischen Impuls und Drehimpuls unterscheiden. Der Impuls bei der translatorischen Bewegung ist gleich Null, da der Betrag  $mv$  bei beiden Kugeln gleich, aber entgegengesetzt gerichtet ist. Der Schwerpunkt, der in der Mitte der Verbindungsgeraden der beiden Kugeln liegt, bleibt also in Ruhe. Den Drehimpuls des Systems, bezogen auf seinen Schwerpunkt  $S$ , erhält man durch folgende Überlegung (Abb. 37): Wir betrachten zunächst zwei materielle Punkte mit den gleich großen Massen  $m$

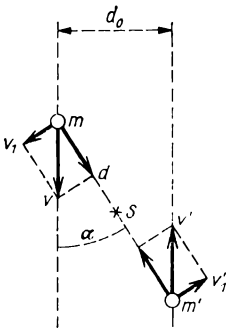


Abb. 37

bzw.  $m'$  und mit antiparallelen Geschwindigkeiten. In einem bestimmten Zeitpunkt mögen sich beide Punkte im Abstände  $d$  befinden. Wir zerlegen die Geschwindigkeiten der Punkte in Komponenten, von denen die eine in die Richtung des Abstandes  $d$  fällt, während die andere senkrecht zur ersten Komponente ist. Bezeichnen wir den Winkel zwischen  $v$  und  $d$  mit  $\alpha$ , so ist  $v_1 = v \sin \alpha$ . Aus der Abb. 37 ist zu ersehen, daß in dem betrachteten Zeitpunkt die beiden Punkte ein System mit dem Drehimpuls  $2 \cdot \frac{d}{2} \cdot v \cdot \sin \alpha$  bilden. Wegen  $d_0 = d \sin \alpha$  ist dieser

Drehimpuls gleich  $d_0mv$ , weshalb er bei beliebiger Lage der Punkte konstant bleibt.  $d_0mv$  ist der Drehimpuls des ganzen Systems. Nach der Berührung wird  $v$  kleiner. Der Betrag des bisherigen Drehimpulses sinkt. Dafür tritt der Drehimpuls der Rotation auf. Die Summe bleibt konstant.

29. Die Flamme wird nach der Mitte hin abgelenkt, weil ihre Dichte geringer ist als die der Luft und demzufolge der Auftrieb größer als die Schwerkraft. Bekanntlich haben dichtere Stoffe das Bestreben, sich bei der Drehbewegung möglichst weit vom Mittelpunkt der Drehbewegung anzulagern, leichtere infolgedessen möglichst nahe.

30. Beim Hinabrollen einer Flasche von einer schiefen Ebene verrichtet die Schwerkraft eine Arbeit, indem sie der Flasche eine Beschleunigung erteilt, die Rollreibung überwindet und der Flasche mit ihrem Inhalt eine Drehbewegung verleiht. Es ist leichter, eine mit Wasser gefüllte Flasche in eine Drehbewegung zu versetzen, da sich hierbei nur die Flasche selbst und eine dünne, an den Wandungen der Flasche anliegende Wasserschicht mitdreht. Die entstehende innere Reibung des Wassers ist sehr gering, da das Wasser eine sehr geringe Viskosität aufweist.

31. Mit der Änderung des Krümmungsradius ändert sich auch  $v$  nach der Formel  $v = \omega r$ , wobei  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit bedeutet. Unter Beachtung dieser Tatsache erhält die Formel die Gestalt  $F = m\omega^2 r$ .

Somit nimmt mit der Verringerung des Krümmungsradius auch die Fliehkraft ab.

32. Beide Formeln sind identisch, denn es ist  $v = \omega r$ .

33. Da alle Körper im Satelliten gewichtslos sind, behält die Schraubenmutter ihre augenblickliche Bewegung bei.

34. Die Waage wird geringeres Gewicht anzeigen, da bei Erwärmung das Volumen des Petroleums zunimmt, womit auch die Menge der vom Petroleum verdrängten Luft größer wird. Nach dem Archimedischen Prinzip verringert sich dann das Gewicht des Petroleums um das Gewicht der zusätzlich verdrängten Luft.

35. Mit dem Einsinken des Gegenstandes wird der Wasserspiegel gehoben. Da damit die Höhe der Flüssigkeitssäule über dem Boden zunimmt, wird auch der Bodendruck größer, obwohl die Gesamtmenge des Wassers unverändert bleibt.

Ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper erfährt eine Auftriebskraft. Je tiefer man den Gegenstand einsinken läßt, um so geringer ist die Kraft, die die den Gegenstand haltende Hand

verspürt. Der zusätzliche Druck durch die Erhöhung der Wassersäule entspricht genau dem Wert des Auftriebes.

36. Der Deckel hält wie beim 1. Versuch, und das Wasser fließt nicht aus. Die eingeschlossene Luft dehnt sich ein wenig aus. Dadurch vermindert sich nach dem Boyleschen Gesetz ihr Druck. Das erfolgt so weit, bis die Summe von Luft- und Wasserdruck im Glas gleich dem äußeren Luftdruck ist.

Zahlenbeispiel: Luft- und Wassersäule mögen eine Höhe von je 10 cm haben. Der Wasserdruck beträgt dann  $0,1 \text{ N je cm}^2$ . Der Luftdruck sei  $10 \text{ N je cm}^2$ . Er muß nun um  $\frac{1}{100}$  seines Wertes sinken. Sein Volumen vergrößert sich dabei um  $\frac{1}{100}$ . Bei der Höhe von 10 cm macht das eine Längenzunahme der Luftsäule von 1 mm aus.

Der Deckel haftet an der etwas hervorgequollenen Wassersäule, ohne daß sie abreißt.

37. Die über dem Zeitungspapier ruhende Luft besitzt eine so große Trägheit, daß das Brettchen beim Schlag u. U. entzwei bricht.

38. Berechnungen zufolge wird beim Pistolenschießen das Geschos mit einem Druck von etwa 300 Atmosphären aus dem Lauf hinausbefördert. In einer Tiefe von dreitausend Metern weist das Wasser des Ozeans etwa den gleichen Druck auf. Daher ist in einer Tiefe von über dreitausend Metern ein Schießen mit der Pistole unmöglich. Das Pulver wird zwar verbrennen, jedoch wird sich das Geschos nur wenig oder gar nicht von der Stelle bewegen ( $1 \text{ atm} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ).

39. Die Geschwindigkeit der Rakete bei ihrer Bewegung um die Sonne setzt sich aus der Geschwindigkeit von  $29,8 \text{ km/s}$  (Umlaufgeschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne) und der Geschwindigkeit von  $2,2 \text{ km/s}$  (Geschwindigkeit der Rakete in bezug auf die Erde beim Passieren der Mondbahn durch die Rakete) zusammen.

40. Diese Erscheinungen lassen sich mit Hilfe des Gesetzes von der Allseitigkeit der Druckausbreitung in Flüssigkeiten erklären. Das rohe Ei und das mit Wasser gefüllte Glasgefäß übertragen den Stoß des Geschosses (d. h. die Druckwelle) gleichmäßig nach allen Richtungen. Ein fester Körper hingegen überträgt den Druck nur in einer Richtung, und zwar in der Angriffsrichtung der Stoßkraft.

41. Die Erklärung des hydrostatischen Paradoxons beruht darauf, daß man die Druckkräfte auf die seitlichen Wände des Gefäßes berücksichtigt. In einem beliebigen Gefäß ist die geometrische Summe sämtlicher Druckkräfte, d. h. der Kräfte, die auf

Boden und Seitenwände wirken, stets gleich dem Gewicht der Flüssigkeit im Gefäß. Das hydrostatische Paradoxon wurde übrigens von Pascal entdeckt.

42. Die Hauptursache für die Entstehung des Widerstandes ist die Tatsache, daß hinter dem Körper im Medium (in der Flüssigkeit oder dem Gas) eine Wirbelbildung entsteht. In diesem Falle wird der Druck auf den frontalen Oberflächenteil des Körpers nicht mehr durch den Druck auf den rückwärtigen Oberflächenteil kompensiert: Es entsteht ein gewisser Widerstand (vgl. Abb. 38). Das hydrodynamische Paradoxon wurde übrigens von Leonhard Euler entdeckt.

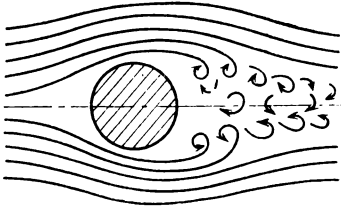


Abb. 38

43. Wird der Stein ins Wasser geworfen, so verdrängt er eine Wassermenge, die seinem Volumen  $V$  entspricht. Befindet er sich im Boot, so verdrängt er nach dem Archimedischen Prinzip eine Wassermenge, deren Gewicht gleich seinem Gewicht ist, also die Masse  $\sigma \cdot V$  hat ( $\sigma =$  Dichte des Steines). Diese Wassermenge nimmt ein Volumen  $V' = (\sigma/\sigma_w)V$  ( $\sigma_w =$  Dichte des Wassers) ein, und wegen  $\sigma > \sigma_w$  ist  $V' > V$ . Solange der Stein sich im Boot befand, verdrängte er also mehr Wasser; der Wasserspiegel sinkt.

44. Dieses Paradoxon wurde von dem Professor der Moskauer Universität, N. J. Shukowski, erklärt. Er wies darauf hin, daß die beiden betrachteten Versuche sich durch die verschiedenen Bewegungen – bezogen auf die Kanalwände – unterscheiden. Im ersten Falle ist das Wasser bezüglich der Kanalwände in Bewegung, im zweiten Falle hingegen in Ruhe. Shukowski hat experimentell nachgewiesen, daß der Einfluß der Wasserbewegung auf die Wände des Kanals durchaus wesentlich ist. Offenbar ist der Einfluß der Kanalwände um so größer, je größer die Abmessungen der Platte im Vergleich zum Querschnitt des Kanals sind. Befindet sich die Platte in großer Entfernung von den Kanalwänden, so kann man deren Einfluß vernachlässigen.

Befindet sich somit die Platte in Ruhe, so ist auch die Strömungsgeschwindigkeit in der Nähe der Wände wegen der Viskosität gleich Null (Abb. 15a). Bei Bewegung der Platte in ruhendem Wasser haben die Flüssigkeitsteilchen auch in unmittelbarer Nähe der Kanalwände gegenüber der Platte die Geschwindigkeit  $v$  (Abb. 15b).

45. Die durch den Trichter hindurchgeblasene Luft strömt an der Innenfläche der Trichteröffnung entlang und setzt dann diese Bewegung fort, wodurch die Flamme durch die Luftströmung verfehlt wird. Um daher die Flamme auszulöschen, muß man den Trichter entsprechend richten.

Befindet sich die Flamme in der verlängerten Trichterachse, so neigt sie sich deshalb auf den Trichter zu, weil in der Trichtermittte durch das Blasen ein Unterdruck entsteht.

46. Sobald wir versuchen, den Korken in den Flaschenhals hineinzublasen, dringt ein Luftstrahl durch die schmale sichelförmige Öffnung in die Flasche ein. Die Geschwindigkeit des Luftstrahles erhöht sich stark, so daß die Luft im Inneren der Flasche zusammengedrückt wird, die dann wiederum infolge ihrer Elastizität den Korken herausschleudert. Um den Korken in die Flasche hineinzubefördern, muß man nicht blasen, sondern die Luft einsaugen. Dadurch wird der Luftdruck in der Flasche erniedrigt, und der Korken rutscht in die Flasche hinein.

47. Beträgt der Abstand zwischen beiden Platten 1,5 bis 2 cm, so wird die untere Platte beim Hindurchblasen eines starken Luftstrahles durch das Rohr abgestoßen. Nähert man hingegen die Platten einander so, daß der Abstand 1 cm oder weniger beträgt, so wird die untere Platte an die feststehende obere Platte herangezogen.

Der gleiche Luftstrahl ruft somit zwei völlig entgegengesetzte Wirkungen hervor: einmal eine Abstoßung, zum anderen eine Anziehung. Diese Erscheinung läßt sich leicht durch die Bernoullische Gleichung erklären, derzufolge bei Erhöhung der Geschwindigkeit eines Luftstrahles der (statische) Druck in diesem sinkt.

48. Bringt man in eine Luftströmung einen rotierenden Zylinder (vgl. Abb. 39) (dies ist der Bewegung eines rotierenden Zylinders in ruhender Luft mit gleicher Geschwindigkeit äquivalent), wobei die Zylinderachse auf dem Geschwindigkeitsvektor der Luftbewegung senkrecht steht, so nimmt der Zylinder bei seiner Bewegung die an ihm unmittelbar anliegende Luftschicht mit. Daher ist die Geschwindigkeit der Luftschicht über dem Zylinder höher als in der Luftschicht unter dem Zylinder. Im ersten

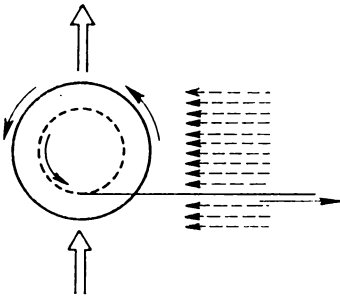


Abb. 39

Falle wird die lineare Geschwindigkeit der Luft zu der Lineargeschwindigkeit der rotierenden Luftschicht addiert. Im zweiten Falle ist die eine Geschwindigkeit von der anderen abzuziehen. An der Stelle der Strömung, wo die Geschwindigkeit höher ist, ist der Luftdruck geringer und umgekehrt. Dadurch erhält der Zylinder zusätzlich eine Bewegung nach oben.

49. Das Gewicht beider Gläser ist gleich groß, denn das Gewicht der verdrängten Wassermenge ist gleich dem des schwimmenden Holzes.

50. Die Kraft, die das Geschöß vorwärts treibt, ist die gleiche, die den Karabiner und den Schützen in der entgegengesetzten Richtung zu bewegen sucht. Die Masse des Geschosses beträgt aber nur wenige Gramm, während die Gesamtmasse der Waffe und des Schützen mehrere Dutzend Kilogramm ausmacht. Daher verläßt das Geschöß unter der Einwirkung der Pulvergase mit großer Geschwindigkeit den Lauf, während der Karabiner und der Schütze nur einen geringen Rückstoß erfahren (bei Gleichheit der Impulse!).

## Molekularphysik

51. In der Zimmerluft treten stets unsichtbare Luftströmungen auf, die durch Erwärmung oder Abkühlung der Luft entstehen. Bei Erwärmung dehnt sich die Luft aus und wird leichter. Bei Abkühlung dagegen zieht sie sich zusammen und wird schwerer.

Die am Fenster abgekühlte Luft sinkt zu Boden, erwärmt sich danach wieder am Ofen oder am Heizkörper und „wandert“ wieder durch das Zimmer.

52. Die bei der Verbrennung entstehenden Gase dehnen sich durch die Erwärmung aus und werden leichter. Sie verbleiben daher nicht an ihrem Entstehungsort, sondern werden sofort von der nachströmenden Luft nach oben gedrängt. Wäre das nicht der Fall, so würde jede Flamme nach kurzer Brenndauer in ihren eigenen Verbrennungsprodukten ersticken.

53. Bei der Erwärmung wird die Dichte der Flüssigkeit geringer, dafür steigt der Flüssigkeitsspiegel im Gefäß. Bei zylindrischem Gefäß kompensieren sich beide Erscheinungen genau, so daß sich der Bodendruck nicht ändert, denn dieser ist stets gleich dem durch die Bodenfläche dividierten Gewicht der Flüssigkeit.

Wird das Gefäß nach oben zu enger, so wird bei der gleichen Erwärmung und damit auch bei der gleichen Änderung der Flüssigkeitsdichte der Flüssigkeitsspiegel höher steigen als im zylindrischen Gefäß. Das Steigen des Flüssigkeitsspiegels wirkt sich daher stärker aus als die Veränderung der Dichte, und der Bodendruck wird höher. Bei einem Gefäß, das unten enger ist als oben, wird umgekehrt der Bodendruck bei Erwärmung geringer.

54. Jedes Gramm Wasser von  $0^{\circ}\text{C}$  gefriert, sobald ihm eine Wärmemenge von 80 Kalorien entzogen wird. Umgekehrt schmilzt Eis von  $0^{\circ}\text{C}$  erst dann, wenn man ihm eine Wärmemenge von 80 Kalorien je Gramm zuführt. Ein Gefäß, in dem sich Wasser und Eis befinden, kühlt sich weder ab noch wird es wärmer. Daher befinden sich bei  $0^{\circ}\text{C}$  Wasser und Eis im thermodynamischen Gleichgewicht ( $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ Joule}$ ).

55. Man muß das Gefäß mit Wasser unter den Rezipienten einer Luftpumpe bringen und die Luft bis zu einem Druck von etwa

15 Torr auspumpen. Dann ist bereits bei Zimmertemperatur der Dampfdruck höher als der Luftdruck, d.h., das Wasser siedet ( $1 \text{ Torr} = 1,333224 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$ ).

56. Die Wasserspritzer lösen sich nur schwer von der Wasseroberfläche, da dem die Oberflächenspannung des Wassers entgegenwirkt.

57. Die Schale ist so heiß, daß ein Teil des Wassers bereits verdampft ist, bevor die ganze Wassermenge die Schale berühren kann. Zwischen dem Wasser und der Schale bildet sich eine dünne Dampfschicht. Durch dieses Dampfkissen, auf dem sich das Wasser hält, wird eine direkte Berührung des Wassers und der Schale unterbunden. Gase und Dämpfe sind aber äußerst schlechte Wärmeleiter. Die Wärme der Schale kann daher nur langsam durch das schlecht leitende Dampfkissen hindurchdringen und das Wasser zum Sieden bringen. Diese Erscheinung wird auch als Leidenfrostsches Phänomen bezeichnet.

58. Metalle weisen eine gute Wärmeleitfähigkeit und eine geringe spezifische Wärme auf, wodurch sich die Temperatur im Inneren des Kalorimeters rasch ausgleicht, während zur Erwärmung des Kalorimetergefäßes nur wenig Wärme verbraucht wird. Darüber hinaus ist die Wärmeabstrahlung durch das Metall erheblich geringer als bei Glas, wodurch die Wärmeverluste geringer werden.

59. Beim Gefrieren des Wassers in tiefen Gewässern bildet sich bekanntlich nur an der Oberfläche eine Eisschicht. Die am tiefsten gelegenen Wasserschichten haben eine Temperatur von  $4^\circ\text{C}$ . Die Temperatur der höheren Schichten nimmt mit der Annäherung an die Oberfläche ab, und die obersten Schichten verwandeln sich in Eis.

Die Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen ist größer als die des Wassers. Daher finden über den Mauern unter Wasser stehender Gebäude Wärmeströmungen statt, in denen die aus den untersten Wasserschichten entnommene Wärme nach oben strömt. Diese Strömung erwärmt die oberen Wasserschichten. Daher ist die Wassertemperatur über den Gebäuden ein wenig höher als in den benachbarten Stellen des Wassers. Dies führt dazu, daß die Eisschicht an dieser Stelle dünner ist als in der Umgebung.

60. Die Abkühlungsgeschwindigkeit der Kugeln ist nicht nur von der Wärmeleitfähigkeit, sondern auch von ihrer Wärmekapazität abhängig. Je größer die spezifische Wärme eines Stoffes ist, aus dem die Kugel besteht, um so schwerer erwärmt sich diese, und um so langsamer kühlt sie sich naturgemäß auch ab. Im

Richmannschen Versuch erkaltete die Bleikugel nicht etwa deshalb rascher als die anderen, weil ihre Wärmeleitfähigkeit hoch ist, sondern weil die spezifische Wärme des Bleis verhältnismäßig gering ist (0,031 cal/g). Die Wärmeleitfähigkeit des Bleis ist ebenfalls gering ( $1 \text{ cal/g} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ ).

61. Am Tage ist in heißen Wüsten die Luft wärmer als unser Körper. Dort wird die Wärme von der Luft auf den menschlichen Körper übertragen. Je größer daher die Luftmassen sind, die je Minute am Körper vorbeiströmen, um so stärker empfinden wir die Wärme.

62. Die mit Mull umwickelte Thermometerkugel A (Abb. 21 zu Frage 62) wird durch die hygroskopische Wirkung des Mulls dauernd feucht gehalten. Darüber hinaus begünstigt die poröse Struktur des Mulls, die eine große Gesamtoberfläche des Stoffes gewährleistet, die Verdunstung des Wassers. In der trockenen Luft verdunstet daher ein großer Teil des Wassers aus dem Mull. Dabei wird Wärme verbraucht, die dem verdunstenden Wasser selbst entnommen wird. Das Wasser in der Umhüllung der Thermometerkugel kühlt sich dadurch stark ab und entzieht seinerseits Wärme aus dem Glas des Thermometers, das wiederum dem Quecksilber Wärme entzieht. Demzufolge zieht sich das Quecksilber zusammen und nimmt ein kleineres Volumen ein, so daß der Quecksilberspiegel in der Thermometerkapillare sinkt.

63. Die Überhitzung des Dampfes verhindert seine Kondensation in den Dampfleitungen und Zylindern der Dampfmaschine und ermöglicht es, bei jedem Hub des Zylinders Dampf einzusparen und damit den Brennstoffverbrauch zu senken. Außerdem ist bei höheren Dampftemperaturen der thermische Wirkungsgrad besser.

64. Beim Gefrieren des feuchten Bodens wird eine erhebliche Menge der latenten Erstarrungswärme des Eises abgegeben, die eine Erwärmung des Bodens bewirkt.

65. Der Kohäsionsdruck in Flüssigkeiten ist kein Druck in der eigentlichen Bedeutung des Wortes, sondern eine Wirkung der gegenseitigen Anziehung der Flüssigkeitsmoleküle: Die Moleküle werden gezwungen, sich einander so zu nähern, als stünden sie unter einem gewissen äußeren Druck. Wir sind nicht in der Lage, diesen Kohäsionsdruck unmittelbar zu messen. Beim Einführen eines Manometers in die Flüssigkeit messen wir lediglich den hydrostatischen Druck. Die Wechselwirkung zwischen Wandung und Flüssigkeit ist äußerst gering. Jeder Gegenstand und damit auch jede Person, die sich in der Flüssigkeit befinden,

umhüllen sich selbst mit einer Oberflächenmembran, von der aus die Kräfte in das Innere der Flüssigkeit gerichtet sind. Daher üben diese Kräfte auf einen in der Flüssigkeit befindlichen Gegenstand keinerlei Wirkung aus. Die enorme Größe des Kohäsionsdruckes bedingt die Inkompressibilität der Flüssigkeit.

66. Es ist unmöglich, auf dem Mars ein Ei hart zu kochen. Durch die äußerst dünne Atmosphäre dieses Planeten würde das Wasser bereits unterhalb der Temperatur sieden, die zur Gerinnung des Eiweißes erforderlich ist.

67. Das Eis unter den Kufen der Schlittschuhe schmilzt dann durch die Wärme, die durch die Reibung zwischen Kufe und Eis entsteht.

68. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß der sich im Wasser lösende Zucker die Oberflächenspannung erhöht, wodurch sich die Streichhölzer dem Zucker nähern. Die Seife hingegen, die Fette enthält, läßt die Oberflächenspannung sinken, so daß die Streichhölzer auseinanderstreben.

69. Es ist unmöglich, eine unaufhörliche Bewegung zu erzeugen. In unserem Versuch wird das Wasser aus dem dünn ausgezogenen Röhrchen nicht auslaufen (wie das in der Abb. 23 zu Frage 69 dargestellt ist), da das Gewicht des Wassers geringer ist als die Oberflächenspannung der Wasserhaut an der Oberfläche.

70. Der Erstarrungsprozeß (Kristallisation) kann ähnlich der Kondensation nur eintreten, wenn Keime in Gestalt winziger Kriställchen vorhanden sind. Fehlen derartige Kristallteile, so kann man insbesondere bei rascher Abkühlung eine Unterkühlung der Flüssigkeit erreichen. Ein derartiger Zustand ist in der Abb. 40 durch den gestrichelten Kurvenast dargestellt. Bei hinreichend starker Unterkühlung beginnt eine spontane Bildung

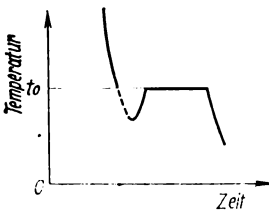


Abb. 40

von Kristallkeimen, und die Flüssigkeit kristallisiert. Beim Kristallisationsvorgang in einer unterkühlten Flüssigkeit steigt deren Temperatur an und erreicht bei nicht zu starker Unter-

kühlung den Wert der normalen Kristallisationstemperatur  $t_0$ , der mit der Schmelztemperatur übereinstimmt.

71. Durch die anisotrope Struktur dehnt sich ein Kristall bei Erwärmung in verschiedenen Richtungen verschieden stark aus.

72. Das Kristallgitter des Kochsalzes besteht aus parallelen Ebenen. Jede Ebene ist durch die fest miteinander verbundenen Ionen des Natriums und Chlors ausgefüllt, die sich in den Ebenen an den Ecken von Quadraten anlagern. Die Ionen zweier benachbarter Ebenen weisen jedoch nur eine schwache Bindung miteinander auf. Daher läßt sich ein Kochsalzkristall leicht entlang dieser Ebenen spalten.

73. Die verschiedene Orientierung der Kristalle bewirkt, daß die Eigenschaften eines polykristallinen Körpers im Mittel gesehen in allen Richtungen gleich sind.

74. Je kleiner die Körner sind, um so höher ist ihre Anzahl im Metall. Je höher aber die Anzahl der Körnchen ist, um so höher ist der Widerstand des Kristalls gegen eine Deformation. Metalle mit feinkörniger Struktur lassen sich daher schwerer deformieren.

75. Die moderne Physik hat das Maxwellsche Paradoxon aufgeklärt. Um zu wissen, welches Molekül sich der Tür nähert, muß der Roboter dieses sehen oder zumindest irgendein anderes Signal vom Molekül erhalten. Die Übertragung irgendeines Signals ist aber nur unter Energieaufwand möglich, wobei dieser wenigstens den Wert eines Energiequants erreichen muß, da es geringere Energiemengen bekanntlich einfach nicht gibt.

Unter einem modernen Roboter könnte man sich eine komplizierte kybernetische Vorrichtung vorstellen, die allen Spielregeln der modernen Wissenschaft unterworfen ist: Der Robo-

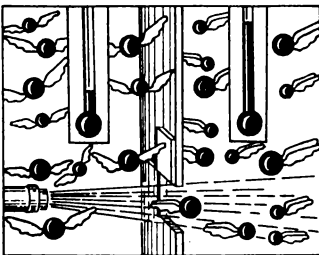


Abb. 41

ter beleuchtet das Molekül (vgl. Abb. 41) und empfängt von diesem Signale in Gestalt reflektierten Lichtes. Genaue Berechnungen zeigen jedoch, daß sogar der empfindlichste Roboter, der das Molekül an einem einzigen reflektierten Lichtquant erkennt, mehr Energie zur Gewinnung der Information über die Bewegung der Moleküle verbraucht, als selbst die beste Wärmekraftmaschine zu erzeugen vermag, die das vom Roboter erzeugte Temperaturgefälle ausnutzt. Ein perpetuum mobile läßt sich demnach auf diese Weise nicht konstruieren.

## Elektrizität

76. Aus dem Ausschlagwinkel des Elektrometerzeigers schließen wir auf das Potential der Kugel, das bekanntlich nach der Formel

$$U = \frac{q}{C}$$

ermittelt wird; dabei ist  $U$  das Potential des Leiters,  $q$  die aufgebrachte Elektrizitätsmenge und  $C$  die Kapazität der Kugel, die dem Kugelradius proportional ist.

In unserem Falle ist aber der Radius der Kugel veränderlich, wodurch sich auch das Potential  $U$  ändert.

77. Die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes ist gleich der Ausbreitungsgeschwindigkeit des elektrischen Feldes, das die Bewegung der Elektronen längs des Leiters veranlaßt, nicht aber der Geschwindigkeit der freien Elektronen selbst. Würde sich der elektrische Strom mit der Geschwindigkeit der freien Elektronen ausbreiten, so würde ein in Berlin nach Moskau aufgegebenes Telegramm erst nach etwa 21 Jahren am Bestimmungsort eintreffen. Im Lichtnetz beträgt die Geschwindigkeit der freien Elektronen etwa 1 bis 3 mm/s. In einer Stunde legen die Elektronen eine Entfernung von nur 10 m zurück.

Bei Wechselstrom führen die freien Elektronen lediglich eine Schwingungsbewegung um eine Mittellage aus und legen überhaupt keine großen Entfernungen zurück.

78. Der Widerstand ist praktisch unendlich groß, da die Fläche  $F$  der Elektroden im Vergleich zur Entfernung  $l$  zwischen ihnen klein ist.

79. Im Augenblick des Einschaltens sind die Heizfäden der Elektronenröhren kalt und ihr Widerstand gering, so daß sie von einem sehr starken Strom durchflossen werden, der die Stärke des normalen Heizstromes um ein Mehrfaches übersteigt. Mit der Erhitzung der Heizfäden wächst ihr Widerstand, und die Stromstärke wird geringer. Daher wird beim Einschalten eines Rundfunk- oder Fernsehempfängers bzw. eines Verstärkers ein Stromstoß beobachtet, dessen Stärke ein Mehrfaches des Stromes beträgt, der beim stationären Betrieb gebraucht wird. Diese Stromerhöhung bewirkt das Durchbrennen der Sicherung, wenn diese ohne Spielraum bemessen ist bzw. wenn der vorgesehene Spielraum zu gering ist. Die Abb. 42 zeigt den zeitlichen Verlauf des Heizstromes.

80. Bei Kurzschluß sinkt die Spannung nahezu auf Null, weil wegen der großen Stromstärke der Spannungsabfall im Inneren der Stromquelle sehr groß ist.

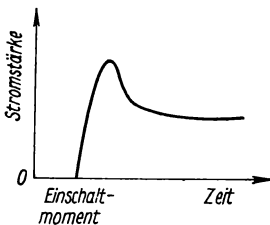


Abb. 42

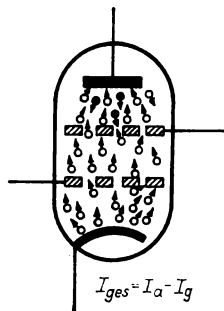


Abb. 43

81. Konstant ist nur die Summe der Arbeiten, die im inneren bzw. im äußeren Teil des Stromkreises verrichtet wird. Bei Änderung des äußeren Widerstandes wird lediglich das Verhältnis der genannten Größen verändert. Bei Erhöhung dieses Widerstandes wird der Arbeitsanteil im äußeren Teil des Stromkreises größer und im inneren Teil kleiner.

82. Der elektrische Widerstand ist entweder eine positive Größe oder gleich Null. Negative Werte nimmt er niemals an.

In unserem Falle schlagen die Elektronen des Anodenstromes, die mit hoher Geschwindigkeit gegen die Anode prallen, aus dieser sogenannte sekundäre Elektronen heraus. Diese Elektronen fliegen gegen das Gitter und erzeugen in der Röhre einen Strom  $I_g$ , der dem Hauptstrom der Elektronen entgegenfließt und daher seine Stromstärke  $I_a$  herabsetzt (vgl. Abb. 43). In der Endkonsequenz ist der effektive Anodenstrom  $I_{ges}$  gleich der Differenz der beiden genannten Stromstärken.

83. Der Trugschluß ( $r = -R$ ) resultiert daher, daß bereits in der Aufgabenstellung fälschlich angenommen wurde, die Potentialdifferenz der Punkte A und B sei verschieden von Null. In der Formel  $U/R$  ist die Größe  $U$  nicht eine Potentialdifferenz, sondern der Anteil der über den ganzen Stromkreis verteilten Urspannung  $E$ , der auf diesen Abschnitt mit dem Widerstand  $r$  entfällt.

Auf den längeren Abschnitt entfällt der Anteil  $V$  der Urspannung.  $V$  läßt sich (nach dem Ohmschen Gesetz) aus der Gleichung  $I = V/R$  ermitteln. Für den gesamten Stromkreis gilt

$$I = \frac{U + V}{r + R} = \frac{E}{r + R}.$$

84. Die Glühlampen werden jeweils zu je sechs in Reihe geschaltet und dann erst an das 600-V-Netz angeschlossen. Daher entfällt auf jede einzelne Glühlampe lediglich eine Potentialdifferenz von etwa 100 V.

85. Die Stromlosigkeit des Hauptkreises bedeutet keineswegs, daß in der Abzweigung kein Strom fließt. Bei Parallelschaltung mehrerer Elemente ist die Urspannung der Batterie gleich der eines einzelnen Elements  $E$ . Der innere Widerstand hat den Wert  $r/n$ , während der Gesamtwiderstand des Stromkreises sich zu  $R + (r/n)$  ergibt. Die Stromstärke in einem derartigen Stromkreis berechnet man nach der Formel

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}.$$

86. Beide Formeln sind wegen  $I = U/R$  miteinander identisch.

87. Bei der Erhöhung des Widerstandes verringern wir die Stromstärke in einem Stromkreis ( $I = U/R$ ). Die im Leiter aus-

geschiedene Wärmemenge ist proportional dem Widerstand und der Zeit, während der der Strom fließt, sowie dem Quadrat der Stromstärke. Bei Erhöhung des Widerstandes auf das Doppelte sinkt der Strom auf den halben Wert ab. Die ausgeschiedene Wärmemenge würde demnach durch Verringerung der Stromstärke auf ein Viertel abnehmen, wegen der Erhöhung des Widerstandes jedoch auf das Doppelte steigen, so daß insgesamt ein Absinken der erzeugten Wärmemenge auf die Hälfte resultiert.

Das Joulesche Gesetz ist auf unseren Fall nicht anwendbar, da die Elektronen in der Röhre mit sehr hoher Geschwindigkeit von der Kathode zur Anode fließen (mehrere tausend Kilometer je Sekunde). Nach Erreichen der Anode setzen sie zwar ihre Bewegung fort, doch beträgt ihre Geschwindigkeit nur noch mehrere Meter je Sekunde.

An der Oberfläche der Anode erfolgt eine jähe Bremsung der Elektronen. Die Elektronen stoßen gegen die Teilchen des Anodenmaterials und geben ihre Bewegungsenergie an diese ab. Die kinetische Energie geht in Wärmeenergie über. Durch die rasche Bremsung der Elektronen erwärmt sich die Anode, doch handelt es sich hierbei nicht um die übliche Erwärmung, die beim Durchgang des Stromes durch einen Leiter zu verzeichnen ist.

88. Da die Verbraucher der elektrischen Energie parallel geschaltet werden, sinkt der Widerstand des Stromkreises und damit auch die Spannung. Sobald sich die Widerstandsspirale des Kochers erwärmt hat, nimmt der Widerstand des Stromkreises um einen geringen Betrag zu, wodurch die Glühlampen wieder etwas heller brennen. – Der Widerstand der Kohle sinkt aber mit der Temperaturerhöhung. Daher sinkt die Spannung beim Einschalten eines Widerstandes aus Kohlefadenlampen nur wenig ab, erst bei Erwärmung der Lampen ist ein höherer Spannungsabfall zu beobachten.

89. In unserem Falle wurden die Windungen der beiden Spulen falsch miteinander verbunden. Beide Pole unseres Magneten sind daher gleichnamig. Den Mangel kann man wie folgt beheben: Man dreht die eine Spule auf dem Eisenkern um.

90. Der Teil des Speichenrades, der sich über dem Brenner befindet, erwärmt sich bis zur Rotglut, während der übrige Teil infolge der dauernden Kühlung durch die Luft nicht zum Glühen kommt. Eisen, das auf eine Temperatur von über  $75^{\circ}\text{C}$  erhitzt ist, wird von einem Magneten nicht mehr angezogen. Daher wird der benachbarte nicht glühende Teil des Rades stärker an-

gezogen als der heiße, so daß das Rad sich zu drehen beginnt. Unterwegs kühlt sich der erwärmte Teil wieder an der Luft ab.

91. Wir tauchen die blankgeschabten Enden zweier Kabelstücke, die wir an das Netz angeschlossen haben (unter Beachtung entsprechender Vorsichtsmaßnahmen!) in gewöhnliches Leitungswasser. Gleichstrom zersetzt das Wasser; an der negativen Elektrode bildet sich Wasserstoff. Vom Wechselstrom wird das Wasser nicht zersetzt, sondern nur erwärmt.

92. Weder der Gleichstrom noch der Wechselstrom gehen durch einen Kondensator hindurch. Das Dielektrikum ist sowohl für Gleichstrom als auch Wechselstrom ein unüberwindliches Hindernis. Wird ein Gleichstromkreis geschlossen, so fließt in diesem der Strom so lange, bis der Kondensator vollständig aufgeladen ist. Im Wechselstromkreis wird der Kondensator periodisch aufgeladen und entladen. Je größer die Kapazität des Kondensators ist, die teilweise durch die Art des Dielektrikums bestimmt wird, um so mehr Ladung wird bei dem Umladevorgang benötigt, um so größer ist daher auch der im Stromkreis fließende Strom.

93. Der Fehler besteht darin, daß wir die Arbeit nicht berücksichtigen, die beim Eintauchen bzw. beim Heben der Ladungen aus dem Wasser benötigt wird. Bei Annäherung der Ladung an die Grenzfläche zwischen Luft und Wasser entsteht an der Wasseroberfläche eine geordnete Lage der Moleküle, so daß man die Arbeit beim Verschieben der Ladungen in vertikaler Richtung nicht vernachlässigen darf. Die Arbeit, die beim vertikalen Verschieben der voneinander weiter entfernten Ladungen benötigt wird, ist größer als bei den genäherten Ladungen (denn das Feld an der Grenze des Dielektrikums ist stärker), und die Gesamtarbeit eines Zyklus ist Null.

94. Die gute Leitfähigkeit des feuchten Bodens macht diesen ungefährlicher. Der Mensch bildet zusammen mit der Erde einen verzweigten Stromkreis, wobei die Stromstärken in den einzelnen Zweigen den zugehörigen Widerständen umgekehrt proportional sind. Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers beträgt mehrere tausend Ohm. Er ist viel größer als der Widerstand des Erdbodens. Daher können die verhältnismäßig geringen Potentialdifferenzen, die zwischen den den Boden berührenden Füßen des Menschen herrschen, bei Vorhandensein eines parallelgeschalteten guten Leiters (des feuchten Erdbodens) keinen tödlich wirkenden Strom im menschlichen Körper erzeugen.

95. Das magnetische Wechselfeld induziert in dem Ring primär

eine elektrische Spannung  $U$ . Die Größe des im Ring fließenden Stromes ergibt sich daraus nach dem Ohmschen Gesetz zu  $I = U/R$ ; da bei einem dicken Ring der Widerstand sehr klein ist, erreicht  $I$  sehr große Werte. Die im Ring in Wärme umgewandelte elektrische Leistung  $N = I \cdot U^2 = U^2/R$  wird daher auch sehr groß.

96. Durch einen Wechselkontakt am Hammer der elektrischen Klingel wird der Stromkreis laufend unterbrochen, wodurch in den Enden der Spule beträchtliche Induktionsspannungen auftreten, die wir mit unseren Händen durchaus verspüren.

97. Hochfrequente Ströme fließen nur an der Oberfläche des Leiters. Aus diesem Grunde sind z.B. die Windungen einer Hochfrequenzspule mit Silber, einem der besten Leiter für elektrischen Strom, überzogen. Durch die inneren Teile des Leiters fließt der hochfrequente Strom nicht. Daher kann man an diesen Stellen das teure und schwere Silber durch Glas (oder Kunststoffe) ersetzen.

## Optik

98. Die Ursache dafür liegt in der Tatsache, daß die Lichtquelle (d.h. die Kerzenflamme) in vertikaler Richtung gestreckt ist. Hält man die Gabel senkrecht, so ist für sämtliche Zinken der Gabel die Licht-Schatten-Grenze auf dem Schirm nahezu gleich weit von den Teilen der Lichtquelle entfernt, so daß jeder Zinken einen scharfen Schatten wirft. Hält man die Gabel hingegen waagerecht über die Kerzenflamme, so zeichnen die verschiedenen weit von der Gabel entfernten Teile der Flamme verschiedene Schattenbilder desselben Zinkens, weshalb der ganze Schatten verschwommen erscheint.

99. Die Schattenlänge der senkrecht zu den Masten verlaufenden Telegraphendrähte bleibt praktisch im Laufe eines Tages unver-

ändert, da sie dem Abstand der Telegraphenmasten (bzw. ihrer Schatten) nahezu gleich ist.

100. Das zweite Bild des Gegenstandes entsteht, weil ein Teil der von der Amalgamschicht an der Rückseite des Spiegelglases reflektierten Strahlen an der Grenze zwischen Glas und Luft reflektiert wird und wieder auf das Amalgam gelangt, wo erneute Reflexion erfolgt.

101. Die reflektierten Strahlen machen nur einen gewissen Teil des Lichtstromes aus, der auf das Wasser fällt. Der restliche Teil der Strahlen dringt in das Wasser ein.

102. Die Folie dient als zusätzlicher Wärmestrahlungsschutz, da sie die Infrarotstrahlen reflektiert.

103. Man müßte eine Sammellinse mit so großer Brennweite vor die Bikonkavlinse setzen, daß das so entstehende Linsensystem als Sammellinse wirkt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Linse in eine Küvette zu bringen, die mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, die einen höheren Brechungsindex als die Linse hat.

104. Es handelt sich dabei um Medien mit von Ort zu Ort veränderlichem Brechungsindex. Als Beispiel hierfür kann eine inhomogene Flüssigkeit oder die Atmosphäre dienen, deren einzelne Schichten verschiedene Dichten aufweisen.

105. Kältestralen existieren nicht. Sowohl der warme Körper als auch das Eis geben durch Strahlung Wärme ab. Die Thermometerblase gibt an das Eis mehr Wärme ab, als sie von diesem empfängt, und kühlt sich daher ab.

106. Die regelmäßig angeordneten Poren des Gewebes bilden für das sichtbare Licht ein Beugungsgitter. Die Lage der Lichtflecken hängt von der Struktur des Gitters ab. Durch Dehnen oder Neigen des Gewebes verändern wir die Gitterstruktur, wodurch sich auch die Lage der Lichtflecken ändert.

107. Ein Stoff verliert seine Durchsichtigkeit, wenn die in diesen Stoff eintretenden Lichtstrahlen nach dem Einfallen in den Stoff durch mehrfache Reflexionen und Brechung an der Grenzfläche Luft–Stoff gestreut werden und durch den Stoff nicht hindurchgehen. In unserem Falle findet eine umgekehrte Erscheinung statt.

108. Die geriffelten Oberflächen der Autoscheinwerfer bilden einen „Prismensatz“, der die Lichtstrahlen in die erforderliche Richtung lenkt.

109. Man kann mit unbewaffnetem Auge die Sterne am Tage nicht sehen, weil die Luftteilchen das einfallende Sonnenlicht streuen und das Licht der Sterne in dieser Lichtflut untergeht. In einem Teleskop wird durch die Strahlenbrechung in seinem

optischen System die Helligkeit der Sterne gegenüber der Helligkeit des betrachteten Himmelsausschnittes verstärkt.

110. Durch eine Lupe werden Winkel nicht vergrößert, da deren Größe von der Länge der Schenkel unabhängig ist.

111. Die Brillengläser lassen die ultravioletten Strahlen nicht durch. Dunkle Gläser benutzt man, um auch einen Teil des sichtbaren Lichtes zu absorbieren.

112. Das geschieht, um die Intensität der an der Luftschraube reflektierten Lichtstrahlen herabzusetzen und den Flieger vor deren Blendwirkung zu schützen.

113. Untersucht man den Strahlengang im Innern des „reflektierenden Kegels“ genauer, so stellt man fest (vgl. Abb. 44), daß

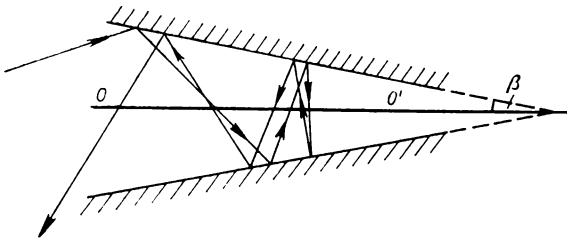


Abb. 44

die Strahlen von Mal zu Mal steiler reflektiert werden und sich immer langsamer dem Ausgang nähern. Nach einer gewissen Anzahl von Reflexionen beginnen sie sogar umzukehren und treten durch die Grundfläche O des Kegels aus. Nur ein geringer Bruchteil der Strahlen erreicht die Öffnung O' und tritt durch diese aus. Je kleiner diese Öffnung ist, um so geringer ist auch die Intensität des durch sie austretenden Lichtstromes.

114. In Wirklichkeit vertauscht ein Spiegel nicht die Seiten eines Gegenstandes, sondern im (virtuellen) Bild sind nur vorn und hinten gegenüber dem Gegenstand vertauscht, wie man sich an Hand von Abb. 45 leicht klarmacht.

115. In Wirklichkeit entsteht in der Brennebene der Linse ein stark verkleinertes Bild der Sonne, dessen Helligkeit entgegen den Erwartungen höchstens genauso groß wie die der Sonne sein kann. Daher kann ein in der Brennebene befindlicher Körper auch höchstens die gleiche Temperatur wie die der Lichtquelle annehmen.

Die Erzeugung einer höheren Temperatur als die der Lichtquelle widerspricht dem 2. Hauptsatz der Wärmelehre, denn es würde

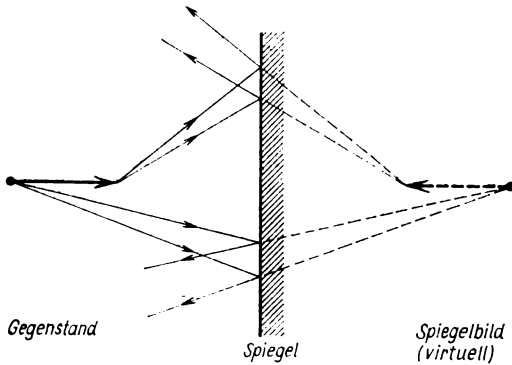


Abb. 45

ja in diesem Falle dauernd Wärme von einem kälteren Körper (der Lichtquelle) zu einem wärmeren Körper (dem Gegenstand in der Brennebene) fließen.

116. Der Mond besitzt keine Atmosphäre, die das Licht nach den Seiten streuen könnte (in der Erdatmosphäre – überhaupt in allen streuenden Stoffen – werden die blauen Strahlen als die kurzwelligsten des sichtbaren Spektrums besonders stark gestreut). Der Beobachter auf dem Mond würde daher nur einen schwarzen Himmel sehen.

117. Das linke Auge sieht durch das Rohr die erleuchtete Wand. Dort erblickt es irgendeinen Gegenstand, der ein gewisses Interesse weckt, weshalb sich die Augenlinse unwillkürlich auf die Wand einstellt. Bei normalem Sehvermögen ist aber die Akkommodation einer Linse nicht möglich, ohne daß die andere in Mitleidenschaft gezogen wird; daher stellt sich auch die Linse des rechten Auges auf die große Entfernung ein.

Es ergibt sich folgende Situation: Das linke Auge empfängt ein scharfes Bild nur von dem Teil der Wand, der durch das Papierrohr ausgeblendet wird, während das Innere des Rohres verschwommen erscheint, da die Linse auf dieses nicht eingestellt ist. Darüber hinaus weist die Innenseite des Papierrohres keinerlei Ungewöhnlichkeiten auf, die die Aufmerksamkeit des Auges auf sich lenken könnten. Das rechte Auge sieht die rechte Handfläche nur verschwommen. Wir sehen also mit dem linken Auge einen Teil der Wand völlig scharf. Durch die Vereinigung beider Bilder ergibt sich der Eindruck, als würde man den betreffenden

Teil der Wand durch ein Loch in der rechten Hand ebenfalls sehen.

118. Das weiße Tageslicht besteht aus verschiedenen Farben. Eine Zerlegung des weißen Lichtes in seine Komponenten beobachtet man z.B., wenn man das Tageslicht durch ein Prisma hindurchschickt. Gelbes Glas läßt von dem einfallenden weißen Licht nur die gelben Strahlen durch und hält alle anderen zurück. Ebenso läßt blaues Glas nur die blauen Lichtstrahlen hindurch. Da das blaue Glas nur die blauen und das gelbe Glas nur die gelben Strahlen hindurchläßt, erhalten wir – läuft weißes Licht durch gelbes und blaues Glas – völlige Dunkelheit.

119. Man sieht das Bild des Gegenstandes, den man gerade betrachtet hatte, jedoch nicht in seiner natürlichen Farbe, sondern in der zugehörigen Komplementärfarbe, d.h. in der Farbe, die zusammen mit der ursprünglichen weißes Licht liefern würde. War das Buch hellrot, so sehen wir das Bild des Buches grün bzw. umgekehrt. – Die Komplementärfarbe zu Gelb ist Blau.

120. Die farbigen Anlaufflecke sind das Ergebnis einer Interferenz des reflektierten Lichtes in der dünnen Oxidschicht.

121. Die Schallplatte besitzt auf ihrer Oberfläche noch ganz feine Grate, wodurch sie wie ein reflektierendes Beugungsgitter wirkt.

**Das vorliegende Werk in populärwissenschaftlichem Niveau beinhaltet 121 interessante Fragestellungen aus der Mechanik, Molekularphysik, der Elektrizität und Optik. Dabei handelt es sich nicht um Aufgaben, die durch eine Rechnung gelöst werden sollen. Die Autoren kommen durch eingeflochtene Fehler in ihren Überlegungen zu Aussagen, die zu Widersprüchen zu den bekannten Gesetzen der Physik führen. Diese Fehler in der Darstellung der Probleme herauszufinden ist Aufgabe des Lesers. Der 2. Teil des Bändchens enthält dann die ausführlichen Antworten.**

**BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft**