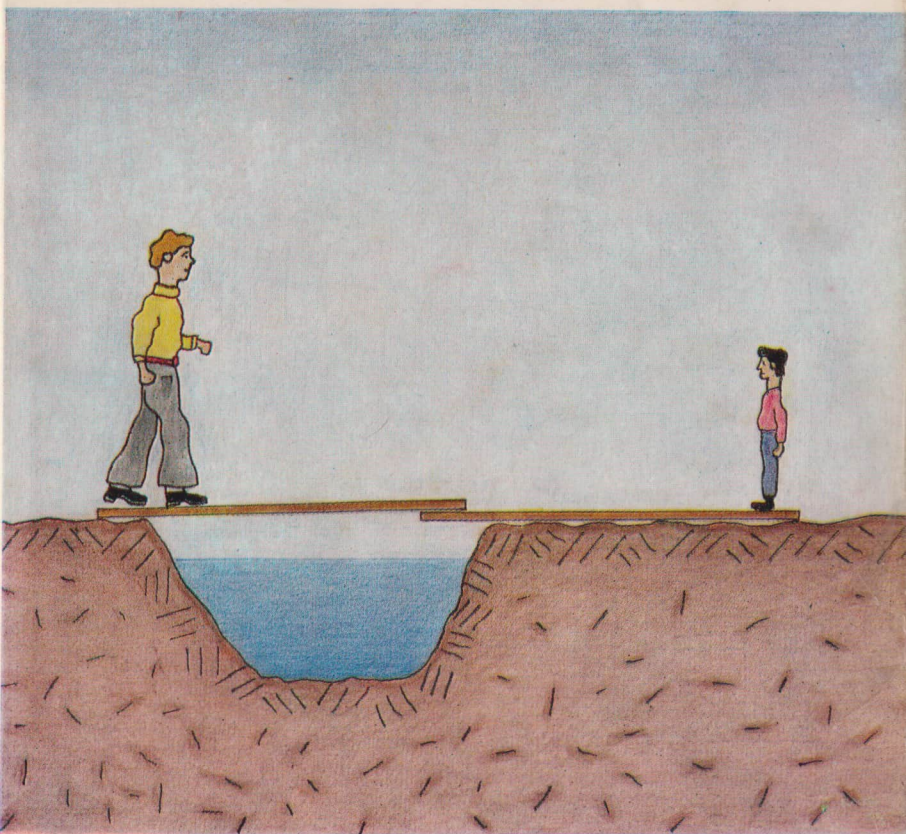


**Kleine
Naturwissenschaftliche
Bibliothek**

LEIPZIG



LANGE

**Physikalische
Knobeleyen**

Physikalische Knobeleyen

**Experimentelle physikalische Aufgaben
zum Nachdenken**

W. N. LANGE

2. Auflage

Mit 33 Abbildungen



BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft
Leipzig 1979

Kleine Naturwissenschaftliche Bibliothek · Band 38

Autor:

Dr. Wiktor Nikolajewitsch Lange, Leningrad

Titel der Originalausgabe:

В. Н. Ланге,

Экспериментальные физические задачи на смекалку

Verlag NAUKA, Moskau 1974

Deutsche Übersetzung: Dr. sc. H. Neumann, Leipzig

Wissenschaftliche Redaktion: Dr. sc. K. Kreher, Leipzig

© BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1977

2. Auflage

VLN 294-375/45/79 · LSV 1109

Lektor: Dipl.-Math. Hellmuth Neubert

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb

Leipzig – III/18/97

Bestell-Nr. 6658350

DDR 5,60 M

Jedes Wissen bleibt tot, wenn der Lernende keine Initiative und Selbsttätigkeit entwickelt.

N. A. Umow

Vorwort

In jedem beliebigen Tätigkeitsbereich, sei es Wissenschaft oder Technik, Industrie oder Landwirtschaft, Kosmonautik oder Medizin, stößt der Mensch ständig auf die Notwendigkeit, die eine oder andere Größe zu messen – die Temperatur der Luft oder die Höhe eines Berges, das Volumen eines Körpers oder das Alter archäologischer Funde usw. Mitunter lassen sich die erforderlichen Messungen mit speziell dafür vorgesehenen Geräten oder Instrumenten ausführen. Die linearen Abmessungen eines Körpers beispielsweise werden mit einem Lineal, einem Bandmaß, einer Meßschraube oder einem Meßschieber bestimmt; die Temperatur wird mit Hilfe eines Thermometers, die Masse mit Hilfe einer Waage gemessen. In solchen Fällen spricht man von einer direkten Messung. Wesentlich häufiger jedoch muß man anstelle der direkten Bestimmung der interessierenden Größe auf die Messung ganz anderer Größen zurückgreifen, aus denen dann die gewünschte Größe mit entsprechenden Formeln berechnet wird. Dann werden die Messungen als indirekt bezeichnet. So bestimmt man die Dichte einer Substanz gewöhnlich in der Weise, daß man die Masse und das Volumen eines aus dieser Substanz bestehenden Körpers ermittelt und dann die erste durch die zweite Größe dividiert.

In der Regel existieren für die Messung von Größen speziell entwickelte Standardmethoden, Beispiele dafür (Messung der Länge und der Dichte) wurden angeführt. Es gibt jedoch Fälle, in denen sich die üblichen Verfahren als unbequem erweisen, ja mitunter überhaupt nicht einsetzbar sind.

Man stelle sich vor, daß sich die Notwendigkeit ergeben hat, den Durchmesser einer dünnen Kapillare zu bestimmen, etwa bei einem gewöhnlichen medizinischen Thermometer. Der Kanal der Kapillare ist so dünn, daß man in ihn weder mit einem Lineal noch mit einem anderen Instrument „hineinkriechen“ kann. Außerdem ist das Lineal, über das man verfügt, ein für diese Zwecke viel zu grobes Gerät. Wie geht man in diesem Falle vor? Es zeigt sich, daß man die direkte Messung des Durchmessers der Kapillare durch eine indirekte

Messung ersetzen muß, wobei man nicht nur eine, sondern eine Vielzahl unterschiedlicher Meßvarianten vorschlagen kann. Über eine mögliche Variante erfährt der Leser mehr, wenn er sich mit der Lösung der Aufgabe Nr. 82 dieses Buches vertraut macht. Die Messung der Dichte mit der Standardmethode ist ebenfalls nicht immer möglich. So stoßen wir bereits auf Schwierigkeiten, wenn wir die mittlere Dichte der Materie eines Planeten ermitteln wollen: Man kann den Planeten nicht auf eine Waage legen. Man ist gezwungen, sich andere Meßvarianten zu überlegen, zwei davon werden in den Lösungen der Aufgaben Nr. 108 und 112 angegeben.

In einem Teil der in diesem Buch enthaltenen Aufgaben werden für die Messung der einen oder anderen Größe Geräte und Gegenstände vorgeschlagen, die für das angestrebte Ziel vollkommen ungeeignet erscheinen. Wenn man jedoch mit ihnen umzugehen weiß, kann man die Aufgabe lösen. Und wenn die Lösung der Aufgabe nicht gelingt, so lese man zunächst im Abschnitt „Hinweise“ nach, und erst dann, wenn auch das nicht hilft, blicke man in die am Ende des Buches angegebenen Lösungen. Man überprüfe die Antworten auch in den Fällen, in denen man die Aufgabe selbständig gelöst hat. Vielleicht erweist sich die gefundene Lösung als einfacher und eleganter, dann freut man sich besonders darüber.

Es gibt auch Aufgaben im Buch, die nicht die quantitative Bestimmung irgendwelcher Größen fordern. In diesen Aufgaben muß lediglich ein Verfahren für die Durchführung einer bestimmten Operation gefunden werden. Beiden Arten von Aufgaben gemeinsam ist eine gewisse Ungewöhnlichkeit, entweder in der Ausgangssituation oder in der Wahl der Gegenstände, deren Verwendung erlaubt ist. (Der Gerechtigkeit halber muß gesagt werden, daß manche Aufgaben nur scheinbar ungewöhnlich sind. So wurde beispielsweise die mittlere Dichte der Erde so bestimmt, wie es in der Lösung zur Aufgabe Nr. 112 beschrieben wird.)

Obwohl alle Aufgaben experimentellen Charakter tragen, ist nur die Angabe des prinzipiell richtigen Lösungsweges wesentlich. Dabei wird vorausgesetzt, daß die im Text der Aufgabe genannten Geräte und Instrumente ideal genau sind. Wenn nicht speziell anders vereinbart, ist die Verwendung von üblicherweise zur Verfügung stehenden Hilfsmit-

teln erlaubt. So wird es beispielsweise als selbstverständlich angesehen, daß man stets ein Glas oder eine Spule mit Garn findet oder Wasser aus der Wasserleitung oder einem Brunnen entnehmen kann, sofern man sich zu Hause befindet.

In einigen Fällen läßt sich die gewünschte Größe mit den angegebenen Hilfsmitteln nur näherungsweise bestimmen, aber mitunter sind auch Näherungswerte von großer Bedeutung. So lassen sich beispielsweise Lichtwellenlängen heute mit erstaunlich hoher Genauigkeit bestimmen (es sei daran erinnert, daß im Internationalen Einheitensystem 1 Meter durch die Länge definiert ist, die durch das 1 650 763,73fache der Vakuumwellenlänge einer Spektrallinie des Edelgases Krypton – genauer des Kryptonisotops mit der Massenzahl 86 – gegeben ist). Die im Jahre 1802 durchgeführten recht groben Experimente des englischen Physikers T. Young, in denen erstmals die Länge der Lichtwellen bestimmt wurde, hatten jedoch große prinzipielle Bedeutung, da bis dahin noch nicht einmal die Größenordnung der Lichtwellenlänge bekannt war.

Die Mehrzahl der Annahmen, die in den Bedingungen der Aufgaben formuliert sind, erscheint erdacht und kaum der Realität des täglichen Lebens entsprechend, man kann aber nicht alle Fälle voraussagen und muß deshalb mit allen möglichen Überraschungen rechnen. Die Geschichte der Wissenschaft demonstriert überzeugend, daß die Experimentatoren häufig mit großem Geschick vorgehen und verschiedene indirekte, oft sehr komplizierte Verfahren für die Messung von Größen oder die Untersuchung von Erscheinungen erdenken müssen. Es reicht sicher aus, daran zu erinnern, daß die Bestimmung der Ladung des Elektrons, der chemischen Zusammensetzung der Sterne, der Struktur des Atomkerns und vieler anderer Größen mit indirekten Methoden erfolgte. In allen diesen Fällen hat den Wissenschaftlern ihre Phantasie geholfen, eine für den Naturforscher sehr wertvolle Eigenschaft. Auch für den Leser ist es von Nutzen, seinen Erfindergeist an einfachen Beispielen zu überprüfen, um auch in komplizierteren Fällen eine Lösung zu finden.

Dieses Buch erinnert wenig an ein gewöhnliches Schullehrbuch, da bei der Lösung vieler Aufgaben Kenntnisse aus den verschiedensten Gebieten der Physik notwendig sind. Aus diesem Grunde hat sich der Autor dazu entschlossen, die Aufgaben nach den äußeren Umständen, unter denen die

Lösung zu suchen ist, aufzuteilen. Innerhalb jedes Abschnitts sind die Aufgaben nach wachsendem Schwierigkeitsgrad geordnet, obwohl natürlich die Meinung des Autors über die Kompliziertheit einer Aufgabe nicht unbedingt mit der Ansicht des Lesers übereinstimmen muß.

Die Mehrzahl der angeführten Aufgaben des Buches ist vom Autor zusammengestellt worden und erscheint erstmals in gedruckter Form, wobei natürlich ein gewisser Teil aus früher publizierten Büchern entnommen wurde.

Das Buch wendet sich in erster Linie an Schüler höherer Klassen, die bereits über einen soliden Schatz an Kenntnissen in der Physik verfügen, viele Aufgaben können aber auch von Lesern gelöst werden, die gerade erst mit dem Studium dieser wunderbaren Wissenschaft begonnen haben. Das Buch kann sicher auch für Oberschullehrer von Nutzen sein, beispielsweise im Hinblick auf die Zusammenstellung von Aufgaben für eine Quizveranstaltung.

Bei der Lösung einiger Aufgaben wird die Verwendung eines physikalischen Nachschlagewerkes empfohlen. Die meisten erforderlichen Informationen lassen sich aus den Anhängen zu den Aufgabenbüchern für den Physikunterricht entnehmen, mitunter ist jedoch auch die Verwendung ausführlicherer Tabellen notwendig. Für die deutsche Ausgabe wurden die zur Lösung benötigten physikalischen Konstanten in einem Tabellenanhang zusammengestellt.

Der Autor nutzt die Gelegenheit, den Rezensenten des Buches *M. I. Bludow* und *A. S. Irisow* herzlich für die wohlwollende und konstruktive Kritik sowie *A. P. Rymkewitsch* für eine Reihe wertvoller Hinweise zu danken.

Ebenfalls dankt der Autor Herrn Dr. sc. *H. Neumann*, Herrn Dr. sc. *K. Kreher* und den Mitarbeitern des Teubner-Verlages für die Ausgabe in deutscher Sprache.

W. N. Lange

Inhalt

Aufgaben	9
Unter häuslichen Bedingungen	9
Beim Spaziergang	13
Am See	15
Auf der Reise	16
Im Schullaboratorium	18
Im Betrieb	21
Im Kosmos	23
Hinweise	26
Lösungen der Aufgaben	33
Tabellenanhang	111

Aufgaben

Unter häuslichen Bedingungen

1. Es soll die Dichte des Zuckers bestimmt werden. Wie läßt sich dieses Problem lösen, wenn man nur über einen üblichen Meßbecher verfügt und kein Würfelzucker verwendet werden soll?

2. Es stehen ein 100-g-Wägestück und ein mit einer Teilung versehenes Lineal zur Verfügung. Wie läßt sich mit diesen Hilfsmitteln angenähert die Masse eines Körpers bestimmen, dessen Masse sich nicht sehr stark von der Masse des Wägestücks unterscheidet?

3. Wie läßt sich das Fassungsvermögen eines Kochtopfs mit Hilfe einer Waage und eines Wägesatzes ermitteln?

4. Ein zylindrisches Glas ist bis zum Rand mit einer Flüssigkeit gefüllt. Wie läßt sich der Inhalt des Glases in zwei vollkommen gleiche Flüssigkeitsmengen aufteilen, wenn man über ein weiteres Gefäß verfügt, das aber eine andere Form hat und etwas kleiner ist?

5. Zwei Menschen standen auf dem Balkon und erholten sich. Da sie nichts zu tun hatten, dachten sie darüber nach, wie man ermitteln kann, in wessen Streichholzschachtel weniger Streichhölzer verblieben sind, ohne dazu die Schachteln zu öffnen. Welche Methode könnt ihr vorschlagen?

6. Wie bestimmt man die Lage des Schwerpunktes eines glatten Stabes, ohne dabei irgendwelche Instrumente zu verwenden?

7. Wie bestimmt man den Durchmesser eines Fußballs mit einem *steifen* Lineal (beispielsweise einem gewöhnlichen Holzlineal)?

8. Wie läßt sich der Durchmesser einer kleinen Kugel mit Hilfe eines Meßbechers ermitteln?

9. Der Durchmesser eines relativ dünnen Drahtes soll möglichst genau bestimmt werden, wobei als Hilfsmittel nur ein Schulheft mit kariertem Papier und ein Bleistift zur Verfügung stehen. Wie muß man vorgehen?

10. Man hat ein mit Wasser gefülltes Gefäß rechteckiger Form, in dem irgendein Körper schwimmt. Wie läßt sich mit Hilfe eines einzigen Lineals die Masse des Körpers bestimmen?

11. Es sind eine Stricknadel aus Stahl und ein Meßbecher mit Wasser gegeben. Wie kann man damit die Dichte eines Stücks Kork bestimmen?

12. Es ist zu zeigen, wie man nur mit Hilfe eines Lineals die Dichte des Holzes bestimmt, aus dem ein Stäbchen hergestellt ist, das in einem engen zylindrischen Gefäß schwimmt.

13. Ein Glasstopfen besitzt im Inneren einen Hohlraum. Das Volumen dieses Hohlraums soll bestimmt werden, ohne den Stopfen zu zerstören. Läßt sich das mit Hilfe einer Waage, eines Wägesatzes und eines Gefäßes mit Wasser bewerkstelligen?

14. Man hat ein am Fußboden befestigtes Eisenblech, einen leichten zylindrischen Holzstab und ein Lineal. Es ist ein Verfahren für die Bestimmung des Reibungskoeffizienten von Holz auf Eisen anzugeben, wobei nur die aufgezählten Gegenstände eingesetzt werden dürfen.

15. Man befindet sich in einem mit einer elektrischen Lampe beleuchteten Zimmer und steht vor der Aufgabe, zu bestimmen, welche von zwei vorhandenen Sammellinsen die größere optische Stärke besitzt. Es stehen keine speziellen Geräte hierfür zur Verfügung. Das Verfahren für die Lösung der Aufgabe ist anzugeben.

16. Man hat zwei Linsen: eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse. Wie läßt sich ermitteln, welche von ihnen die größere optische Stärke besitzt, ohne dabei irgendwelche Geräte zu Hilfe zu nehmen?

17. Ein langer Korridor ohne Fenster wird von einer elektrischen Lampe beleuchtet. Die Lampe kann mit Hilfe eines an der Eingangstür befindlichen Schalters ein- und ausgeschaltet werden. Das ist für jemand, der die Wohnung verlassen will, sehr unangenehm, denn er muß sich bis zum Ausgang im Dunkeln vortasten. Andererseits bleibt auch die beim Eintritt in die Wohnung eingeschaltete Lampe nach dem Eintritt ins Zimmer unnötig brennen.

Läßt sich vielleicht eine Schaltung überlegen, die es gestattet, die Lampe an verschiedenen Stellen des Korridors ein- und auszuschalten?

18. Man stelle sich vor, daß für die Messung der Höhe eines Hauses eine leere Konservendose und eine Stoppuhr zur Verfügung stehen. Reicht das für die Lösung der Aufgabe aus? Wie muß man dabei vorgehen?

19. Wie läßt sich die Ausflußgeschwindigkeit von Wasser aus einem Wasserhahn mit Hilfe eines zylindrischen Gefäßes, einer Stoppuhr und eines Meßschiebers bestimmen?

20. Man steht vor der Aufgabe, einen großen Behälter bekannten Fassungsvermögens mit Hilfe eines Schlauches mit kreisförmiger Ausflußöffnung mit Wasser zu füllen. Man interessiert sich für die Zeit, wie lange diese langweilige Beschäftigung dauern wird. Läßt sie sich berechnen, wenn man nur über ein Lineal verfügt?

21. Es soll der Druck in einem Fußball mit Hilfe einer empfindlichen Waage und eines Lineals bestimmt werden. Wie muß man dabei vorgehen?

22. Man hat eine durchgebrannte elektrische Glühlampe. Wie läßt sich mit Hilfe eines zylindrischen Gefäßes mit Wasser und einem geteilten Lineal der Druck im Inneren dieser Lampe bestimmen?

23. Man versuche die vorhergehende Aufgabe zu lösen, wenn die Verwendung eines mit Wasser gefüllten Kochtopfes und einer Waage mit einem Wägesatz erlaubt ist.

24. Es ist ein dünnes Glasrohr gegeben, das an einem Ende zugeschmolzen ist. Das Rohr enthält Luft, die durch eine Quecksilbersäule von der umgebenden Atmosphäre abgeschlossen ist. Des weiteren ist ein Lineal mit Millimetereinteilung gegeben. Wie läßt sich mit diesen Hilfsmitteln der atmosphärische Luftdruck bestimmen?

25. Wie läßt sich die Verdampfungswärme von Wasser bestimmen, wenn man über einen Haushaltskühlschrank, einen Kochtopf unbekannten Fassungsvermögens, eine Uhr und eine gleichmäßig brennende Gasflamme verfügt? Die spezifische Wärmekapazität des Wassers wird als bekannt vorausgesetzt.

26. Draußen liegt Schnee, im Zimmer dagegen ist es warm. Leider kann man die Temperatur nicht messen, es ist kein Thermometer vorhanden. Dafür hat man aber eine Batterie, ein sehr genaues Voltmeter und ein ebensolches Ampere-meter, beliebig viel Kupferdraht und ein ausführliches physikalisches Nachschlagewerk. Läßt sich mit ihrer Hilfe die Temperatur der Luft im Zimmer bestimmen?

27. Wie kann man die vorhergehende Aufgabe lösen, wenn man kein physikalisches Nachschlagewerk hat, dafür aber neben den aufgezählten Gegenständen die Verwendung einer elektrischen Heizplatte und eines Kochtopfes mit Wasser erlaubt ist?

28. Die Tochter wandte sich an ihren Vater, der sich gerade die Anzeige des Elektrizitätszählers notierte, mit der Bitte, sie spazierengehen zu lassen. Der Vater gab die Erlaubnis unter der Bedingung, daß sie in genau einer Stunde wieder zurückkommt. Wie kann der Vater die Länge des Spaziergangs kontrollieren, ohne dafür eine Uhr zur Verfügung zu haben?

29. Die Aufgabe Nr. 17 wird häufig in verschiedenen Aufgabenbüchern angegeben und ist deshalb gut bekannt. Hier nun eine Aufgabe desselben Charakters, die aber etwas komplizierter ist.

Man überlege sich eine Schaltung, die es erlaubt, eine elektrische Lampe oder irgendein anderes elektrisches Gerät von einer beliebigen Zahl anderer Stellen ein- und auszuschalten.

30. Wenn man einen Holzwürfel auf eine mit Stoff bedeckte Drehscheibe eines Plattenspieters in die Nähe der Drehachse stellt, verbleibt er auf der Scheibe und dreht sich mit ihr mit. Wenn der Abstand von der Drehachse dagegen groß ist, wird der Würfel in der Regel von der Scheibe heruntergeworfen.

Wie läßt sich der Reibungskoeffizient von Holz auf Stoff nur mit Hilfe eines einzigen Lineals bestimmen?

31. Man entwickle ein Verfahren für die Bestimmung des Rauminhalts eines Zimmers mit Hilfe eines hinreichend langen und dünnen Fadens, einer Uhr und eines Massestücks.

32. Im Musik- und Ballettunterricht wird beim Training und für bestimmte andere Zwecke häufig ein Metronom verwendet – ein Gerät, welches periodisch Lautsignale abgibt. Die Länge des Intervalls zwischen zwei Schlägen des Metronoms wird durch Verschiebung eines Massestücks an einer speziellen pendelnden Skala geregelt.

Wie läßt sich die Skala des Metronoms mit Hilfe eines Fadens, einer Stahlkugel und eines Bandmaßes in Sekunden eichen, wenn das bei der Herstellung im Betrieb versäumt worden ist?

33. Die Masse eines Metronoms mit ungeeichter Skala (siehe die vorhergehende Aufgabe) soll in eine solche Lage gebracht werden, daß der Zeitabstand zwischen zwei Schlä-

gen genau eine Sekunde ist. Für diesen Zweck ist die Verwendung einer langen Leiter, eines Ziegelstücks und eines Bandmaßes erlaubt. Wie sind diese Gegenstände bei der Lösung der Aufgabe einzusetzen?

34. Man hat einen Holzquader, dessen eine Kantenlänge wesentlich größer ist als die Länge der beiden anderen Kanten. Wie kann man mit Hilfe nur eines einzigen Lineals den Haftreibungskoeffizienten des Klotzes auf der Fußbodenoberfläche des Zimmers bestimmen?

35. Zwei Hohlkugeln mit gleichem Gewicht und gleichem Volumen sind mit der gleichen Farbe gestrichen, die nicht angekratzt werden soll. Die eine Kugel ist aus Aluminium, die andere aus Kupfer gefertigt.

Wie läßt sich am einfachsten in Erfahrung bringen, welche Kugel aus Aluminium und welche aus Kupfer besteht?

36. Wie läßt sich das Gewicht eines Körpers mit Hilfe einer steifen homogenen Meßplatte mit Teilung und einem Stück nicht sehr dicken Kupferdrahtes bestimmen? Die Benutzung eines physikalischen Nachschlagewerkes ist erlaubt.

37. Es soll der Radius eines sphärischen Spiegels (oder der Krümmungsradius einer Konkavlinse) mit Hilfe einer Stoppuhr und einer Stahlkugel mit bekanntem Radius bestimmt werden. Wie läßt sich das bewerkstelligen?

Beim Spaziergang

38. Ein Erwachsener und ein Kind müssen einen Bach überschreiten: der eine vom linken Ufer zum rechten, der andere in der entgegengesetzten Richtung. Auf beiden Ufern befindet sich jeweils ein Brett, beide Bretter sind aber etwas kürzer als der Abstand zwischen den beiden Ufern. Wie gelangen der Erwachsene und das Kind von einem Ufer zum anderen?

39. Wie läßt sich mit Hilfe einer Stoppuhr in einigen Fällen die Länge des Blitzes aus der Dauer des Donners abschätzen?

40. An einer Stange ist eine Glocke aufgehängt, die regelmäßig in Intervallen von genau einer Sekunde angeschlagen wird. Kann man durch Beobachtung der Anschläge und durch Hören des Klangs die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in Luft bestimmen, wenn man nur eine Messung mit einem Bandmaß vornimmt?

41. Wie läßt sich mit Hilfe eines Lineals an einem sonnigen Tag die Höhe eines Baumes bestimmen, ohne daß man dazu auf den Baum klettert?

42. An den Straßenkreuzungen einiger Städte der Sowjetunion sind elektronische Anlagen angebracht, die automatisch die Geschwindigkeit berechnen und dann auf einem Lichttableau anzeigen, die die Kraftfahrer einhalten müssen, damit die nächste Verkehrsampel bei grünem Licht erreicht wird. Gewöhnlich ändert sich die Anzeige in folgender Reihenfolge: zuerst 45 km/h, dann 50 km/h, 55 km/h und schließlich 60 km/h, wonach die Anzeige erlischt, weil Geschwindigkeiten oberhalb 60 km/h nur auf wenigen Straßen erlaubt sind.

Wie läßt sich nur mit Hilfe einer Uhr die Entfernung bis zur nächsten Verkehrsampel bestimmen, wenn man an der Kreuzung steht und die Anzeigen des Tableaus verfolgt?

43. Zwei Jungen auf der Eisbahn möchten vergleichen, wer von ihnen schwerer ist und um wieviel. Wie können sie ihre Absicht nur mit Hilfe eines einzigen Bandmaßes ausführen?

44. Man steht abends an einem kleinen Fluß, an dessen gegenüberliegendem Ufer ein Mast mit einer Laterne steht. Wie bestimmt man die Entfernung zum Mast sowie seine Höhe, wenn für die Lösung der Aufgabe eine kleine hölzerne Meßlatte und ein Bandmaß vorhanden sind?

45. Es ist die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel einer Spielzeugpistole nur mit Hilfe eines Bandmaßes zu ermitteln. Wie tut man das?

46. Wie löst man die vorhergehende Aufgabe, wenn der Experimentator anstelle des Bandmaßes eine Stoppuhr verwenden soll?

47. Wie läßt sich mit Hilfe eines Bandmaßes feststellen, um wieviel größer die Geschwindigkeit ist, die ein Junge im Vergleich zu einem Mädchen einem Ball beim Wurf erteilt?

48. Es soll die Breite eines Flusses in Schrittlängen bestimmt werden. Wie kann man das angenähert mit Hilfe eines am Ufer abgerissenen Grashalms tun?

49. Für die Bestimmung der Richtung des magnetischen Meridians wird die Verwendung eines Glases mit Wasser, einer Prise Salmiak (NH_4Cl), eines Stücks Draht, einer Schere, einer Spule mit Kupferdraht, einer kleinen Zinkplatte und eines Korkens vorgeschlagen. Wie läßt sich mit den aufgezählten Hilfsmitteln die Aufgabe lösen?

50. Man stelle sich vor, daß man für die Bestimmung der Höhe eines Turms (oder irgendeines anderen Gebäudes) mit einem Schälchen mit Quecksilber, einem Winkelmesser, einem kleinen Massestück und einem Faden ausgerüstet worden ist. Läßt sich die Aufgabe bewältigen, wenn man die Abmessungen der einzelnen Teile seines Körpers kennt?

51. Wie bestimmt man die Höhe eines Berges mit Hilfe einer Heizplatte, eines Kochtopfes mit Wasser und eines genauen Thermometers?

52. Es soll die Lichtstärke einer Lichtquelle bestimmt werden, an die nicht nah herangegangen werden kann. Für diesen Zweck stehen ein Gerät für die Bestimmung der Beleuchtungsstärke (Luxmeter) und ein Bandmaß zur Verfügung. Man beschreibe die Versuchsanordnung, mit deren Hilfe die Aufgabe gelöst werden kann.

53. Man stelle sich vor, daß man sich auf einer drehenden Scheibe befindet, wie man sie gelegentlich in Vergnügungsparks findet. Die Scheibe ist nach allen Seiten hin abgeschlossen, so daß die umgebenden Gegenstände nicht gesehen werden können. Wie läßt sich die Drehrichtung der Scheibe mit Hilfe einer kleinen Stahlkugel ermitteln?

Am See

54. Ohne irgendwelche Geräte ist zu zeigen, daß der Koeffizient der Oberflächenspannung einer Seifenlösung kleiner ist als bei reinem Wasser.

55. Bei ruhigem windstillem Wetter rudern zwei Freunde in zwei bezüglich ihrer Form und ihrer Abmessungen vollkommen gleichen Booten auf einem See. Während ihres Aufenthalts auf dem Wasser kam es ihnen in den Sinn, ein Wett Rudern zu veranstalten. Um den Wettkampf absolut ehrlich zu gestalten, beschlossen sie, das mitgeführte Gepäck so zu verteilen, daß das Gewicht beider Boote gleich ist.

Wie ließ sich ihre Absicht unter Verwendung der zufällig in einem Boot vorhandenen langen Leine ausführen?

56. Ein in einem Boot befindlicher Mensch möchte die Masse des Bootes bestimmen. Kann er das tun, wenn ihm seine eigene Masse bekannt ist und weiter nichts als eine lange Leine zur Verfügung steht?

57. Touristen setzten von einem Ufer eines Sees, wo sich ihre Basis befand, zum anderen Ufer über, und bei einem Blick auf die Uhr beschlossen sie, eine kurze Ruhepause einzulegen. Es war ruhiges Wetter, so daß sie von der Lautsprecheranlage der Basis die letzten Nachrichten hören konnten, nachdem sie das eigene Transistorgerät ausgeschaltet hatten. Danach erklärte einer der Touristen, daß die Entfernung zur Basis fast drei Kilometer betrage. Wie hat er diese Entfernung bestimmt?

58. Ein Taucher steht vor der Notwendigkeit, die Tiefe eines Sees zu bestimmen. Leider hatte er kein anderes Instrument bei sich als ein zylindrisches Meßglas mit Teilung. Der Taucher löste jedoch sein Problem. Wie hat er das getan?

59. Beim Kauf einer Angelschnur aus Dederon vergaß der Angler, sich für die Belastbarkeit der Schnur zu interessieren. Nach einigem Nachdenken fand er jedoch eine Methode, diese Größe mit Hilfe eines Wägestücks von 1 kg und eines Winkelmessers – beide Dinge hatte er zufällig bei sich – zu bestimmen.

Man versuche zu erraten, in welcher Weise der Angler die Aufgabe gelöst hat.

60. Kann ein Fischer die Festigkeit seiner Angelschnur bestimmen, wenn er über ein Wägestück von 1 kg und ein Bandmaß verfügt?

61. Ein Angler beschloß, die Zerreißspannung (d.h. das Verhältnis von zerreißender Kraft und Querschnittsfläche) des Materials zu bestimmen, aus dem die Angelschnur hergestellt ist. Dafür stand ihm ein Stück Angelschnur bekannter Länge und bekannten Querschnitts, ein Wägestück und eine Stoppuhr zur Verfügung.

Wie mußte er das Experiment zur Bestimmung der ihn interessierenden Größe durchführen?

62. Bei ruhigem Wasser wird ein Stein in einen See geworfen. Wie bestimmt man angenähert die Wurfweite mit Hilfe eines Meterlineals und einer Stoppuhr?

Auf der Reise

63. Wie läßt sich bei windstillem Wetter die Fallgeschwindigkeit von Regentropfen aus den Spuren bestimmen, die sie an den Fenstern eines fahrenden Zuges hinterlassen?

Für die Lösung der Aufgabe ist nur die Verwendung einer Uhr und eines Winkelmessers erlaubt.

64. Wie läßt sich mit Hilfe eines Meßlineals die Fallgeschwindigkeit von Regentropfen aus den Spuren ermitteln, die sie an den Seitenfenstern eines fahrenden Autos hinterlassen? Das Wetter ist windstill.

65. Bei der Abfahrt von einem Bahnhof bewegt sich ein Zug eine bestimmte Zeit mit praktisch gleicher Beschleunigung. Man beschreibe eine Methode, wie man während dieser Zeit die Beschleunigung mit Hilfe eines Fadens, eines 100-g-Wägestücks und eines Meßlineals bestimmen kann.

66. Wie läßt sich die vorhergehende Aufgabe lösen, wenn man anstelle des Meßlineals einen Federkraftmesser verwendet?

67. Wie wird die Aufgabe Nr. 65 gelöst, wenn dem Experimentator vorgeschlagen wird, anstelle des Meßlineals einen Winkelmesser zu benutzen?

68. In einem Triebwagen der S-Bahn ist ein genaues Zählwerk für die Bestimmung der Umdrehungszahl der Räder und ein Thermometer für die Messung der Temperatur der Außenluft angebracht.

Wie läßt sich mit ihrer Hilfe der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient des Metalls bestimmen, aus dem die Räder hergestellt sind?

69. Man stelle sich vor, daß man mit dem Auto auf einer horizontalen Straße fährt. Wie läßt sich angenähert der Koeffizient des Bewegungswiderstands des Autos bestimmen, wenn man dafür nur die im Auto vorhandenen Geräte zur Verfügung hat?

70. Wie bestimmt man den Neigungswinkel einer Straße zur Ebene des Horizonts, wenn man einen Holzklötz und einen Federkraftmesser zur Verfügung hat?

71. Wie bestimmt man die Polarität der Pole einer Autobatterie mit Hilfe einer Prüflampe, eines Stücks Draht und eines Kompasses?

72. Wie löst man die vorhergehende Aufgabe, wenn zwei Leiterstücken und ein Glas mit Wasser zur Verfügung stehen?

73. Wie löst man Aufgabe Nr. 71, wenn man zwei Kupferdrähte und eine rohe Kartoffel zur Verfügung hat?

74. Ein Kraftfahrer wird gebeten, den Winkel zu bestimmen, den die Straße und der Horizont miteinander bilden. Dafür wird er mit einem Reifen und einer Stoppuhr ausgerüstet. Wie muß der Kraftfahrer vorgehen?

Im Schullaboratorium

75. Es sind zwei Pendel vorhanden. Die Periode des einen Pendels ist bekannt. Wie bestimmt man am einfachsten die Periode des anderen Pendels?

76. Aus unterschiedlichen Sorten Filterpapier ist dasjenige mit den kleinsten Poren auszuwählen. Wie läßt sich diese Aufgabe ohne Verwendung irgendwelcher Geräte lösen?

77. In einer Schublade lagen zwei ihrer äußeren Form nach vollkommen gleiche Klötze. Der eine bestand aus Weich-eisen, der andere war aus Stahl und war magnetisiert. Wie kann man nur unter Verwendung dieser beiden Klötze den Magneten vom einfachen Eisen unterscheiden?

78. Der eine von zwei vollkommen gleichen Glaskolben ist mit Wasser gefüllt, der andere mit Alkohol. Die Kolben sind dicht verschlossen. Wie kann man, ohne die Kolben zu öffnen, mit Hilfe einer Tischlampe feststellen, in welchem Kolben sich der Alkohol und in welchem sich das Wasser befindet?

79. Mit Hilfe von Wägestücken, einer Stoppuhr und der in Abb. 1 schematisch dargestellten Anlage soll die Masse des Körpers M bestimmt werden. Wie läßt sich diese Aufgabe am einfachsten lösen?

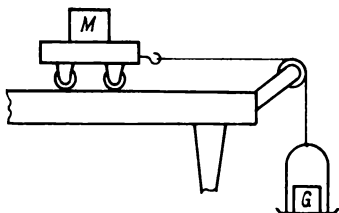


Abb. 1

80. Um einen geschlossenen Eisenkern sind zwei Spulen gewickelt. Wie läßt sich die Windungszahl beider Spulen ermitteln, wenn man eine Wechselstromquelle, eine Wicklung isolierten Drahtes und ein sehr empfindliches Mehrbereichsvoltmeter zur Verfügung hat?

81. Es soll die Masse und die Länge eines Kupferleiters bestimmt werden, aus dem die Wicklung der Spule eines Elektromagneten hergestellt worden ist. Die Spule soll dazu nicht abgewickelt werden. Kann die Aufgabe gelöst werden, wenn

eine Stromquelle, ein Voltmeter, ein Amperemeter und eine Feinmeßschraube zur Verfügung stehen?

82. Wie läßt sich der Durchmesser des Kanals einer homogenen Glaskapillare, beispielsweise von einem gewöhnlichen medizinischen Thermometer, mit Hilfe eines Lineals, eines Ansaugballs, einer genauen Waage mit kleinen Wägestücken und eines Tropfens Quecksilber bestimmen?

83. Zur Messung der Geschwindigkeit einer Gewehrkuugel verfügt der Experimentator über einen Elektromotor mit bekannter Drehzahl, zwei Pappscheiben, Leim, ein Lineal und einen Winkelmesser. In welcher Weise muß er die angegebenen Gegenstände einsetzen?

84. Das Gewicht irgendeines Körpers soll mit Hilfe eines Stativs, einer Feder, eines Lineals und eines einzigen Wägestücks bestimmt werden. Wie kann man das tun?

85. Gegeben sind ein Holzbrett, ein Klotz aus demselben Material und ein Lineal. Man beschreibe ein Verfahren für die Bestimmung des Reibungskoeffizienten von Holz auf Holz, wobei nur die genannten Gegenstände verwendet werden.

86. Wie läßt sich mit Hilfe eines Federkraftmessers der Reibungskoeffizient zwischen einem Klotz und einer geeigneten Fläche, auf der sich der Klotz befindet, bestimmen? Die Neigung der Fläche ist konstant und nicht sehr groß, so daß der Klotz ohne das Anlegen äußerer Kräfte nicht auf der Fläche gleitet.

87. Gewöhnlich verwendet man für die Bestimmung der Masse von Körpern eine Waage und einen Wägesatz. Was aber, wenn keine Waage vorhanden ist? Eine mögliche Variante für das „Wägen“ eines Körpers ohne Waage wurde in Aufgabe Nr. 79 behandelt. Jetzt muß eine andere Variante ausgearbeitet werden, da wiederum ein Wägestück zur Verfügung steht, aber anstelle der in Abb. 1 dargestellten Anordnung eine Spule mit dünner, fester Schnur, eine leichte Rolle und eine Stoppuhr verwendet werden sollen.

88. Wie läßt sich die Masse eines kleinen Stahlklotzes mit Hilfe eines Spirituskochers, einer Büchse mit Wasser, eines Kalorimeters, eines Thermometers und eines Meßzylinders bestimmen? Die Verwendung eines physikalischen Nachschlagewerkes ist erlaubt. Die Masse des Kalorimeters sowie das Material, aus dem das Kalorimeter hergestellt ist, sind bekannt.

89. Wie läßt sich angenähert die Temperatur eines hoch-erhitzten Stahlklotzes mit Hilfe der in der vorhergehenden Aufgabe aufgezählten Gegenstände ermitteln, wenn das Thermometer nur für die Messung von Temperaturen bis zu maximal $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ geeignet ist?

90. Man hat einen Akkumulator, von dem Urspannung und innerer Widerstand nicht bekannt sind, ein Amperemeter, verbindende Kabel und zwei Widerstände – einen bekannten und einen unbekannten. Wie bestimmt man die Größe des unbekannten Widerstandes?

91.¹⁾ 12 gleiche Widerstände $R = 1\ \Omega$ sind in der in Abb. 2 gezeigten Weise zu einem Würfel verbunden. Welche Stromstärke I zeigt der Strommesser A an, wenn man längs der Raumdiagonalen eine Spannung $U = 1\text{ V}$ anlegt?

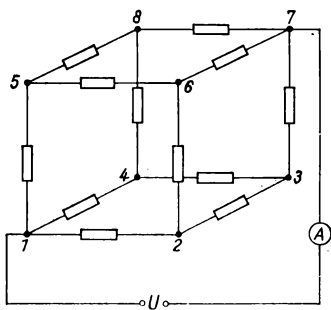


Abb. 2

92. Es liegt eine komplizierte elektrische Schaltung vor, die aus gleichen Kondensatoren bekannter Kapazität C besteht, die sowohl parallel als auch hintereinander geschaltet sind. Zunächst wurde die Kapazität der Kondensatorbatterie theoretisch berechnet. Da die Schaltung sehr kompliziert ist, war es nur natürlich zu versuchen, den theoretisch erhaltenen Wert experimentell zu überprüfen. Dazu wird vorgeschlagen, einen Satz gleicher Widerstände, ein Voltmeter, ein Amperemeter und eine Akkumulatorenbatterie zu verwenden. Wie muß man vorgehen?

¹⁾ Aufgabe 91 wurde von der Redaktion der deutschen Fassung anstelle der ursprünglichen, für den deutschen Leser wenig geeigneten Aufgabe eingefügt (Beschreibung einer nicht üblichen Batterie).

93. Wie kann man den Rauminhalt eines Unterrichtsraums bestimmen, wenn dafür eine Wicklung mit Kupferdraht, eine Waage mit einem Wägesatz, ein Akkumulator, ein Voltmeter, ein Amperemeter und ein physikalisches Nachschlagewerk zur Verfügung stehen?

94. Man überlege sich ein Verfahren für die Bestimmung des Rauminhalts des Unterrichtsraums in dem Fall, daß von den in der vorhergehenden Aufgabe aufgezählten Gegenständen nur die Verwendung der Drahtwicklung und der Waage mit dem Wägesatz erlaubt ist.

95. Eine aus Invar (Legierung mit sehr kleinem thermischem Ausdehnungskoeffizienten) hergestellte Stimmgabel hat eine Frequenz von 440 Hz, die praktisch unabhängig von der Temperatur ist. Wie kann man die Temperatur im Laboratorium bestimmen, wenn man die Schwebungen zwischen der Stimmgabel und einer Orgelpfeife zählt, wenn die Orgelpfeife bei 0 °C gleichfalls 440 Schwingungen je Sekunde liefert, wobei vorausgesetzt wird, daß sich die Länge der Orgelpfeife nicht mit der Temperatur ändert?

Im Betrieb

96. Wie läßt sich feststellen, ob ein Sägeblatt magnetisiert ist oder nicht, ohne dabei irgendwelche Geräte oder andere Körper zu verwenden?

97. Man überlege sich eine Methode zur Bestimmung des Flächeninhalts einer homogenen Platte unregelmäßiger Form mit Hilfe eines Zeichendreiecks mit Teilung, einer Schere und einer Waage mit Wägesatz.

98. Man hat ein Gefäß mit einer geschmolzenen Substanz und ein Stück desselben Materials im festen Zustand. Wie kann man voraussagen, wie sich die Dichte beim Übergang in den festen Zustand ändert, ohne das Erstarren abzuwarten?

99. Wie läßt sich mit Hilfe eines Lineals, das keine Teilung besitzt, die Lage des Schwerpunkts einer homogenen Metallplatte bestimmen, deren sämtliche Winkel rechte Winkel sind (Abb. 3)?

100. Wie läßt sich mit Hilfe eines starken Magneten (am besten eines Hufeisenmagneten) bestimmen, ob eine Glühlampe mit Gleichstrom oder mit Wechselstrom betrieben wird?

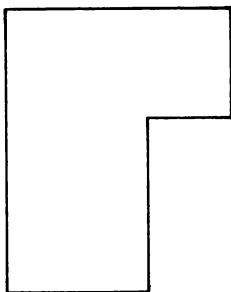


Abb. 3

101. Ein Wattmeter (ein Gerät, das für die Messung der Leistung bestimmt ist, die dem Netz durch elektrische Anlagen entnommen wird) hat zwei Klemmenpaare, an die die beiden Spulen des Wattmeters angeschlossen sind: die Stromspule, die mit der Anlage in Reihe geschaltet ist und demzufolge einen geringen Widerstand besitzt, und die parallel zur Anlage geschaltete Spannungsspule. Die Bezeichnungen an den Klemmen sind unleserlich geworden. Kann man mit Hilfe zweier Leiterstücke und einer Taschenlampe feststellen, welche Spule an welche Klemmen angeschlossen ist, ohne das Gerät zu öffnen?

102. Kann man mit Hilfe eines Voltmeters feststellen, auf welcher Seite sich in einem Zweiseitersystem die Stromquelle befindet?

103. Ein unerfahrener Dreher hat eine Serie von Teilen hergestellt, die fehlerhaft sind, und zwar hat jedes Teil eine um 10 g geringere Masse als vorgesehen. Vor der Rücksendung zum Einschmelzen wurden die fehlerhaften Teile im Lager in einem speziellen Kasten aufbewahrt, neben dem neun weitere solche Kästen desselben Aussehens standen, aber mit fehlerfreien Teilen, die folglich auch die richtige Masse hatten.

Der zerstreute Lagerverwalter vergaß, in welchem Kasten die fehlerhaften Teile liegen. Natürlich läßt sich das Problem einfach lösen, indem man nacheinander aus den verschiedenen Kästen entnommene Teile abwägt. Es kann aber sein, daß die zum Einschmelzen bestimmten Teile im letzten Kasten liegen, und dann müssen neun Wägungen ausgeführt werden (die Teile des letzten Kastens müssen nicht unbedingt gewogen werden, wenn in den ersten neun Kästen keine

fehlerhaften Teile gefunden wurden und sich demzufolge die fehlerhaften Teile im letzten Kasten befinden). Der hinzugekommene Lagerleiter meinte, daß für die Suche nach dem erforderlichen Kasten eine Wägung ausreiche.

Wie muß der Lagerverwalter vorgehen?

104. Wie kann man die Oberfläche eines sich in der Drehbank befindlichen Teils begutachten, ohne die Drehbank anzuhalten?

105. Ein Reihenschlußmotor für Wechselstrom wird an das Netz über einen Widerstand angeschlossen, mit dessen Hilfe die Drehzahl kontinuierlich verändert wird.

Wie läßt sich mit Hilfe einer Leuchtstofflampe, eines Zirkels, eines Lineals, eines Bleistifts, einer Schere, eines Stücks Pappe und Leim die Drehzahl des Motors auf genau a) 750 Umdrehungen je Minute, b) 1500 Umdrehungen je Minute einstellen?

Im Kosmos

106. Ein Kosmonaut, der sich im freien Raum befindet, muß unbedingt in das Raumschiff zurückkehren. Auf der Erde ist das eine einfache Aufgabe, im Kosmos ist aber alles viel komplizierter, da man sich nirgendwo mit den Füßen abstoßen kann. Wie kann sich der Kosmonaut trotzdem von der Stelle bewegen?

107. Für die Bestimmung der Masse von Körpern werden entweder Balkenwaagen oder Federkraftmesser verwendet. Es hat den Anschein, als ob keine der beiden unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit, beispielsweise auf einem kleinen künstlichen Erdsatelliten oder in einem Raumschiff, einsetzbar wäre. Wie könnte man vorgehen, wenn die Aufgabe gestellt wäre, die Masse eines Körpers unter diesen Bedingungen trotzdem damit zu bestimmen?

Welches Meßgerät – den Federkraftmesser oder die Balkenwaage – muß man verwenden und wie?

108. Ein Raumschiff ist bei seinem Anflug an einen unbekannten Planeten durch Einschalten der Triebwerke auf eine Kreisbahn übergegangen, und die Kosmonauten haben mit ersten Untersuchungen begonnen. Können sie die mittlere Dichte der Materie des Planeten unter Zuhilfenahme einer Uhr bestimmen?

109. Zur experimentellen Bestimmung der Fallbeschleunigung eines neu entdeckten Planeten haben die Kosmonauten beschlossen, eine kleine Stahlkugel, eine leistungsfähige Lampe, einen Elektromotor mit konstanter (bekannter) Drehzahl, auf dessen Achse eine Pappscheibe mit einem schmalen radialen Schlitz befestigt ist, ein Stück schwarzen Stoffs, ein Lineal mit Teilung und einen Photoapparat mit einem hochempfindlichen Film zu verwenden.

Wie muß man die genannten Gegenstände und Geräte einsetzen, um die gestellte Aufgabe zu lösen?

110. Wie kann die vorhergehende Aufgabe mit Hilfe eines Wägestücks bekannter Masse und eines Federkraftmessers gelöst werden?

111. Die Kosmonauten haben sich das Ziel gestellt, die Masse des Planeten zu bestimmen, zu dem sie mit ihrem Raumschiff gelangt sind. Hierfür verwendeten sie einen Federkraftmesser und ein Kilogrammstäbchen. Wie führen sie ihre Absicht aus, wenn der Radius des Planeten aus vorangegangenen astronomischen Messungen bekannt ist?

112. Bei der Fortführung der Untersuchungen des Planeten, zu dem die Kosmonauten gelangt waren, führten sie eine zweite Bestimmung der mittleren Dichte seiner Materie durch (siehe Aufgabe Nr. 108). Wie können sie das tun, wenn sie über einen dünnen Faden bekannter Länge, ein kleines Massestück und eine Uhr verfügen? Die Kosmonauten kennen auch die Länge des Äquators des Planeten, die noch vor der Landung bestimmt werden konnte.

113. Der Lehrer eines amerikanischen Colleges, der den Ausstieg der Kosmonauten auf den Mond am Fernsehschirm verfolgte, bemerkte, daß an einer der Raumschiffzellen neben der Figur des Kosmonauten ein schwerer Gegenstand an einem Seil hin und her pendelte. Durch einen Blick auf seine Uhr konnte der Lehrer die Fallbeschleunigung auf dem Mond bestimmen. Wie tat er das?

114. Wie können die Kosmonauten beim Anflug an einen unbekannten Planeten mit Hilfe eines empfindlichen Galvanometers und einer Drahtspule feststellen, ob der Planet ein Magnetfeld besitzt oder nicht?

115. Ein Kosmonaut, der sich in den freien Kosmos begeben hat und weder mit dem Raumschiff noch mit einem anderen Objekt verbunden ist, will sich um 180° drehen. Wie muß er dazu vorgehen?

116. Man stelle sich vor, daß auf der Venus Leben entstanden ist und sich dort im Laufe der Zeit vernünftige Wesen entwickelt haben. Bei der Entwicklung der Wissenschaft sind sie aufgrund der Spezifik der umgebenden Bedingungen ständig auf Schwierigkeiten gestoßen, die den Bewohnern der Erde vollkommen unbekannt sind. Auf der Venus herrscht beispielsweise eine so dichte Wolkendecke, daß die Venusbewohner niemals die Sterne am Himmel sehen würden. Es erhebt sich die Frage, ob sie die Drehung der Venus um ihre eigene Achse feststellen und die Rotationsrichtung bestimmen könnten. Man versuche, eine Methode hierfür vorzuschlagen.

Hinweise

1. An einem Meßbecher für den Haushalt sind verschiedene Skalen für schüttbare Produkte angebracht: Mehl, Grieß, Zucker usw. Diese Skalen sind in Gramm geeicht. Es gibt auch eine Skala für beliebige Flüssigkeiten, die in Kubikzentimetern geeicht ist.

2. Man stütze das Lineal in der Mitte ab, indem man es beispielsweise auf die Kante einer Dreikantfeile legt, und erinnere sich an die Gleichgewichtsbedingungen bei einem Hebel.

3. Man wäge den leeren Kochtopf und dann den Kochtopf mit Wasser.

4. Man denke darüber nach, welche Möglichkeiten es gibt, eine Ebene zu legen, damit sie den Zylinder in zwei volumengleiche Teile zerlegt.

5. Man denke zunächst darüber nach, warum sich die Fallgeschwindigkeit eines Fallschirmspringers bei der Öffnung des Fallschirms stark verringert.

6. Der Stab befindet sich im Gleichgewicht, wenn er im Schwerpunkt abgestützt wird.

7. Eine auf einer Ebene rollende Kugel legt bei einer Umdrehung eine Strecke zurück, die der Länge ihres Umfangs gleich ist.

8. Der Durchmesser der Kugel läßt sich sehr leicht durch ihr Volumen ausdrücken.

9. Man wickle auf den Bleistift einige Drahtwindungen dicht auf.

10. Man erinnere sich an das Gesetz des *Archimedes*.

11. Diese Aufgabe ist ebenfalls mit Hilfe des Archimedes'schen Gesetzes zu lösen. Die Stricknadel benötigt man nur, um den Pfropfen in das Wasser zu tauchen.

12. Je größer die Dichte eines Körpers ist, um so kleiner ist der Teil des Volumens, der sich oberhalb der Wasseroberfläche befindet.

13. Es gibt eine Legende, nach der *Archimedes* sein Gesetz beim Nachdenken darüber entdeckte, wie festzustellen sei, ob der Hofjuwelier die für den König Hiero bestimmte

Krone aus reinem Gold angefertigt oder einen Teil der Krone durch Silber ersetzt habe. In unserer Aufgabe spielt der Pfropfen die Rolle der Krone, das Glas die Rolle des Goldes und die Luft die Rolle des Silbers.

14. Ein an die Wand gelehnter Stab beginnt zu gleiten und fällt, wenn der Neigungswinkel zur Ebene des Fußbodens hinreichend klein ist.

15. Optisch wird eine Linse mit kleinerer Brennweite als stärker bezeichnet.

16. Die optische Stärke eines Systems von zwei dicht aufeinander gebrachten Linsen ist gleich der Summe der Stärken der beiden Einzellinsen.

17. Wahrscheinlich ist es am einfachsten, für die Lösung der Aufgabe einpolige Schalter zu verwenden (Abb. 4a).

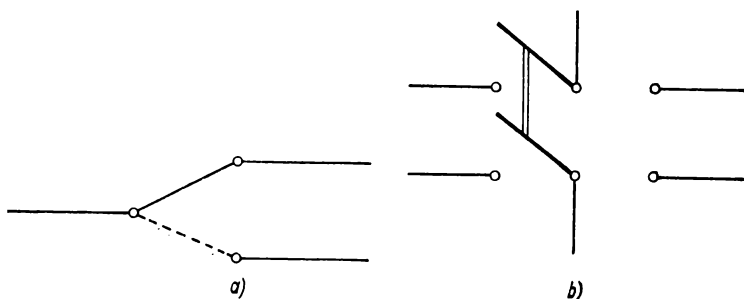


Abb. 4

18. Wirft man die Büchse vom Dach des Hauses herunter, so wird das Geräusch beim Aufprall der Büchse auf die Erdoberfläche deutlich zu hören sein.

19. Je größer der Durchmesser des Gefäßes ist, um so langsamer füllt es sich.

20. Die Höhe eines Springbrunnens wird durch die Ausfluggeschwindigkeit des Wassers bestimmt.

21. Die Dichte des Gases hängt von dem Druck ab, unter dem es sich befindet.

22.–24. Bei unveränderlicher Temperatur ist das Volumen eines Gases dem Druck umgekehrt proportional.

25. Man erinnere sich an die Formel, mit deren Hilfe es möglich ist, die Wärmemenge zu berechnen, die für die Erwärmung und die Verdampfung einer Substanz erforderlich ist.

26., 27. Bei der Erwärmung eines Metalls wächst sein Widerstand nach einem linearen Gesetz.

28. Die dem elektrischen Netz entnommene Energiemenge ist der Leistung des eingeschalteten Geräts sowie seiner Betriebsdauer proportional.

29. Man versuche, ein- und zweipolige Schalter zu verwenden (Abb. 4).

30. Man denke darüber nach, welche Kraft eine Bewegung des Würfels auf einer Kreisbahn auslöst, das heißt die Rolle der Radialkraft übernimmt.

31., 32. Man erinnere sich an die Formel für die Berechnung der Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels.

33. Die Fallzeit eines Körpers aus nicht sehr großer Höhe läßt sich leicht berechnen.

34. Man versuche, den Klotz in Bewegung zu versetzen, indem man die Kraft in unterschiedlicher Höhe angreifen läßt, und beobachte seine Bewegung.

35. Ein Schwungrad mit am Rand angebrachter Masse läßt sich schwerer in Bewegung versetzen als ein Schwungrad mit gleichmäßiger Massenverteilung.

36. Die Zerreißfestigkeit eines Drahtes hängt vom Material und vom Drahtdurchmesser ab.

37. Der Mittelpunkt der auf der Oberfläche des Spiegels rollenden Kugel führt dieselbe Bewegung aus wie ein Pendel.

38. Wenn die Längen des Hebels unterschiedlich sind, kann das Kind die Masse des Erwachsenen ausgleichen.

39. Je weiter die Schallquelle entfernt ist, um so später ist der Schall zu hören.

40. In einer Sekunde durchläuft das Licht eine Strecke von 300 000 km, der Schall dagegen wenig mehr als 300 m.

41. Man nutze die Tatsache aus, daß in ähnlichen Dreiecken die entsprechenden Seiten einander proportional sind.

42. Die Autos müssen bei beliebiger Geschwindigkeit von einer Verkehrsampel zur nächsten die gleiche Strecke durchfahren.

43. Man verwende das zweite und dritte Newtonsche Gesetz.

44. Man beachte den Hinweis zur Aufgabe Nr. 41.

45.–47. Je größer die Geschwindigkeit ist, mit der ein Körper unter einem bestimmten Winkel zum Horizont abgeworfen wird, um so höher steigt er und um so weiter fliegt er.

48. Man beachte den Hinweis zu Aufgabe Nr. 41.

49. Um eine Spule, durch die ein elektrischer Strom fließt, bildet sich ein Magnetfeld aus, das dem in der Nähe eines Dauermagneten ähnlich ist.

50. Das Schälchen mit dem Quecksilber ist als horizontal angeordneter Spiegel zu verwenden, in dem das Spiegelbild der Spitze des Turms zu sehen ist.

51. Die Siedetemperatur hängt vom Druck ab, und der Druck fällt mit der Höhe.

52. Man nutze die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke vom Abstand von der Lichtquelle aus.

53. Man erinnere sich an das erste Newtonsche Gesetz und berücksichtige, daß die rotierende Scheibe kein inertiales Bezugssystem darstellt.

54. Man beobachte das Verhalten des Seifenschaums, der auf eine Oberfläche reinen Wassers gebracht wird.

55., 56. Man wende die Grundgesetze der Dynamik an.

57. Man erinnere sich daran, daß vor den Nachrichten gewöhnlich die Zeitzeichen gesendet werden.

58. Man versuche, das Boyle-Mariottesche Gesetz auszunutzen.

59., 60. Man beachte die Tatsache, daß selbst bei beliebiger Belastung der Schnur mit einem an ihr befestigten Wägestück keine streng horizontale Streckung möglich ist.

61. Man analysiere den Ausdruck für die Radialkraft.

62. Vom Auftreffort des Steins beginnen sich Wellen auszubreiten, die das Ufer erreichen.

63., 64. Die Geschwindigkeit des Tropfens relativ zum Zug oder zum Auto ist gleich der Vektorsumme seiner Geschwindigkeit relativ zur Erde und der Geschwindigkeit der Erde relativ zum Fahrzeug. Man betrachte die gegenseitige Orientierung dieser drei Vektoren.

65.–67. Man betrachte die Kräfte, die auf das an dem Faden aufgehängte Wägestück wirken.

68. Alle Körper dehnen sich bei Erwärmung aus.

69. Man mache sich mit dem Aufbau und dem Zweck des Tachometers im Auto vertraut.

70. Man vergleiche die Kräfte, die für die Verschiebung eines Klotzes auf einer geneigten Ebene nach oben und nach unten erforderlich sind.

71. Man erinnere sich an das Experiment von *Oersted* und die Schraubenregel.

72. Man tauche die Enden der Leiter, die zu den Elektro-

den führen, in Wasser und beobachte die auftretenden Erscheinungen.

73. Man verbinde die Leiter mit den Elektroden und stecke die freien Enden in die aufgeschnittene Kartoffel.

74. Die Zeit für das Hinabrollen des Reifens hängt von der Neigung der Straße ab.

75. Man versetze beide Pendel in Schwingungen und beobachte.

76. Man erinnere sich an die Erscheinung der Kapillarität und die sie beschreibenden Gesetze.

77. Man denke daran, daß ein Magnet stets Pole besitzt!

78. Die optische Stärke einer Linse hängt vom Brechungsindex des Materials ab, aus dem die Linse hergestellt ist.

79. Gleiche Kräfte erteilen Körpern gleicher Masse die gleiche Beschleunigung.

80. Man erinnere sich an den Aufbau und die Wirkungsweise des Transformators.

81. Der Widerstand und die Masse eines Leiters hängen von seinem Durchmesser und seiner Länge ab.

82. Die Masse eines Zylinders ist seiner Höhe und dem Quadrat seines Durchmessers direkt proportional.

83. Während die Kugel die Strecke zwischen den beiden auf der Motorachse befestigten Scheiben durchfliegt, rotieren die Scheiben weiter.

84. Man verwende das Hookesche Gesetz.

85. Der Klotz wird nicht die Ebene herabgleiten, solange die Neigung nicht sehr groß ist.

86. Siehe den Hinweis zu Aufgabe Nr. 70.

87. Man lege die Schnur über die Rolle und befestige an ihren beiden Enden den Körper und das Wägestück.

88., 89. Die Wärmemenge, die für die Änderung der Temperatur eines Körpers erforderlich ist, ist seiner Masse proportional.

90. Man verwende das Ohmsche Gesetz für den gesamten Stromkreis.

91. Man beachte, daß man in einer beliebigen elektrischen Schaltung Punkte gleichen Potentials leitend miteinander verbinden kann, ohne daß sich der elektrische Widerstand ändert.

92. In Wechselstromkreisen verhält sich ein Kondensator wie ein Widerstand, dessen Größe durch die Kapazität des Kondensators und die Frequenz des Wechselstroms bestimmt ist.

93. Der Widerstand eines Leiters ist seiner Länge direkt proportional.

94. Siehe den Hinweis zu Aufgabe Nr. 36.

95. Bei der Lösung dieser Aufgabe muß beachtet werden, daß die Schallgeschwindigkeit von derselben Größenordnung ist wie die Geschwindigkeit der Gasmoleküle und demzufolge in gleicher Weise von der Temperatur abhängt.

96. Man breche das Sägeblatt in zwei Teile.

97. Die Masse einer bezüglich ihrer Dicke homogenen Platte ist ihrer Fläche proportional.

98. Ein Körper schwimmt in einer Flüssigkeit, wenn seine Dichte kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit.

99. Der Schwerpunkt eines Systems zweier Körper liegt auf der Geraden, die die Schwerpunkte dieser Körper miteinander verbindet.

100. In einem Magnetfeld wirkt auf einen stromdurchflossenen Leiter eine Kraft, deren Richtung von der Stromrichtung abhängt.

101. Die Widerstände der beiden Spulen des Wattmeters unterscheiden sich sehr stark voneinander.

102. Der Potentialunterschied zwischen den Enden eines Leiterstücks ist dem durch das Leiterstück fließenden Strom proportional.

103. Wenn von drei aufs Geratewohl aus den Kästen herausgegriffenen Teilen zwei fehlerhaft wären, so würde die Gesamtmasse der Teile um zwanzig Gramm kleiner sein als gefordert. Wenn sich unter den drei Teilen nur ein fehlerhaftes befindet, so wird die Gesamtmasse um zehn Gramm unter der richtigen Masse liegen.

104. Man beachte die Tatsache, daß sich das Teil nach jeder Umdrehung wieder in derselben Lage befindet.

105. Die an das Wechselstromnetz angeschlossene Leuchtstofflampe leuchtet 100mal in der Sekunde auf.

106. Man erinnere sich an das Wirkprinzip einer Rakete.

107. *Einstein* lenkte als erster die Aufmerksamkeit darauf, daß die Trägheitskräfte, die bei der beschleunigten Bewegung fester Körper auftreten, den Gravitationskräften äquivalent sind.

108. Man schreibe den Ausdruck für die Radialkraft auf und setze den erhaltenen Ausdruck der Gravitationskraft gleich.

109. Die Strecken, die von einem fallenden Körper in gleichen Zeitabschnitten nacheinander durchlaufen werden, verhalten sich wie die aufeinanderfolgenden ungeraden Zahlen.

110. Man verwende das zweite Newtonsche Gesetz.

111. Man erinnere sich an das allgemeine Gravitationsgesetz.

112. Man lese die Hinweise zu den beiden vorhergehenden Aufgaben.

113. Man verwende die Formel für die Schwingungsdauer des mathematischen Pendels.

114. Bei einer Änderung des die Spule durchsetzenden magnetischen Flusses entsteht in der Spule eine Induktionsspannung.

115. Wenn man den Rotor eines Elektromotors feststellt, beginnt der Stator zu rotieren, sofern er nicht daran gehindert wird.

116. Man erinnere sich an die Eigenschaften des Kreisels und des Pendels.

Lösungen der Aufgaben

1. Schüttet man eine gewisse Menge Zucker in den Meßbecher (über das Aussehen von für den Haushalt vorgesehenen Meßbechern wurde bereits im Kapitel „Hinweise“ gesprochen), so findet man seine Masse mittels der entsprechenden Skala, sein Volumen mittels der Skala für die Flüssigkeiten. Danach berechnet man die Dichte in der üblichen Weise. Der erhaltene Wert wird jedoch etwas kleiner sein als der wahre Wert, da der mit Luft gefüllte Zwischenraum zwischen den Zuckerkörnern einen zusätzlichen Beitrag zum Volumen liefert.

2. Die Lösung wird durch die Abb. 5 illustriert. Man muß die Mitte des Lineals auf die Kante der Feile legen, was unter Ausnutzung der auf dem Lineal vorhandenen Teilung leicht

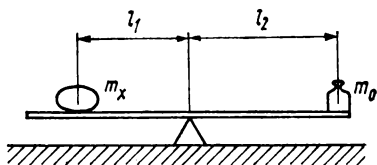


Abb. 5

zu bewerkstelligen ist. Dann wird für das Wägestück und den untersuchten Körper die Lage ausgewählt, bei der sich das System im Gleichgewicht befindet. Aus der Gleichgewichtsbedingung

$$m_x g l_1 = m_0 g l_2$$

für den Hebel (g ist die Fallbeschleunigung) läßt sich die gesuchte Masse m_x bestimmen. Die Größen l_1 und l_2 werden an der Teilung des Lineals abgelesen, während entsprechend der Aufgabenstellung m_0 gleich 100 g ist. In der Gleichung, die die Gleichgewichtsbedingung für den Hebel ausdrückt, braucht das Gewicht des Lineals nicht berücksichtigt zu werden, da das Drehmoment dieser Kraft bezüglich der Achse gleich Null ist.

3. Die Masse des leeren Kochtopfs sei m_1 , nach dem Füllen mit Wasser ergebe sich die Masse m_2 . Dann ist die Differenz $m_2 - m_1$ gleich der Masse des Wassers im Kochtopf. Teilt man diese Differenz durch die Dichte ϱ des Wassers, so findet man das Volumen V des Kochtopfs:

$$V = \frac{m_2 - m_1}{\varrho}.$$

4. Wenn man in Gedanken durch die Punkte M und N so eine Ebene legt, wie das in Abb. 6a gezeigt ist, so teilt diese Ebene den Zylinder in zwei zueinander symmetrische und demzufolge volumengleiche Teile. Hieraus folgt die Lösung der Aufgabe.

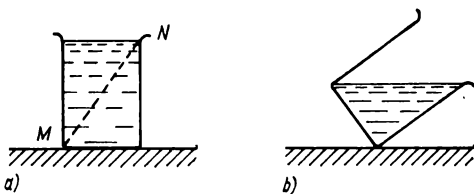


Abb. 6

Durch allmähliches Neigen des Glases schüttet man so lange die in ihm enthaltene Flüssigkeit heraus, bis gerade der Boden des Glases sichtbar wird (Abb. 6b). In diesem Augenblick befindet sich im Glas noch genau die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Flüssigkeitsmenge.

5. Auf eine fallende Schachtel wirken zwei Kräfte – die Anziehungskraft G der Erde und der Luftwiderstand F_{wid} . Die erste Kraft wird durch die Masse bestimmt und ist demzufolge für die vollere Schachtel größer. Die zweite Kraft dagegen ist bei gleichen Geschwindigkeiten für beide Schachteln gleich groß. Deshalb wird die Resultierende dieser Kräfte für die vollere Schachtel im allgemeinen größer sein. Folglich wird diese Schachtel die größere Beschleunigung erfahren,¹⁾ schneller eine größere Geschwindigkeit erhalten und demzufolge die Erde früher erreichen. Man braucht also nur

¹⁾ Die Beschleunigung steigt mit wachsender Masse, weil gilt

$$a = \frac{G - F_{\text{wid}}}{m} = \frac{mg - F_{\text{wid}}}{m} = g - \frac{F_{\text{wid}}}{m}.$$

beide Schachteln gleichzeitig vom Balkon herunterfallen zu lassen. Die Schachtel, die die Erdoberfläche zuerst erreicht, enthält mehr Streichhölzer. Überzeugende Resultate ergeben sich natürlich nur dann, wenn der Unterschied in der Zahl der Streichhölzer in den Schachteln nicht besonders klein ist.

6. Am leichtesten findet man den Schwerpunkt des Stabes natürlich, indem man ihn auf der Handkante ins Gleichgewicht bringt. Der Zustand des Gleichgewichts bedeutet bekanntlich, daß der Schwerpunkt über dem Auflagepunkt liegt. Es gibt jedoch eine interessantere und lehrreiche Methode für die Lösung der Aufgabe.

Legt man den Stab horizontal auf die Handkanten beider Hände und bewegt die Hände langsam aufeinander zu, so treffen sie sich immer im Schwerpunkt, und der Stab fällt nicht herunter, wie man auch die Hände bewegt.

Die Ursache für dieses Verhalten liegt darin, daß sich bei der Annäherung einer Hand an den Schwerpunkt der Druck auf diese Hand erhöht, verglichen mit dem Druck auf die zweite, vom Schwerpunkt weiter weg befindliche Hand. Da sich gleichzeitig mit dem Druck die Reibungskraft erhöht, wird sie schließlich größer als die Reibungskraft zwischen dem Stab und der zweiten Hand. Dadurch wird die Bewegung des Stabes relativ zur ersten Hand unterbrochen, und es beginnt eine Bewegung relativ zur zweiten Hand. Somit befindet sich der Schwerpunkt stets zwischen den Handkanten und wird schließlich von ihnen „eingefangen“.

7. Es genügt, den mit Wasser angefeuchteten Ball über den Fußboden zu rollen, und zwar um genau eine Umdrehung, und die Länge l der nassen Wegstrecke zu messen. Der Durchmesser d berechnet sich dann aus der Formel

$$d = l : \pi.$$

Man kann auch mit einem Faden den „Äquator“ des Balls umspannen, die Länge des Fadens ausmessen und in derselben Weise den Durchmesser berechnen.

8. Zunächst wird mit Hilfe eines Meßbechers in der üblichen Weise das Volumen V der Kugel bestimmt, woraus sich dann mit der Formel

$$d = \sqrt[3]{6V/\pi}.$$

der Durchmesser d berechnen läßt.

9! In den Schulheften ist die Seitenlänge jedes Karos recht genau gleich einem halben Zentimeter (der Autor hat selbst einige Hefte überprüft, und nur im ungünstigsten Falle wurde für 40 Karos eine Länge von 202 mm anstelle von 200 mm gefunden, was einer Genauigkeit von 1 % entspricht). Das kann bei der Lösung der Aufgabe ausgenutzt werden.

Der Draht ist in dicht aneinander liegenden Windungen auf den Bleistift zu wickeln, und zwar so, daß die Länge der entsprechenden Wicklung einer ganzen Zahl von Karos entspricht. Die Zahl der Windungen darf dabei nicht zu klein sein, da sonst der Fehler zu groß wird, wie man aus den folgenden Überlegungen sieht. Danach wird die Länge l der Wicklung durch die Zahl n der Windungen dividiert, und man erhält die gesuchte Größe:

$$d = l/n$$

(siehe dazu die Abb. 7, wo die Heftseite durch ein Lineal ersetzt wurde).

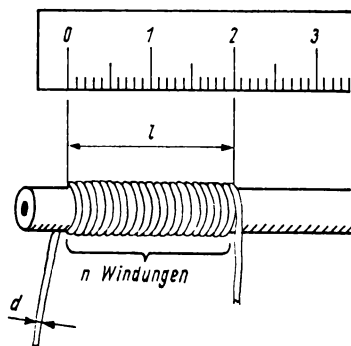


Abb. 7

In der Fehlertheorie wird bewiesen, daß der relative Fehler eines Bruchs gleich der Summe der relativen Fehler von Zähler und Nenner ist. In unserem Falle wird l mit einer Genauigkeit von etwa 1 % bestimmt (siehe oben). Beim Abzählen der Windungen kann sich der Experimentator durchaus um eine Windung irren, so daß es häufig schwierig ist, festzustellen, ob die Angabe von 49 oder 50 Windungen richtiger ist. Aus diesem Grunde erhält man für den relativen Fehler des Nenners etwa 0,02. So ergibt sich bei der Bestim-

mung des Drahtdurchmessers ein relativer Fehler von 3 %, das entspricht bei einem Durchmesser von 0,1 mm einem absoluten Fehler von 0,003 mm, was durchaus nicht als schlecht bezeichnet werden kann. Leider wird der Fehler in der Praxis stets größer sein, da es schwierig ist, eine dichte Wicklung des Drahtes herzustellen.

10. Wenn ein Körper schwimmt, so ist seine Masse gleich der Masse der von ihm verdrängten Flüssigkeit. Zunächst bestimmt man das Volumen des verdrängten Wassers, indem man die Querschnittsfläche des Gefäßes, die mit Hilfe des Lineals bestimmt wird, mit der Absenkung des Wasserspiegels im Gefäß beim Herausnehmen des Körpers (die Absenkung wird ebenfalls mit dem Lineal gemessen) multipliziert. Durch Multiplikation des Volumens des verdrängten Wassers mit der Dichte des Wassers erhält man die Masse des verdrängten Wassers und folglich auch die Masse des schwimmenden Körpers.

11. Indem man den Pfropfen in einen Meßbecher wirft und die Erhöhung des Wasserspiegels bestimmt, findet man nach dem in der vorhergehenden Aufgabe beschriebenen Verfahren die Masse des Pfropfens. Das Volumen des Pfropfens kann ermittelt werden, indem man den Pfropfen mit Hilfe der Stricknadel vollständig im Wasser untertaucht. Danach läßt sich die Dichte leicht berechnen.

12. Außer dem in der vorhergehenden Aufgabe beschriebenen Verfahren läßt sich die folgende Methode angeben. Man bestimmt zunächst die Gesamtlänge des Stäbchens und taucht es danach ins Wasser. Die Gesamtlänge sei l_1 , die sich unter der Wasseroberfläche befindliche Länge l_2 . Dann ist die Masse des Stäbchens

$$m_1 = l_1 A \rho_1,$$

wobei ρ_1 die Dichte des Holzes und A die Querschnittsfläche des Stäbchens ist.

Andererseits ist die Masse des verdrängten Wassers gleich

$$m_2 = l_2 A \rho_2,$$

wobei ρ_2 die Dichte des Wassers angibt. Da das Stäbchen schwimmt, sind beide Massen gleich groß,

$$l_1 A \rho_1 = l_2 A \rho_2,$$

woraus sich ergibt:

$$\varrho_1 = \varrho_2(l_2/l_1).$$

Wichtig ist hierbei, daß das Stäbchen senkrecht oder mit nur geringer Neigung schwimmt, da sonst die Lösung der Aufgabe wesentlich schwieriger ist. Zu diesem Zweck wurde ein enges zylindrisches Gefäß für das Experiment gewählt, dessen Seitenwände ein horizontales Schwimmen verhindern.

13. Das Volumen des Hohlraums V_{Hohl} ist mit dem Volumen des Stopfens V_{St} und dem Volumen des Glases V_{Glas} über die offensichtliche Gleichung

$$V_{\text{Hohl}} = V_{\text{St}} - V_{\text{Glas}}$$

verknüpft.

Die Masse des Stopfens sei gleich m_1 . Wenn sich der Stopfen während der Wägung im Wasser befindet (sogenannte hydrostatische Wägung), verringert sich die Anzeige der Waage auf m_2 , da entsprechend dem Archimedeschen Gesetz auf den Stopfen die Auftriebskraft wirkt. Man kann sich leicht überlegen, daß die scheinbare Verringerung der Masse $m_1 - m_2$ gleich der Masse des verdrängten Wassers ist. Wenn man nun diese Differenz durch die Dichte ϱ_1 des Wassers dividiert, erhält man das Volumen des verdrängten Wassers und damit das Volumen des Stopfens:

$$V_{\text{St}} = (m_1 - m_2)/\varrho_1.$$

Für die Bestimmung des Volumens des Glases reicht es aus, die Masse des Stopfens durch die Dichte ϱ_2 des Glases zu dividieren, die einer Tabelle entnommen werden kann,

$$V_{\text{Glas}} = m_1/\varrho_2.$$

Danach ergibt sich schließlich

$$V_{\text{Hohl}} = (m_1 - m_2)/\varrho_1 - m_1/\varrho_2.$$

14. Man drücke mit dem senkrecht aufgestellten Stab auf das Eisenblech und beginne dann den Stab allmählich zu neigen (Abb. 8). Bei einem bestimmten Neigungswinkel α beginnt der Stab auf dem Eisen zu gleiten. Das geschieht in dem Moment, wenn die Horizontalkomponente der auf das obere Stabende in Richtung des Stabes ausgeübten Kraft F gleich der Reibungskraft ist.

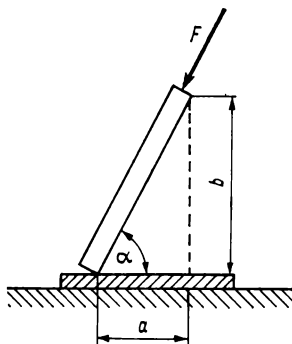


Abb. 8

Die Horizontalkomponente der Kraft F ist gleich $F \cos \alpha$. Andererseits läßt sich die Reibungskraft durch die folgende Beziehung ausdrücken:

$$F_R = \mu (G + F \sin \alpha),$$

wobei μ der gesuchte Reibungskoeffizient, G das Gewicht des Stabes und $F \sin \alpha$ die Vertikalkomponente der Kraft F , die den Stab (zusammen mit seinem Gewicht) auf das Blech drückt, ist. Setzt man beide Kräfte einander gleich, so ergibt sich

$$\mu (G + F \sin \alpha) = F \cos \alpha$$

und daraus

$$\mu = \frac{F \cos \alpha}{G + F \sin \alpha}.$$

Da der Stab laut Aufgabenstellung ein geringes Gewicht hat, kann der erste Summand im Nenner vernachlässigt werden, zumal die Kraft F , mit der der Experimentator auf das obere Stabende einwirkt, nur durch die Möglichkeiten des Experimentators und die Festigkeit des Stabes begrenzt ist. Dann wird

$$\mu = \frac{F \cos \alpha}{F \sin \alpha} = \cot \alpha = \frac{a}{b}.$$

Somit reicht es für die Bestimmung des Reibungskoeffizienten aus, a und b zu messen, was mit Hilfe eines Lineals leicht zu bewerkstelligen ist.

15. Durch Wegbewegen der Linse von der Wand läßt sich bei einem bestimmten Abstand ein scharfes Bild des Glühfadens der Lampe erzeugen. Die Linse, die sich dabei näher an der Wand befindet, besitzt die größere Stärke.

16. Beide Linsen sind dicht aufeinander zu legen. Wenn das auf diese Weise entstandene Linsensystem die Strahlen sammelt, dann ist die Stärke der Sammellinse größer. Im entgegengesetzten Falle hat die Zerstreuungslinse die größere Stärke.

17. Es sind zwei einpolige Schalter S_1 und S_2 zu verwenden, die so in den Stromkreis der Lampe L zu schalten sind, wie das die Abb. 9 zeigt.

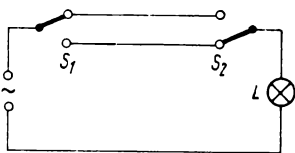


Abb. 9

18. Man steigt auf das Dach des Hauses und läßt die Konservendose aus der Hand herunterfallen, wobei gleichzeitig die Stoppuhr gedrückt wird. In dem Moment, wo man den Aufschlag der Konservendose auf die Erde hört, bringt man die Stoppuhr zum Stehen. Die Anzeige t der Stoppuhr setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: der Fallzeit t_1 der Konservendose und der Zeit t_2 , die der Schall von der Aufschlagstelle bis zum Beobachter braucht.

Die erste Zeit ist mit der Höhe h des Hauses in folgender Weise verknüpft:

$$h = gt_1^2/2.$$

Der Zusammenhang zwischen h und t_2 lautet

$$h = ct_2,$$

wobei c die Schallgeschwindigkeit ist, die für die Rechnungen zu 340 m/s angenommen wird.

Löst man beide Gleichungen nach t_1 bzw. nach t_2 auf und setzt die so erhaltenen Größen in die Formel für t ein, so er-

gibt sich die irrationale Gleichung

$$\sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{h}{c} = t,$$

aus der die Höhe des Hauses zu ermitteln ist.

Bei einer näherungsweisen Berechnung (insbesondere für den Fall, daß das Haus nicht hoch ist) kann man den zweiten Summanden auf der linken Seite der Gleichung als klein ansehen und weglassen. Dann wird

$$\sqrt{\frac{2h}{g}} \approx t \quad \text{und} \quad h \approx \frac{gt^2}{2}.$$

19. Mit dem Meßschieber mißt man die Höhe h und den Durchmesser d_1 des Gefäßes und berechnet daraus sein Volumen V :

$$V = \frac{\pi d_1^2}{4} h.$$

Danach bestimmt man mit Hilfe der Stoppuhr die Zeit t , in der das Gefäß von dem aus der Leitung fließenden Wasser gefüllt wird. Die je Zeiteinheit ausfließende Wassermenge Q ist dann gleich

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi d_1^2}{4} \frac{h}{t}.$$

Andererseits läßt sich Q durch das Produkt aus der gesuchten Ausflußgeschwindigkeit v und der Querschnittsfläche A des Hahns ausdrücken:

$$Q = Av = \frac{\pi d_2^2}{4} v,$$

wobei d_2 der Durchmesser des Hahns ist.

Setzt man beide Beziehungen für Q einander gleich, so erhält man

$$v = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \frac{h}{t}.$$

Da d_2 ebenfalls mit dem Meßschieber gemessen werden kann, ist die Aufgabe im Prinzip gelöst.

20. Man hält den Schlauch senkrecht nach oben und bestimmt mit Hilfe des Lineals die Steighöhe h des Wassers. Dann ergibt sich die Ausflußgeschwindigkeit v aus der Formel

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Multipliziert man die gefundene Geschwindigkeit mit der Querschnittsfläche A der Ausflußöffnung (ihr Durchmesser d wird ebenfalls mit dem Lineal gemessen), so erhält man die je Sekunde ausfließende Wassermenge Q :

$$Q = vA = \sqrt{2gh} \frac{\pi d^2}{4}.$$

Danach läßt sich die Zeit für die Füllung des Behälters berechnen, da sein Volumen V vorher bekannt war:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{4V}{\pi d^2 \sqrt{2gh}} \approx \frac{0,9V}{d^2 \sqrt{gh}}.$$

21. Auf alle Körper, die sich in der Luft befinden, wirkt eine Auftriebskraft, die gleich dem Gewicht der verdrängten Luft ist. Deshalb kann das Ereignis einer Wägung des Balls, der bis zu einem Druck p aufgepumpt ist, in folgender Form dargestellt werden:

$$M = M_{\text{H}} + M_{\text{L}} - m.$$

Hier ist M_{H} die Masse der Hülle, M_{L} die Masse der im Ball enthaltenen Luft und m die Masse der durch den Ball verdrängten Luft. Man sieht leicht, daß bei Vernachlässigung des Volumens der Hülle (und folglich auch der auf die Hülle allein wirkenden Auftriebskraft) die beiden letzten Glieder der Gleichung einander gleich werden für einen Ball, der Luft mit Atmosphärendruck enthält, so daß die Wägung in diesem Falle die Masse der Hülle M_{H} ergibt.

Da sich das Volumen V des Balls beim Aufpumpen praktisch nicht ändert, bleibt das letzte Glied der rechten Seite konstant, ebenso wie das erste Glied. Bestimmt man jetzt die Masse des Balls beim Betriebsdruck p und bei Atmosphärendruck p_0 mit Hilfe der Waage zu M und M_0 , so ergibt die Massendifferenz $M - M_0$, dividiert durch das Volumen des Balls, die Erhöhung der Dichte der Luft vom Wert ρ_0 , der Atmosphärendruck entspricht, auf den Wert ρ beim gesuch-

ten Druck:

$$\frac{M - M_0}{V} = \varrho - \varrho_0.$$

Da sich das Volumen des Balls beim Aufpumpen nicht ändert, wächst die Dichte des Gases direkt proportional zum Druck:

$$\frac{\varrho}{\varrho_0} = \frac{p}{p_0}.$$

Aus den beiden letzten Beziehungen erhält man den folgenden Ausdruck für die uns interessierende Größe:

$$p = \frac{p_0}{\varrho_0} \varrho = \frac{p_0}{\varrho_0} \left(\varrho_0 + \frac{M - M_0}{V} \right) = p_0 \left(1 + \frac{M - M_0}{\varrho_0 V} \right).$$

Der in dieser Beziehung auftretende Massenunterschied wird mit Hilfe der Waage bestimmt, das Volumen des Balls wird aus seinem Durchmesser berechnet, der mit Hilfe des Lineals ermittelt wird (siehe dazu die Aufgabe Nr. 7), die Größen p_0 und ϱ_0 werden Tabellen entnommen (sie sind gleich 1 atm und 1,293 kg/m³). Wenn ein genaueres Resultat erwünscht ist, muß die Änderung der Dichte der Luft mit der Temperatur berücksichtigt werden, das heißt, der 0 °C entsprechende Wert von 1,293 kg/m³ ist in der Formel durch den Wert für die Dichte zu ersetzen, der der Lufttemperatur zum Zeitpunkt der Messung entspricht.

22. Man entfernt zunächst vorsichtig den Sockel (der Lampenkörper darf dabei nicht zerschlagen werden), taucht den Glaskörper vollständig ins Wasser und ermittelt mit Hilfe des Lineals die Erhöhung Δh_1 des Wasserspiegels im Gefäß. Danach bricht man die Abschmelzstelle der Lampe (hier befindet sich bei der Lampenherstellung das Rohr für das Abpumpen der Lampe und ihre Füllung mit einem inerten Gas) ab, ohne die Lampe aus dem Wasser zu nehmen. Dabei dringt eine gewisse Wassermenge in den Lampenkörper ein, so daß der Wasserspiegel im Gefäß sinkt und nur noch um die Höhe Δh_2 über seinem ursprünglichen Wert steht. Diese Daten reichen für die Lösung der Aufgabe vollkommen aus.

Beim gesuchten Druck p nahm das Gas das gesamte Volumen V_1 der Lampe ein, welches sich bei Vernachlässigung des Volumens der Glaswandung als Produkt aus Querschnitts-

fläche A des Gefäßes und Erhöhung des Wasserspiegels beim Eintauchen der Lampe schreiben läßt: $V_1 = A \Delta h_1$.

Nachdem die Abschmelzstelle abgebrochen worden ist, steigt der Druck im Lampenkörper auf Atmosphärendruck an (der Druck der Wassersäule über der Lampe kann gegenüber dem Atmosphärendruck vernachlässigt werden), und das Gasvolumen verringert sich auf $V_2 = A \Delta h_2$.

Nimmt man an, daß sich die Temperatur nicht geändert hat, so gilt auf der Grundlage des Boyle-Mariotteschen Gesetzes

$$p A \Delta h_1 = p_0 A \Delta h_2$$

und daraus

$$p = p_0 \frac{\Delta h_2}{\Delta h_1}.$$

Die Änderungen Δh_1 und Δh_2 in der Höhe des Wasserspiegels werden mit dem Lineal gemessen, der Druck p_0 wird entweder an einem Barometer abgelesen oder gleich 1 atm (760 Torr) gesetzt.

23. Zunächst wird wie bei der Lösung der vorhergehenden Aufgabe vorsichtig der Sockel entfernt. Dann wird die Lampe gewogen, die sich ergebende Masse sei m_1 . Danach wird die Lampe vollständig ins Wasser getaucht und die Abschmelzstelle abgebrochen. Wenn kein Wasser mehr in die Lampe eindringt und nur noch der Raum nicht mit Wasser gefüllt ist, den das auf Atmosphärendruck p_0 komprimierte Gas einnimmt, wird die Lampe aus dem Wasser herausgenommen und abermals gewogen. Die sich für die teilweise mit Wasser gefüllte Lampe ergebende Masse sei m_2 . Schließlich wird die Lampe vollständig mit Wasser gefüllt und erneut gewogen, wobei sich die Masse m_3 ergeben möge.

Man kann sich leicht überlegen, daß die Masse $m_3 - m_1$ die Masse des Wassers ist, das die Lampe vollständig füllt. Dividiert man diese Differenz durch die Dichte ρ des Wassers, so erhält man das innere Volumen der Lampe, mit anderen Worten das Volumen des Gases beim gesuchten Druck p .

Andererseits ergibt die Differenz $m_3 - m_2$, dividiert durch die Dichte des Wassers, das Volumen desselben Gases bei Atmosphärendruck p_0 .¹⁾

¹⁾ Bei diesen Überlegungen wurde jeweils die Dichte des Füllgases gegenüber der des Wassers vernachlässigt; der dadurch entstehende Fehler ist kleiner als 0,1% (Anm. der Red. der dt. Ausgabe).

Nimmt man an, daß sich die Temperatur des Gases bei der Kompression nicht geändert hat, so ergibt sich nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz

$$p \frac{m_3 - m_1}{\varrho} = p_0 \frac{m_3 - m_2}{\varrho}.$$

Hieraus erhält man für den gesuchten Druck

$$p = p_0 \frac{m_3 - m_2}{m_3 - m_1}.$$

24. Stellt man das Rohr senkrecht mit der Öffnung nach oben auf, so befindet sich die in ihm eingeschlossene Luft unter dem Druck

$$p_1 = p_0 + \varrho gh,$$

wobei p_0 der atmosphärische Luftdruck, ϱ die Dichte des Quecksilbers, g die Fallbeschleunigung und h die Höhe der Quecksilbersäule ist. Dieser Druck komprimiert die im Rohr eingeschlossene Luft auf ein Volumen

$$V_1 = l_1 A$$

(l_1 ist die Höhe der Luftsäule, A die Querschnittsfläche des Rohres).

Stellt man das Rohr senkrecht mit der Öffnung nach unten auf, so wird der Druck

$$p_2 = p_0 - \varrho gh$$

und das Volumen der Luft

$$V_2 = l_2 A.$$

Setzt man für beide Fälle gleiche Temperatur voraus, so ergibt sich nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz

$$(p_0 + \varrho gh) l_1 A = (p_0 - \varrho gh) l_2 A$$

und hieraus

$$p_0 = \varrho gh \frac{l_2 + l_1}{l_2 - l_1}.$$

Die Dichte des Quecksilbers und die Fallbeschleunigung werden Tabellen entnommen, die Größen l_1 , l_2 und h werden mit dem Lineal gemessen.¹⁾

25. Im Kochtopf möge sich Wasser befinden, das im Kühlschrank auf 0 °C abgekühlt worden ist (im Wasser schwimmen noch kleine Eisstückchen). Dann wird der Kochtopf auf die Gasflamme gestellt und gleichzeitig der Zeitpunkt dieses Vorgangs mit der Uhr registriert. Bis zum Beginn des Siedens möge die Zeit t_1 vergehen; danach sei noch die Zeit t_2 erforderlich, um das Wasser vollständig zu verdampfen.

Bezeichnet man die bei der Verbrennung des Gases dem Wasser zugeführte Wärmeleistung mit p , so lassen sich die Wärmemengen Q_1 und Q_2 , die für die Erwärmung des Wassers bis zum Sieden und für die Umwandlung des Wassers in Dampf erforderlich sind, in folgender Form schreiben:

$$Q_1 = mc \cdot 100 \text{ K} = pt_1,$$

$$Q_2 = mr = pt_2,$$

wobei m die Masse des in den Kochtopf gefüllten Wassers, c die spezifische Wärmekapazität des Wassers und r die Verdampfungswärme ist. Dividiert man die beiden Seiten der Gleichungen durcheinander, so ergibt sich

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{c}{r} \cdot 100 \text{ K}$$

und hieraus

$$r = c \frac{t_2}{t_1} \cdot 100 \text{ K}.$$

Da eine genaue Berücksichtigung der Wärmeverluste (Strahlung in den umgebenden Raum, für die Erwärmung des Kochtopfs erforderliche Wärmemenge usw.) nicht möglich ist, ist das erhaltene Resultat nicht sehr genau.

26. Man schaltet die Batterie, eine Drahtwicklung und das Amperemeter hintereinander, das Voltmeter wird so angeschlossen, daß es die Spannung an der Wicklung anzeigt.

¹⁾ Rechnet man im internationalen Einheitensystem (SI), so erhält man den Druck in Pascal (Pa), falls erforderlich, kann man mittels einer Tabelle auf andere Druckeinheiten umrechnen (Anm. der Red. der dt. Ausgabe).

Man liest die Anzeige der Geräte ab und berechnet daraus den Widerstand der Wicklung bei Zimmertemperatur:

$$R_T = U/I.$$

Dann bringt man Schnee von der Straße herein, steckt die Wicklung in den Schnee und wartet so lange, bis der Schnee zu tauen beginnt und der Draht die Temperatur des Schnees angenommen hat. Danach bestimmt man in derselben Weise wie vorher den Widerstand R_0 des Drahtes bei der Temperatur des tauenden Schnees, das heißt bei 0 °C. Unter Ausnutzung der Abhängigkeit des Widerstandes eines Leiters von seiner Temperatur,

$$R_T = R_0(1 + \alpha T),$$

findet man dann die Temperatur der Luft im Zimmer,

$$T = \frac{R_T - R_0}{R_0 \alpha}.$$

Bei der Berechnung wird der Wert für den Temperaturkoeffizienten α des Widerstandes aus einem Nachschlagewerk verwendet. Im Bereich der Zimmertemperatur gilt für reines Kupfer $\alpha = 0,0043 \text{ K}^{-1}$. Wenn der Verunreinigungsgehalt des Kupfers, aus dem der Draht hergestellt ist, nicht besonders groß ist und die Meßgeräte zur Klasse 0,1¹⁾ bezüglich ihrer Genauigkeit gehören, läßt sich die Temperatur der Luft mit einer Genauigkeit bestimmen, die weit unter einem Grad liegt.

27. Mit dem bei der Lösung der vorhergehenden Aufgabe beschriebenen Verfahren bestimmt man den Widerstand des Drahtes zunächst bei der Temperatur des tauenden Eises (R_0), dann bei der gesuchten Temperatur (R_T) und schließlich bei der Temperatur des siedenden Wassers (R_{100}). Dann läßt sich aus dem Gleichungssystem

$$R_T = R_0(1 + \alpha T), \quad R_{100} = R_0(1 + \alpha \cdot 100 \text{ K})$$

¹⁾ Das sind sehr gute Geräte! In der Technik verwendet man gewöhnlich Geräte der Klassen 0,5; 1,0 und sogar 2,0. Die Zahlenangaben bedeuten den möglichen prozentualen Fehler des Geräts, bezogen auf den Endausschlag; d.h., der mit einem Gerät der Klasse 0,5 mit einem Endausschlag von 100 mA gemessene Strom ist mit einem maximalen Fehler von +0,5 mA behaftet.

der Temperaturkoeffizient des Widerstandes bestimmen:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \text{ K} \cdot R_0}.$$

Für die uns interessierende Temperatur der Luft im Zimmer ergibt sich

$$T = \frac{R_T - R_0}{R_{100} - R_0} \cdot 100 \text{ K}.$$

28. Die Dauer des Spaziergangs läßt sich bestimmen, wenn man über eine Glühlampe und den Zähler verfügt, der im Text der Aufgabe erwähnt wird. Das geschieht in der folgenden Weise.

Man schaltet zum Zeitpunkt des Weggangs des Mädchens die Lampe ein und notiert sich gleichzeitig die Anzeige des Zählers. Die zweite Anzeige wird zum Zeitpunkt der Rückkehr des Mädchens abgelesen. Kennt man den Verbrauch W an Elektroenergie, so läßt sich über die Beziehung

$$t = W/P$$

die Zeit des Spaziergangs t berechnen. Dabei ist P die Leistung der Glühlampe, die am Sockel oder am Glaskolben der Lampe abgelesen werden kann.

Bei Zählern, die üblicherweise im Haushalt Verwendung finden, führt die Scheibe bei einem Energieverbrauch von 1 kWh 1250 Umdrehungen aus. Bei einer Leistung der Glühlampe von 100 W muß sich die Scheibe in einer Stunde folglich 125mal drehen, was leicht mit Hilfe der an solchen Zählern vorhandenen runden Skala abgelesen werden kann, die ganze Umdrehungen der Scheibe registriert.

29. Die einfachste Lösung der Aufgabe für den Fall, daß die Lampe von verschiedenen Stellen aus ein- und ausgeschaltet werden kann, wird durch das in Abb. 10 angegebene Schema illustriert.

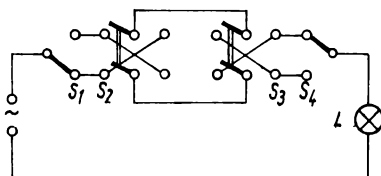


Abb. 10

Man sieht leicht, daß durch Hinzufügen einer entsprechenden Zahl weiterer Schalter eine Schaltung aufgebaut werden kann, die das Ein- und Ausschalten von einer beliebigen Zahl verschiedener Stellen erlaubt.

30. Damit sich ein Würfel der Masse m gemeinsam mit einer rotierenden Scheibe, die ν Umdrehungen je Sekunde ausführt, auf einer Kreisbahn mit dem Radius R bewegt, muß auf ihn von seiten der Scheibe eine Radialkraft der Größe

$$F_R = mv^2/R = 4\pi^2\nu^2mR$$

ausgeübt werden, wobei v die Lineargeschwindigkeit des Würfelschwerpunkts ist.

Aus der angegebenen Beziehung sieht man, daß die Radialkraft bei konstanter Winkelgeschwindigkeit proportional zum Radius R ansteigen muß. Andererseits kann die Reibungskraft, die die Rolle der Radialkraft spielt, nicht den Wert

$$F_R = \mu mg$$

übersteigen, wobei μ der Reibungskoeffizient und g die Fallbeschleunigung ist.

Mißt man mit dem Lineal den Wert R_r , bei dem der Würfel aufhört, auf der rotierenden Scheibe zu verbleiben, und heruntergeschleudert wird, so findet man durch Gleichsetzen der beiden obigen Beziehungen

$$\mu = 4\pi^2\nu^2 R_r/g.$$

In diesem Ausdruck ist ν ebenfalls bekannt: ν ist gleich 33, 45 oder 78 Umdrehungen je Minute.

31. Durch Befestigen des Massestücks am Ende des Fadens stellt man sich ein Pendel her, dessen Länge gleich der Höhe des Zimmers ist. Da die Masse des Fadens klein ist, kann man das Pendel als „mathematisches“ Pendel betrachten, d. h. die Formel verwenden, die für diesen Fall die Schwingungsdauer T mit der Pendellänge l und der Fallbeschleunigung g verknüpft:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g}.$$

Bestimmt man mit Hilfe der Uhr die Schwingungsdauer des Pendels (dazu reicht es aus, die Zahl der vom Pendel

ausgeführten Schwingungen innerhalb eines hinreichend großen Zeitabschnittes zu bestimmen und die zweite durch die erste Größe zu dividieren), so läßt sich daraus mit Hilfe der angegebenen Formel die Pendellänge l , d. h. die Höhe des Zimmers, berechnen, wenn man für g den der geographischen Breite entsprechenden Wert aus einem Nachschlagewerk entnimmt oder der Einfachheit halber $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ einsetzt. In analoger Weise wird die Länge und die Breite des Zimmers ermittelt, woraus sich dann durch einfache Multiplikation der drei Längen das Volumen ergibt.

Wenn sich die Länge des Pendels als zu groß erweist (das Zimmer ist groß) und die Messung seiner Schwingungsdauer unbequem wird, kann man die Hälfte der interessierenden Längen bestimmen, indem man den Faden zusammenlegt.

32. Am einfachsten geht man offenbar in folgender Weise vor. Durch allmähliche Änderung der Länge des Pendels, das man aus dem Faden und der Stahlkugel hergestellt hat, erreicht man schließlich Übereinstimmung zwischen der Periode des Pendels und der Periode des Metronoms. Bestimmt man danach die Länge l des Fadens und den Radius R der Kugel, so läßt sich mit Hilfe der Formel

$$T = 2\pi \sqrt{(l + R)/g}$$

die Periode des Pendels berechnen, die gleich der Periode des Metronoms ist. Diese Operation ist für eine möglichst große Zahl von Positionen des Massestücks an der Metronomskala durchzuführen.

Man kann auch die Länge des Fadens unverändert lassen. In diesem Falle wird die Periode des Pendels nur einmal berechnet. Danach wird für jede Position der Masse des Metronoms ermittelt, wieviel Anschläge eine ganze Zahl von Pendelschwingungen entspricht. Multipliziert man die Zahl der Pendelschwingungen mit der Schwingungsdauer des Pendels, so erhält man die Betriebsdauer des Metronoms. Division dieser Größe durch die Zahl der Anschläge des Metronoms ergibt die Schwingungsdauer des Metronoms. Ausführlicher wird dieses Verfahren bei der Lösung der Aufgabe Nr. 75 behandelt.

33. Man stellt die Leiter an die Wand eines hohen Gebäudes und markiert an der Wand den Punkt, der sich 4,9 m über dem Erdboden befindet. Aus dieser Höhe beträgt die

Fallzeit des Ziegelsteins

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,9 \text{ m}}{9,8 \text{ m/s}^2}} = 1 \text{ s}.$$

Jetzt muß man nur noch die Position der Masse an der Skala auswählen, bei der das Pendel des Metronoms während der Fallzeit des Ziegelsteins genau eine Schwingung ausführt.

34. Wenn man an den Klotz in geringer Höhe h oberhalb der Grundfläche eine horizontal gerichtete Kraft F anlegt (Abb. 11), die die maximale Reibungskraft $F_R = \mu G$ übersteigt, so wird der Klotz in Bewegung versetzt. Wird die Kraft dagegen in hinreichender Höhe angelegt, so kann der

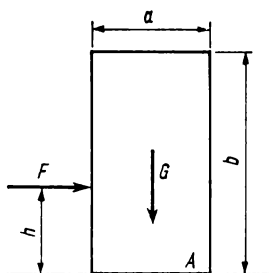


Abb. 11

Klotz umkippen, ohne sich von der Stelle zu rühren. Dieser Fall wird dann eintreten, wenn das Moment der Kraft F bezüglich der Achse, die senkrecht zur Zeichenebene durch den Punkt A geht, größer ist als das Moment der Schwerkraft G bezüglich derselben Achse:

$$F \cdot h > G \cdot a/2.$$

Hier ist a die Breite des Klotzes.

Man muß den Angriffspunkt der Kraft F finden, bei dem der Übergang vom ersten zum zweiten Fall erfolgt. Dann kann der Haftreibungskoeffizient aus dem Gleichungssystem

$$F = \mu G, \quad F \cdot h = G \cdot a/2$$

gefunden werden, dessen Lösung

$$\mu = a/2h$$

ergibt.

Hieraus sieht man, daß die Bestimmung des Reibungskoeffizienten nur dann möglich ist, wenn die Höhe b des Klotzes die Bedingung

$$b > a/2\mu$$

erfüllt.

35. Legt man die beiden Kugeln nebeneinander auf eine geneigte Ebene und läßt sie los, so wird die Kupferkugel beim Abrollen hinter der Aluminiumkugel zurückbleiben. Die Ursache dieser Erscheinung besteht darin, daß die Beschleunigung bei der Drehbewegung (das Abrollen kann man sich aus Drehbewegung und fortschreitender Bewegung zusammengesetzt denken) nicht von der Masse, sondern vom Trägheitsmoment bestimmt wird, das bei der Kupferkugel größer ist, weil die einzelnen Elemente im Mittel weiter von der Drehachse entfernt sind.

36. Die Meßplatte wird in der Mitte abgestützt (man kann sie beispielsweise auf einer Stuhllehne ins Gleichgewicht bringen), und an einem Ende der Meßplatte wird die zu wägende Masse befestigt. Um den anderen Hebel schlingt man den Draht. Das System ist leicht ins Gleichgewicht zu bringen, indem man den Draht senkrecht nach unten zieht. Bei hinreichend kleinem Abstand des Angriffspunktes des Drahtes vom Auflagepunkt der Meßplatte kann die für das Gleichgewicht erforderliche Zugkraft die Festigkeit des Drahtes überschreiten, und der Draht zerreißt. Aus der Gleichgewichtsbedingung für den Hebel läßt sich für den Moment des Zerreißen schreiben:

$$Gl_1 = \frac{\pi d^2}{4} \sigma l_2,$$

wobei G das gesuchte Gewicht des Körpers, l_1 der Abstand des zu wägenden Körpers von der Hebelachse, d der Durchmesser des Drahtes, σ die Zerreißspannung des Drahtes und l_2 der Abstand des Angriffspunktes des Drahtes von der Hebelachse ist.

Die Abstände l_1 und l_2 werden mit Hilfe der Teilung auf der Meßplatte bestimmt, der Wert für σ wird einem Nachschlagewerk entnommen.

Für die Bestimmung des Drahtdurchmessers wird das Verfahren verwendet, das in Aufgabe Nr. 9 besprochen wurde

und durch die Abb. 7 illustriert wird, wobei als Lineal wieder die Meßplatte verwendet wird.

37. Die Kugel wird auf den horizontal aufgestellten Spiegel gesetzt. Wird als Aufsetzpunkt nicht der niedrigste Punkt gewählt, so beginnt eine Bewegung der Kugel auf der Spiegel-

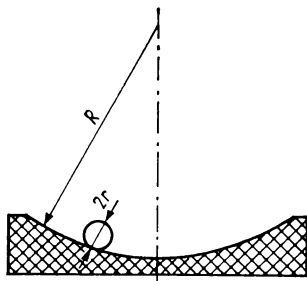


Abb. 12

oberfläche. Man kann sich leicht überlegen, daß die Bewegung der Kugel vollkommen analog ist der Bewegung eines Pendels der Länge $R - r$ (Abb. 12), falls die Kugel bei ihrer Bewegung nicht rotiert, d. h. auf der Spiegeloberfläche gleitet. Dann kann man aus der Pendelformel

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R - r)}{g}}$$

die uns interessierende Größe berechnen:

$$R = \frac{gT^2}{4\pi^2} + r.$$

Die Periode T wird mit der Stoppuhr gemessen, der Radius r ist entsprechend der Aufgabenstellung bekannt.

Da die Reibung gewöhnlich so groß ist, daß sich die Kugel drehend über die Spiegeloberfläche bewegt, stimmt diese Lösung schlecht mit der Erfahrung überein. In Wirklichkeit gilt

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1,4(R - r)}{g}} \quad \text{und} \quad R = \frac{gT^2}{5,6\pi^2} + r.$$

38. Es ist so vorzugehen, wie das die Abb. 13 zeigt. Zuerst überschreitet der Erwachsene den Bach und nimmt den Platz des Kindes ein, wonach das Kind die Brücke überquert.

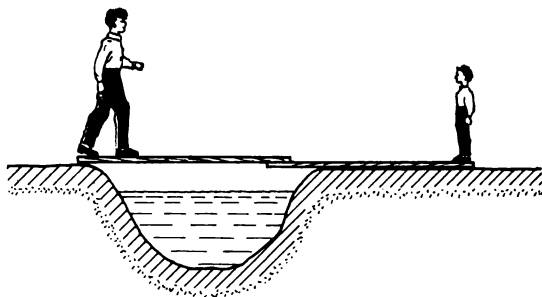


Abb. 13

39. Der Blitz möge zwischen den Punkten A und B zweier benachbarter Wolken übergeschlagen sein (Abb. 14). Der im Punkt C befindliche Mensch hört zunächst den vom Punkt B herrührenden Schall, danach den Schall vom entfernteren Punkt A . Der Unterschied kommt zustande, weil die Entfernung $\overline{AC}$ um die Strecke $\overline{AD}$ größer ist als die Entfernung $\overline{BC}$. Wenn sich der Beobachter in einer günstigen Position befindet (d.h., die Punkte A , B und C liegen praktisch auf einer Geraden), ist der Unterschied zwischen $\overline{AD}$ und $\overline{AB}$ klein. Deshalb kann man den durch Multiplikation der Dauer des Donners mit der Schallgeschwindigkeit berechneten Abstand $\overline{AD}$ gleich der Länge des Blitzes setzen.

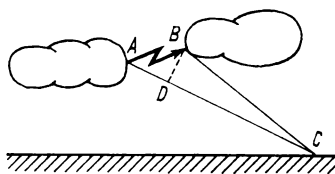


Abb. 14

40. Wenn sich der Experimentator unmittelbar neben der Glocke befindet, hört er den Schall im Moment des Anschlags. Mit wachsender Entfernung von der Glocke fallen die gesehenen und gehörten Anschläge jedoch nicht mehr zusammen, da die Schallschwingungen für das Durchlaufen der Strecke zwischen Glocke und Mensch eine wesentlich größere Zeit benötigen als die Lichtschwingungen (in der Mehrzahl

der praktisch wichtigen Fälle kann angenommen werden, daß sich das Licht mit unendlich großer Geschwindigkeit ausbreitet).

Zunächst wächst der Zeitunterschied, dann aber wird er kleiner, und in einer bestimmten Entfernung hört und sieht der Mensch den Anschlag erneut zum gleichen Zeitpunkt. Diese Erscheinung wiederholt sich periodisch mit wachsendem Abstand von der Glocke.

Zum ersten Male beobachtet man das Zusammenfallen in einer solchen Entfernung, die der Schall in der Zeit zwischen zwei Anschlägen durchläuft. Der Beobachter hört dabei den Schall des vorhergehenden Anschlags. Da das Intervall zwischen zwei Anschlägen entsprechend der Aufgabenstellung gleich einer Sekunde ist, reicht es aus, die Entfernung zwischen der Glocke und der Stelle auszumessen, wo gehörte und gesehene Anschläge erneut zusammenfallen, um den zahlenmäßigen Wert der Schallgeschwindigkeit zu bestimmen.

41. Die Lösung wird durch die Abb. 15 illustriert. Man stellt das Lineal senkrecht auf, markiert auf der Erde die Länge des Schattens $\overline{B_1C_1}$ und mißt danach sowohl die Länge des Schattens $\overline{B_1C_1}$ als auch die Länge $\overline{BC}$ des Schattens des Baumes.

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ABC und $A_1B_1C_1$ findet man

$$\overline{AB} = \overline{BC} \cdot \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{B_1C_1}},$$

wobei $\overline{A_1B_1}$ die bekannte Länge des Lineals ist.

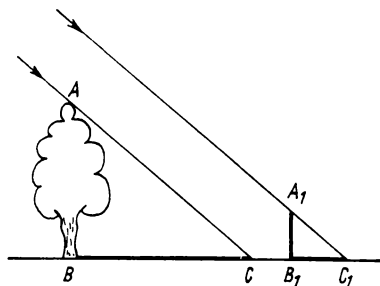


Abb. 15

42. Die Stoppuhr muß in dem Moment ausgelöst werden, wenn am Lichttableau die Geschwindigkeitsanzeige vom Wert v_1 zum folgenden Wert v_2 wechselt. Die Stoppuhr wird wieder angehalten, wenn der folgende Wechsel von v_2 nach v_3 erfolgt.

Fährt ein Auto unmittelbar vor dem ersten Anzeigewechsel mit der Geschwindigkeit v_1 los, so erreicht es die nächste Ampel bei grünem Licht und durchfährt die Strecke s bis zur Ampel in der Zeit

$$t_1 = s/v_1.$$

Wenn dagegen die Bewegung zum Zeitpunkt des Anzeigewechsels von v_2 nach v_3 beginnt (das heißt in dem Moment, wo die Stoppuhr wieder angehalten wird), darf die Geschwindigkeit des Autos nicht kleiner als v_2 sein, und die Strecke s wird in der Zeit

$$t_2 = s/v_2$$

durchfahren. Die Anzeige t der Stoppuhr ist offensichtlich gleich der Zeitdifferenz $t_1 - t_2$. Somit wird

$$t = (s/v_1) - (s/v_2),$$

woraus sich

$$s = \frac{v_1 v_2}{v_2 - v_1} t$$

ergibt.

Wenn beispielsweise $v_1 = 45 \text{ km/h}$, $v_2 = 50 \text{ km/h}$ und $t = 8 \text{ s}$ ist, so erhält man

$$s = \frac{45 \text{ km/h} \cdot 50 \text{ km/h}}{50 \text{ km/h} - 45 \text{ km/h}} \cdot \frac{8}{3600} \text{ h} = 1 \text{ km}.$$

43. Die Jungen messen die Strecken s_1 und s_2 , die sie bis zum Zustand vollständiger Ruhe durchfahren, nachdem sie sich voneinander abgestoßen haben. Multipliziert man diese Entfernungen mit den entsprechenden Massen, dem Gleitreibungskoeffizienten μ und der Fallbeschleunigung g , so erhält man die von den abbremsenden Kräften geleisteten Arbeiten

$$A_1 = \mu m_1 g s_1 \quad \text{und} \quad A_2 = \mu m_2 g s_2,$$

die natürlich den zu Beginn der Bewegung vorhandenen kinetischen Energien gleich sein müssen:

$$w_{\text{kin}/1} = m_1 v_1^2/2 \quad \text{und} \quad w_{\text{kin}/2} = m_2 v_2^2/2.$$

Hieraus ergeben sich die folgenden Gleichungen:

$$\mu g s_1 = v_1^2/2 \quad \text{und} \quad \mu g s_2 = v_2^2/2.$$

Division der beiden Seiten der Gleichungen durch einander ergibt

$$s_1/s_2 = (v_1/v_2)^2.$$

Andererseits muß der Impuls, den die Jungen beim Abstoßen voneinander erhalten, für beide gleich groß sein, d. h.

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 \quad \text{oder} \quad (v_1/v_2)^2 = (m_2/m_1)^2.$$

Setzt man das Quadrat des Verhältnisses beider Geschwindigkeiten aus den beiden letzten Beziehungen gleich, so erhält man für die gesuchte Größe

$$m_2/m_1 = \sqrt{s_1/s_2}.$$

Da die Strecken s_1 und s_2 gemessen wurden, ist die Aufgabe gelöst. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß ein zuverlässiges Resultat nur dann zu erhalten ist, wenn die Messung mehrmals wiederholt und der sich ergebende Mittelwert betrachtet wird.

44. Man stellt die Meßplatte senkrecht auf die Erdoberfläche und mißt mit dem Bandmaß die Länge des Schattens l_1 , den die Meßplatte wirft. Dann geht man etwas weiter vom Ufer weg, stellt die Meßplatte erneut senkrecht auf und mißt die sich jetzt ergebende Länge l_2 des Schattens. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ABC_1 und $A_1B_1C_1$ (Abb. 16) kann man die Proportion aufschreiben:

$$H/h = s_1/l_1$$

(alle Bezeichnungen sind in der Abbildung angegeben). Analog folgt aus den Dreiecken ABC_2 und $A_2B_2C_2$

$$H/h = s_2/l_2.$$

Auflösung nach s_1 und s_2 ergibt

$$s_1 = \frac{H}{h} l_1 \quad (1), \quad s_2 = \frac{H}{h} l_2 \quad (2).$$

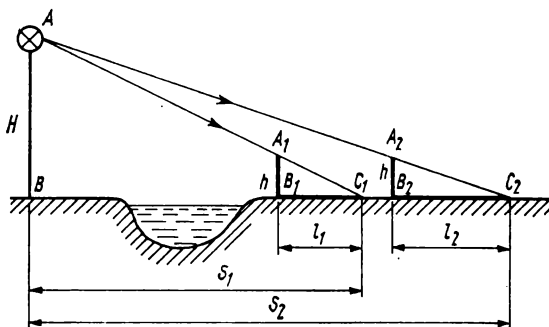


Abb. 16

Subtraktion der Gl. (1) von Gl. (2) liefert

$$s_2 - s_1 = \frac{H}{h} (l_2 - l_1),$$

woraus man für die Höhe des Mastes erhält:

$$H = \frac{s_2 - s_1}{l_2 - l_1} h.$$

Um die zweite Frage der Aufgabe zu beantworten, wird Gl. (1) durch Gl. (2) dividiert:

$$s_1/s_2 = l_1/l_2.$$

Unter Ausnutzung der Eigenschaften der Differenzenverhältnisse erhält man

$$\frac{s_1}{s_2 - s_1} = \frac{l_1}{l_2 - l_1},$$

woraus sich für die Entfernung s_1 zum Mast

$$s_1 = \frac{s_2 - s_1}{l_2 - l_1} l_1$$

ergibt.

Die für die Berechnung von H und s_1 erforderlichen Größen h , l_1 , l_2 und $s_2 - s_1$ werden mit dem Bandmaß gemessen.

45. Als Beispiel können die beiden folgenden Lösungen angegeben werden.

A. Der Lauf der Pistole wird senkrecht nach oben gerichtet, es wird abgeschossen und mit dem Bandmaß die Höhe h gemessen, auf die die Kugel steigt. Aus dem Energieerhaltungssatz

$$mv^2/2 = mgh$$

erhält man leicht den folgenden Ausdruck für die Geschwindigkeit der Kugel:

$$v = \sqrt{2gh}.$$

B. Man kann die Pistole auch horizontal ausrichten und die Entfernung l messen, die die Kugel durchfliegt. Wenn die Höhe des Pistolenlaufs über der Erdoberfläche gleich h ist, beträgt die Flugzeit der Kugel

$$t = \sqrt{2h/g},$$

wobei sie in dieser Zeit die horizontale Strecke

$$l = vt$$

durchfliegt. Eliminiert man aus beiden Gleichungen die Zeit t , so ergibt sich

$$v = l \sqrt{g/2h}.$$

46. Man richtet den Lauf der Pistole senkrecht nach oben und bestimmt mit Hilfe der Stoppuhr die Zeit t_0 , die vom Moment des Abschusses bis zum Auftreffen der Kugel auf die Erdoberfläche vergeht.

Die Höhe h , auf der sich ein mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0 senkrecht nach oben geworfener Körper nach einer Zeit t nach dem Abwurf befindet, kann mit Hilfe der Formel

$$h = v_0 t - gt^2/2$$

ermittelt werden. Setzt man in diesem Ausdruck $h = 0$, was sowohl dem Beginn als auch dem Ende des Flugs der Kugel entspricht, so erhält man die unvollständige quadratische Gleichung

$$gt^2/2 - v_0 t = 0,$$

deren Lösungen die Form

$$t_1 = 0 \quad \text{und} \quad t_2 = 2v_0/g$$

haben. Wie man sich leicht überlegt, entspricht die erste Lösung dem Augenblick des Abschusses, die zweite Lösung dem Auftreffen der Kugel auf die Erdoberfläche. Setzt man t_2 gleich der Gesamtflugdauer t_0 der Kugel, so wird $t_0 = 2v_0/g$ und somit

$$v_0 = gt_0/2.$$

Man kann auch eine einfachere Lösung vorschlagen. Da die Geschwindigkeit der Kugel im höchsten Punkt der Bahn gleich Null ist, findet man aus der Beziehung

$$v_t = v_0 - gt = 0$$

die Steigzeit $t = v_0/g$. Daraus ergibt sich

$$t_0 = 2v_0/g,$$

da für das Durchlaufen der Strecke nach oben und nach unten die gleiche Zeit erforderlich ist.¹⁾

47. Der Junge und das Mädchen mögen nacheinander den Ball *horizontal* werfen. Die Wurfweiten s_1 und s_2 werden in beiden Fällen gemessen.

Die Wurfweite kann als Produkt aus der Anfangsgeschwindigkeit und der Flugdauer geschrieben werden. Die letztgenannte Größe ergibt sich aus einer Betrachtung der Vertikalbewegung. Wenn die Höhe, in der der Flug des Balls beginnt, gleich h ist, gilt

$$t = \sqrt{2h/g},$$

so daß sich für die Wurfweite in den beiden betrachteten Fällen

$$s_1 = v_1 \sqrt{2h_1/g} \quad \text{und} \quad s_2 = v_2 \sqrt{2h_2/g}$$

ergibt. Dividiert man die beiden Ausdrücke durcheinander, so erhält man für das Verhältnis der Wurfweiten

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_1}{v_2} \sqrt{\frac{h_1}{h_2}},$$

¹⁾ Die Behauptung, daß Steig- und Fallzeit gleich sind, erfordert jedoch strenggenommen eine gesonderte Begründung, die ebenfalls mit einem größeren Rechenaufwand verbunden ist.

woraus man für das Verhältnis der Geschwindigkeiten die Beziehung

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_1}{s_2} \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

findet.

Somit reicht es für die Lösung der Aufgabe aus, die Wurfweite sowie die Höhe, in der der Flug des Balls beginnt, zu messen. Um die Messungen und die Lösung zu vereinfachen, kann man h_1 und h_2 gleich groß wählen, indem man den kleineren der Werfer bittet, sich auf ein Podest geeigneter Höhe zu stellen. Dann wird

$$v_1/v_2 = s_1/s_2.$$

48. Direkt am Fluß stehend, wähle man am gegenüberliegenden Ufer zwei unmittelbar am Wasser befindliche und gut erkennbare Gegenstände aus und suche einen solchen Grashalm, der die Entfernung zwischen diesen beiden Gegenständen überdeckt, wenn man ihn in der ausgestreckten Hand hält. Selbstverständlich muß dabei ein Auge geschlossen werden.

Dann knicke man den Grashalm auf die halbe Länge zusammen und entferne sich so lange vom Ufer, bis die Strecke zwischen denselben zwei Gegenständen wieder überdeckt wird. Dann messe man den Abstand zwischen den beiden Punkten aus, wo man jeweils gestanden hat. Dieser Abstand ist gleich der Breite des Flusses.

Die folgenden Überlegungen beweisen die Richtigkeit dieser Aussage. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ABC und ODC (Abb. 17a) folgt

$$\overline{AB}/\overline{OD} = \overline{AC}/\overline{OC}, \quad (1)$$

wobei $\overline{AB}$ der Abstand zwischen den beiden ausgewählten Gegenständen, $\overline{AC}$ ihre Entfernung zum ersten Beobachtungspunkt (Breite des Flusses), $\overline{OD}$ die Länge des Grashalms und $\overline{OC}$ die Länge des ausgestreckten Arms ist.

Analog ergibt sich aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ABG und EFG (Abb. 17b)

$$\overline{AB}/\overline{EF} = \overline{AG}/\overline{EG}$$

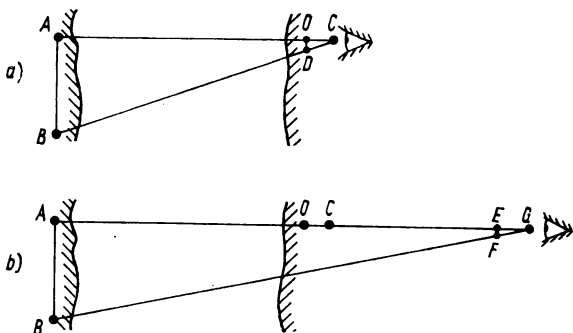


Abb. 17

oder, wegen $\overline{EF} = \overline{OD}/2$ und $\overline{EG} = \overline{OC}$,

$$2\overline{AB}/\overline{OD} = \overline{AG}/\overline{OC}. \quad (2)$$

Division der Gl. (2) durch (1) liefert

$$2 = \overline{AG}/\overline{AC},$$

woraus man

$$\overline{AC} = \overline{AG}/2 = \overline{CG}$$

erhält. Die Entfernung $\overline{CG}$ wird in Schrittlängen ausgemessen.

49. Aus den in der Aufgabe aufgezählten Gegenständen läßt sich leicht ein galvanisches Element aufbauen, indem man eine Salmiaklösung in Wasser als Elektrolyt verwendet und die Elektroden aus dem Kupferdraht und dem Zink her-

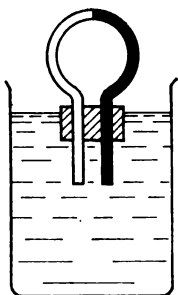


Abb. 18

stellt. Steckt man ein Stück Draht durch den Korken, so lassen sich „schwimmende Elektroden“ herstellen, wie das in Abb. 18 gezeigt ist.

Verbindet man die Elektroden über eine Spule, die aus einigen Drahtwindungen besteht, so fließt in dem Stromkreis ein Strom, und die Spule stellt sich entsprechend dem magnetischen Meridian ein. Da die Vorzeichen der Pole des aufgebauten Elements bekannt sind (Kupfer ist der positive Pol, Zink der negative Pol), kann man mit Hilfe der Schraubenregel leicht die Magnetpole der Spule und danach die Richtung zum Nordpol und Südpol der Erde bestimmen.

50. Zunächst stellt man sich aus dem Winkelmesser und dem Massestück einen primitiven Neigungsmesser her, ein Gerät für die Messung des Winkels α zwischen der Horizontalen und der Richtung $\overline{AB}$ zu irgendeinem Punkt (eine schematische Darstellung des Geräts zeigt die Abb. 19). Dann

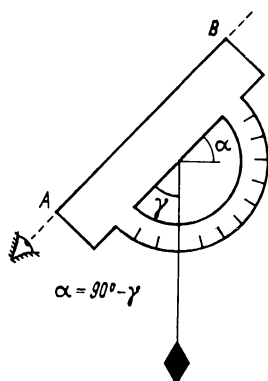


Abb. 19

stellt man das Schälchen mit Quecksilber auf die Erde und begibt sich in eine solche Entfernung davon, daß man darin das Spiegelbild der Turmspitze sieht. Danach werden mit dem Neigungsmesser die in Abb. 20 angegebenen Winkel α und β gemessen.

Aus dem Dreieck ABC folgt

$$\overline{AB} = \overline{BC} \cdot \cot \alpha = (L - h) \cot \alpha.$$

Andererseits ist

$$\overline{AB} = \overline{AE} + \overline{EB},$$

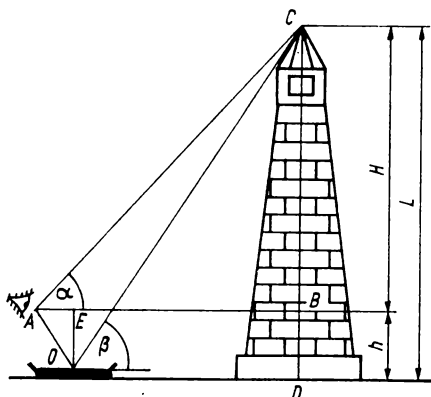


Abb. 20

wobei

$$\overline{AE} = \overline{OE} \cdot \cot \beta = h \cdot \cot \beta$$

und

$$\overline{EB} = \overline{DC} \cdot \cot \beta = L \cdot \cot \beta$$

gilt. Setzt man diese Beziehungen in die vorhergehende Formel ein und setzt die beiden Ausdrücke für $\overline{AB}$ einander gleich, so ergibt sich

$$(L - h) \cot \alpha = h \cdot \cot \beta + L \cdot \cot \beta,$$

woraus man

$$L = \frac{\cot \alpha + \cot \beta}{\cot \alpha - \cot \beta} h = \frac{\tan \beta + \tan \alpha}{\tan \beta - \tan \alpha} h$$

erhält, wobei h der Abstand des Auges des Menschen von der Erdoberfläche ist, der laut Aufgabenstellung bekannt ist.

51. Mit wachsender Höhe über dem Meeresspiegel fällt der atmosphärische Luftdruck. Andererseits verringert sich mit fallendem Druck die Siedetemperatur des Wassers. Dieser Umstand wird mitunter von Alpinisten für die Bestimmung der Aufstiegshöhe ausgenutzt. Genaue Resultate ergeben sich, wenn man spezielle Tabellen verwendet, für grobe Abschätzungen reicht es aus, sich daran zu erinnern, daß sich bei einem Aufstieg um 100 m eine Erniedrigung des Siedepunktes von Wasser um etwa 0,3 K ergibt.

52. Die in einem bestimmten (nicht bekannten) Abstand R von der Lichtquelle mit dem Luxmeter gemessene Beleuchtungsstärke sei gleich E_1 . Dann entfernt man sich um eine zusätzliche Strecke d von der Lichtquelle und verwendet wieder das Luxmeter. Die sich im zweiten Falle einstellende Anzeige sei E_2 . Auf der Grundlage der Gesetze für die Beleuchtungsstärke kann man schreiben:

$$E_1 = \frac{I}{R^2}, \quad E_2 = \frac{I}{(R + d)^2}.$$

Aus der ersten Gleichung ergibt sich $R = \sqrt{I/\sqrt{E_1}}$, aus der zweiten

$$d = \sqrt{I/\sqrt{E_2}} - R = \sqrt{I/\sqrt{E_2}} - \sqrt{I/\sqrt{E_1}},$$

daher wird

$$I = \frac{d^2}{\left(1/\sqrt{E_2} - 1/\sqrt{E_1}\right)^2}.$$

Der für die Berechnung erforderliche Wert von d wird mit dem Bandmaß bestimmt.

53. Auf einen bezüglich eines rotierenden Systems ruhenden Körper, beispielsweise auf eine auf der Scheibe eines Plattenspieters sitzende Fliege, wirkt in *diesem System* eine Kraft, die als zentrifugale Trägheitskraft bezeichnet wird und danach strebt, den Körper von der Rotationsachse zu entfernen. Wenn der Körper bezüglich des rotierenden Systems in Bewegung versetzt wird (die Fliege beginnt zu kriechen), so tritt unabhängig von der Bewegungsrichtung eine zusätzliche Kraft auf, die als Coriolis-Kraft bezeichnet wird und senkrecht zur Bewegungsgeschwindigkeit des Körpers wirkt.

Die sich auf der Erdoberfläche bewegendenden Menschen bemerken diese Kraft nur deshalb nicht, weil sie wegen der relativ langsamen Rotation der Erde klein ist. Die Coriolis-Kraft führt jedoch dazu, daß alle Flüsse, die auf der nördlichen Halbkugel in den verschiedensten Richtungen fließen, die rechten Ufer stärker auswaschen, auf der südlichen Halbkugel dagegen erfolgt eine stärkere Auswaschung der linken Ufer (dieses Gesetz wurde von dem russischen Geographen *K. M. Bär* im Jahre 1857 formuliert). Aus demselben Grunde beschreiben alle Winde und Meeresströmungen auf der Nord-

halbkugel Rechtsschrauben, auf der Südhalbkugel dagegen Linksschrauben.

Die Coriolis-Kraft verschwindet nur, wenn die Bewegung des Gegenstandes parallel zur Richtung der Rotationsachse des Systems erfolgt. Wenn dagegen die Geschwindigkeit senkrecht dazu gerichtet ist, erreicht die Coriolis-Kraft ihren maximalen Wert.

Unter Ausnutzung dieser Kenntnisse kann man die Aufgabe in folgender Weise lösen:

Es reicht aus, sich mit dem Gesicht zum Rand der Scheibe zu stellen und die Kugel von sich weg zu rollen. Aufgrund der Rotation der Scheibe und der demzufolge auftretenden Coriolis-Kraft wird die Bahn der Kugel keine gerade Linie sein. Wenn eine Abweichung nach rechts beobachtet wird, erfolgt die Rotation entgegen dem Uhrzeigersinn (wenn man von oben auf die Scheibe sieht) und umgekehrt.

Wir weisen darauf hin, daß man die Aufgabe auch lösen kann, ohne die Coriolis-Kraft zu Hilfe zu nehmen, sondern auf der Grundlage des ersten Gesetzes der Dynamik (des Trägheitsgesetzes).

54. Die Teilchen des Seifenschaums laufen beim Auftreffen auf das reine Wasser nach allen Seiten auseinander, was durch die Verringerung der Oberflächenspannung beim Auflösen von Seife erklärt werden kann.

55. Wenn sich die Freunde an der Leine aufeinander zu ziehen, wird die Beschleunigung der Boote nur dann gleich groß sein, wenn die Massen der beiden Boote gleich sind, da die auf die Boote wirkenden Kräfte nach dem dritten Newtonschen Gesetz gleich sind:

$$a_1 = F/m_1 \quad \text{und} \quad a_2 = F/m_2.$$

Dann müssen aber auch die Wegstrecken gleich sein, die die Boote bis zum Zusammentreffen durchfahren, da die Bewegungsdauern selbstverständlich gleich sind:

$$s_1 = a_1 t^2/2 \quad \text{und} \quad s_2 = a_2 t^2/2.$$

Somit können die Freunde sicher sein, daß die Massen gleich sind, wenn die bis zum Zusammentreffen zurückgelegten Wegstrecken gleich sind. Ein Vergleich der zurückgelegten Wegstrecken ist leicht möglich, indem man gleiche Stücken der Leine abmißt.

56. Der Mensch stehe an der Spitze des unbeweglichen Bootes. Dann ist die Summe ihrer Impulse gleich Null. Wenn man den Widerstand des Wassers vernachlässigt (was bei kleinen Geschwindigkeiten möglich ist), muß diese Summe auch dann unverändert bleiben, wenn der Mensch sich im Boot bewegt. Deshalb kann man schreiben:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0,$$

wobei mit den Indizes 1 und 2 die Größen gekennzeichnet sind, die sich auf den Menschen bzw. auf das Boot beziehen.

Multipliziert man beide Seiten der Gleichung mit der Zeit, in der der Mensch vom Bug zum Heck des Bootes geht, so ergibt sich

$$m_1 v_1 t + m_2 v_2 t = 0 \quad \text{oder} \quad m_1 s_1 + m_2 s_2 = 0,$$

woraus man erhält:

$$m_2 = -m_1 \frac{s_1}{s_2}.$$

Das Minuszeichen spiegelt lediglich die Tatsache wider, daß sich das Boot in der zur Bewegungsrichtung des Menschen entgegengesetzten Richtung bewegt, und braucht deshalb nicht berücksichtigt zu werden:

$$m_2 = m_1 \frac{s_1}{s_2}.$$

In diesem Ausdruck sind s_1 und s_2 die Ortsveränderungen des Menschen und des Bootes bezüglich des ruhenden Wassers. Berücksichtigt man, daß der Mensch bezüglich des Bootes die Strecke l durchschreitet, ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen s_1 und s_2 :

$$s_1 = l - s_2.$$

Somit wird

$$m_2 = m_1 \frac{l - s_2}{s_2}.$$

Folglich läßt sich bei Messung der Länge des Bootes und der vom Boot zurückgelegten Strecke die Masse des Bootes berechnen, da die Masse des Menschen laut Aufgabenstellung bekannt ist.

Da in die letzte Beziehung das Verhältnis der Strecken $l - s_2$ und s_2 eingeht, braucht man sie nicht unbedingt in den üblichen Längeneinheiten anzugeben; man kann beispielsweise eine kleine Gerte abbrechen und bestimmen, wieviel Mal die Gerte in den Strecken enthalten ist. Wie man sieht, kann man auch ohne Leine auskommen. Bequemer ist es jedoch, zunächst die Strecken $l - s_2$ und s_2 mit Hilfe der Leine zu messen und dann die Länge der Leinenstücken in der angegebenen Weise zu ermitteln.

57. Offenbar hat der Tourist in dem Moment sein Koffergesetz ausgeschaltet, als er das erste Signal des Zeitzeichens hörte, wobei er gleichzeitig durch einen Blick auf seine Uhr diesen Zeitpunkt fixierte. Das zweite Mal stellte er die Zeit fest, als er dasselbe Signal des Zeitzeichens aus dem Lautsprecher der Basis hörte. Die Zeitdifferenz Δt , multipliziert mit der Schallgeschwindigkeit v , ergibt die Entfernung zwischen Boot und Basis:

$$l = v\Delta t.$$

Es läßt sich abschätzen, daß der relative Rechenfehler bei einem Abstand von etwa 3 km nicht mehr als 10 % betragen wird, was nicht so schlecht ist.

Man sieht leicht ein, daß die Rechnung nicht nur unter Ausnutzung des Zeitzeichens möglich ist: Man kann anstelle des Signals des Zeitzeichens auch das Ende eines beliebigen über das Radio übertragenen Satzes verwenden.

Bei Verwendung der Signale des Zeitzeichens kann man jedoch auch ohne Uhr die Entfernung zur Basis angenähert bestimmen, wenn diese Entfernung nicht zu groß ist. Das fünfte Signal (es sei daran erinnert, daß die Signale in Zeitabständen von einer Sekunde gesendet werden), das die Touristen aus ihrem Kofferradio hören, möge zeitlich mit dem ersten Signal zusammenfallen, das sie vom Lautsprecher der Basis hören. Das bedeutet, daß der Schall 4 Sekunden zum Durchlaufen der Strecke von der Basis bis zum Standort der Touristen benötigt hat. Multipliziert man diese Zeit mit der Schallgeschwindigkeit, so erhält man die gesuchte Entfernung zur Basis.

Man sieht leicht, daß das hier verwendete Verfahren an die Methode erinnert, die bei der Lösung der Aufgabe Nr. 40 beschrieben wurde.

58. Diese Aufgabe wird mit Hilfe des Boyle-Mariotteschen Gesetzes gelöst. Der Taucher muß dazu auf den Boden des

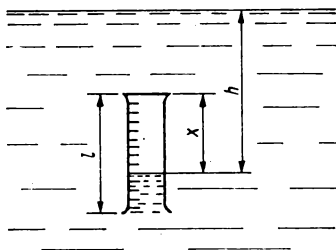


Abb. 2

Sees tauchen und dabei das Meßglas mit der Öffnung nach unten halten. Er stellt fest, bis zu welchem Teilstrich das Wasser in das Meßglas eindringt (Abb. 21).

Bei normalem Luftdruck p_0 hat die Luft im Meßglas das Volumen

$$V_1 = A \cdot l$$

eingenommen, wobei A der Querschnitt und l die Höhe des Meßglases ist.

Am Boden des Sees wächst der Druck auf

$$p = p_0 + \rho g h,$$

wobei h die gesuchte Tiefe des Sees, ρ die Dichte des Wassers und g die Fallbeschleunigung ist. Aus diesem Grunde verringert sich das Volumen der Luft im Meßglas auf

$$V_2 = A \cdot x,$$

wobei x die Höhe der Luftsäule im Meßglas am Boden des Sees ist.

Nimmt man an, daß die Temperatur und die Dichte des Wassers in unterschiedlichen Tiefen gleich groß sind, so erhält man auf der Grundlage des Boyle-Mariotteschen Gesetzes:

$$p_0 l A = (p_0 + \rho g h) x A,$$

woraus sich nach einigen einfachen Umformungen

$$h = \frac{p_0}{\rho g} \cdot \frac{l - x}{x}$$

ergibt.

Dabei ist es gänzlich unerheblich, in welchen Einheiten die Größen l und x ausgedrückt werden. Man kann sie u. a. in

Teilstreichen der auf dem Meßglas vorhandenen Skala angeben. In die Endformel geht das Verhältnis der beiden Längen $l - x$ und x ein, dessen Wert natürlich nicht von den verwendeten Längeneinheiten abhängt. Da sich der atmosphärische Luftdruck relativ wenig ändert, kann man ihn als konstant und gleich $1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ annehmen. Ebenso sind auch die Dichte des Wassers (1000 kg/m^3) und die Fallbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$) praktisch konstant.

Das zylindrische Meßglas kann offensichtlich durch ein Gefäß konischer Form ersetzt werden. In diesem Falle hat das Boyle-Mariottesche Gesetz die Form

$$p_0 V_1 = (p_0 + \rho gh) V_2,$$

wobei V_1 und V_2 die Volumina sind, die die Luft an der Oberfläche bzw. am Boden des Sees einnimmt und die an der entsprechenden Teilung abgelesen werden können.

Wünschenswert ist, daß die Teilungen am Meßglas in beiden Fällen bis zum oberen Rand reichen. Wenn das nicht der Fall ist, muß unmittelbar nach dem Eintauchen des Meßglases ins Wasser eine gewisse Wassermenge hineingebracht werden, damit der Wasserspiegel mit dem Beginn der Teilung zusammenfällt.

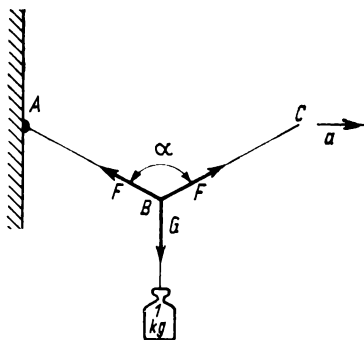


Abb. 22

59. Das Wägestück muß so an der Angelschnur aufgehängt werden, wie das die Abb. 22 zeigt. Dann wird in der durch den Pfeil a gekennzeichneten Richtung gezogen.

Zwischen den Kräften F und G besteht die Beziehung

$$G = 2F \cos (\alpha/2),$$

woraus sich

$$F = \frac{G}{2 \cos (\alpha/2)} = \frac{mg}{2 \cos (\alpha/2)}$$

ergibt. Durch allmähliches Anziehen der Angelschnur vergrößert man den Winkel α , wodurch die Zugkraft F wächst. Bestimmt man mit dem Winkelmesser den Winkel, bei dem die Angelschnur reißt, so läßt sich die zulässige Belastung berechnen.

Reißt die Angelschnur bereits beim Winkel $\alpha = 0^\circ$, so ist die Schnur zusammenzulegen und die gleiche Prozedur zu wiederholen. Dabei darf nicht vergessen werden, das sich dann ergebende Endresultat durch zwei zu dividieren.

60. Die bei der Lösung der vorhergehenden Aufgabe gefundene Formel

$$F = \frac{mg}{2 \cos (\alpha/2)}$$

läßt sich in der folgenden Weise umschreiben:

$$F = \frac{mg}{2 \sqrt{1 - \sin^2(\alpha/2)}} = \frac{mg}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{\overline{AC}:2}{\overline{AB}}\right)^2}}.$$

Durch Ziehen an der Angelschnur ist der Abstand zwischen den Punkten A und C im Moment des Zerreißen sowie die Hälfte $\overline{AB}$ der Länge der Schnur zu bestimmen. Diese Messungen werden mit Hilfe des Bandmaßes ausgeführt.

61. Durch allmähliche Erhöhung der Drehzahl der Angelschnur und des an ihr befestigten Wägestücks erreicht man schließlich, daß die Angelschnur zerreißt. Die auf einen rotierenden Körper wirkende Radialkraft F_R ist gleich

$$F_R = \frac{mv^2}{R} = 4\pi^2\nu^2 mR,$$

wobei ν die Drehzahl (je 1 s), m die Masse des rotierenden Körpers, R der Umlaufbahnradius und v die Bahngeschwindigkeit des Körpers ist.

Aus der angegebenen Beziehung erkennt man deutlich, daß die Radialkraft mit der Drehzahl ansteigen muß. Sie kann

aber nicht bis ins Unendliche anwachsen, da die Radialkraft durch den Zug der Angelschnur verursacht wird, der nicht den Wert

$$\frac{\pi d^2}{4} \sigma$$

übersteigen kann; hier ist d der Durchmesser der Schnur und σ die Zerreißspannung des Materials, aus dem die Angelschnur hergestellt ist.

Setzt man die beiden letzten Ausdrücke einander gleich, so ergibt sich für die Bestimmung der uns interessierenden Größe

$$\sigma = \frac{16\pi v^2 m R}{d^2}.$$

Die für die Rechnungen erforderliche kritische Drehzahl wird durch direktes Abzählen der Zahl der Umläufe in einem bestimmten Zeitintervall bei einer Geschwindigkeit bestimmt, die nur wenig unter dem kritischen Wert liegt.

62. Zunächst wird mit Hilfe der Stoppuhr die Zeit t_1 bestimmt, die vom Moment des Auftreffens des Steins auf die Wasseroberfläche bis zu dem Augenblick vergeht, wo die ersten sich hierbei bildenden Wellen das Ufer erreichen. Des weiteren bestimmt man die Zahl n der Wellen, die danach in einer bestimmten Zeit t_2 das Ufer erreichen. Wenn auch nicht sehr genau, so läßt sich doch mit Hilfe eines Lineals der Abstand zwischen zwei Wellenbergen oder zwei Wellentälern, d. h. die Wellenlänge der ankommenden Wellen, bestimmen.

Es ist offensichtlich, daß die gesuchte Entfernung in der folgenden Weise geschrieben werden kann:

$$x = vt_1,$$

wobei v die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen ist. Da

$$v = \lambda f$$

gilt (f ist die Schwingungsfrequenz der ankommenden Welle, und es ist $f = n/t_2$), ergibt sich

$$x = \lambda f t_1 = \lambda \frac{t_1}{t_2} n.$$

63. Wenn sich der Zug mit einer Geschwindigkeit v_z von links nach rechts bewegt, so haben die Tropfen relativ zum Zug eine dem Betrag nach gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Geschwindigkeit v'_z . Außerdem bewegen sich die Tropfen bezüglich des Waggons von oben nach unten mit

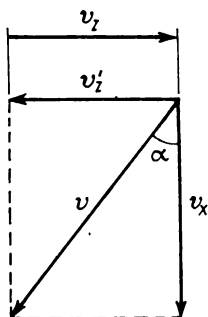


Abb. 23

einer Geschwindigkeit, die bestimmt werden soll und die wir mit v_x bezeichnen. Der Vektor der resultierenden Geschwindigkeit v bildet, wie man aus der Abb. 23 entnehmen kann, mit der Vertikalen einen Winkel α , der die Beziehung

$$\tan \alpha = v'_z / v_x$$

befriedigt. Aus dieser Formel erhält man für die Fallgeschwindigkeit der Regentropfen

$$v_x = v'_z \cot \alpha.$$

Der Winkel α wird mit dem Winkelmesser bestimmt, die Geschwindigkeit v_z des Zuges wird aus der Zeit ermittelt, die er für das Durchfahren der Strecke zwischen zwei aufeinander folgenden Kilometersteinen benötigt (die Kilometersteine sind selbst bei Regenwetter gut zu erkennen).

64. Bezüglich des Autos setzt sich die Bewegung des Tropfens aus zwei Komponenten zusammen, einer vertikalen und einer horizontalen Komponente. Die resultierende Geschwindigkeit v ist unter einem bestimmten Winkel α zur Vertikalen gerichtet (siehe die Lösung der vorhergehenden Aufgabe), wobei gilt:

$$\tan \alpha = v_a / v_x.$$

Dabei ist v_a die Geschwindigkeit des Autos und v_x die interessierende Fallgeschwindigkeit der Tropfen. Der Tangens des Winkels α kann bestimmt werden, indem man die Kathete in dem rechtwinkligen Dreieck ausmisst, das von der Spur des Tropfens (Hypothenuse) und dem Rahmen des Fensters (Kathete) gebildet wird. Die Geschwindigkeit des Autos wird am Tachometer abgelesen. Danach läßt sich v_x berechnen.

65. Man befestigt das Wägestück am Faden und hängt das so erhaltene Pendel an der Decke des Waggons auf. Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung des Zuges wird das Pendel so weit ausgelenkt, daß die resultierende Kraft F aus

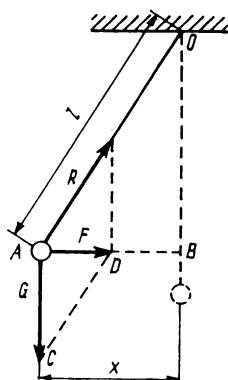


Abb. 24

der Schwerkraft G und der Zugkraft R des Fadens einen Wert erreicht hat, bei dem die hierdurch dem Gewicht erteilte Beschleunigung a gleich der Beschleunigung des Zuges ist.

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke AOB und ACD (Abb. 24) erhält man

$$\frac{\overline{AD}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OB}} \quad \text{oder} \quad \frac{ma}{mg} = \frac{x}{\sqrt{l^2 - x^2}},$$

woraus sich

$$a = g \frac{x}{\sqrt{l^2 - x^2}}$$

ergibt. Hierbei ist l die Länge des Pendels, x seine Auslenkung aus der Gleichgewichtslage, gemessen in horizontaler Richtung.

Man kann folglich durch Messung der Pendellänge und der Auslenkung des Pendels die Beschleunigung des Zuges berechnen.

66. In diesem Falle hängt man das Wägestück am Federkraftmesser auf und ermittelt deren Anzeigen G und R im ruhenden und im gleichmäßig beschleunigten Zug. Aus dem in Abb. 24 dargestellten Dreieck ACD findet man

$$(\overline{AD})^2 = (\overline{DC})^2 - (\overline{AC})^2 \quad \text{oder} \quad F = \sqrt{R^2 - G^2}.$$

Die letzte Gleichung läßt sich in der Form

$$ma = \sqrt{R^2 - G^2}$$

schreiben, woraus sich ergibt:

$$a = \frac{\sqrt{R^2 - G^2}}{m} = g \frac{\sqrt{R^2 - G^2}}{G} = g \sqrt{\left(\frac{R}{G}\right)^2 - 1}.$$

67. Mißt man mit dem Winkelmesser den Winkel AOB (siehe Abb. 24), so findet man aus der Beziehung

$$\tan \sphericalangle AOB = \tan \sphericalangle ACD = F/G = ma/mg = a/g$$

die Beschleunigung des Zuges:

$$a = g \cdot \tan \sphericalangle AOB.$$

68. Bei einer Änderung der Temperatur von T_1 und T_2 ändert sich der Radius der Räder von

$$r_1 = r_0(1 + \alpha T_1)$$

auf

$$r_2 = r_0(1 + \alpha T_2)$$

und der Umfang der Räder von

$$l_1 = 2\pi r_1 = 2\pi r_0(1 + \alpha T_1) = l_0(1 + \alpha T_1)$$

auf

$$l_2 = l_0(1 + \alpha T_2).$$

Aus diesem Grunde ändert sich für eine bestimmte heraus-

gegriffene Strecke L die Zahl der Umdrehungen von

$$N_1 = \frac{L}{l_1} = \frac{L}{l_0(1 + \alpha T_1)}$$

auf

$$N_2 = \frac{L}{l_0(1 + \alpha T_2)}.$$

Dividiert man diese beiden Gleichungen durcheinander, so erhält man

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1 + \alpha T_2}{1 + \alpha T_1}$$

und hieraus

$$\alpha = \frac{N_2 - N_1}{N_1 T_1 - N_2 T_2}.$$

N_1 und N_2 werden mit dem Umdrehungszähler bestimmt, T_1 und T_2 mit Hilfe des Thermometers.

Für ein Stahlrad ($\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) mit einem Radius von 0,5 m ändert sich die Zahl der Umdrehungen auf einer Strecke von 100 km bei einer Erhöhung der Temperatur von -25°C auf $+25^\circ \text{C}$ (was eine Durchführung des Versuchs zu verschiedenen Jahreszeiten erfordert, im Sommer und im Winter!) nur um 19, so daß diese Methode hohen Genauigkeitsansprüchen nicht genügt.

69. Nachdem man das Auto auf eine bestimmte Geschwindigkeit gebracht hat, schaltet man den Antrieb ab, bestimmt mit Hilfe des Tachometers die Geschwindigkeit v und ermittelt mit Hilfe desselben Geräts die Strecke s , die das Auto bis zum Zustand vollständiger Ruhe durchfährt. Gleichsetzen der kinetischen Energie des Autos und der Arbeit der Widerstandskräfte,

$$mv^2/2 = mgks,$$

ergibt dann für den Widerstandskoeffizienten der Bewegung

$$k = v^2/2gs.$$

Aus der Zahlenangabe am Kilometerzähler des Tachometers (gezählt werden volle 100 Meter) kann man die durchgefahrene Strecke leicht mit einer Genauigkeit von 50 m (bei großer

Übung von 30 m) ablesen. Der Zeiger des Tachometers erlaubt eine Ermittlung der Geschwindigkeit mit einem Fehler von etwa 2 km/h. Mit Hilfe der Formeln der Fehlertheorie kann man zeigen, daß dann bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h und einer durchfahrenen Strecke von 600 m für die Bestimmung von k ein relativer Fehler von

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{2\Delta v}{v} + \frac{\Delta s}{s} = \frac{2 \cdot 2 \text{ km/h}}{80 \text{ km/h}} + \frac{30 \text{ m}}{600 \text{ m}} = 0,1 \triangleq 10 \%$$

herauskommt, was nicht so schlecht ist.

70. Um den Holzklotz auf einer geneigten Ebene in gleichförmige Bewegung nach oben zu versetzen, muß man eine Kraft F_{oben} angreifen lassen, die gleich der Summe aus der

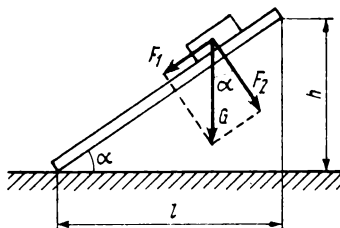


Abb. 25

Reibungskraft $F_R = \mu G \cos \alpha$ und aus der Komponente F_1 des Gewichts des Klotzes ist, die parallel zur Ebene gerichtet ist. Entsprechend Abb. 25 hat man

$$F_{\text{oben}} = \mu G \cos \alpha + G \sin \alpha.$$

Analog hierzu erhält man die Größe der Kraft F_{unten} , die den Klotz in gleichmäßige Bewegung nach unten versetzt:

$$F_{\text{unten}} = \mu G \cos \alpha - G \sin \alpha.$$

Subtraktion der zweiten von der ersten Gleichung ergibt

$$F_{\text{oben}} - F_{\text{unten}} = 2G \sin \alpha,$$

woraus sich

$$\sin \alpha = \frac{F_{\text{oben}} - F_{\text{unten}}}{2G}$$

ergibt. Da die Kräfte F_{oben} , F_{unten} und G mit Hilfe des Feder-

kraftmessers bestimmt werden können, erlaubt diese Beziehung die Berechnung des Sinus des Neigungswinkels und damit mit Hilfe einer entsprechenden Tabelle auch der Größe des Neigungswinkels selbst.

Bei kleinem Neigungswinkel kann man auch ohne Tabelle auskommen, da für kleine Winkel

$$\sin \alpha \approx \alpha$$

gilt, wobei der Winkel natürlich im Bogenmaß auszudrücken ist. In diesem Falle wird

$$\alpha \approx \frac{F_{\text{oben}} - F_{\text{unten}}}{2G}.$$

Multipliziert man den erhaltenen Wert mit 57° , so kennt man angenähert den Wert des Neigungswinkels in Grad.

71. Man baut mit den vorhandenen Leiterstücken aus der Lampe und der Autobatterie einen Stromkreis auf und hält den Kompaß von unten in die Nähe eines geradlinig gewählten Leiterstücks. Das Magnetfeld führt zu einer Auslenkung der Magnetnadel. Kennt man die Richtung der Auslenkung, so läßt sich mit Hilfe der Schraubenregel die Stromrichtung im Kreis feststellen und damit auch das Vorzeichen der Pole der Batterie bestimmen.

Die Lampe wird für die Lösung der Aufgabe nicht unbedingt benötigt, da sich ihre Rolle darauf beschränkt, den Strom im Kreis zu begrenzen, worüber man sich bei nur kurzzeitigem Einschalten der Batterie keine Gedanken machen muß.

72. Man verbindet die Leiterstücken mit den Polen der Batterie und steckt die freien Enden in ein Glas mit Wasser. Im Glas beginnt eine Elektrolyse des Wassers, was aus den Gasbläschen geschlossen werden kann, die an den in das Wasser getauchten freien Leiterenden aufsteigen (um den elektrolytischen Prozeß zu intensivieren, gibt man zweckmäßigerweise einen Tropfen Schwefelsäure in das Wasser).

Da ein Wassermolekül aus zwei Wasserstoffatomen und nur einem Sauerstoffatom besteht, andererseits gleiche Volumina bei gleichen Drücken auch die gleiche Zahl von Gasmolekülen enthalten müssen, entsteht bei der Elektrolyse die doppelte Menge Wasserstoff. Deshalb wird sich an der Elektrode, wo mehr Bläschen aufsteigen, der Wasserstoff

- bilden. Danach ist es nicht mehr schwierig festzustellen, mit welchem Pol der entsprechende Leiter verbunden ist, weil die Wasserstoffionen positiv geladen sind und sich demzufolge dieses Gas an der Kathode bilden muß.

73. Man verbindet die Kupferdrähte mit den Anschlußklemmen der Batterie, die freien Drahtenden werden in die Kartoffel gesteckt. Der elektrische Strom löst bei seinem Durchgang durch die Kartoffel eine Elektrolyse des in der Kartoffel vorhandenen Wassers aus. Im Ergebnis dieses Prozesses wird in der Nähe des Drahtes, der zum negativen Pol der Batterie führt, Wasserstoff abgeschieden, in der Nähe des zum positiven Pol führenden Drahtes dagegen Sauerstoff. Durch Wechselwirkung mit dem Kupfer bildet der Sauerstoff Oxide und Hydroxide, deren Ionen das Gebiet in der Nähe des entsprechenden Leiters blaugrün verfärben. Am zweiten Leiter wird keine Verfärbung beobachtet.

Somit ist der Leiter, in dessen Nähe die Kartoffel grün wird, mit dem positiven Pol der Batterie verbunden.

74. Man bestimmt mit Hilfe der Stoppuhr die Zeit t , die der Reifen benötigt, um, beginnend im Zustand der Ruhe, die Strecke s zu durchrollen, die vorher mit Hilfe des Tachometers ausgemessen worden ist (diese Strecke kann auch aus dem bekannten Radumfang berechnet werden). Dabei verringert sich die potentielle Energie des Reifens um die Größe

$$\Delta W_{\text{pot}} = mgh = mgs \sin \alpha,$$

wobei α der gesuchte Winkel ist. Der Verlust an potentieller Energie ist gleich der vom Reifen aufgenommenen kinetischen Energie. Wenn sich der Reifen *gleitend* auf der Ebene bewegen würde, könnte man die kinetische Energie nach der Formel

$$W_{\text{kin}} = mv^2/2$$

berechnen, wobei v die Bewegungsgeschwindigkeit des Massenmittelpunkts des Reifens und m seine Masse ist. Beim *Abrollen* muß die kinetische Energie jedoch als Summe zweier Anteile dargestellt werden, die einmal die mit der fortschreitenden Bewegung verknüpfte kinetische Energie, zum anderen die mit der Rotationsbewegung verknüpfte kinetische Energie ausdrücken:

$$W_{\text{kin}} = W_{\text{kin/fort}} + W_{\text{kin/rot}}.$$

Aus diesem Grunde muß zur Ermittlung der kinetischen Energie des rollenden Reifens die kinetische Energie der fortschreitenden Bewegung ohne Beachtung der Rotation berechnet werden, danach erfolgt umgekehrt die Berechnung der mit der Rotation verknüpften kinetischen Energie unter der Annahme, daß der Massenmittelpunkt des Reifens ruht. Die erhaltenen Ausdrücke werden danach addiert.

Im allgemeinen ist die Berechnung der kinetischen Energie eines rotierenden Körpers recht schwierig, da unterschiedlich weit von der Drehachse entfernte Punkte verschiedene Geschwindigkeiten besitzen. Für den Reifen vereinfacht sich die Aufgabe aber beträchtlich, da alle seine Punkte von der durch den Massenmittelpunkt gehenden Drehachse den gleichen Abstand haben, welcher gleich dem Radius des Reifens ist.

Bewegt sich der Massenmittelpunkt des Reifens mit der Geschwindigkeit v bezüglich der Erdoberfläche, so haben alle Punkte des Reifens bezüglich des Massenmittelpunktes dieselbe Geschwindigkeit. Folglich kann man den zweiten Summanden in der angegebenen Formel in folgender Form schreiben:

$$\begin{aligned} W_{\text{kin/rot}} &= m_1 v^2/2 + m_2 v^2/2 + \dots + m_n v^2/2 \\ &= \frac{v^2}{2} (m_1 + m_2 + \dots + m_n) = mv^2/2, \end{aligned}$$

wobei die m_i die Massen der einzelnen „Punkte“ des Reifens sind, die in der Summe die Gesamtmasse des Reifens m ergeben.

Somit ergibt sich für die gesamte kinetische Energie

$$W_{\text{kin}} = mv^2/2 + mv^2/2 = mv^2.$$

Setzt man eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung des Reifens voraus, so ergibt sich die nach Durchlaufen der Strecke s gefundene Endgeschwindigkeit v aus der dafür erforderlichen Zeit t zu

$$v = 2s/t,$$

womit der Ausdruck für die kinetische Energie des Reifens die Form

$$W_{\text{kin}} = 4ms^2/t^2$$

annimmt. Setzt man diesen Wert gleich dem Verlust an potentieller Energie, so ergibt sich

$$mgs \sin \alpha = 4ms^2/t^2,$$

woraus man für den Sinus des Neigungswinkels der Straße

$$\sin \alpha = 4s/gt^2$$

erhält. Alle in der letzten Beziehung auftretenden Größen sind entweder bekannt oder können gemessen werden.

Bleibt noch übrig hinzuzufügen, daß wegen der kleinen Neigung der Straße (diese Annahme kann üblicherweise gemacht werden) die Näherung

$$\sin \alpha \approx \alpha$$

verwendet werden kann (siehe die Lösung der Aufgabe Nr. 70).

75. Beide Pendel müssen nebeneinander aufgehängt werden, damit sie gleichzeitig beobachtet werden können. Dann lenkt man beide Pendel aus und läßt sie gleichzeitig los. Zu Beginn werden die Phasen beider Pendel gleich sein, allmählich wird aber das Pendel mit der kleineren Periode das zweite Pendel „überholen“. Nach einer gewissen Zeit werden jedoch beide Pendel wieder die gleiche Phase haben.

Es ist klar, daß dann das langsamere Pendel $n - 1$ Schwingungen ausgeführt hat, wenn beim schnelleren Pendel n Schwingungen gezählt wurden. Folglich kann man schreiben:

$$nT_1 = (n - 1)T_2,$$

wobei T_1 und T_2 die Schwingungsdauern der beiden Pendel sind.

Aus dem erhaltenen Ausdruck sieht man, daß sich bei Kenntnis der Schwingungsdauer eines Pendels (laut Aufgabenstellung ist das gegeben) sowie der Größe n (sie wird durch Abzählen im Experiment bestimmt) die Schwingungsdauer des zweiten Pendels berechnen läßt:

$$T_2 = \frac{n}{n - 1} T_1 \quad \text{oder} \quad T_1 = \frac{n - 1}{n} T_2.$$

76. Man schneidet aus beiden Papiersorten schmale Streifen und taucht ihre Enden ins Wasser. In dem Streifen, in dem die Poren kleiner sind, steigt das Wasser höher.

77. Man muß die Mitte des einen Klotzes an das Ende des anderen Klotzes legen. Wenn der erste Klotz der Magnet ist, wird der zweite Klotz nicht angezogen, da sich in der Mitte eines geradlinigen Magneten in der Regel die sogenannte neutrale Linie befindet. Wenn dagegen Anziehung beobachtet wird, dann ist der zweite Klotz magnetisiert.

Man kann jedoch einen geraden Klotz auch so magnetisieren, daß sich einer seiner Pole, etwa der Südpol, in der Mitte befindet, während an den Enden zwei Nordpole vorhanden sind (einen solchen Klotz kann man sich zusammengesetzt denken aus zwei Magneten, deren Südpole zusammengeführt worden sind). In diesem Falle muß man mit dem Ende des einen Klotzes am anderen Klotz entlangfahren. Wenn dabei ständig Anziehung beobachtet wird, ist der erste Klotz magnetisiert (an seinem Ende befindet sich unbedingt ein Pol). Wenn dagegen nur in einigen Punkten Anziehung gefunden wird, dann ist der zweite Klotz magnetisiert.

78. Man stellt beide Kolben vor eine Tischlampe und betrachtet den Strahlengang durch beide Flüssigkeiten. Da der Brechungsindex von Wasser $n_1 = 1,33$, von Alkohol dagegen $n_2 = 1,36$ ist, sammeln sich die Strahlen nach dem Durchgang durch den Kolben mit Alkohol näher am Kolben als nach dem Durchgang durch den mit Wasser gefüllten Kolben.

79. Am einfachsten geht man in folgender Weise vor. Man mißt mit Hilfe der Stoppuhr die Zeit, die der Wagen benötigt, um unter Einwirkung der Last G , die auf die Waagschale des Gerätes gesetzt wird, eine bestimmte Wegstrecke zu durchfahren, etwa vom Beginn der Auflagefläche bis zum Ende. Dann nimmt man vom Wagen den zu untersuchenden Körper herunter und legt so viele Wägestücke hinein, daß die gleiche Strecke in derselben Zeit wie vorher durchfahren wird. Dann ist die Gesamtmasse der Wägestücke im Wagen gleich der Masse des Körpers.

80. Der Eisenkern mit den zwei Spulen kann als gewöhnlicher Transformator betrachtet werden. Wenn eine der Wicklungen an eine Wechselstromquelle angeschlossen wird und die Spannungen U_1 und U_2 an den beiden Wicklungen gemessen werden, so läßt sich das Verhältnis der Windungszahlen der Spulen aus der Beziehung

$$U_1/n_1 = U_2/n_2$$

bestimmen.

Diese Messung erlaubt jedoch nicht die Bestimmung von n_1 und n_2 für sich. Deshalb wickelt man zusätzlich zu den vorhandenen Spulen noch eine dritte Spule mit bekannter Windungszahl n auf den Eisenkern. Dann kann die obige Beziehung um eine weitere Proportion erweitert werden, die die Spannung an der zusätzlichen Spule enthält:

$$U_1/n_1 = U_2/n_2 = U/n.$$

Hieraus hat man

$$n_1 = \frac{U_1}{U} n \quad \text{und} \quad n_2 = \frac{U_2}{U} n.$$

Die Größen U_1 , U_2 und U werden mit dem Voltmeter bestimmt, die Größe n durch Abzählen der Windungen der Hilfsspule.

81. Man baut die in Abb. 26 dargestellte Schaltung auf und bestimmt aus den Anzeigen U und I des Voltmeters

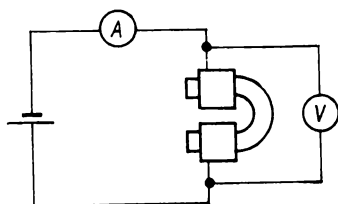


Abb. 26

bzw. Amperemeters unter Ausnutzung des Ohmschen Gesetzes den Widerstand R der Spule des Elektromagneten:

$$R = U/I.$$

Danach wird mit der Feinmeßschraube der Durchmesser d des Drahtes gemessen und zunächst seine Länge

$$l = \frac{RA}{\varrho_R} = \frac{\pi d^2 U}{4 \varrho_R I},$$

danach seine Masse

$$m = \varrho l A = \frac{\pi^2 d^4 U \varrho}{16 \varrho_R I}$$

erechnet. In den Formeln ist ϱ_R der spezifische Widerstand des Kupfers, ϱ seine Dichte (diese Größen können einem Nachschlagewerk entnommen werden), A der Querschnitt des Drahtes.

82. Die Masse der leeren Kapillare wird mit der Waage ermittelt und sei gleich m_1 . Dann wird durch Hineinsaugen eine gewisse Menge Quecksilber in die Kapillare gebracht (das darf natürlich nicht mit dem Mund geschehen, da Quecksilber giftig ist, sondern es erfolgt mit Hilfe des Ansaugballs) und erneut gewogen. Die sich dabei ergebende Masse sei m_2 . Folglich ist die Masse der Quecksilbersäule in der Kapillare gleich

$$m = m_2 - m_1.$$

Andererseits läßt sich m durch die Länge l der Quecksilbersäule, ihren Durchmesser d und die Dichte ϱ des Quecksilbers ausdrücken:

$$m = \varrho \frac{\pi d^2}{4} l.$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man

$$d = \sqrt{\frac{4(m_2 - m_1)}{\pi \varrho l}}.$$

Da die Länge der Quecksilbersäule leicht mit Hilfe des Lineals ermittelt und die Dichte des Quecksilbers einem Nachschlagewerk entnommen werden kann, läßt sich die gesuchte Größe leicht berechnen.

83. Die beiden Pappscheiben werden in einem Abstand l voneinander so auf der Achse des Motors befestigt, daß ihre Ebenen senkrecht zur Achse stehen. Schießt man bei laufendem Motor aus dem Gewehr eine Kugel in Richtung der Achse, so werden in beiden Scheiben Durchschläge vorhanden sein, die um den Winkel

$$\varphi = \omega t = 2\pi n l/v$$

gegeneinander versetzt sind. Hier ist ω die Winkelgeschwindigkeit des Motors, die sich leicht aus der Drehzahl n ermitteln läßt, t die Zeit, die die Kugel zum Durchfliegen des Abstandes l zwischen den Scheiben benötigt, und v die gesuchte Geschwindigkeit der Kugel.

Aus der angegebenen Beziehung erhält man

$$v = 2\pi n l / \varphi.$$

Mit dem Bandmaß wird die Länge l gemessen, mit dem Winkelmesser der Winkel φ . Die Drehzahl des Motors ist laut Aufgabenstellung bekannt.

84. Nach dem Hooke'schen Gesetz ist die Auslenkung x der Feder bei nicht zu großen Belastungen (d. h. im Bereich elastischer Deformationen) der angreifenden Kraft F direkt proportional:

$$F = kx,$$

wobei k die Federkonstante ist, die vom Material und den Abmessungen der Feder abhängt.

Die an einem Stativ befestigte Feder werde unter Einwirkung des Wägestücks mit dem Gewicht G_1 um x_1 , unter Einwirkung des Körpers mit dem Gewicht G_2 um x_2 gedehnt. Dann hat man die folgenden zwei Gleichungen:

$$G_1 = kx_1 \quad \text{und} \quad G_2 = kx_2;$$

Division dieser beiden Gleichungen durch einander ergibt

$$G_2/G_1 = x_2/x_1,$$

woraus man

$$G_2 = \frac{x_2}{x_1} G_1$$

erhält.

Die Auslenkungen x_1 und x_2 werden mit dem Lineal gemessen, G_1 ist laut Aufgabenstellung bekannt.

85. Man legt den Klotz auf das Brett und hebt das eine Ende des Brettes so lange an, bis der Klotz in Bewegung gerät. Aus der Abb. 25 sieht man, daß die Kraft F_1 , die den Klotz parallel zur Ebene in Bewegung zu setzen versucht, gleich $G \sin \alpha$ ist. Andererseits kann die Reibungskraft zwischen Klotz und Ebene in der folgenden Form geschrieben werden:

$$F_R = \mu G \cos \alpha,$$

wobei G das Gewicht des Klotzes und μ der gesuchte Reibungskoeffizient ist.

Bei gleichförmiger Bewegung ist die den Klotz in Bewegung versetzende Kraft gleich der abbremsenden Kraft, d.h.

$$G \sin \alpha = \mu G \cos \alpha,$$

woraus sich für den Reibungskoeffizienten

$$\mu = \tan \alpha = h/l$$

ergibt.

Somit reicht es für die Bestimmung des Reibungskoeffizienten aus, die Größen h und l zu messen (siehe Abb. 25).

86. Bei der Lösung der Aufgabe Nr. 70 waren Ausdrücke für die Kräfte gefunden worden, die aufgewandt werden müssen, um einen Klotz in gleichförmige Bewegung nach oben und nach unten längs der geneigten Ebene zu versetzen. Zur Erinnerung werden diese Beziehungen noch einmal angegeben:

$$F_{\text{oben}} = \mu G \cos \alpha + G \sin \alpha, \quad F_{\text{unten}} = \mu G \cos \alpha - G \sin \alpha.$$

Subtrahiert man die zweite von der ersten Gleichung, so erhält man eine Beziehung für die Bestimmung des Sinus des Neigungswinkels der Ebene zur Horizontalen:

$$\sin \alpha = \frac{F_{\text{oben}} - F_{\text{unten}}}{2G}.$$

Addition derselben Gleichungen ergibt eine Beziehung für die Berechnung des Kosinus desselben Winkels:

$$\cos \alpha = \frac{F_{\text{oben}} + F_{\text{unten}}}{2\mu G}.$$

Quadriert man die beiden letzten Gleichungen und addiert sie, so findet man

$$1 = \left(\frac{F_{\text{oben}} - F_{\text{unten}}}{2G} \right)^2 + \left(\frac{F_{\text{oben}} + F_{\text{unten}}}{2\mu G} \right)^2,$$

woraus sich für den Reibungskoeffizienten

$$\mu = \frac{F_{\text{oben}} + F_{\text{unten}}}{\sqrt{4G^2 - (F_{\text{oben}} - F_{\text{unten}})^2}}$$

ergibt.

Die für die Ausführung der Rechnung erforderlichen Kräfte F_{oben} , F_{unten} und G werden mit dem Federkraftmesser bestimmt.

87. Man befestigt die Rolle in gewisser Höhe über dem Fußboden (beispielsweise kann man sie an die Decke schrauben), legt die Schnur darüber und befestigt an den Enden der Schnur das Wägestück und den zu untersuchenden Körper. Für die folgenden Rechnungen ist es günstig, zunächst

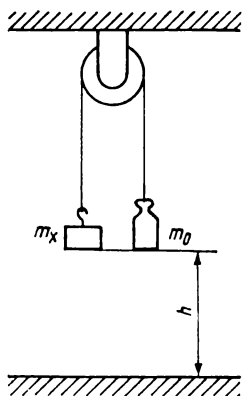


Abb. 27

beide Gegenstände in die gleiche Höhe zu bringen, wie das die Abb. 27 zeigt. Dann werden beide losgelassen, so daß sie sich bewegen können. In Abhängigkeit von dem Verhältnis zwischen der Masse m_0 des Wägestücks und der Masse m_x des zu untersuchenden Körpers sind die drei folgenden Fälle möglich.

a) Das System verbleibt in Ruhe. Das geschieht in dem Falle, wenn $m_x = m_0$ ist. Dann sind keine weiteren Messungen erforderlich, da die Aufgabe gelöst ist.

b) Das Wägestück bewegt sich nach unten, der Körper nach oben. Für das Auftreten dieses Falls ist notwendig, daß die Masse des Wägestücks größer als die Masse des Körpers ist: $m_0 > m_x$.

Unter Ausnutzung des zweiten Gesetzes der Dynamik erhält man für die Beschleunigung beider Körper:

$$a = \frac{m_0 g - m_x g}{m_0 + m_x} = \frac{m_0 - m_x}{m_0 + m_x} g.$$

Die von einem Körper in der Zeit t durchlaufene Wegstrecke bei konstanter Beschleunigung a und der Anfangsgeschwindigkeit Null ergibt sich aus der Beziehung

$$h = at^2/2.$$

Setzt man in diese Gleichung die oben gefundene Beziehung für die Beschleunigung ein, so erhält man

$$h = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_0 - m_x}{m_0 + m_x} gt^2.$$

Hieraus findet man

$$m_x = \frac{gt^2 - 2h}{gt^2 + 2h} m_0.$$

Die Größe m_0 ist laut Aufgabenstellung bekannt, g ist eine konstante Größe, und t wird mit der Stoppuhr gemessen. Somit ist für die Lösung der Aufgabe noch ein Verfahren für die Bestimmung der Wegstrecke h anzugeben, die der Körper in der Zeit t durchläuft (am bequemsten wählt man hier den Abstand zum Fußboden, siehe Abb. 27). Hierfür kann man die früher bei der Lösung der Aufgabe Nr. 31 angegebene Methode für die Bestimmung der Höhe, Breite und Länge eines Zimmers einsetzen, die darauf hinaus läuft, daß man sich aus einer Schnur und einem Wägestück ein „mathematisches Pendel“ herstellt, dessen Länge gleich der gesuchten Weglänge ist (in unserem Falle gleich dem Abstand zwischen Wägestück oder Körper und Fußboden), und dann mit Hilfe der Pendelformel aus der mit der Stoppuhr gemessenen Schwingungsdauer T des Pendels die gesuchte Größe berechnet:

$$h = gT^2/4\pi^2.$$

c) Wenn $m_x > m_0$ ist, haben die Ausdrücke für die Beschleunigung des Systems sowie für die Masse des zu untersuchenden Körpers die folgende Form:

$$a = \frac{m_x - m_0}{m_x + m_0} g \quad \text{und} \quad m_x = \frac{gt^2 + 2h}{gt^2 - 2h} m_0.$$

Alle in den letzten Ausdruck eingehenden Größen sind entweder bekannt oder können nach den bereits beschriebenen Methoden ermittelt werden.

Bleibt noch übrig hinzuzufügen, daß in allen drei Fällen für eine richtige Lösung der Aufgabe gefordert werden muß, daß die Reibung auf der Rollennachse möglichst klein ist. Für die beiden letzten Fälle, d. h. b) und c), ist außerdem notwendig, daß die Masse der Rolle, genauer ihr Trägheitsmoment, möglichst klein gehalten wird.

88. Der Stahlklotz ist in der Büchse mit Wasser mit Hilfe des Spirituskochers auf 100°C zu erwärmen. Dann wird der Klotz in das Kalorimeter gebracht, in das vorher eine mit dem Meßzylinder abgemessene bestimmte Wassermenge geschüttet worden ist. Die Anfangs- und die Endtemperatur des Wassers werden mit dem Thermometer bestimmt, und aus der thermischen Bilanzgleichung

$$m_1 c_1 (100^{\circ}\text{C} - T) = m_2 c_2 (T - T_1) + m_3 c_3 (T - T_1)$$

läßt sich dann die Masse m_1 des Klotzes berechnen. In dieser Gleichung sind m_2 und m_3 die Masse des in das Kalorimeter geschütteten Wassers und des Kalorimeters selbst, c_1 , c_2 und c_3 sind die spezifischen Wärmekapazitäten des Stahls, des Wassers und des Materials, aus dem das Kalorimeter hergestellt ist; T_1 und T sind die Anfangs- und die Endtemperatur des Wassers im Kalorimeter.

89. Die thermische Bilanzgleichung (siehe die Lösung der vorhergehenden Aufgabe) hat in diesem Falle die Form

$$m_1 c_1 (T_x - T) = m_2 c_2 (T - T_1) + m_3 c_3 (T - T_1),$$

wobei T_x die gesuchte Temperatur ist. Auflösung dieser Gleichung nach T_x liefert somit leicht die gesuchte Größe. Die Masse m_1 des Klotzes kann entweder als bekannt vorausgesetzt oder nach dem in Aufgabe Nr. 88 beschriebenen Verfahren bestimmt werden.

90. Man baut aus dem Akkumulator, dem Amperemeter und dem bekannten Widerstand R einen Stromkreis auf und mißt den fließenden Strom. Dieser Strom ist gleich

$$I_1 = \frac{U_0}{R + r}, \quad (1)$$

wobei U_0 die Ursprungung des Akkumulators und r sein innerer Widerstand ist. Dann tauscht man den bekannten Widerstand R gegen den unbekannten Widerstand R_x aus und mißt erneut den Strom. Der neue Stromwert I_2 läßt sich

schreiben:

$$I_2 = \frac{U_0}{R_x + r} . \quad (2)$$

Somit verfügt man für die Bestimmung der drei Größen U_0 , R_x und r nur über zwei Gleichungen. Bekanntlich hat ein solches System keine eindeutige Lösung, so daß für die Bestimmung der unbekannten Größen noch eine weitere Gleichung erforderlich ist. Viele haben Schwierigkeiten, diese dritte Gleichung zu finden. In Wirklichkeit ist das nicht schwierig. Man schaltet dazu den gesuchten und den bekannten Widerstand entweder in Reihe oder parallel und bestimmt den in diesem Falle fließenden Strom. Für den Fall der Reihenschaltung ergibt sich

$$I_3 = \frac{U_0}{R + R_x + r} , \quad (3)$$

für die Parallelschaltung gilt

$$I_4 = \frac{U_0}{\frac{RR_x}{R + R_x} + r} . \quad (4)$$

Ergänzt man die Gleichungen (1) und (2) durch die Beziehung (3) oder (4), so erhält man ein System aus drei Gleichungen, aus dem die drei unbekannten Größen U_0 , r und R_x bestimmt werden können. Insbesondere ergibt sich

$$R_x = \frac{I_2(I_3 - I_1)}{I_1(I_3 - I_2)} R$$

bei Verwendung der Gleichungen (1), (2) und (3) oder

$$R_x = \sqrt{\frac{I_1(I_4 - I_2)}{I_2(I_4 - I_1)}} R$$

bei Verwendung der Gleichungen (1), (2) und (4).

91. Aus Symmetriegründen haben die Punkte 2, 4 und 5 sowie 3, 6 und 8 gleiches Potential. Stellt man sie sich leitend miteinander verbunden vor, so ergibt sich die in Abb. 28 gezeigte Schaltung. Nach den Kirchhoffschen Regeln über Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen ergibt sich

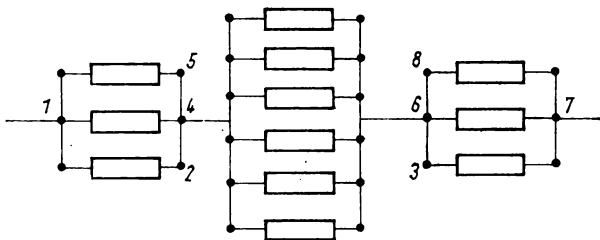


Abb. 28

daraus für den Gesamtwiderstand

$$R_{\text{ges}} = \frac{1}{3} R + \frac{1}{6} R + \frac{1}{3} R = \frac{5}{6} R;$$

es fließt also ein Strom

$$I = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{6}{5} \frac{U}{R} = 1,2 \text{ A.}$$

Auf ähnliche Weise läßt sich der Strom errechnen, wenn der Würfel längs einer Kante oder Flächendiagonalen angeschlossen wird.

92. Es sei zunächst daran erinnert, daß sich jeder Kondensator in einem Wechselstromkreis wie ein Widerstand verhält, dessen Größe der Kapazität umgekehrt proportional ist:

$$R = \frac{1}{\omega C}$$

(ω ist die Kreisfrequenz des Wechselstroms). Somit ist der Gesamtwiderstand eines aus Kondensatoren aufgebauten Wechselstromkreises der Größe $1/C_{\text{ges}}$ proportional. Wenn der Widerstand einer Schaltung, die aus gleichen Widerständen R aufgebaut ist, die in derselben Weise miteinander verbunden sind wie die Kondensatoren, gleich R_{ges} ist, kann man folgende Relation aufschreiben:

$$\frac{1}{C} : \frac{1}{C_{\text{ges}}} = R : R_{\text{ges}},$$

aus der sich ergibt:

$$C_{\text{ges}} = RC/R_{\text{ges}}.$$

Entsprechend der Aufgabenstellung ist die Kapazität eines Kondensators bekannt, R und R_{ges} können über das Ohmsche Gesetz ermittelt werden, indem man aus dem Akkumulator, den Widerständen, dem Amperemeter und dem Voltmeter einen Stromkreis aufbaut.

Man kann auch auf etwas anderem Wege zu dieser Schlußfolgerung gelangen. Bei einer Reihenschaltung von Widerständen addieren sich ihre Widerstandswerte, bei einer Reihenschaltung von Kondensatoren addieren sich die Reziproken der Kapazitäten. Umgekehrt addieren sich bei einer Parallelschaltung von Widerständen die Reziproken der Widerstände, während eine Parallelschaltung von Kondensatoren eine Addition der Kapazitäten bedeutet. Somit verhält sich die Größe $1/C$ bei einer beliebigen Kombination von parallel und in Reihe geschalteten Kondensatoren genauso wie der Widerstand R , woraus die bereits angegebene Beziehung

$$\frac{1}{C} : \frac{1}{C_{\text{ges}}} = R : R_{\text{ges}}$$

folgt.

93. Der Widerstand R eines Drahtstückes, dessen Länge l gleich der Höhe des Zimmers ist, kann nach dem Ohmschen Gesetz bestimmt werden, indem man eine Schaltung aufbaut, deren Spannungsquelle der Akkumulator ist und deren äußerer Kreis von dem Drahtstück gebildet wird. Wenn das mit dem Draht in Reihe geschaltete Amperemeter den Strom I und das zum Draht parallel geschaltete Voltmeter die Spannung U anzeigt, wird

$$R = \frac{U}{I} = \varrho_{\text{R}} \frac{l}{A},$$

wobei A die Querschnittsfläche des Leiters und ϱ der spezifische Widerstand des Kupfers ist.

Andererseits läßt sich die Masse m dieses Drahtstücks, die mit Hilfe der Waage ermittelt wird, durch seine Länge l , seine Querschnittsfläche A und die Dichte ϱ des Kupfers in folgender Weise ausdrücken:

$$m = \varrho l A.$$

Multiplikation beider Gleichungen ergibt

$$\frac{mU}{I} = \varrho \varrho_{\text{R}} l^2,$$

woraus man

$$l = \sqrt{\frac{mU}{\varrho \varrho_R I}}$$

erhält.

Die Größen I , U und m werden im Experiment gemessen, die Werte für ϱ und ϱ_R werden einem Nachschlagewerk entnommen. In derselben Weise werden die Länge und die Breite des Zimmers ermittelt, wonach sich durch Multiplikation der drei Abmessungen das Volumen berechnen läßt.

Wenn der Spannungsabfall an dem Drahtstück, welches gleich der Länge des Zimmers ist, zu klein wird und nur schwer mit dem Voltmeter bestimmt werden kann, muß man in den Stromkreis ein Drahtstück schalten, dessen Länge gleich einem ganzzahligen Vielfachen der entsprechenden Abmessung des Zimmers ist.

94. Aus der Lösung der vorhergehenden Aufgabe folgt, daß man durch Wägung des Drahtstückes, dessen Länge gleich der Höhe des Zimmers ist, und durch Verwendung der einem Nachschlagewerk entnommenen Dichte des Kupfers das Produkt aus der Länge und dem Querschnitt des Drahtes berechnen kann:

$$lA = \frac{m}{\varrho}.$$

Dann hängt man einen Körper am Draht auf und erhöht dessen Masse so lange, bis die kritische Belastung F_{kr} erreicht ist, bei der der Draht zerreißt. Die Größe der kritischen Belastung ist der Querschnittsfläche des Drahtes direkt proportional:

$$F_{kr} = m_{kr}g = \sigma A,$$

wobei σ die Zerreißspannung des Kupfers ist (siehe dazu auch die Aufgaben Nr. 36 und 61), die einem Nachschlagewerk entnommen werden kann.

Gliedweise Multiplikation der beiden letzten Ausdrücke ergibt nach Kürzung von A

$$m_{kr}gl = m\sigma/\varrho,$$

woraus man

$$l = \frac{\sigma m}{m_{kr}\varrho g}$$

erhält. In derselben Weise wird die Länge und Breite des Zimmers ermittelt und schließlich das Volumen des Zimmers berechnet.

Leider variiert die Zerreißspannung für verschiedene Kupfersorten innerhalb recht weiter Grenzen. Deshalb lassen sich gute Ergebnisse nur dann erzielen, wenn Kupfer verwendet wird, dessen Zerreißspannung hinreichend genau bekannt ist.

95. Die Frequenz N der Schwebungen zwischen der Stimmgabel und der Orgelpfeife ist gleich

$$N = f_s - f,$$

wobei f_s die Frequenz des Schalls ist, der von der Stimmgabel ausgesandt wird, während f die Frequenz des Tons der Orgelpfeife angibt. Die erste Größe ist entsprechend der Aufgabenstellung konstant, während sich f bei Erwärmung oder Abkühlung der Luft im Raum verändert.

Die Wellenlänge λ der Schallwelle, die von der Orgelpfeife ausgeht, läßt sich durch die Schallgeschwindigkeit v und die Frequenz f der Schallwelle wie folgt ausdrücken:

$$\lambda = v/f.$$

Andererseits ist die Wellenlänge des Grundtons einer offenen Orgelpfeife gleich

$$\lambda = 4l,$$

wobei l die Länge der Orgelpfeife ist. Aus den beiden letzten Gleichungen erhält man

$$f = v/4l. \quad (1)$$

Die Schallwellen breiten sich in Luft mit einer Geschwindigkeit aus, die von derselben Größenordnung ist wie die Geschwindigkeit der Moleküle bei der gegebenen Temperatur. Da die kinetische Energie der Moleküle der absoluten Temperatur T direkt proportional ist, mit

$$mv^2/2 \sim T,$$

wird die Geschwindigkeit der Moleküle und folglich auch die Schallgeschwindigkeit der Quadratwurzel aus T proportional sein:

$$v \sim \sqrt{T}.$$

Damit ergibt sich für das Verhältnis der Schallgeschwindigkeit v bei einer bestimmten Temperatur zu ihrem Wert v_0 bei $T_0 = 0^\circ\text{C}$ die Beziehung

$$\frac{v}{v_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}.$$

Berücksichtigt man die oben aufgeschriebene Gleichung (1) für den Zusammenhang zwischen der Frequenz des Tons der Orgelpfeife und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen, so läßt sich der letzte Ausdruck in folgender Form schreiben:

$$\frac{f}{f_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}.$$

Hier ist f_0 die Frequenz der Orgelpfeife bei 0°C , die entsprechend der Aufgabenstellung gleich 440 Hz ist.

Setzt man den sich hieraus ergebenden Wert für die Frequenz der Orgelpfeife bei der Temperatur T in die Ausgangsbeziehung für die Schwebungsfrequenz ein, so ergibt sich

$$N = f_s - f_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}},$$

woraus man für die Temperatur T im Laboratorium

$$T = T_0 \left(\frac{f_s - N}{f_0} \right)^2 = T_0 \left(\frac{f_s - N}{f_s} \right)^2$$

erhält. Dieser Ausdruck läßt sich leicht überprüfen. Setzt man $N = 0$, so ergibt sich $T = T_0$. Das entspricht der realen Situation, denn bei $T = 0^\circ\text{C}$ stimmen die Frequenzen der Stimmgabel und der Orgelpfeife miteinander überein, und es treten keine Schwebungen auf.

96. Das Sägeblatt muß in zwei Teile zerbrochen werden (am besten verwendet man dazu ein Sägeblatt, das unbrauchbar geworden ist). Wenn das Sägeblatt magnetisiert war, werden die beiden Hälften eine Wechselwirkung zeigen.

97. Zunächst ist die Masse m der gesamten Platte zu bestimmen. Dann zeichnet man mit Hilfe des Zeichendreiecks ein Rechteck mit bekannten Seitenlängen auf die Platte, schneidet dieses Rechteck aus der Platte mit der Schere aus und bestimmt mit Hilfe der Waage seine Masse m_0 . Wenn

die Platte überall die gleiche Dicke hat, ist ihre Masse m um so viel größer als m_0 wie ihre Fläche A größer ist als die Fläche A_0 des Rechtecks:

$$m/m_0 = A/A_0.$$

Hieraus erhält man

$$A = A_0 \frac{m}{m_0}.$$

Die Fläche A_0 läßt sich leicht mit Hilfe des Zeichendreiecks bestimmen.

Wenn die Platte nicht zerschnitten werden soll, überträgt man ihre Berandungslinie auf ein Stück Karton oder festes Papier, schneidet die sich ergebende Figur aus und verfährt mit ihr in der oben beschriebenen Weise.

98. Wenn sich die Dichte beim Erstarren verringert, wird das in die Schmelze geworfene Stück festen Materials derselben Substanz auf der Oberfläche schwimmen. So verhalten sich beispielsweise Eis und Wasser, wo die Dichte des Eises um den Faktor 1,1 kleiner ist als die Dichte des Wassers. Ein Stück Eisen dagegen geht in der Schmelze unter, was einer Erhöhung der Dichte beim Erstarren entspricht.

Im ersten Falle erhöht sich das Volumen des Materials beim Erstarren, im zweiten Falle verringert es sich.

99. Man zerlegt die Platte in Gedanken in Rechtecke, wie das durch die punktierte Linie in Abb. 29a angedeutet ist. Der Schwerpunkt des einen Rechtecks liegt im Punkt M_1 , wo sich die beiden Diagonalen des Rechtecks schneiden. Analog findet man die Lage N_1 des Schwerpunktes des zweiten Rechtecks. Folglich muß der Schwerpunkt der Platte auf der geraden Verbindungslinie zwischen M_1 und N_1 liegen.

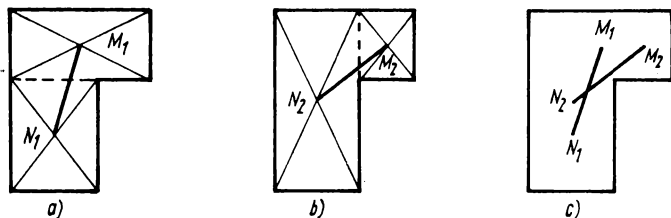


Abb. 29

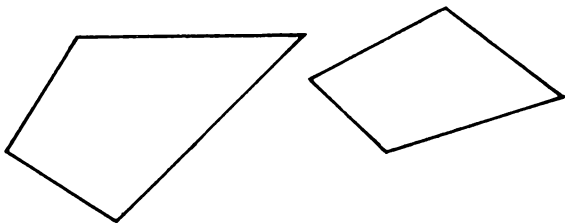


Abb. 29 c

Durch eine analoge Überlegung findet man, daß der gesuchte Punkt auf der Geraden M_2N_2 liegen muß, wenn M_2 und N_2 die Schwerpunkte der in Abb. 29 b konstruierten Rechtecke sind. Wenn jedoch der Schwerpunkt gleichzeitig auf zwei Geraden liegt, muß er mit dem Schnittpunkt dieser Geraden zusammenfallen (Abb. 29 c).

Und jetzt versuche man, unter Ausnutzung der eben beschriebenen Methode, die Schwerpunkte der in Abb. 29 d dargestellten Figuren zu ermitteln, die die Form unregelmäßiger Vierecke haben.

100. Auf den stromdurchflossenen Glühfaden wirkt im Magnetfeld eine von der Stromrichtung abhängige Kraft.

Wenn die Lampe mit Wechselstrom gespeist wird, so wird der an die Lampe gehaltene Magnet den Glühfaden der Lampe in eine Schwingungsbewegung versetzen, und die Umrisse des Glühfadens verschwimmen. Bei Gleichstrom wird der Glühfaden deutlich zu sehen sein, da er nur nach einer Seite aus seiner Ausgangslage ausgelenkt wird.

101. Man muß den Stromkreis der Taschenlampe unterbrechen und nacheinander an dieser Unterbrechungsstelle die beiden Spulen zuschalten.

Die Stromspule hat einen sehr geringen Widerstand, und bei ihrer Zuschaltung in den Stromkreis wird sich die Helligkeit der Taschenlampe praktisch nicht ändern. Der Widerstand der Spannungsspule ist hingegen sehr groß, und bei ihrer Zuschaltung wird die Lampe nicht mehr leuchten.

102. Man schließe das Voltmeter zunächst an die Punkte A und B (Abb. 30), danach an die etwas weiter rechts liegenden Punkte A_1 und B_1 an. Die Anzeigen des Voltmeters seien U bzw. U_1 .

Wenn $U > U_1$ ist, befindet sich die Stromquelle links von den Punkten A und B : Die Anzeige des Voltmeters verringert

sich beim Übergang von den Punkten A und B zu den Punkten A_1 und B_1 aufgrund des Spannungsabfalls an den Leiterstücken AA_1 und BB_1 .

Wenn dagegen $U < U_1$ ist, so befindet sich die Batterie rechts von A und B . In diesem Falle vergrößert sich die Anzeige des Voltmeters um den Spannungsabfall an denselben Leiterstücken.

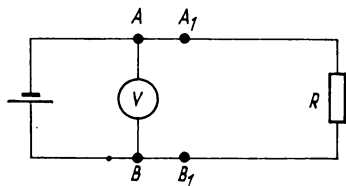


Abb. 30

Die Lösung der Aufgabe erfolgt für Gleich- und Wechselstrom in derselben Weise, man muß nur ein Voltmeter entsprechenden Typs auswählen. Wichtig ist auch, daß die Empfindlichkeit des Voltmeters ausreichend hoch ist, damit man die im allgemeinen kleine Änderung der Potentialdifferenz beim Übergang von A und B zu A_1 und B_1 registrieren kann.

103. Man muß aus dem ersten Kasten ein Teil, aus dem zweiten Kasten zwei Teile, aus dem dritten Kasten drei Teile und schließlich aus dem zehnten Kasten zehn Teile herausnehmen und alle Teile gemeinsam wiegen.

Hätten alle Kästen nur richtig hergestellte Teile enthalten, so würde sich eine Gesamtmasse m_1 ergeben.

Da sich im Kasten n Teile befinden, die alle um 10 g zu leicht sind, wird die Anzeige m_2 der Waage um $10 \cdot n\text{ g}$ niedriger sein als m_1 ,

$$m_1 - m_2 = 10n\text{ g}.$$

Hieraus findet man n , d. h. die Nummer des Kastens mit den fehlerhaften Teilen:

$$n = \frac{(m_1 - m_2)\text{ g}}{10\text{ g}}.$$

104. Wenn man für die Beleuchtung eine periodisch aufleuchtende Lampe (Impuls Lampe) verwendet, deren Impuls-

frequenz gleich der Drehzahl der Spindel ist, so sieht man das Teil stets in derselben Lage, und seine Oberfläche ist deutlich erkennbar. Für die Speisung der Lampe muß ein Generator mit stetig regelbarer Frequenz verwendet werden.

Anstelle der Impulslampe und eines Generators mit veränderlicher Frequenz kann man auch eine gewöhnliche helle Lampe verwenden, wenn man das von ihr ausgehende Licht durch den radialen Schlitz einer Pappscheibe treten läßt, die auf der Achse eines Elektromotors befestigt ist, dessen Drehzahl verändert werden kann.

Der Effekt, bei dem als Ergebnis einer intermittierenden Beleuchtung rotierende Körper unbeweglich erscheinen, wird als stroboskopischer Effekt bezeichnet. Einigen Anwendungen dieses Effekts ist auch die nächste Aufgabe gewidmet.

105. Man zeichnet auf die Pappscheibe mit Hilfe des Zirkels einen Kreis und schneidet die so abgegrenzte Kreisscheibe aus. Auf die erhaltene Pappscheibe zeichnet man einen radialen Strich und befestigt die Scheibe auf der Welle des Motors, so daß die Scheibenebene senkrecht zur Motorwelle steht. Dann schließt man den Motor und die Leuchtstofflampe an das Netz an. Die an das Wechselstromnetz angeschlossene Leuchtstofflampe leuchtet 100mal in der Sekunde (6000mal in der Minute) auf. Wenn der Motor in der Zeit zwischen zwei Lichtimpulsen genau eine Umdrehung ausführt (d. h. seine Rotationsfrequenz beträgt 6000 Umdrehungen je Minute), so ist der auf der Scheibe vorhandene Strich immer in derselben Stellung zu sehen, d. h., die Scheibe wird ungeachtet der Rotation unbeweglich erscheinen (Abb. 31 a).

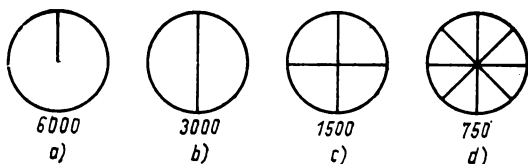


Abb. 31

Wenn die Rotationsfrequenz auf die Hälfte verringert wird, führt die Welle des Motors in der Zeit zwischen zwei Lichtimpulsen nur eine halbe Umdrehung aus, und der

Strich wird in der Stellung zu sehen sein, die der Stellung beim vorhergehenden Lichtimpuls gegenüberliegt. Als Ergebnis sieht man einen längeren Strich, der die Scheibe längs eines Durchmessers schneidet (Abb. 31 b). Bei einer Rotationsfrequenz von 1500 Umdrehungen je Minute wird auf der Scheibe ein Kreuz zu sehen sein (Abb. 31 c), bei einer Rotationsfrequenz von 750 Umdrehungen je Minute zwei Kreuze (Abb. 31 d), die um einen Winkel von 45° gegeneinander gedreht sind.

Es sei hier darauf hingewiesen, daß das in Abb. 31 a gezeigte Bild nicht nur dann beobachtet wird, wenn die Scheibe in der Zeit zwischen zwei Lichtimpulsen eine Umdrehung ausführt, sondern auch dann, wenn sie zwei, drei usw. Umdrehungen erfährt (d.h. bei Drehzahlen von 12000, 18000 usw. je Minute). Das in der Abb. 31 b gezeigte Bild wird auch bei Rotationsfrequenzen von 9000, 15000 usw. Umdrehungen je Minute zu sehen sein (die Scheibe führt dann in der Zeit zwischen zwei Lichtimpulsen 1,5; 2,5 usw. Umdrehungen aus). Das Kreuz (Abb. 31 c) kann bei Drehzahlen von 1500, 4500, 7500 usw. je Minute beobachtet werden, die zwei Kreuze (Abb. 31 d) bei 750, 2250, 3750 usw. Umdrehungen je Minute.

Unter Berücksichtigung des Gesagten muß die Rotationsgeschwindigkeit, von Null ausgehend, allmählich erhöht werden, bis der gewünschte Zustand erreicht ist.

106. Man muß irgendeinen Gegenstand (wenn keiner vorhanden ist, befindet sich der Kosmonaut in einer tragischen Situation) in die zur Rakete entgegengesetzte Richtung von sich weg werfen. Dann erhält der Mensch entsprechend dem Impulserhaltungssatz, der bereits bei der Lösung der Aufgabe Nr. 56 verwendet wurde, eine auf die Rakete hin gerichtete Geschwindigkeit

$$V = \frac{m}{M} v,$$

wobei M und m die Massen des Menschen und des Gegenstandes sind und v die Geschwindigkeit des letzteren ist.

In analoger Weise bewegt sich bekanntlich die Rakete selbst im kosmischen Raum, indem sie die Verbrennungsprodukte des Treibstoffs nach einer Seite ausstößt und sich auf Kosten dieses Vorgangs in der entgegengesetzten Richtung fortbewegt.

107. Die Aufgabenstellung kann in zweierlei Weise erfüllt werden. Wir werden sie beide nacheinander behandeln:

a) In die eine Waagschale der Balkenwaage werde der uns interessierende Körper mit der Masse m_1 gelegt, in die andere Waagschale das Wägestück mit der Masse m_2 . Da der Satellit und alle auf ihm befindlichen Körper (darunter auch der zu wägende Körper und das Wägestück) im Gravitationsfeld der Erde die gleiche Beschleunigung erfahren (sie fallen ununterbrochen zur Erde), befindet sich die Waage in einem indifferenten Gleichgewicht.

Das Gleichgewicht wird jedoch gestört, wenn man die Waage bezüglich des Satelliten in eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung versetzt. Um Körpern mit unterschiedlicher Masse die gleiche Beschleunigung a zu erteilen, sind unterschiedliche Kräfte erforderlich:

$$F_1 = m_1 a \quad \text{und} \quad F_2 = m_2 a.$$

Es ist zumindest angenähert leicht zu erreichen, daß der Zeiger der Waage auch bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung keine Auslenkung aus der Nullage zeigt; dazu ist erforderlich, daß die Masse des Körpers und die der aufgelegten Wägestücke gleich sind.

b) Man kann auch den Federkraftmesser verwenden. Wenn man den zu untersuchenden Körper an den Federkraftmesser hängt und das System mit einer bestimmten konstanten Beschleunigung a in Bewegung versetzt, so fixiert der Zeiger eine bestimmte Kraft

$$F_1 = m_1 a.$$

Dann hängt man anstelle des Körpers ein Wägestück mit bekannter Masse m_2 auf und bewegt den Federkraftmesser mit der gleichen Beschleunigung a . In diesem Falle zeigt der Federkraftmesser die Kraft

$$F_2 = m_2 a$$

an. Division der beiden letzten Gleichungen durcheinander ergibt

$$F_1/F_2 = m_1/m_2,$$

woraus man

$$m_1 = m_2 \frac{F_1}{F_2}$$

erhält.

Die in diesem Falle erforderliche Gleichheit der Beschleunigungen ist nur schwer zu erreichen.

Man kann versuchen, diese Bedingung zu realisieren, indem man den Federkraftmesser zunächst mit der aufgehängten Masse, dann mit dem aufgehängten Wägestück mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotieren läßt, wozu offenbar eine Stoppuhr erforderlich ist. Deshalb ist es besser, zwei Federkraftmesser zu verwenden: An den einen wird der zu untersuchende Körper, an den anderen das Wägestück gehängt, dessen Masse bekannt ist. Dann werden beide Federkraftmesser in eine Hand genommen und gleichzeitig in eine beschleunigte Bewegung versetzt.

Bei der Lösung dieser Aufgabe nutzen wir die Tatsache aus, daß Äquivalenz zwischen den Gravitationskräften und den Kräften, die in beschleunigt bewegten Systemen auf einen Körper wirken (Trägheitskräfte), besteht. Dies war eine der Grundlagen der Gravitationstheorie, die von *A. Einstein* (1915) in der allgemeinen Relativitätstheorie entwickelt wurde. Wenn sich also ein Experimentator in einem Raumschiff oder einem gesteuerten Satelliten befindet, reicht es aus, die Triebwerke einzuschalten, damit eine „künstliche Schwerkraft“ auftritt und eine beliebige Waage funktionsfähig wird.

108. Wenn sich ein Raumschiff mit ausgeschalteten Triebwerken um einen Planeten bewegt, ist die einzige auf ihn wirkende Kraft die Anziehungskraft F_{Grav} des Planeten:

$$F_{\text{Grav}} = \gamma \frac{Mm}{R^2},$$

wobei γ die Gravitationskonstante, M die Masse des Planeten, m die Masse des Raumschiffs und R sein Abstand vom Mittelpunkt des Planeten ist.

Bei nicht zu großer Flughöhe kann R gleich dem Radius des Planeten gesetzt werden (wir nehmen an, daß der Planet kugelförmig ist).

Man drückt die Masse des Planeten durch seinen Radius und seine mittlere Dichte ρ aus,

$$M = \rho V = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho,$$

und setzt diesen Wert für die Masse M in die vorhergehende

Formel ein:

$$F_{\text{Grav}} = \frac{4}{3} \pi \gamma R m \varrho.$$

Da sich das Raumschiff auf einer Kreisbahn bewegt, wirkt auf das Raumschiff eine Radialkraft

$$F_{\text{R}} = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} R,$$

wobei v die Bahngeschwindigkeit und ω die Winkelgeschwindigkeit des Raumschiffs und T seine Umlaufzeit um den Planeten ist.

Da die anziehende Gravitationskraft die Rolle der Radialkraft spielt, kann man die rechten Seiten der beiden letzten Ausdrücke einander gleichsetzen und erhält für die Dichte

$$\varrho = 3\pi/\gamma T^2.$$

Wenn man folglich mit Hilfe der Uhr die Umlaufzeit des Raumschiffs um den Planeten bestimmt, kann man seine mittlere Dichte berechnen.

Die auf eine Kreisbahn gebrachten künstlichen Erdsatelliten haben gewöhnlich eine Umlaufzeit von etwa eineinhalb Stunden (5400 s). Setzt man diesen Wert in die letzte Formel ein, so erhält man für die mittlere Dichte der Erde

$$\varrho = \frac{3 \cdot 3,14}{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg s}^2) \cdot (5400 \text{ s})^2} \approx 5000 \text{ kg/m}^3.$$

Die am 17. Oktober 1970 auf eine Kreisbahn um den Mond gebrachte automatische Station „Luna-16“ hatte eine Umlaufzeit von 1 Stunde und 59 Minuten (7140 s), woraus man für die mittlere Dichte des Mondes

$$\varrho = \frac{3 \cdot 3,14}{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg s}^2) \cdot (7140 \text{ s})^2} \approx 3000 \text{ kg/m}^3$$

erhält.

In Wirklichkeit sind die Dichten der Erde und des Mondes um etwa 10 % größer. Der Unterschied kommt dadurch zustande, daß die Satelliten gewöhnlich relativ hoch fliegen, wobei der Unterschied zwischen Bahnradius und Radius des Planeten berücksichtigt werden muß. Setzt man in die oben angegebene Formel für die Dichte denjenigen Wert für T ein, der dem Flug auf einer Bahn entspricht, die unmittelbar über

der Erdoberfläche (was praktisch wegen des Luftwiderstands nicht realisiert werden kann) oder über der Mondoberfläche liegt, wofür sich 1 h 24 min bzw. 1 h 48 min ergeben, so erhält man die richtigen Werte für die Dichten: 5500 kg/m² bzw. 3360 kg/m³.

Für eine hohe Bahn hat die Formel für die Dichte folgende Form:

$$\varrho = \frac{3\pi}{\gamma T^2} \left(1 + \frac{h}{R}\right)^3,$$

worin h die Höhe der Flugbahn ist. Bei Verwendung dieser Beziehung kann man genauere Werte für die Dichte auch im Falle einer hohen Flugbahn erhalten.

109. Man stellt das Lineal vertikal vor dem Hintergrund des schwarzen Stoffes auf und beleuchtet diese Anordnung mit einem intermittierenden Lichtstrahl, der von der Lampe durch den Schlitz in der gleichmäßig rotierenden Scheibe tritt. Dann öffnet man den Verschuß des Photoapparates und läßt die Kugel so aus der Hand nach unten fallen, daß sie neben

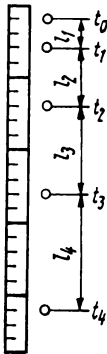


Abb. 32

dem Lineal herunterfällt. Auf der photographischen Aufnahme wird das Lineal und eine Reihe heller Punkte zu sehen sein, die den Positionen der Kugel in den Augenblicken entsprechen, in denen sie beleuchtet worden ist. Die Abstände l_1, l_2, l_3 usw. zwischen diesen Positionen lassen sich leicht an der Teilung des Lineals ablesen (Abb. 32).

Der erste helle Punkt entspricht dem Moment, wo seit Beginn der Bewegung die Zeit t_0 verstrichen ist. In dieser

Zeit hat die Kugel die Strecke

$$s_0 = gt_0^2/2$$

zurückgelegt. Das zweite Mal ist die Kugel auf dem Film abgebildet nach einer Zeit t_1 nach Beginn der Bewegung, nachdem sie die Strecke

$$s_1 = gt_1^2/2$$

zurückgelegt hat. Die dritte Position entspricht einer Zeit t_2 und einer zurückgelegten Wegstrecke

$$s_2 = gt_2^2/2$$

usw.

Hieraus folgt

$$l_1 = s_1 - s_0 = gt_1^2/2 - gt_0^2/2 = \frac{g}{2} (t_1^2 - t_0^2),$$

$$l_2 = s_2 - s_1 = \frac{g}{2} (t_2^2 - t_1^2).$$

Außerdem ist

$$t_1 = t_0 + \tau \quad \text{und} \quad t_2 = t_1 + \tau = t_0 + 2\tau,$$

wobei τ das Zeitintervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Momenten der Belichtung der Kugel ist, welches wiederum gleich der Umlaufperiode des Elektromotors ist.

Danach kann man schreiben:

$$l_1 = \frac{g}{2} [(t_0 + \tau)^2 - t_0^2] = \frac{g}{2} (2t_0\tau + \tau^2),$$

$$l_2 = \frac{g}{2} [(t_0 + 2\tau)^2 - (t_0 + \tau)^2] = \frac{g}{2} (2t_0\tau + 3\tau^2).$$

Subtrahiert man die erste von der zweiten Gleichung, so ergibt sich

$$l_2 - l_1 = g\tau^2,$$

woraus man

$$g = (l_2 - l_1)/\tau^2$$

erhält. Die Größen l_1 und l_2 werden am Lineal abgelesen, und τ ergibt sich aus der bekannten Drehzahl des Motors.

110. Es reicht aus, mit dem Federkraftmesser die Kraft G^* zu bestimmen, mit der der Planet das Wägestück anzieht (Gewicht des Wägestücks auf diesem Planeten). Dann findet man die Schwerebeschleunigung aus der Beziehung

$$g^* = G^*/m,$$

wobei m die Masse des Wägestücks ist, die laut Aufgabenstellung bekannt ist.

111. Unter Verwendung des Federkraftmessers wird das Gewicht G^* des Wägestücks auf diesem Planeten bestimmt. Entsprechend dem allgemeinen Gravitationsgesetz wird die Kraft G^* durch die Masse m des Wägestücks, die Gravitationskonstante γ , die Masse M und den Radius R des Planeten ausgedrückt:

$$G^* = \gamma \frac{Mm}{R^2}.$$

Hieraus erhält man für die Masse des Planeten

$$M = \frac{G^* R^2}{\gamma m}.$$

γ ist eine konstante Größe, die einem Nachschlagewerk entnommen werden kann, G^* ist aus dem Experiment bekannt, und m und R sind laut Aufgabenstellung vorgegeben.

112. Man stellt aus dem Faden und dem Massestück ein „mathematisches Pendel“ her und bestimmt mit Hilfe der Stoppuhr seine Schwingungsdauer T . Danach kann man über die Pendelformel die Fallbeschleunigung g^* auf dem Planeten berechnen:

$$g^* = \frac{4\pi^2 l}{T^2},$$

da die Pendellänge l laut Aufgabenstellung bekannt ist.

Andererseits kann man, ausgehend vom allgemeinen Gravitationsgesetz, die Schwerebeschleunigung in folgender Form schreiben:

$$g^* = \frac{G^*}{m} = \gamma \frac{M}{R^2},$$

wobei M die Masse des Planeten, R sein Radius und γ die Gravitationskonstante ist.

Setzt man die rechten Seiten der Gleichungen einander gleich, so erhält man für die Masse des Planeten

$$M = \frac{4\pi^2 R^2 l}{\gamma T^2}.$$

Der Radius des Planeten läßt sich leicht durch die Länge U des Äquators ausdrücken,

$$R = U/2\pi,$$

wonach sich für die mittlere Dichte ϱ der Materie des Planeten ergibt:

$$\varrho = \frac{M}{V} = \frac{6\pi^2 l}{\gamma T^2 U}.$$

Der Wert der Dichte ϱ kann berechnet werden, da alle in die Formel eingehenden Größen bekannt sind.

113. Die Länge des Seils konnte durch Vergleich mit der Größe des daneben erscheinenden Kosmonauten abgeschätzt werden; es hatte eine Länge von etwa 1 m.

Die mit Hilfe einer Uhr bestimmte Schwingungsdauer betrug etwa 5 s. Danach konnte mit Hilfe der Pendelformel

$$T = 2\pi \sqrt{l/g}$$

für die Fallbeschleunigung der Wert

$$g^* = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 1 \text{ m}}{5^2 \text{ s}^2} \approx 1,6 \text{ m/s}^2$$

berechnet werden, der dem mit genaueren Methoden bestimmten Wert sehr nahekommt.

114. Man stellt aus dem Draht eine Spule her und schließt ihre Enden an ein Galvanometer an. Wenn der Planet ein hinreichend starkes Magnetfeld besitzt, wird das Galvanometer bei Drehungen der Spule Impulse des Induktionsstroms registrieren, die durch die Änderung des magnetischen Flusses durch die Spulenebene entstehen. Im Prinzip läßt sich in dieser Weise nicht nur das Vorhandensein eines Magnetfeldes feststellen, sondern es kann auch die Größe und die Richtung des Vektors der magnetischen Induktion bestimmt werden.

Die hier behandelten Vorstellungen bilden die Grundlage des Aufbaus einiger Typen von Magnetometern, die in der Praxis eingesetzt werden.

115. Neben dem Impulserhaltungssatz, der bei der Lösung der Aufgaben Nr. 56 und 106 benutzt wurde, gibt es in der Natur auch das Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses. Entsprechend diesem Gesetz muß ein Kosmonaut, der in seinen Händen eine Scheibe oder irgendeinen anderen Gegenstand dreht, eine Drehung in der entgegengesetzten Richtung erfahren (sofern er dabei natürlich nicht auf durch andere Körper verursachte Hindernisse stößt). Sobald sich der Kosmonaut um den erforderlichen Winkel gedreht hat, ist die Rotation des Gegenstands zu unterbrechen.

Was aber, wenn der Kosmonaut nicht über einen Gegenstand verfügt? In diesem Falle kann er entsprechend dem Impulserhaltungssatz den Betrag und die Richtung seiner Geschwindigkeit (beispielsweise bezüglich der Rakete) nicht ändern, der Satz von der Erhaltung des Drehimpulses schließt aber nicht eine Änderung seiner Orientierung aus. Für eine Drehung des Kosmonauten, beispielsweise im Uhrzeigersinn (wenn man von „oben“ auf ihn herabsieht), braucht er nur den folgenden Bewegungszyklus auszuführen: Ausstrecken der rechten Hand zur Seite, dann Herandrücken der Hand an die Brust, Herunterführen der Hand am Körper, erneutes Ausstrecken der Hand zur Seite usw.

Diese Aufgabe erinnert an das berühmte Problem der fallenden Katze. Bekanntlich verfügt die Katze über die erstaunliche Fähigkeit, selbst dann auf den Pfoten zu landen, wenn sie zu Beginn mit dem Rücken nach unten gefallen ist. Eine Zeitlupenaufnahme zeigt, daß die Katze während des Falls schnell mit dem Schwanz zu rotieren beginnt, wodurch sich ihr Körper in entgegengesetzter Richtung dreht. Die Drehung des Schwanzes wird unterbrochen, sobald die Pfoten unten sind.

Das folgende Beispiel illustriert überzeugend die Möglichkeit der Drehung lebender Organismen ohne Hilfe von außen.

Im Raum befinde sich eine in der Richtung OO_1 gestreckte Schlange mit dem Rücken nach oben (Abb. 33a). Die Gesetze der Natur und der Aufbau des Körpers hindern die Schlange nicht daran, die in der Abb. 33b gezeigte Lage einzunehmen. Danach kann sie durch Drehung des vorderen und hinteren Körperteils in der durch die Pfeile angegebenen Richtung den Bauch nach oben kehren (Abb. 33c) und sich danach wieder längs der Geraden OO_1 strecken (Abb. 33d). Im Ergebnis dieser Bewegungsfolge hat sie sich tatsächlich um 180° um

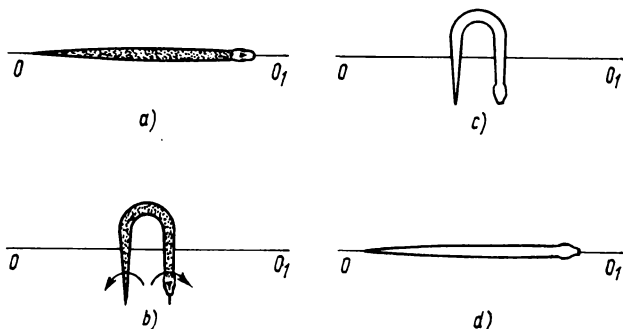


Abb. 33

ihre Längsachse gedreht. (Das Beispiel ist natürlich künstlich gewählt, da sich die Schlange gewöhnlich auf der Erde bewegt und für Drehungen die Reibungskräfte ausnutzt. Würde sich die Schlange jedoch in der Luft befinden, könnte sie so vorgehen wie beschrieben.)

116. Die Bewohner der Venus könnten mit verschiedenen Methoden das Vorhandensein der Rotation sowie die Rotationsrichtung feststellen.

Man könnte beispielsweise das Verhalten eines Pendels untersuchen. Im Jahre 1851 benutzte der französische Physiker *Jean Bernard Leon Foucault* das Pendel für den Beweis der Rotation der Erde. Die hierfür vorgesehenen Pendel bestehen aus einem massiven Körper an einem dünnen Draht von einigen Dutzend Metern Länge (das längste Pendel der Welt mit einer Länge von 98 m befindet sich in der Isaak-Kathedrale in Leningrad; das Pendel von *Foucault* befindet sich im Pantheon in Paris und hat eine Länge von 67 m); das Pendel wird mit Hilfe einer Kardanischen Aufhängung oder eines horizontalen Kugellagers befestigt, so daß eine Bewegung des Pendels in einer beliebigen vertikalen Ebene möglich ist. Infolge der Rotation der Erde dreht sich die Pendelebene allmählich bezüglich einer Markierung auf der Erdoberfläche.

Die auf den Pendelkörper wirkenden Erdanziehungskräfte und Spannkraften des Drahtes liegen in der Pendelebene und können seine Drehung nicht verursachen. Vom Standpunkt eines außerhalb der Erde befindlichen Beobachters erklärt sich die Drehung der Pendelebene aus der Rotation der Erdoberfläche gemeinsam mit der Markierung, bezüglich

derer die Lage der Pendelebene bestimmt wird. An den Polen der Erde, wo die Pendelebene ihre Lage bezüglich der Sterne beibehalten wird, würde ein Beobachter auf der Erdoberfläche eine Drehung der Pendelebene mit einer Winkelgeschwindigkeit feststellen, die gleich der Winkelgeschwindigkeit der Rotation der Erde, aber entgegengesetzt gerichtet, ist.

In Punkten, die zwischen den Polen liegen, kann die durch die Linie der Aufhängung gehende Pendelebene nicht eine konstante Lage bezüglich der Sterne beibehalten und beteiligt sich in Abhängigkeit von der geographischen Breite bis zu einem gewissen Grade an der Erdrotation. Dementsprechend dreht sich die Pendelebene langsamer bezüglich der Markierungen auf der Erdoberfläche. Am Äquator tritt der Effekt überhaupt nicht auf.

Die Drehung der Ebene des Foucaultschen Pendels läßt sich auch vom Standpunkt eines Beobachters, der sich auf der Erde befindet, erklären. Dazu muß man die Coriolis-Kräfte in die Betrachtung einbeziehen, auf die wir bereits bei der Lösung der Aufgabe Nr. 53 gestoßen sind.

Die zweite Variante für die Lösung der gestellten Aufgabe ist die Verwendung eines schnell rotierenden massiven Kreisels, der in einer Kardanischen Aufhängung befestigt ist.

Wenn der Schwerpunkt des Kreisels mit dem Mittelpunkt der Aufhängung zusammenfällt und Reibungskräfte praktisch fehlen (ein solcher Kreisel wird als freier Kreisel bezeichnet), ändert sich die Richtung seiner Achse nicht bezüglich der „unbeweglichen“ Sterne. Stimmt der Schwerpunkt des Kreisels nicht mit dem geometrischen Mittelpunkt der Aufhängung überein, so beginnt die Achse des Kreisels im Raum einen Kegel zu beschreiben (diese Erscheinung wird als Präzession bezeichnet). Für einen Kreisel mit einer Masse von 1 kg, der mit einer Frequenz von 30 000 Umdrehungen je Minute rotiert, führt eine Verschiebung des Schwerpunktes um $1\text{ }\mu\text{m}$ zu einer Präzession mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 Grad/h. Da die Erde mit einer wesentlich größeren Winkelgeschwindigkeit von 15 Grad/h rotiert, kann man mit einem solchen Kreisel leicht die Tatsache der Erdrotation feststellen, was erstmals im Jahre 1852 ebenfalls von *Foucault* beobachtet wurde. Selbstverständlich muß der Kreisel um so genauer ausbalanciert sein, und die Reibungskräfte in den Achsen der Aufhängung müssen um so kleiner sein, je langsamer der Planet rotiert.

Tabellenanhang

Gravitationskonstante	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$
Fallbeschleunigung	$9,81 \text{ m/s}^2$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (bzw. in Luft)	$300\,000 \text{ km/s}$
Schallgeschwindigkeit in Luft	340 m/s
Dichte von Wasser	1000 kg/m^3
Dichte von Luft (bei 0°C und 1 atm)	$1,293 \text{ kg/m}^3$
Dichte von Aluminium	2702 kg/m^3
Dichte von Kupfer	8920 kg/m^3
Dichte von Quecksilber	$13\,550 \text{ kg/m}^3$
Dichte von Glas (je nach Sorte)	$2400\text{--}2600 \text{ kg/m}^3$
Spezifische Wärmekapazität von Wasser	$4,182 \text{ Ws/g} \cdot \text{K}$
Thermischer Ausdehnungskoeffizient von Stahl	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
Spezifischer Widerstand von Kupfer	$1,55 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ cm}$ $= 1,55 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$
Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands reiner Metalle (Kupfer)	$0,0043 \text{ K}^{-1}$
Zerreißspannung von Kupfer	$40\text{--}45 \text{ kp/mm}^2$

Zur Umrechnung von Druckeinheiten:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 0,987 \cdot 10^{-5} \text{ atm} = 7,50 \cdot 10^{-3} \text{ Torr}$$

$$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ Torr} = 133 \text{ Pa} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$$

DDR 5,60 M

Die vorliegende Broschüre gibt anhand von 116 Aufgaben zu leichtverständlichen meßtechnischen Problemen aus verschiedenen Bereichen unseres Lebens eine gute Anregung zum Knobeln und Nachdenken über die indirekte Bestimmung physikalischer Größen. Dabei regt die Dreiteilung des Buches in Aufgaben, kurze Lösungshinweise und ausführliche Lösungen zu einem aktiven und selbständigen Lösen der Fragestellungen an.

BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft