

Mechanik auf der Magnethafttafel 1000735

Bedienungsanleitung

09/26 ALF/HJB



1. Beschreibung

Der Aufbausatz Mechanik - Statik ermöglicht die Durchführung aller grundlegenden Experimente zur Statik. Die Besonderheit besteht dabei darin, daß alle Experimentieraufbauten durch die mit Magnethaftscheiben versehenen Experimentierteile auf einer vertikal angeordneten Magnethafttafel vorgenommen werden. Dabei sorgen die kräftigen Haftmagnete für einen sicheren Halt aller Teile. Der Vorzug dieser Experimentiertechnik besteht einerseits im Verzicht auf jegliches Stativmaterial, andererseits in der leichten Verschiebbarkeit aller Experimentierteile. Dadurch wird ein schnelles Aufbauen der jeweiligen Experimentieranordnung und ein einfaches Justieren möglich. Die vertikale Anordnung und die großen Abmessungen aller Aufbauteile bedingen eine gute Sichtbarkeit aller Experimentieraufbauten. Durch den Verzicht auf Stativmaterial entfällt dessen störender Einfluß. Weiterhin ermöglicht die Arbeit an der Hafttafel die unmittelbare Beschriftung an der Experimentieranordnung. Einerseits können sowohl - falls erforderlich - die Bauteile mit Namen versehen werden. Andererseits können die entsprechenden physikalischen Größen, die verändert bzw. gemessen werden, eingetragen werden, so z.B. Längen und Kräfte in ihrer jeweiligen Lage. Schließlich kann unmittelbar neben der experimentellen Anordnung eine Skizze zum Experiment dargestellt werden, die das Prinzip der experimentellen Anordnung beinhaltet. Diese Skizze kann vor dem experimentellen Aufbau angefertigt werden, so dass dann eine

Zusammenstellung der experimentellen Anordnung nach der Skizze erfolgt. Sie kann aber auch nach dem experimentellen Aufbau entwickelt werden, wobei in ihr die wesentlichen Teile der experimentellen Anordnung abgehoben werden. Auf diese Weise ist z.B. die Darstellung von Kräften und Kräfteparallelogrammen möglich.

Zur Realisierung der Experimente gehört außer dem Aufbausatz eine Magnethafttafel der Mindestabmessungen 100 cm x 100 cm.

2. Lieferumfang

Nr.	Bauteil	Anzahl
1.	Kraftmesser 5 N	2
2.	Schiefe Ebene mit fester Rolle und Winkelmesser	1
3.	Walze 5 N	1
4.	Aluminiumquader mit 2 Haken 2 N	1
5.	Hakenkörper 1 N	6
6.	Rolle, klein	1
7.	Rolle, groß	1
8.	Flasche mit 2 Rollen	1
9.	Hebel	1
10.	Stahlstab mit Gewinde	1
11.	Gegengewicht mit Feststellschraube	1
12.	Schraubenfedern	3
13.	Schwerpunktscheibe	1
14.	Lot	1

15. Halterung	3
16. Gummimuffen	3
17. Messinghaken	3
18. Messingbügel	1
19. Haftskala	1
20. Haftpfeile	4
21. Haftdreieck	1
22. Nylonfaden mit Schlaufen	4

3. Experimente mit dem Gerätesatz

Wesen einer Kraft, Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften

1. Kraftmessung mit einem Federkraftmesser – Kraft als vektorielle Größe
2. Verschiebung einer Kraft längs ihrer Wirkungslinie
3. Hookesches Gesetz
4. Addition von Kräften mit gemeinsamer Wirkungslinie
5. Actio gleich Reactio
6. Addition von Kräften unterschiedlicher Richtungen – Verwendung von Kraftmessern
7. Addition von Kräften unterschiedlicher Richtungen – Verwendung von Hakenkörpern
8. Zerlegung einer Kraft in zwei Komponenten, die senkrecht aufeinander stehen
9. Zerlegung einer Kraft in zwei parallele Kräfte

Schwerpunkt und Gleichgewichtslage

10. Schwerelinien und Schwerpunkt einer Kunststoffscheibe
11. Gleichgewichtslagen eines hängenden Körpers
12. Gleichgewichtslagen – Schwerpunkt außerhalb des Hebels

Kraftumformende Einrichtungen

13. Kräftegleichgewicht am zweiseitigen Hebel
14. Kräftegleichgewicht am einseitigen Hebel
15. Drehmoment
16. Kräfte an der festen Rolle
17. Kräfte an der losen Rolle
18. Kräfte am Flaschenzug
19. Kräfte an der schiefen Ebene – Untersuchung mit dem Kraftmesser
20. Kräfte an der schiefen Ebene – Untersuchung mit Hakenkörpern

21. Gleitreibung – Untersuchung mit dem Kraftmesser
22. Gleitreibung – Untersuchung mit Wägestücken
23. Haftreibung
24. Rollreibung

Schwingungen

25. Periodendauer eines Fadenpendels
26. Periodendauer eines vertikalen Federschwingers
27. Resonanz zweier Federschwinger

4. Hinweise zu einigen Aufbauanteilen

1. Federkraftmesser

Die Federkraftmesser können in jeder Lage Verwendung finden. Ggf. muß lediglich das Eigengewicht der Fäden, Haken usw. berücksichtigt werden. Bei der Verwendung möglichst großer Kräfte ist jedoch deren Einfluß gering. Die Nullstellung des Zeigers wird durch Drehen der Skalenscheibe erreicht. Der Faden muss im Uhrzeigersinn auf die Schnurscheibe gelegt werden.

2. Schiefe Ebene

Die schiefe Ebene kann leicht in verschiedenen Neigungen an der Hafttafel befestigt werden. Das angehängte Lot zeigt den jeweiligen Neigungswinkel an.

3. Flasche mit 2 Rollen

Die Flasche mit 2 Rollen kann auch als lose Rolle Verwendung finden. Dazu ist es zweckmäßig, eine Rolle abzuschrauben. Dadurch wird die experimentelle Anordnung übersichtlicher und die Gewichtskraft der Flasche verringert.

4. Haftpfeile und Haftdreieck

Die Richtungen der Kräfte bzw. Bewegungen können in den experimentellen Anordnungen durch die Haftpfeile markiert werden. Wegen der gleichen Länge der Haftpfeile sollte jedoch bei unterschiedlich großen Kräften ein Hinweis darauf erfolgen, dass die Pfeile die Beträge der Kräfte nicht richtig widerspiegeln.

Mit dem Haftdreieck lässt sich sehr gut die Lage des Drehpunktes kennzeichnen.

Durchführung der Experimente

1. Kraftmessung mit einem Federkraftmesser – Kraft als vektorielle Größe

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 1 Walze
- 1 Aluminiumquader mit 2 Haken
- 1 Hakenkörper
- 1 Messinghaken
- 3 Fäden mit Schlaufen, unterschiedlich lang

Experimenteller Aufbau

- Die Federwaage im oberen Teil der Hafttafel anbringen.
- An ihr wird der Faden mit Schlaufen und an dessen Ende der Messinghaken befestigt.

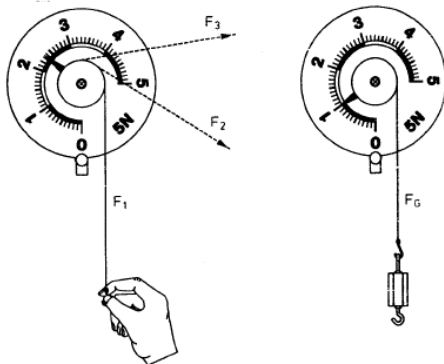


Abb. 1

Experiment

- Mit der Hand eine schrittweise größere Kraft auf den Federkraftmesser ausüben.
- Die Kraft nacheinander in verschiedenen Richtungen wirken lassen.
- Schließlich werden der Hakenkörper, der Aluminiumquader und die Walze nacheinander an den Federkraftmesser gehängt.

Ergebnis

Kräfte besitzen verschiedene Beträge, und sie können in unterschiedlicher Richtung wirken. Die Gewichtskraft ist senkrecht nach unten gerichtet. Zur Kennzeichnung einer Kraft sind die Angabe von Betrag und Richtung erforderlich.

2. Verschiebung einer Kraft längs ihrer Wirkungslinie

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 3 Hakenkörper
- 1 Messinghaken
- 3 Fäden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Den Federkraftmesser im oberen Teil der Hafttafel befestigen.
- An seine Messstelle die 3 Fäden mit Schlaufen hängen.

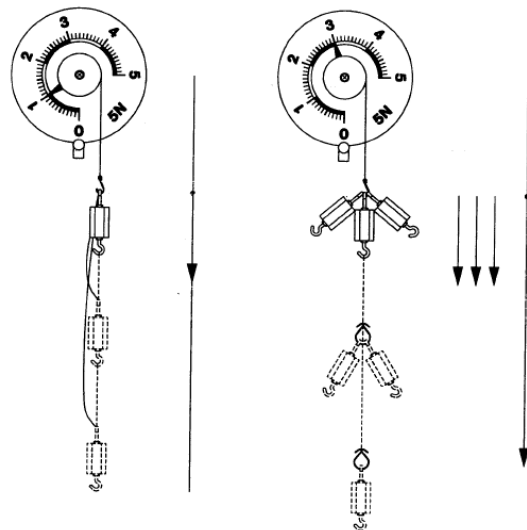


Abb. 2

Experiment

- Zunächst einen Hakenkörper in den Haken am Federkraftmesser eingehängen und die angezeigte Kraft ermitteln.
- Danach diesen Hakenkörper schrittweise von Schlaufe zu Schlaufe tiefer hängen.
- Nachfolgend die 3 Hakenkörper am Federkraftmesser befestigen.
- Schließlich zunächst den einen, dann die beiden anderen Hakenkörper schrittweise von Schlaufe zu Schlaufe nach unten setzen.
- Jeweils die angezeigte Kraft ermitteln.

Ergebnis

Eine Kraft lässt sich längs ihrer Wirkungslinie verschieben.

3. Hooke'sches Gesetz

Notwendige Komponenten

- 2 Schraubenfedern
- 3 Hakenkörper
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftskala

Experimenteller Aufbau

- Die Haftskala vertikal an der Hafttafel anbringen.
- An ihrem oberen Ende die Halterung befestigen.
- Daran wird eine Feder gehängt und mit einer Gummimuffe gesichert.

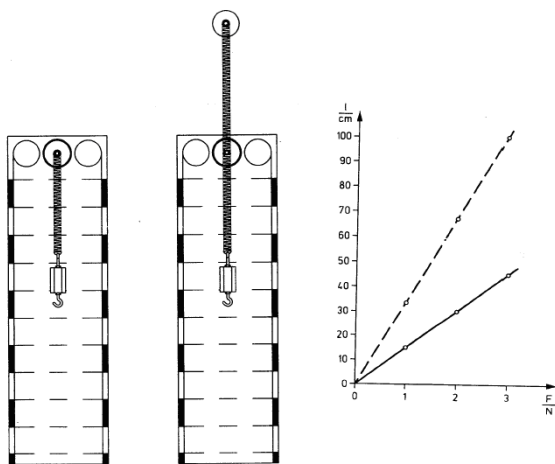


Abb. 3

Experiment

- Die Lage des unteren Endes der Feder ermitteln.
- Danach einen Hakenkörper an der Feder befestigen, die Verlängerung bestimmen und in die Tabelle eintragen.
- Nachfolgend 2 und 3 Hakenkörper an die Federhängen und jeweils die Verlängerung ermitteln.
- Das Experiment mit 2 untereinander hängenden Federn wiederholen. Dabei ist es zweckmäßig, die Halterung für die Federn oberhalb der Haftskala anzubringen.
- Wiederum die jeweilige Verlängerung und die wirkende Gewichtskraft in die Tabelle eintragen.
- Die Verlängerung in Abhängigkeit von der Kraft graphisch darstellen.

Tabelle

Gewichtskraft der Hakenkörper F_G in N	Verlängerung einer Feder Δl in cm	Verlängerung zweier Federn Δl in cm
0		
1		
2		
3		

Ergebnis

Je größer die wirkende Kraft ist, umso größer ist auch die Verlängerung. Es gilt das Hooke'sche Gesetz: $\Delta l \sim F$. Die Verlängerung bei einer bestimmten Kraft hängt von den Eigenschaften der Feder ab.

4. Addition von Kräften mit gemeinsamer Wirkungslinie

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 5 Hakenkörper
- 2 Fäden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Den Federkraftmesser im oberen Teil der Hafttafel befestigen.
- An den Federkraftmesser die beiden Fäden mit Schlaufen anbringen.

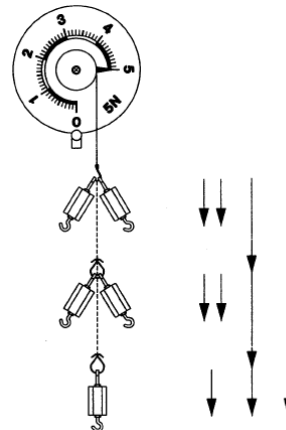


Abb. 4

Experiment

- Zunächst einen Hakenkörper am Federkraftmesser befestigen, nachfolgend schrittweise die übrigen, wahlweise am Federkraftmesser oder an den Fäden.
- In jedem Falle die angezeigte Kraft ablesen.

Ergebnis

Wirken alle Kräfte längs einer Wirkungslinie, so ergibt sich die Gesamtkraft durch Addition der Teilkräfte. Die Richtung der Gesamtkraft ist gleich der Richtung der Teilkräfte.

5. Actio gleich Reactio

Notwendige Komponenten

- 2 Kraftmesser
- 1 Faden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die beiden Federkraftmesser auf beiden Seiten der Hafttafel so anbringen, dass sich zwischen ihnen der kurze Faden mit Schlaufen befindet. Er ist zunächst noch nicht gestrafft.

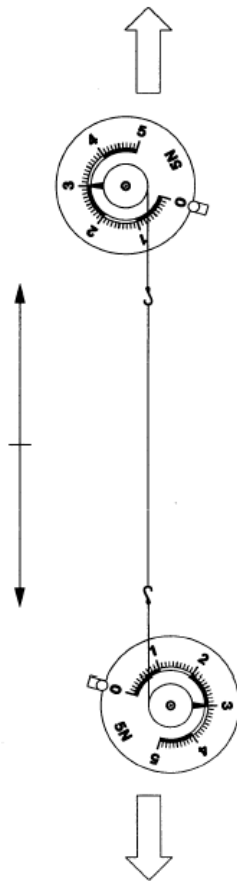


Abb. 5

Experiment

- Den linken Federkraftmesser allmählich immer weiter nach links schieben.

Wenn der Faden gestrafft ist, zeigen beide Federkraftmesser eine Kraft an. Die Kräfte nehmen beim Bewegen des Kraftmessers zu. Sie sind in jedem Falle gleich groß.

- Den linken Federkraftmesser wieder an die ursprüngliche Stelle bringen und den rechten

Kraftmesser schrittweise immer weiter nach außen schieben.

Beim Vergrößern des Abstandes zwischen den Kraftmessern treten stets zwei gleich große Kräfte auf.

Ergebnis

Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so setzt der Körper dieser Kraft stets eine gleich große aber entgegengesetzt gerichtete Kraft entgegen: actio gleich reactio.

6. Addition von Kräften unterschiedlicher Richtungen – Verwendung von Kraftmessern

Notwendige Komponenten

- 2 Kraftmesser
- 1 Feder
- 1 Schwerpunktscheibe
- 3 Halterungen
- 3 Gummimuffen
- 1 Haken
- 1 Faden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

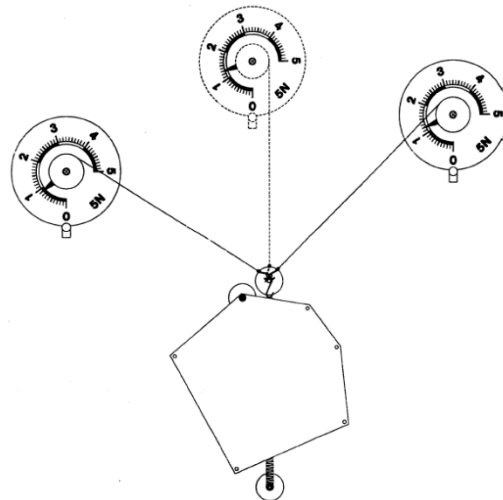


Abb. 6

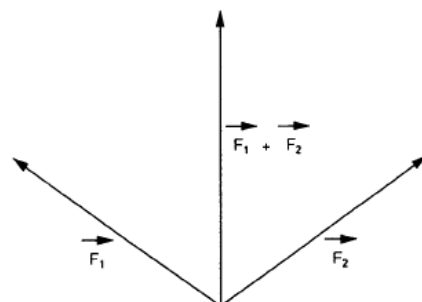


Abb. 6 a

- Die beiden Federkraftmesser im oberen Teil der Hafttafel auf beiden Seiten befestigen und mit einem Faden mit Schlaufen verbinden.
- In diesen Faden den Haken einhängen.
- An dem Haken die Schraubenfeder befestigen. Sie wird nach unten gespannt und dort in einer Halterung mit Gummimuffe befestigt.
- An die Stelle, wo sich der Haken befindet, eine weitere Halterung anbringen.
- Die Schwerpunktscheibe an einer Halterung so vor der Schraubenfeder befestigen, dass die Feder verdeckt ist und nur der Haken mit Halterung sichtbar bleibt.

Experiment

- Die beiden Federkraftmesser so verschieben, dass der Haken nicht mehr an der Halterung anliegt.

In dieser Lage wirken zwei Kräfte auf den Haken, die sich im Gleichgewicht mit der Kraft der Feder befinden.

- Die beiden Kräfte der Federkraftmesser in Richtung und Betrag an die Tafel zeichnen.
- Dann den einen Federkraftmesser aus der Anordnung herausnehmen und die freiwerdende Schlaufe des Fadens in der Messstelle des verbleibenden Federkraftmessers einhängen.
- Diesen Kraftmesser nun so lange verschieben, bis der Haken wiederum die Halterung nicht mehr berührt.

In diesem Falle hinterlässt die durch den Kraftmesser bereitgestellte Kraft am Haken die gleiche Wirkung, wie vorher die beiden einzelnen Kräfte.

- Diese Kraft ebenfalls in Betrag und Richtung auf die Tafel übertragen.

Diese Kraft stellt die Diagonale im Kräfteparallelogramm dar.

Ergebnis

Wirken auf einen Körper zwei Kräfte in verschiedenen Richtungen, so können diese durch eine einzige Kraft ersetzt werden. Betrag und Richtung dieser Kraft ergeben sich aus der Diagonale im Kräfteparallelogramm.

7. Addition von Kräften unterschiedlicher Richtungen – Verwendung von Hakenkörpern

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 1 Rolle, groß
- 1 Rolle, klein
- 6 Hakenkörper
- 1 Schraubenfeder
- 1 Schwerpunktscheibe
- 3 Halterungen
- 3 Gummimuffen
- 1 Messinghaken
- 1 Faden mit Schlaufen, lang

Experimenteller Aufbau

- Die beiden Rollen zu beiden Seiten im oberen Teil der Hafttafel befestigen.
- Den Faden über die Rollen legen und in jede Schlaufe 2 Hakenkörper hängen.
- Die Feder im unteren Teil der Hafttafel an einer Halterung mit einer Muffe befestigen.
- Das andere Ende der Feder über einen Haken mit dem Faden verbinden.
- Die Halterung so weit nach unten verschieben, bis zwischen den beiden schräg nach oben gerichteten Kräften der gewünschte Winkel auftritt.
- Anschließend eine Halterung an der Stelle des Hakens anbringen, ohne dass dieser berührt wird.
- Mit einer weiteren Halterung die Schwerpunktscheibe so befestigen, dass sie die Feder abdeckt und nur der Haken mit Halterung sichtbar bleibt.

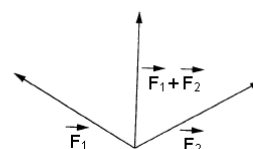
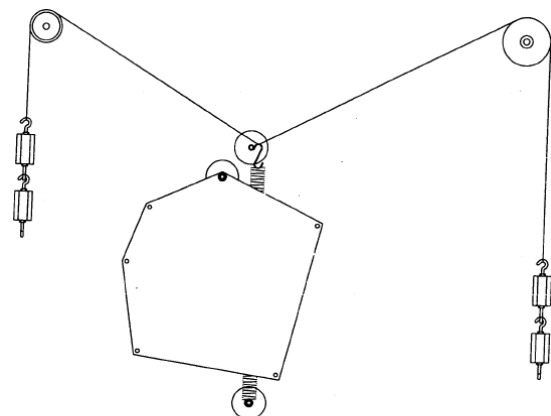


Abb 7

Experiment

Die beiden Hakenkörper üben auf den Haken je eine Kraft aus, so dass er in dieser Lage verbleibt.

- Die beiden Richtungen der Kräfte an der Tafel markieren und so mit Pfeilspitzen versehen, dass die Länge der Vektoren den Kräften entspricht.

Das Ziel besteht nun darin, diese beiden Kräfte durch eine einzige zu ersetzen, so dass die gleiche Wirkung auftritt.

- Dazu an den Haken anstelle des Fadens mit Hakenkörper den Federkraftmesser befestigen und so weit nach oben bzw. zur Seite schieben, dass der Haken wieder freischwebt.

Jetzt übt der Federkraftmesser auf den Haken die gleiche Kraft aus, wie vorher die beiden Hakenkörper.

- Betrag und Richtung der Kraft des Federkraftmessers an der Tafel skizzieren.

Nach dem Abnehmen des Kraftmessers erkennt man, dass die resultierende Kraft gleich der Diagonalen im Kräfteparallelogramm ist, das von den beiden Einzelkräften aufgespannt wird.

Ergebnis

Wirken auf einen Körper zwei Kräfte in verschiedenen Richtungen, so können diese durch eine einzige Kraft ersetzt werden. Die Diagonale im Kräfteparallelogramm, die von dem Angriffspunkt der beiden Kräfte ausgeht, entspricht in Betrag und Richtung der Summe der beiden Einzelkräfte.

8. Zerlegung einer Kraft in zwei Komponenten, die senkrecht aufeinander stehen

Notwendige Komponenten

- 2 Kraftmesser
- 5 Hakenkörper
- 1 Rolle
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Messinghaken
- 2 Fäden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Einen Federkraftmesser in der halben Höhe im linken Bereich der Hafttafel, den anderen in der Mitte des oberen Bereiches befestigen.
- Beide Federkraftmesser mit einem kurzen Faden mit Schlaufen verbinden.

- Den Messinghaken in diesen Faden einhängen und mit einem weiteren Faden mit Schlaufen versehen.
- Die 5 Wägestücke in die freie Schlaufe hängen und den Faden so über eine Rolle legen, dass er schräg nach rechts unten zieht.
- Die Lage des oberen Federkraftmessers so verändern, dass zwischen den beiden Kräften, die von den Federkraftmessern ausgehen, ein rechter Winkel besteht.
- An die Stelle des Messinghakens die Halterung so anbringen, dass der Haken sie nicht berührt.

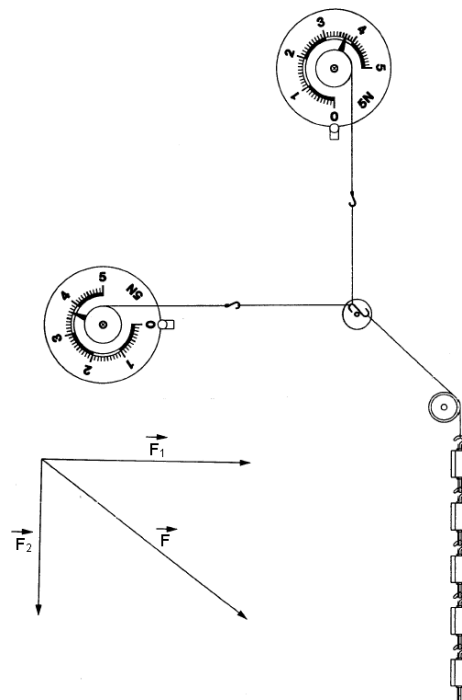


Abb. 8

Experiment

Die Hakenkörper üben auf den Messinghaken eine schräg nach unten gerichtete Kraft aus. Diese Kraft wird am Haken in zwei senkrecht zueinander verlaufenden Komponenten zerlegt. Die eine Kraft ist vertikal, die andere horizontal gerichtet. Die beiden von den Federkraftmessern angezeigten Kräfte zeigen jeweils die Gegenkraft zu den beiden Teilkomponenten der zerlegten Kraft.

- Im Kräfteparallelogramm zunächst die schräg nach unten gerichtete Kraft F der Hakenkörper in Betrag und Richtung eintragen.
- Danach vom Ausgangspunkt dieser Kraft eine horizontale und vertikale Linie zeichnen.
- Nun ein Parallelogramm so konstruieren, dass die Kraft der Hakenkörper die Diagonale im Rechteck ist.

Die beiden vom Angriffspunkt der Kraft ausgehenden Teilkräfte können in ihrem Betrag im Parallelogramm abgelesen werden. Diese Beträge entsprechen den von den beiden Federkraftmessern gezeigten Werten. Die Richtung der an den Federkraftmessern angreifenden Teilkräfte ist jedoch entgegengesetzt zu diesen Teilkräften, da diese die Gegenkräfte darstellen.

Ergebnis

Jede Kraft lässt sich in zwei senkrecht zueinander gerichtete Teilkräfte zerlegen. Die Beträge der beiden Teilkräfte entsprechen den Längen der beiden Seiten des Rechtecks, in dem die zerlegte Kraft die Diagonale bildet. Jede der beiden Teilkräfte ist kleiner als die zerlegte Kraft.

9. Zerlegung einer Kraft in zwei parallele Kräfte

Notwendige Komponenten

- 2 Kraftmesser
- 1 Hebel
- 4 Hakenkörper

Experimenteller Aufbau

- Die beiden Federkraftmesser in gleicher Höhe im rechten und linken Teil der Hafttafel befestigen.
- Den Hebel so in die Federkraftmesser einhängen, dass die Angriffspunkte der Kraft jeweils im letzten äußeren Loch des Hebels liegen.
- Nun die Lage der Federkraftmesser so verändern, dass die Kräfte vertikal nach oben wirken und der Hebel horizontal hängt.

Die durch die Gewichtskraft des Hebels verursachten Ausschläge an den Kraftmessern werden durch Drehen der Skalenscheibe korrigiert.

Experiment

- Zunächst die (gleiche) Gewichtskraft, die von beiden Federkraftmessern angezeigt wird, bestimmen.
- Dann alle 4 aneinanderhängenden Hakenkörper zunächst in die Mitte des Hebels hängen und die von den Federkraftmessern angezeigten Teilkräfte bestimmen.
- Danach den Aufhängepunkt immer weiter nach außen verlagern und jeweils die Teilkräfte ermitteln. Dazu ist es notwendig, vor der Ablesung den Hebel durch vertikales Verschieben der Kraftmesser wieder horizontal auszurichten.

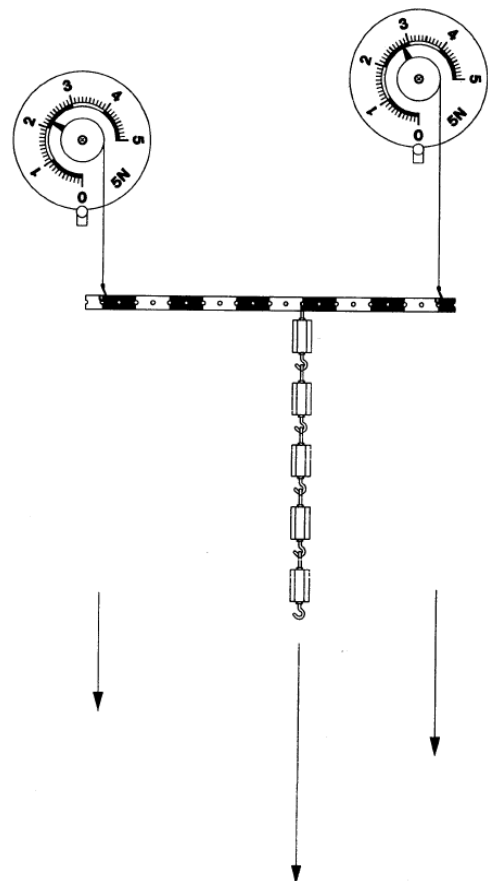


Abb. 9

- Die Teilkräfte F_1 und F_2 und die Abstände a_1 und a_2 in die Tabelle eintragen.

Die Summe der von den Kraftmessern angezeigten Teilkräfte ist gleich der Gewichtskraft der Hakenkörper.

Tabelle

Kraft F_1 in N	Kraft F_2 in N	Abstand a_1 in cm	Abstand a_2 in cm

Ergebnis

Eine Kraft kann in zwei parallel zu ihr verlaufende Teilkräfte zerlegt werden. Dabei ist die Summe der Beträge der Teilkräfte gleich dem Betrag der Gesamtkraft. Die Teilkräfte verhalten sich umgekehrt wie die Abstände der Angriffspunkte der Teilkräfte von dem Angriffspunkt der Gesamtkraft.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

10. Schwerlinien und Schwerpunkt einer Kunststoffscheibe

Notwendige Komponenten

- 1 Schwerpunktscheibe
- 1 Lot
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe

Experimenteller Aufbau

- Die Halterung in der Mitte des oberen Teils der Hafttafel befestigen und auf die Halterung die Schwerpunktscheibe an einer ihrer Bohrungen aufstecken.
- Dann das Lot an der Halterung befestigen und mit der Gummimuffe sichern.

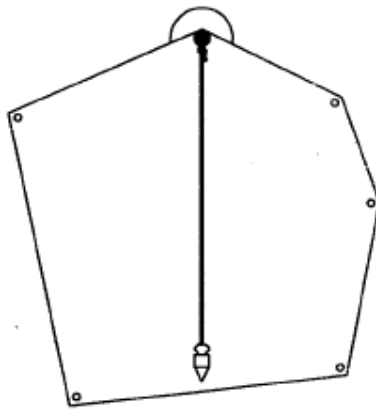


Abb. 10

Experiment

- Längs des Lotes einen dünnen Bleistiftstrich ziehen.
- Danach die Schwerpunktscheibe an einer ihrer anderen Bohrungen aufhängen, wiederum das Lot an der Halterung befestigen und einen weiteren Bleistiftstrich längs des Lotes ziehen.
- In gleicher Weise mit den übrigen Löchern in der Schwerpunktscheibe verfahren.

Ergebnis

Alle sogenannten Schwerlinien schneiden sich in dem gleichen Punkt. Es ist der Schwerpunkt der Kunststoffscheibe.

- Um dies nachzuprüfen, die Scheibe von der Halterung abnehmen, in die horizontale Lage bringen und mit einem spitzen Bleistift im Schwerpunkt unterstützen.

Die im Schwerpunkt unterstützte Scheibe verändert ihre Lage nicht.

Hinweis

Genau genommen befindet sich der Schwerpunkt der Scheibe im Inneren. Deshalb bleibt bei der Unterstützung in dem ermittelten Punkt die Scheibe nicht in jeder Lage in Ruhe.

11. Gleichgewichtslagen eines hängenden Körpers

Notwendige Komponenten

- 1 Hebel
- 1 Stahlstab mit Gewinde
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe

Experimenteller Aufbau

- Die Halterung im oberen Teil der Tafel in der Mitte befestigen, den Hebel an seinem mittleren Loch daraufstecken und mit einer Gummimuffe sichern.

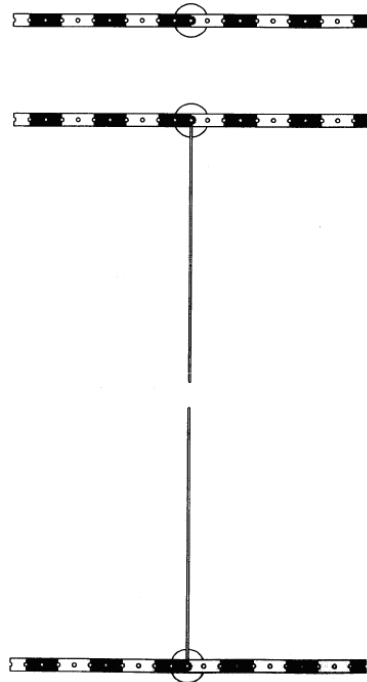


Abb. 11

Experiment

- Den Hebel in verschiedene Lagen bringen und jeweils losgelassen.
- Dann den Stahlstab mit Gewinde im mittleren Teil des Hebels befestigen, so dass der Stab nach unten zeigt.
- Den Hebel wiederum in unterschiedliche Lagen bringen, wobei sich der Stahlstab unterhalb des Aufhängepunktes befindet, und loslassen.
- Den Hebel schließlich um 180° drehen, so dass der Stahlstab vertikal nach oben zeigt.
- Den Hebel auch in dieser Lage loslassen.

Ergebnis

Im ersten Fall befindet sich der Hebel im indifferenten Gleichgewicht. Er bleibt in jeder Lage, in die er gebracht wird, in Ruhe.

Im zweiten Fall befindet sich der Hebel im stabilen Gleichgewicht. Wenn man ihn aus seiner Gleichgewichtslage auslenkt, so bewegt er sich immer in diese zurück.

Im dritten Fall befindet sich der Hebel im labilen Gleichgewicht. Er verharrt nur kurzzeitig in dieser Lage. Jede noch so geringe Abweichung von dieser Lage führt dazu, dass er sich immer mehr davon entfernt und in die stabile Gleichgewichtslage übergeht.

12. Gleichgewichtslagen - Schwerpunkt außerhalb des Hebels

Notwendige Komponenten

- 1 Hebel
- 1 Stahlstab mit Gewinde
- 1 Gegengewicht mit Feststellschraube
- 1 Lot
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe

Experimenteller Aufbau

- Den Stahlstab mit Gewinde in die Mitte des Hebels schrauben.

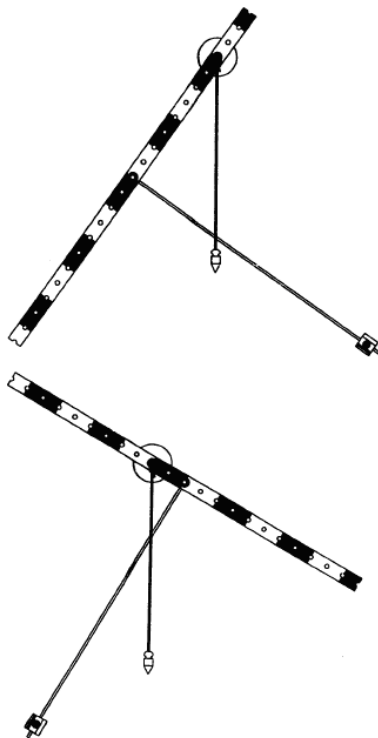


Abb. 12

- In der Nähe des unteren Endes vom Stahlstab das Gegengewicht mit Feststellschraube befestigen.
- Die Halterung im mittleren oberen Teil der Hafttafel anbringen und das Lot auf die Halterung bis zur Grundplatte schieben.
- Den Hebel an einem beliebigen Loch auf die Halterung stecken und ihn mit der Gummimuffe arretieren.

Experiment

- Die Stelle, an der das Lot den Stahlstab schneidet, z.B. mit einem kleinen Stück Klebeband markieren.
- Dann den Hebel an einem anderen Loch auf die Halterung aufstecken und den Kreuzungspunkt des Lotes mit dem Stahlstab ermitteln.
- Das Experiment mit zwei Löchern wiederholen, die sich vom Stahlstab aus gesehen auf der anderen Seite des Hebels befinden.
- Schließlich Hebel und Lot von der Halterung abnehmen und den Stahlstab so auf eine Fingerkuppe aufsetzen, dass der Unterstützungspunkt an der markierten Stelle des Stahlstabes liegt.

Ergebnis

In allen Fällen liegt der Kreuzungspunkt des Lotes mit dem Stahlstab an der gleichen Stelle. Dieser Punkt liegt außerhalb des Hebels. Er ist der Schwerpunkt der Anordnung.

13. Kräftegleichgewicht am zweiseitigen Hebel

Notwendige Komponenten

- 6 Hakenkörper
- 1 Hebel
- 1 Stahlstab mit Gewinde
- 1 Gegengewicht mit Feststellschraube
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftdreieck

Experimenteller Aufbau

- Die Halterung im oberen mittleren Teil der Hafttafel befestigen, den Hebel an seinem mittleren Loch auf die Halterung aufstecken und mit der Gummimuffe vor dem Herabgleiten schützen.
- Unter der Halterung den Stahlstab mit Gewinde in den Hebel einschrauben und daran das Gegengewicht mit Feststellschraube in halber Höhe befestigen.

Je höher die Ausgleichsmasse angebracht ist, um so größer ist die Empfindlichkeit des Hebels.

- Den Drehpunkt des Hebels mit dem Haftdreieck markieren.

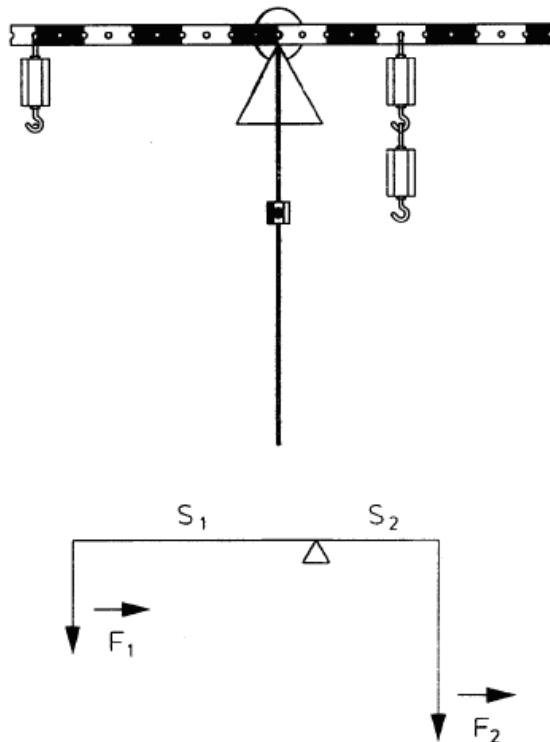


Abb. 13

Experiment

- Einen Hakenkörper in das linke äußere Loch des Hebels einhängen.
- Danach das Loch auf der rechten Seite des Hebels suchen, in das ebenfalls ein Hakenkörper eingehängt werden muss, damit sich der Hebel im Gleichgewicht befindet.
- Die Stellen, an denen die Kräfte angreifen, können durch die Kraftpfeile markiert werden.
- Den Abstand der beiden Angriffspunkte vom Drehpunkt messen und in die Tabelle eintragen, ebenso die Gewichtskräfte der beiden Hakenkörper.
- Dann an den rechten Hakenkörper einen weiteren hängen und das Loch suchen, in das die beiden Hakenkörper eingehängt werden müssen, damit Gleichgewicht besteht.
- Kräfte und Kraftarme in die Tabelle eintragen.
- Jetzt den linken Hakenkörper zwei Löcher weiter nach innen hängen (8. Loch vom Drehpunkt).
- Um Gleichgewicht herzustellen, zunächst rechts einen, dann zwei und schließlich 4 Hakenkörper an die entsprechende Stelle bringen.

- Die Länge der Kraftarme und die Beträge der Kräfte wieder in die Tabelle eintragen.

Tabelle

Linker Hebelarm s_1 in cm	Links-wirkende Kraft F_1 in N	Rechter Hebelarm s_2 in cm	Rechts-wirkende Kraft F_2 in N	$F_1 \cdot s_1$ in Ncm	$F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Ergebnis

Je weiter bei einem Hebel die Kraft vom Drehpunkt entfernt wirkt, um so geringer muss sie sein, damit Kräftegleichgewicht besteht. Zur mathematischen Auswertung werden die Produkte aus Kraft und Kraftarm für beide Hebelarme gebildet (die letzten beiden Spalten in der Tabelle). Es gilt:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

14. Kräftegleichgewicht am einseitigen Hebel

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 6 Hakenkörper
- 1 Hebel
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftdreieck

Experimenteller Aufbau

- Die Halterung im oberen mittleren Teil der Hafttafel befestigen.
- Den Hebel (linkes letztes Loch) auf die Halterung stecken und in das rechte letzte Loch des Hebels den Messteil des Federkraftmessers einhängen.
- Den Federkraftmesser so an der Hafttafel befestigen, dass sich der Hebel in horizontaler Lage befindet und die Wirkungslinie der Kraft senkrecht nach unten verläuft.

Der durch das Eigengewicht des Hebels verursachte Ausschlag des Kraftmessers kann durch Drehen der Skalenscheibe korrigiert werden, so dass der Zeiger auf Null steht.

- Den Drehpunkt des Hebels mit dem Haftdreieck markieren.

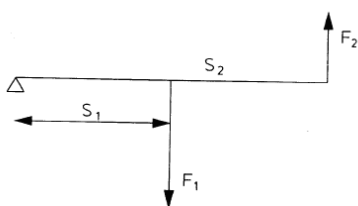
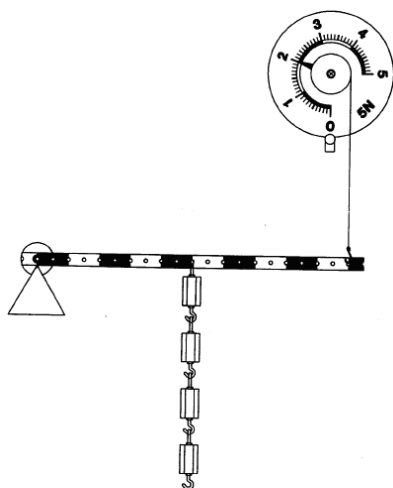


Abb. 14

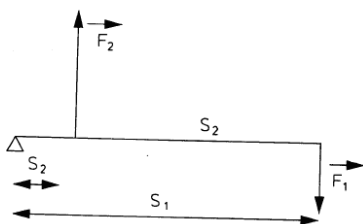
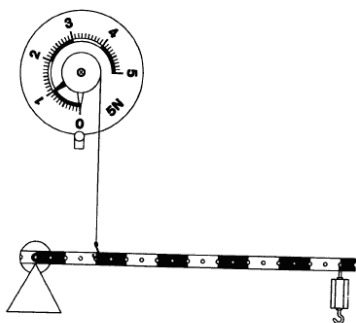


Abb. 14 a

Experiment

- 4 Hakenkörper aneinanderhängen und zunächst auf der halben Länge des Hebels befestigen.
- Die Länge der Hebelarme und die Beträge der Kräfte in die Messwertetabelle eintragen.
- Zunächst die Hakenkörper in ein Loch einhängen, das dem Drehpunkt zugewandt ist, nachfolgend in ein Loch, das weiter von ihm abgewandt ist. Die Beträge der physikalischen Größen werden ebenfalls in die Tabelle eingetragen.

- Den Federkraftmesser vom Hebel lösen und in das 4. Loch, vom Drehpunkt aus gezählt, einhängen.
- Das erfolgt wiederum so, dass der Hebel horizontal verläuft und die Wirkungslinie vertikal nach oben.
- Eine erneute Nullpunktkorrektur des Federkraftmessers durchführen.
- Jetzt einen Hakenkörper nacheinander an drei Stellen des Hebels bringen, die sich rechts von der Messstelle der Kraft befinden.
- Die jeweils gemessenen Beträge der physikalischen Größen in die Tabelle einfügen.

Tabelle

Hebelarm s_1 in cm	Nach unten wirkende Kraft F_1 in N	Hebelarm s_2 in cm	Nach oben wirkende Kraft F_2 in N	$F_1 \cdot s_1$ in Ncm	$F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Ergebnis

Je größer der Abstand des Angriffspunktes der Kraft vom Drehpunkt ist, um so geringer muss die Kraft sein, damit Kräftegleichgewicht auftritt. Zur mathematischen Auswertung werden die Produkte aus dem jeweiligen Hebelarm und der zugehörigen Kraft gebildet (die letzten beiden Spalten in der Tabelle). Für den einseitigen Hebel gilt:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

15. Drehmoment

Notwendige Komponenten

- 2 Kraftmesser
- 1 Hebel
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftdreieck

Experimenteller Aufbau

- Die Halterung in der Mitte der Hafttafel befestigen.
- Den Hebel an seinem mittleren Loch auf die Halterung stecken und ihn durch Aufsetzen der Gummimuffe vor dem Herabgleiten schützen.
- Den einen Federkraftmesser oberhalb des rechten Armes des Hebels anbringen, den anderen unterhalb.

- Den Drehpunkt des Hebels mit dem Haftdreieck markieren.

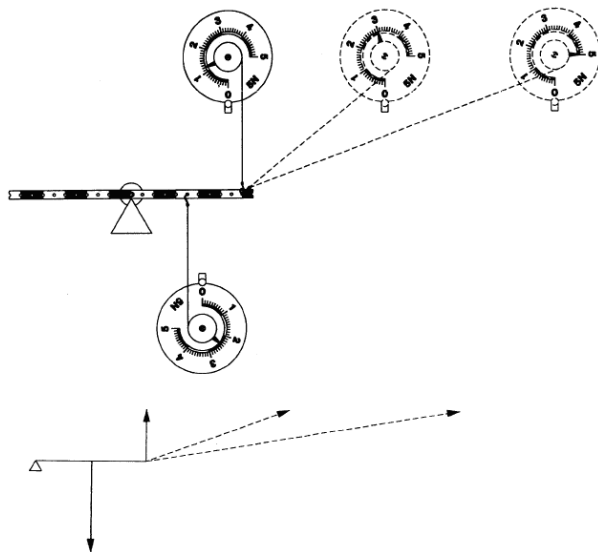


Abb. 15

Experiment

- Die Messstelle des oberen Federkraftmessers zunächst in das letzte Loch des Hebels einhaken.
- Die Messstelle des unteren Federkraftmessers in das fünfte Loch vom Drehpunkt einhaken.
- Die Lage der Federkraftmesser so verändern, dass sich der Hebel in horizontaler Lage befindet und die Fäden vertikal nach oben bzw. nach unten zeigen.
- Dabei an dem einen Federkraftmesser eine Kraft von einigen Newton einstellen.
- Den jeweiligen Abstand des Angriffspunktes der Kraft vom Drehpunkt des Hebels sowie die zugehörigen Kräfte in die Messwertetabelle eintragen.
- Dann zunächst den Angriffspunkt des unteren Federkraftmessers zweimal variieren, schließlich auch den Angriffspunkt des oberen Federkraftmessers.
- In jedem Falle eine horizontale Lage des Hebels einstellen und auf die dazu senkrecht verlaufenden Kräfte achten.
- Die Abstände vom Drehpunkt und die Kräfte wiederum in die Tabelle übertragen.
- Schließlich die Lage des unteren Federkraftmessers so verändern, dass die Richtung der Kraft immer stärker von der Senkrechten auf dem Hebel abweicht. Dabei muss jedoch der Hebel weiterhin in horizontaler Lage verbleiben.

Tabelle

Abstand der 1. Kraft vom Drehpunkt s_1 in cm	1. Kraft F_1 in N	Abstand der 2. Kraft vom Drehpunkt s_2 in cm	2. Kraft F_2 in N	Drehmoment 1 $F_1 \cdot s_1$ in Ncm	Drehmoment 2 $F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Ergebnis

Zur Beschreibung des Gleichgewichtes eines drehbar gelagerten Körpers kann man das Drehmoment benutzen. Es ist das Produkt aus dem jeweiligen Abstand des Angriffspunktes der Kraft vom Drehpunkt und der senkrecht dazu gerichteten Kraft. Im Gleichgewichtsfall ist der Betrag des rechts-drehenden Drehmoments gleich dem Betrag des linksdrehenden Drehmoments

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

Je stärker die Kraft von der Richtung senkrecht zum Hebelarm abweicht, umso größer muss sie sein, damit das Gleichgewicht erhalten bleibt. Dieses Ergebnis belegt, dass es zweckmäßig ist, das Drehmoment als Produkt aus Abstand des Angriffspunktes der Kraft vom Drehpunkt und der senkrecht dazu gerichteten Kraft festzulegen. Je stärker die Abweichung der Kraft von dieser Richtung ist, umso größer muss ihr Betrag sein, damit das gleiche Drehmoment auftritt.

16. Kräfte an der festen Rolle

Notwendige Komponenten

- 6 Hakenkörper
- 1 Rolle, groß
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftskala
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Haftskala vertikal an der Hafttafel befestigen.
- Am oberen Ende der Haftskala in der Mitte die große Rolle anbringen.
- Den Faden mit Schlaufen über die Rolle legen. In jeder Schlaufe je einen Hakenkörper befestigen.

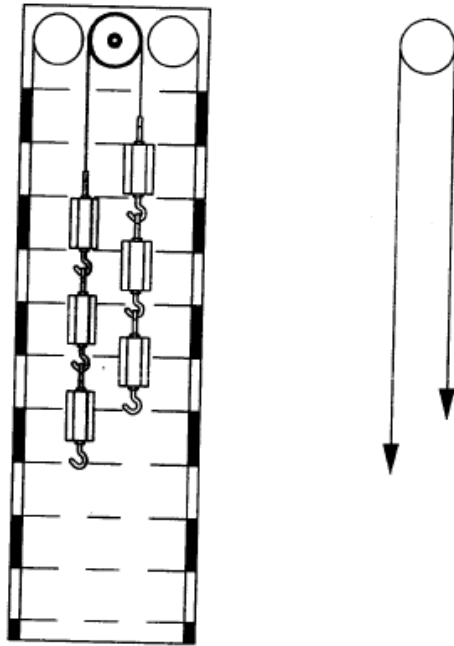


Abb. 16

Experiment

- Die Anzahl der Hakenkörper zunächst auf je zwei, dann auf je drei erhöhen.
- In jedem Falle werden die Hakenkörper in verschiedene Lagen gebracht und das Verhalten der gesamten Anordnung beobachtet.

Ergebnis

Bei der festen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn auf jeder Seite die gleiche Kraft wirkt.

17 Kräfte an der losen Rolle

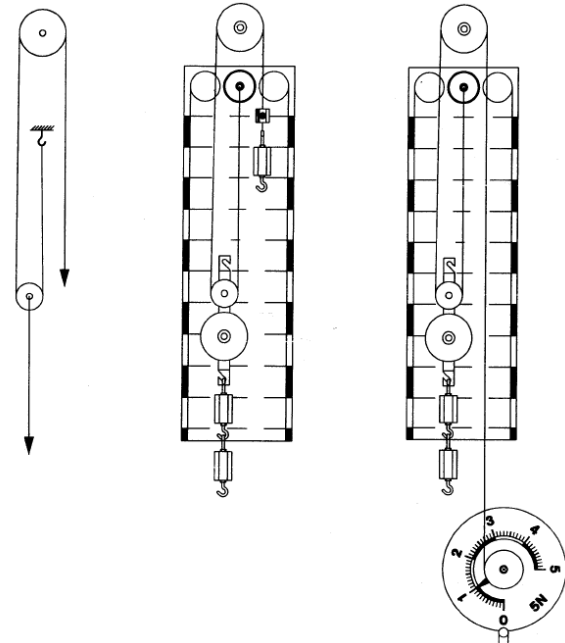
Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 1 Rolle, groß
- 1 Flasche mit 2 Rollen
- 6 Hakenkörper
- 1 Gegengewicht mit Feststellschraube
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftskala
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Haftskala vertikal an der Hafttafel befestigen.
- Die Halterung am oberen Ende der Haftskala in deren Mitte befestigen.
- Dicht darüber die große Rolle setzen.

- Die eine Schlaufe des Fadens an die Halterung einhängen und mit der Gummimuffe arretieren.
- Dann den Faden nach unten führen und dort die Flasche mit Rollen einhängen. Den Faden wieder nach oben führen und ihn über die feste Rolle am oberen Ende der Haftskala legen.
- In die Schlaufe am Ende des Fadens einen Hakenkörper hängen und die Flasche mit zwei Hakenkörpern belasten.
- Als Ausgleich für die Gewichtskraft der Fla-



sche mit Rollen zusätzlich zum Hakenkörper das Gegengewicht mit Feststellschraube anbringen und ggf. etwas Plastillina hinzufügen.

Abb. 17

Abb. 17 a

Abb. 17 b

Experiment 1

- Den Hakenkörper längs der Skala in verschiedene Stellungen bringen und jeweils loslassen.
- Nachfolgend einen zweiten Hakenkörper an die Flasche hängen und bis Erreichen des Gleichgewichts weitere Hakenkörper an der Schlaufe anbringen.

Experiment 2

- Die feste Rolle durch einen Federkraftmesser ersetzen und an seinem Messpunkt den Faden mit Schlaufe einhängen, an der sich der Hakenkörper mit dem Gegengewicht mit Feststellschraube befunden hat.
- Die Hakenkörper an der Flasche abnehmen.
- Zunächst den Zeigerausschlag des Federkraftmessers, der durch das Eigengewicht

der losen Rolle mit Flasche bedingt ist, durch Drehen der Skalenscheibe auf Null setzen.

- Dann die Hakenkörper nacheinander an die Flasche hängen und jeweils die vom Federkraftmesser angezeigte Kraft ermitteln.

Ergebnis

Die lose Rolle befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Kraft am Faden halb so groß wie die Kraft an der Rolle ist.

Hinweis

Zur Durchführung der Experimente ist es zweckmäßig, von der Flasche die große Rolle abzuschrauben. Dadurch wird die Übersichtlichkeit erhöht und die störende Gewichtskraft der Flasche verringert.

18. Kräfte am Flaschenzug

Notwendige Komponenten

- 6 Hakenkörper
- 1 Rolle, klein
- 1 Rolle, groß
- 1 Flasche mit 2 Rollen
- 1 Gegengewicht mit Feststellschraube
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftskala
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Haftskala vertikal an der Hafttafel anbringen.
- Oberhalb der Mitte der Skala die große Rolle anbringen, darunter im oberen Teil der Skala die kleine Rolle und noch weiter darunter die Halterung.
- Die eine Schlaufe des Fadens in die Halterung einhaken, durch die Gummimuffe arretieren und dann über die kleine Rolle der Flasche führen. Die Flasche wird dabei so gehalten, dass sich die kleine Rolle oben befindet.
- Danach den Faden nach oben führen und dort über die kleine Rolle legen, dann wieder nach unten über die große Rolle der Flasche und schließlich über die große Rolle.
- Das Gegengewicht mit Feststellschraube und ggf. etwas Plastillina anhängen, um die Gewichtskraft der Flasche auszugleichen.

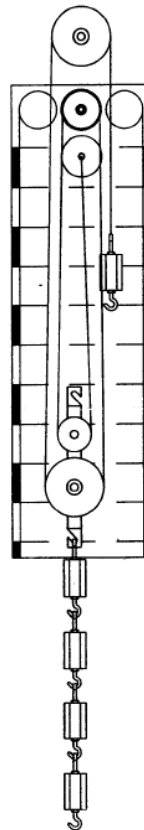


Abb. 18 a

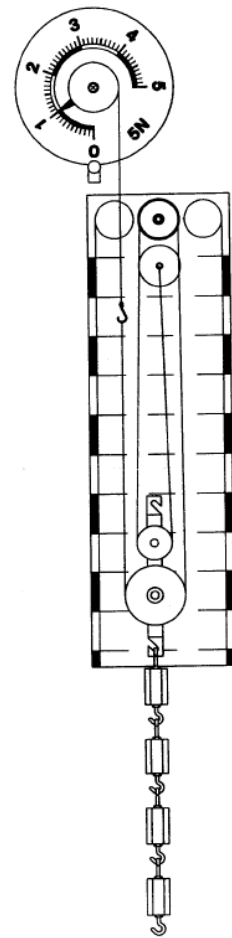


Abb. 18 b

Experiment

- Einen Hakenkörper in die freie Schlaufe einhängen.
- An die Flasche so viele Hakenkörper anhängen, bis sich der Flaschenzug im Gleichgewicht befindet.

Durch Auf- und Abbewegen der Flasche kann überprüft werden, ob sich der Flaschenzug in jeder Lage im Gleichgewicht befindet.

Ergebnis

Der Flaschenzug mit insgesamt 4 Rollen befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Kraft an der Flasche 4-mal so groß wie die Kraft am Fadenende ist.

Hinweis

Anstelle der oberen großen Rolle kann auch ein Federkraftmesser Verwendung finden (Abb. 18b). Er wird etwa an der Stelle der großen Rolle am oberen Ende der Hafttafel angebracht. In diesem Falle wird zunächst die Kraft durch Drehen der Skala kompensiert, die durch das Eigengewicht der Flasche bedingt ist. Beim zusätzlichen Anhängen je eines Hakenkörpers vergrößert sich jeweils die angezeigte Kraft um 0,25 N.

19. Kräfte an der schiefen Ebene – Untersuchung mit dem Kraftmesser

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 1 Schiefe Ebene
- 1 Walze
- 1 Hebel
- 2 Halterungen
- 1 Lot
- 2 Gummimuffen
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Schiefe Ebene an der vertikalen Hafttafel anbringen und am oberen Teil des Winkelmessers das Lot einhängen.
- Den Winkel zur Horizontalen zunächst auf 10° einstellen.
- Die Walze auf die Ebene setzen, so dass sie sich dicht vor der Tafel befindet.
- Die Walze in die eine Schlaufe des Fadens einhängen und den Faden über die Rolle vertikal nach unten zum Federkraftmesser führen.
- Ausgehend vom linken unteren Ende der Schiefen Ebene den Hebel horizontal an zwei Halterungen in der 5. und 10. Öffnung von links ausgehend mittels Gummimuffen befestigen.

Die Höhe der geneigten Ebene kann so jeweils als senkrechter Abstand des horizontal liegenden Hebels vom rechten unteren Ende der Schiefen Ebene ermittelt werden.

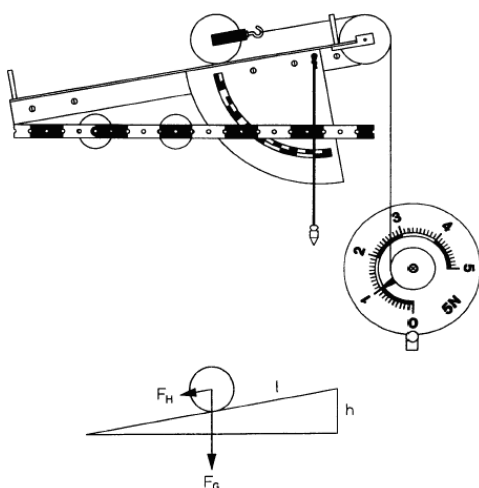


Abb. 19

Experiment

- Den Winkel zwischen der Schiefen Ebene und der Horizontalen schrittweise von 10° bis auf 40° vergrößern.
- Jeweils die Höhe der geneigten Ebene und die vom Federkraftmesser angezeigte Hangabtriebskraft messen und in die Tabelle eintragen.

Tabelle

Höhe h in cm	Länge l in cm	Hangabtriebskraft F_H in N	Gewichtskraft F_G in N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Ergebnis

Je größer die Höhe der Schiefen Ebene ist, umso größer ist auch die Hangabtriebskraft. Zur mathematischen Auswertung werden die Quotienten aus Hangabtriebskraft F_H und Gewichtskraft F_G sowie aus Höhe h und Länge l der Schiefen Ebene gebildet (letzten beiden Spalten der Tabelle). Der Vergleich der Quotienten zeigt, dass gilt:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Hinweise

1. Der von der festen Rolle zum Federkraftmesser gespannte Faden kann auch hinter der Rolle horizontal oder in einem beliebigen anderen Winkel verlaufen. Voraussetzung ist lediglich, dass er in der Nähe der Walze parallel zur Schiefen Ebene liegt. Besonders gut verständlich ist die Anordnung, wenn der Faden von der Walze bis zum Federkraftmesser parallel zur Schiefen Ebene verläuft. Dann muß jedoch bei jeder Veränderung der Neigung der Ebene auch die Lage des Federkraftmessers verändert werden.
2. Das Gleichgewicht an der Schiefen Ebene kann auch dadurch hergestellt werden, dass an das Fadenende anstelle des Federkraftmessers Wägestücke angebracht werden, deren Gewichtskraft gleich der Hangabtriebskraft ist.
3. Sofern die mathematischen Voraussetzungen gegeben sind, kann anstelle von Höhe und Länge auch der Winkel in die Auswertung einbezogen werden

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha.$$

20. Kräfte an der schiefen Ebene – Untersuchung mit Hakenkörpern

Notwendige Komponenten

- 1 Schiefe Ebene
- 1 Walze
- 4 Hakenkörper
- 1 Hebel
- 2 Halterungen
- 1 Lot
- 2 Gummimuffen
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Schiefe Ebene an der vertikalen Hafttafel anbringen und am oberen Teil des Winkelmessers das Lot einhängen.
- Zunächst die Schiefe Ebene horizontal ausrichten.
- Die Walze auf die Ebene setzen, so dass sie sich dicht vor der Tafel befindet.
- Die Walze in die eine Schlaufe des Fadens einhängen und den Faden über die Rolle vertikal nach unten zum Federkraftmesser führen.
- Dicht unter der Schiefen Ebene den Hebel an 2 Halterungen horizontal von links ausgehend in der 5. und 10. Öffnung befestigen und mit den Gummimuffen gegen Herabgleiten sichern.

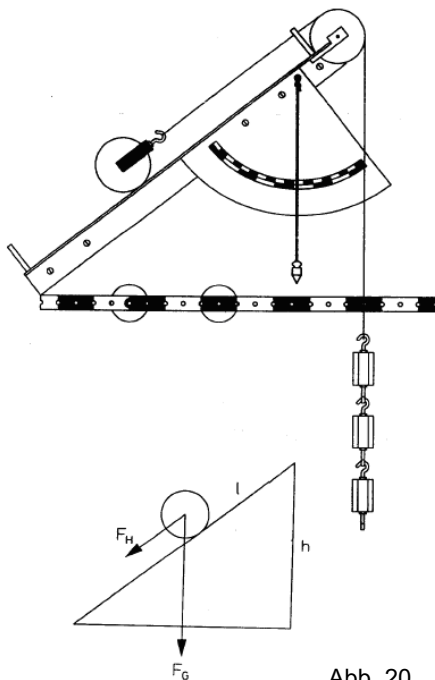


Abb. 20

Die Höhe der Schiefen Ebene kann so jeweils als senkrechter Abstand des horizontal liegenden

Hebels vom rechten unteren Ende der Schiefen Ebene ermittelt werden.

Experiment

- An die zweite Schlaufe des Hakens einen Hakenkörper hängen.
- Die Walze zunächst festhalten und die Neigung der Ebene so weit vergrößern, dass der Hakenkörper die Hangabtriebskraft der Walze kompensiert.
- Die Höhe der Schiefen Ebene messen und mit der Länge der Ebene, der Gewichtskraft der Walze und der Gewichtskraft des Hakenkörpers in die Tabelle eintragen.
- Nachfolgend zwei Hakenkörper an der Schlaufe befestigen und die Neigung der Ebene so lange weiter vergrößern, bis wieder die Gewichtskraft der Massestücke die Hangabtriebskraft der Walze kompensieren.
- Das Experiment mit 3 und 4 Hakenkörpern wiederholen.

Tabelle

Höhe h in cm	Länge l in cm	Hanga- triebs- kraft F_H in N	Ge- wichts- kraft Haken- körper F_G in N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Ergebnis

Je größer die Höhe der Schiefen Ebene ist, umso größer ist auch die Hangabtriebskraft. Zur mathematischen Auswertung werden die Quotienten aus Hangabtriebskraft F_H und Gewichtskraft F_G sowie aus Höhe h und Länge l der Schiefen Ebene gebildet (letzten beiden Spalten der Tabelle). Die Quotienten sind gleich:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Hinweis

Anstelle der Hakenkörper kann eine sehr leichte und kleine Waagschale Verwendung finden. So können beliebige Winkel der Schiefen Ebene vorgegeben werden. Die Hangabtriebskraft wird dann durch Auflegen von Wägestücken auf die Waagschale ermittelt.

21. Gleitreibung – Untersuchung mit dem Kraftmesser

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 1 Schiefe Ebene
- 1 Aluminiumquader mit 2 Haken
- 6 Hakenkörper
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Schiefe Ebene horizontal auf der linken Seite der Hafttafel aufbringen.
- Auf das linke Ende der Schiefen Ebene den Aluminiumquader mit 2 Haken aufsetzen, so dass er mit der größten Fläche aufliegt.
- Den Faden mit Schlaufen am Haken befestigen. Den Faden über die feste Rolle führen, so dass er weitestgehend parallel zur Schiefen Ebene verläuft.
- Die zweite Schlaufe in die Messstelle des Federkraftmessers einhaken.

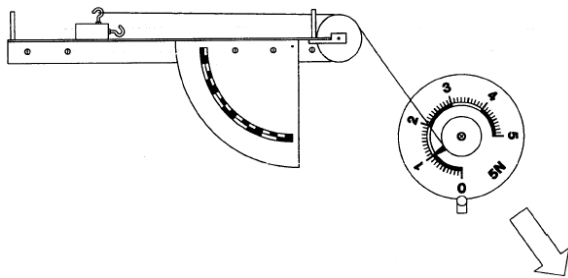


Abb. 21

Experiment

- Den Federkraftmesser langsam horizontal bzw. schräg nach unten führen, so dass sich der Aluminiumquader gleichförmig bewegt.
- Während der Bewegung die Reibungskraft am Federkraftmesser ablesen.
- Anschließend den Aluminiumquader auf die kleinere Fläche mit der gleichen Oberflächenstruktur legen und das Experiment wiederholen.

Durch Auflegen von Hakenkörpern kann die wirksame Gewichtskraft schrittweise vergrößert werden.

- Danach die Schiefe Ebene mit Streifen aus verschiedenen Stoffen (z.B. Holz, Pappe, Papier, Kunststoff) belegen und die Experimente in gleicher Weise durchführen.

Ergebnis

Die Gleitreibung ist von der Art der aufeinander reibenden Stoffe abhängig. Sie nimmt proportional zur Gewichtskraft des gleitenden Körpers zu.

Von der Größe der reibenden Fläche ist sie unabhängig.

Hinweis

Der Gleitreibungskoeffizient lässt sich leicht dadurch ermitteln, daß man den Quotienten aus Gleitreibungskraft und Gewichtskraft des Quaders bildet. Die eine schmale Seite des Quaders ist mit einer Gummischicht belegt. Der Vergleich der Kräfte bei den gleich großen Reibungsflächen mit unterschiedlicher Beschaffenheit zeigt die Abhängigkeit der Reibung von der Art der aufeinander gleitenden Stoffe besonders deutlich.

22. Gleitreibung – Untersuchung mit Wägestücken

Notwendige Komponenten

- 1 Schiefe Ebene
- 1 Aluminiumquader mit 2 Haken
- 2 Hakenkörper
- 1 Lot
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Schiefe Ebene mit geringer Neigung im oberen Teil der Hafttafel befestigen.
- Am oberen Teil des Winkelmessers das Lot einhängen.
- Auf das linke Ende der Schiefen Ebene den Aluminiumquader mit 2 Haken aufsetzen, so dass er mit der größten Fläche aufliegt.
- In den der Rolle zugewandten Haken die Schlaufe des Fadens einhängen.
- Den Faden möglichst parallel zur Schiefen Ebene über die feste Rolle führen und an seinem anderen Ende mit einem Hakenkörper belasten.

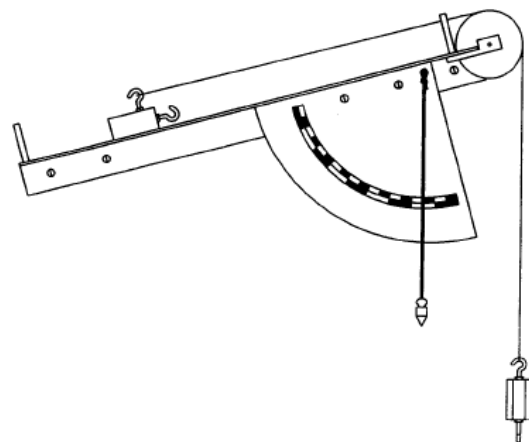


Abb. 22

Experiment

- Die Neigung der Ebene so weit verringern, dass der Aluminiumquader nach leichtem Anstoßen mit etwa konstanter Geschwindigkeit über die Ebene gleitet.
- Als Maß für die dafür erforderliche Kraft die Neigung der Ebene ermitteln.
- Das Experiment in gleicher Weise wiederholen, nachdem der Aluminiumquader auf eine seiner kleinen Flächen gelegt wurde.
- Schließlich die Kraft, mit der der Aluminiumquader auf die Unterlage drückt, durch schrittweises Auflegen von Hakenkörpern vergrößern.
- Streifen aus verschiedenen Stoffen (z.B. Holz, Pappe, Papier, Kunststoff) auf die Schiefe Ebene auflegen und die Experimente wiederholen.

Ergebnis

Die Gleitreibung ist umso größer, je größer die Druckkraft ist, mit der der Körper auf die Unterlage wirkt. Sie hängt davon ab, aus welchen Stoffen die Gleitflächen bestehen. Die Gleitreibung ist bei gleicher Gewichtskraft unabhängig von der Größe der gleitenden Fläche.

Hinweise

1. Die Gleitreibungskraft kann dadurch ermittelt werden, dass man feststellt, wie flach die Ebene geneigt sein muss, damit der Hakenkörper den Aluminiumquader die Ebene hinaufzieht. Man kann sie aber auch dadurch bestimmen, dass man die Ebene immer steiler einstellt und den Winkel ermittelt, bei dem der Aluminiumklotz den Hakenkörper nach oben zieht.
2. Es ist auch möglich, auf den Hakenkörper und den Faden zu verzichten. Man bringt den Aluminiumquader an das obere Ende der Schiefen Ebene und erhöht deren Neigung so lange, bis der Aluminiumklotz nach leichtem Anstoßen mit konstanter Geschwindigkeit die Ebene hinabgleitet.
3. Mit der Neigung der Ebene verändert sich auch die Kraft, mit der der Körper senkrecht auf die Unterlage drückt. Sie ist nur im Falle der horizontalen Ebene gleich der Gewichtskraft. Mit größer werdender Neigung nimmt diese Kraft ab. Bei der Auswertung wird jedoch von einer konstanten Kraft ausgegangen. Deshalb erfolgt mit dem Experiment nur eine Abschätzung der Abhängigkeiten der Reibungskraft.

23. Haftreibung

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 1 Schiefe Ebene
- 1 Aluminiumquader mit 2 Haken
- 6 Hakenkörper
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Schiefe Ebene horizontal auf der linken Seite im oberen Teil der Haftarbeitsfläche befestigen.
- Auf das linke Ende den Aluminiumquader platzieren. An einem der Haken den Faden befestigen und ihn so über die feste Rolle führen, dass er nahezu parallel zur Schiefen Ebene verläuft.
- Das andere Ende des Fadens an der Messstelle des Kraftmessers anbringen.

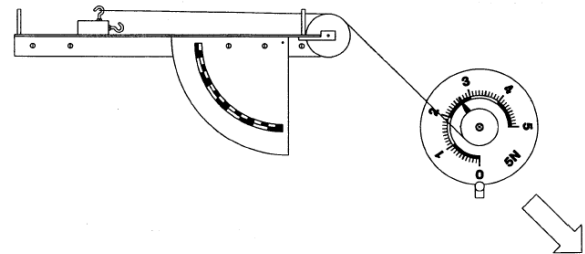


Abb. 23

Experiment

- Den Federkraftmesser langsam schräg nach rechts unten führen. Dabei die Kraft ermitteln, die erforderlich ist, um den Aluminiumklotz in Bewegung zu versetzen.
- Das Experiment wiederholen, nachdem der Aluminiumklotz auf eine seiner kleinen Flächen gestellt wurde.
- Schließlich die Schiefe Ebene mit Streifen aus verschiedenen Stoffen (z.B. Holz, Metall, Pappe, Kunststoff) belegen und das Experiment wiederholen. Nachfolgend den Aluminiumklotz schrittweise mit Hakenkörpern belasten und jeweils die Kraft für das Inbewegensetzen des Klotzes ermitteln.

Ergebnis

Die Haftreibung hängt von der Art der aufeinander gleitenden Stoffe ab. Sie nimmt proportional zur Druckkraft zu. Die Haftreibungskraft ist bei gleicher Druckkraft umso größer, je größer die reibende Fläche ist.

In allen Fällen ist die Haftreibungskraft größer als die im Experiment 21 ermittelte Gleitreibungskraft.

Hinweis

Anstelle des Federkraftmessers kann auch ein Hakenkörper am Fadenende befestigt werden. Aussagen über die Größe der Reibungskraft sind dann durch Neigen der Ebene möglich (vgl. Experiment 21). Es kann jedoch auch auf den Faden verzichtet werden, indem die Neigung der Ebene gerade so groß gewählt wird, dass der Aluminiumquader zu rutschen beginnt. Dabei gilt der Hinweis 3 zu Experiment 22.

24. Rollreibung

Notwendige Komponenten

- 1 Kraftmesser
- 1 Schiefe Ebene
- 1 Walze
- 1 Aluminiumquader mit 2 Haken
- 3 Hakenkörper
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen

Experimenteller Aufbau

- Die Schiefe Ebene im oberen linken Teil horizontal an der Hafttafel befestigen.
- Auf das linke Ende der Schiefen Ebene die Walze platzieren und daran das eine Ende des Fadens befestigen.

Den Faden über die feste Rolle führen und am Federkraftmesser befestigen, der sich auf der rechten Seite der Hafttafel unter der Ebene befindet.

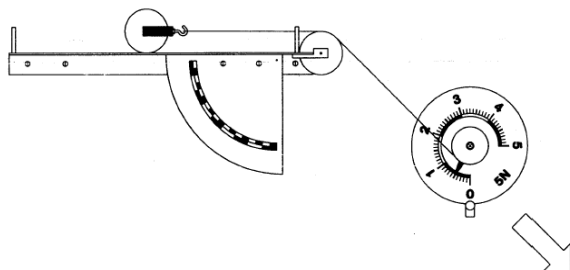


Abb. 24

Experiment

- Den Federkraftmesser langsam nach rechts unten bewegen. Dabei die Kraft ermitteln, die zur Aufrechterhaltung der Bewegung der Walze erforderlich ist.
- Dann die Walze durch den Aluminiumquader ersetzen, der mit 3 Hakenkörpern belastet wurde. Dadurch entspricht seine Gewichtskraft der der Walze.
- Mit der gleichen Anordnung die Kraft ermitteln, die zur Aufrechterhaltung einer gleichförmigen Bewegung des Quaders erforderlich ist.

Ergebnis

Gegenüber der Gleitreibung und der Haftreibung ist die Rollreibung wesentlich kleiner.

25. Periodendauer eines Fadenpendels

Notwendige Komponenten

- 3 Hakenkörper
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Messingbügel
- 1 Haftskala
- 1 Nylonfaden mit Schlaufen, lang
- 1 Stoppuhr

Experimenteller Aufbau

- Die Haftskala vertikal an der Hafttafel befestigen.
- Auf dem mittleren Kreis am oberen Ende der Skala die Halterung aufsetzen und deren vorderes Ende mit einer Gummimuffe versehen.
- Den Messingbügel über die Halterung legen.
- Über jedes der Enden eine der Schlaufen der Faden hängen und einen Hakenkörper daran befestigen.

Die jeweilige Länge kann auf der Skala direkt abgelesen werden. Das wirksame obere Ende des Pendels befindet sich in der Mitte des Messingbügels am Skalenanfang, das untere Ende in der Mitte des Wägestücks.

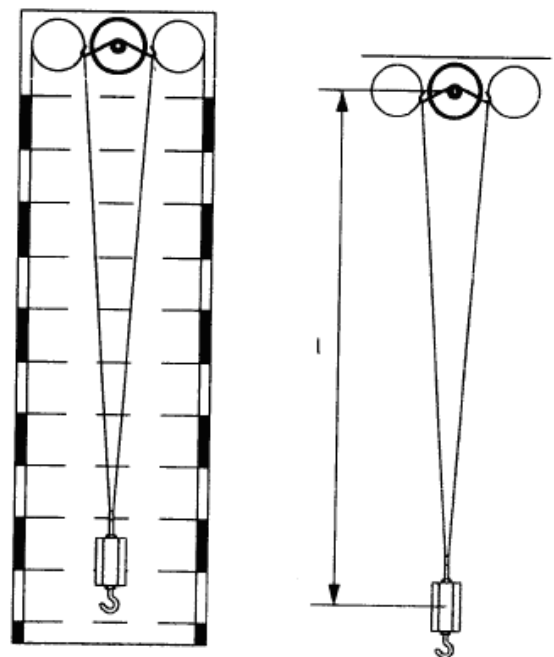


Abb. 25

Experiment 1

Zusammenhang zwischen Periodendauer und Masse des Fadenpendels

- Das Massestück seitlich etwa bis zum Rand der Skala auslenken und loslassen.
- Mit der Stoppuhr die Zeit für 10 Perioden ermitteln und in die Tabelle eintragen.
- Anstelle des einen Hakenkörpers danach zwei und schließlich drei Hakenkörper nebeneinander an dem Faden befestigen.
- Für jeden Falle die Periodendauer für 10 Schwingungen ermitteln.
- Die Untersuchungen mit einer zweiten Pendellänge (Faden anderer Länge) wiederholen.

Tabelle

Länge l in cm	Masse m in g	Zeit für 10 Perioden t in s	Periodendauer T in s

Ergebnis

Die Periodendauer eines Fadenpendels ist unabhängig von der Masse.

Experiment 2

Zusammenhang zwischen Periodendauer und Pendellänge

Als Pendelmasse findet ein Hakenkörper Verwendung. Die Pendellänge soll bei etwa 50 cm liegen.

- Den Hakenkörper bis zum Rand der Skala auslenken und loslassen. Die Zeit für 10 Perioden bestimmen und diese in die Tabelle eintragen.
- Die Pendellänge auf 40 cm verringern. Dazu den Faden mit einer leicht wieder lösbaren Schlaufe auf der einen Seite des Messingbügels befestigen.
- Die Zeit für 10 Perioden bestimmen und diese in die Tabelle eintragen.
- Nachfolgend die Pendellänge schrittweise weiter verringern.
- Aus der Zeit für 10 Schwingungen die Periodendauer ermitteln.
- Schließlich das Quadrat der Periodendauer berechnen und in die letzte Spalte eintragen.

Tabelle

Länge l in cm	Zeit für 10 Perioden t in s	Periodendauer T in s	Quadrat der Periodendauer T^2 in s ²

Ergebnis

Je größer die Länge des Fadenpendels ist, umso größer ist auch die Periodendauer. Es gilt:

$$T^2 \sim l$$

Hinweise

1. Im ersten Experiment verschiebt sich durch das Nebeneinanderhängen zweier oder mehrerer Hakenkörper der Schwerpunkt leicht nach oben. Damit die Pendellänge von Experiment zu Experiment unverändert bleibt; muss ggf. ein kleines Drahtstück (z.B. von einer Briefklammer) zwischen Faden und Pendelkörper gebracht werden.

2. Das zweite Experiment kann auch zur Bestätigung der Gleichung für die Schwingungsdauer eines Fadenpendels Einsatz finden:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Durch Einsetzen der jeweils eingestellten Pendellänge l und der Fallbeschleunigung g wird die Periodendauer ermittelt. Sie stimmt für jedes Teilerperiment mit der gemessenen Periodendauer überein.

26. Periodendauer eines vertikalen Feder-schwingers

Notwendige Komponenten

- 3 Hakenkörper
- 3 Schraubenfedern
- 1 Halterung
- 1 Gummimuffe
- 1 Haftskala
- 1 Stoppuhr

Experimenteller Aufbau

- Die Haftskala vertikal an der Hafttafel befestigen und eine Halterung an ihrem oberen Ende anbringen.
- Die Feder einhängen und mit einer Gummimuffe sichern.

- An das untere Ende der Feder einen Hakenkörper einhängen.

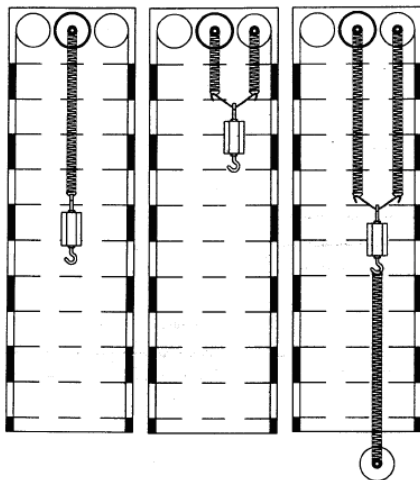


Abb. 26 a

Abb. 26 b

Experiment 1

Zusammenhang zwischen Periodendauer und Masse des Federschwingers

- Den Hakenkörper vertikal etwa 5 Zentimeter auslenken und loslassen.
- Mit der Stoppuhr die Zeit für 10 Perioden bestimmen und diese in die Tabelle eintragen.
- Anstelle des einen Hakenkörpers danach 2 und 3 Hakenkörper untereinander an der Schraubenfeder befestigen.
- In jedem Falle die Periodendauer für 10 Schwingungen ermitteln und in die Tabelle eintragen.
- Das Quadrat der Periodendauer als Funktion der Masse graphisch darstellen.

Tabelle

Masse m in g	Zeit für 10 Perioden t in s	Perioden- dauer T in s	Quadrat der Perioden- dauer T^2 in s ²

Ergebnis

Die Periodendauer eines Federschwingers nimmt mit der Masse zu. Es gilt:

$$T^2 \sim m$$

Experiment 2

Zusammenhang zwischen Periodendauer und Federkonstante

- An die Halterung zunächst eine Feder hängen und die Lage ihres unteren Endes ermitteln.
- Dann einen Hakenkörper an die Feder hängen und deren Verlängerung bestimmen.
- Nachfolgend 2 Federn untereinander an die Halterung hängen und wiederum deren Verlängerung beim Anhängen eines Hakenkörpers ermitteln.
- Das Experiment mit 3 Federn wiederholen.
- Für alle drei Fälle den Quotienten aus der Verlängerung und der wirkenden Kraft bilden und in die Tabelle eintragen.
- Im Falle einer Feder mit Hakenkörper erfolgt eine vertikale Auslenkung von etwa 5 cm, dann den Hakenkörper loslassen und die Zeit für 10 Perioden ermitteln.
- Das Experiment für die beiden anderen Anordnungen (2 Federn und 3 Federn) wiederholen.
- Die Zeiten in die Tabelle eintragen.
- Das Quadrat der Periodendauer über den Quotienten aus Längenänderung und Kraft graphisch darstellen.

Tabelle

Anzahl der Federn	Kraft F in N	Federkonstante k in N/cm	Zeit für 10 Perioden t in s	Periodendauer T in s	Längenänderung l in cm
1	100				
2	100				
3	100				

Ergebnis

Der Quotient aus Kraft und Verlängerung einer Feder kennzeichnet ihre Festigkeit (Federkonstante $k = F/l$). Je größer die Federkonstante ist, umso geringer ist die Periodendauer.

Es gilt:

$$T^2 \sim \frac{l}{k}$$

Hinweise

1. Bei einer genauen Ermittlung der Proportionalität zwischen T^2 und l/k sind die Gewichtskräfte der angehängten Federn und die damit verbundenen Längenänderungen zu beachten!

2. Im Experiment 2 können auch mehrere Federn nebeneinander angeordnet werden. Dadurch verringert sich die Federkonstante. Das Nebeneinanderbefestigen zweier Federn ist leicht dadurch möglich, daß man zwei Halterungen nebeneinander anbringt, an der je eine Feder befestigt wird. Das untere Ende beider Federn verbindet man mit einem Messingbügel, an dem die Hakenkörper befestigt werden (siehe Abb. 26a).

3. Die beiden Experimente können auch zur Bestätigung der Gleichung für die Periodendauer eines Federschwingers Einsatz finden

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

In diesem Falle werden Masse m und Federkonstante k in die Gleichung eingesetzt und daraus die Periodendauer berechnet. Sie stimmt für jedes Telexperiment mit der gemessenen Periodendauer überein.

4. Die Federkonstante kann auch dadurch verändert werden, dass an den unteren Haken des Hakenkörpers noch eine weitere Schraubenfeder gehängt wird, deren unteres Ende an einer zusätzlichen Halterung angebracht ist (siehe Abb. 26b).

27. Resonanz zweier Federschwinger

Notwendige Komponenten

- 4 Hakenkörper
- 1 Hebel
- 2 Schraubenfedern
- 2 Halterungen
- 2 Gummimuffen
- 1 Haftskala
- 2 Messinghaken

Experimenteller Aufbau

- Die Haftskala vertikal an der Hafttafel befestigen und in der Höhe ihres oberen Endes rechts und links eine Halterung anbringen.
- Die Halterungen mit je einer Gummimuffe sichern und den Hebel flach darauflegen. Der Abstand der Halterungen so wählen, dass fast die gesamte Länge des Hebels genutzt werden kann.
- In der Mitte des Hebels im Abstand von 2 Öffnungen mit Hilfe der Messinghaken die beiden Schraubenfedern befestigen und an jede 2 Hakenkörper hängen.

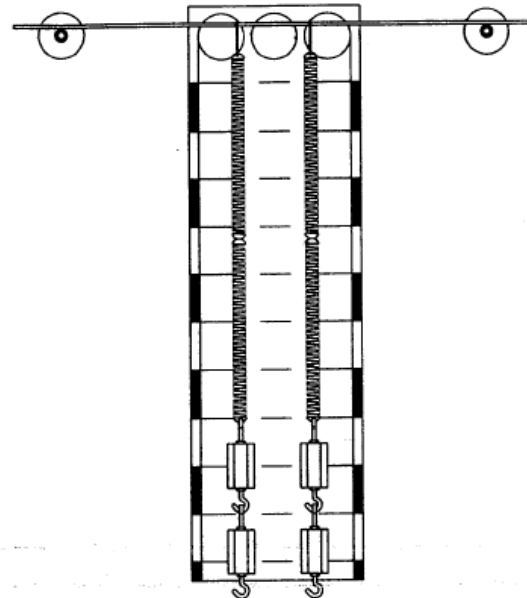


Abb. 27

Experiment

- Das untere Ende einer der beiden Federn etwa 5 Zentimeter vertikal nach unten auslenken und loslassen.

Beim Schwingen überträgt es seine Energie allmählich auf den zweiten Schwinger, der mit immer größerer Amplitude zu schwingen beginnt. Schließlich ruht der erste Schwinger. Nachfolgend wird die Energie auf den ersten Schwinger zurückübertragen.

Ergebnis

Bei gekoppelten Schwingern gleicher Eigenfrequenz erfolgt eine wiederholte vollständige Energieübertragung von einem Schwinger auf den anderen.

Mechanics on the Magnetic Whiteboard 1000735

Product Manual

09/26 ALF/HJB



1. Description

The Mechanics Kit – Statics allows performing of all basic experiments on statics. As a special feature all elements are equipped with strong magnetic holders, so that the experimental set-ups can be done securely on a vertical magnetic board. In this way there is no need for any base material, and all elements can easily be shifted on the board for quick arrangement of new experiments. The vertical set-up and the large components ensure good visibility from a distance. As there is no base material, its disturbing influence ceases to exist. Furthermore, it is possible to write notes directly on the board next to the experiment. If needed the components can be named and physical values, that are measured and changed, can be charted, e.g. lengths and forces in their actual position. Finally, a sketch can be drawn next to the experiment, which shows the basic configuration of that experiment. This sketch can be drawn before setting up the experiment, so that the set-up is done according to the drawing. If the sketch is drawn after the experiment, it is possible to highlight the fundamental principals of the experiment. In this way forces and parallelograms of forces can be depicted for example.

A magnetic board with dimensions of at least 100x100 cm is required for realizing the experiments.

2. Scope of delivery

No.	Component	Quantity
1.	Dynamometers 5 N	2
2.	Inclined plane with fixed pulley and protractor	1
3.	Hooked roller 5 N	1
4.	Aluminium friction block with 2 hooks 2 N	1
5.	Hooked weights 1 N	6
6.	Small pulley	1
7.	Large pulley	1
8.	Double pulley block	1
9.	Lever	1
10.	Steel rod, threaded	1
11.	Counterweight with knurled screw	1
12.	Coil springs	3
13.	Centre of gravity plate	1
14.	Plumb	1
15.	Anchor post	3
16.	Rubber grommets	3
17.	Brass hook	3
18.	Brass clip	1
19.	Magnetic scale	1
20.	Magnetic arrows	4
21.	Magnetic triangle	1
22.	Strings with nooses	4

3. Experiments with the kit

The character of force, combination and resolution of forces

1. Measurement of a force with a dynamometer – force as a vectorial value
2. Shifting of a force along the line of action
3. Hooke's law
4. Combination of forces with common line of action
5. Action equals reaction
6. Combination of forces of different line of actions – using dynamometer
7. Combination of forces of different line of actions – using hooked weights
8. Resolution of a force into two components, perpendicular to each other
9. Resolution of a force into two parallel components

Centre of gravity and states of equilibrium

10. Gravity lines and centre of gravity of a plastic plate
11. States of equilibrium of a hanging body
12. States of equilibrium – centre of gravity outside the lever

Devices to transform forces

13. Equilibrium of forces at the two-sided lever
14. Equilibrium of forces at the one-sided lever
15. Torque
16. Forces at the fixed pulley
17. Forces at the movable pulley
18. Forces at the block and tackle
19. Forces at the inclined plane – using a dynamometer
20. Forces at the inclined plane – using hooked weights
21. Dynamic friction – using a dynamometer
22. Dynamic friction – using weights
23. Static friction
24. Roll friction

Oscillations

25. Period length of a string pendulum
26. Period length of a vertical spring oscillator
27. Resonance of two spring oscillators

4. Notes on some components

1. Dynamometer

The dynamometer can be used in any position. If needed the weight of the strings, hooks etc. must be considered. Its influence is small however when using great forces. The zero position of the pointer can be reached by turning the scale disc. The string must be wound clockwise onto the scale disc.

2. Inclined plane

The inclined plane can be easily mounted in different angles. The hanging plumb line shows the actual angle.

3. Double pulley block

The Double pulley block can also be used as a movable pulley, just unscrew one pulley. Then the experimental set-up is clearer and the weight of the pulley lower.

4. Magnetic arrows and the triangle

The directions of forces or movements in the experiments can be marked with magnetic arrows. Because of the same lengths of the arrows, it should be noted that for forces of different amounts the arrows do not reflect the amount of the forces correctly.

With the magnetic triangle the centre of gravity can be clearly marked.

5. Performing the experiments

1. Measurement of a force with a dynamometer – force as a vectorial value

Required Components

- 1 Dynamometer
- 1 Hooked roller
- 1 Aluminium friction block with two hooks
- 1 Hooked weight
- 1 Brass hook
- 3 Strings with nooses, different lengths

Experimental set-up

- Position the dynamometer on the upper part of the magnetic board.
- Attach a string to it and the brass hook to the string.

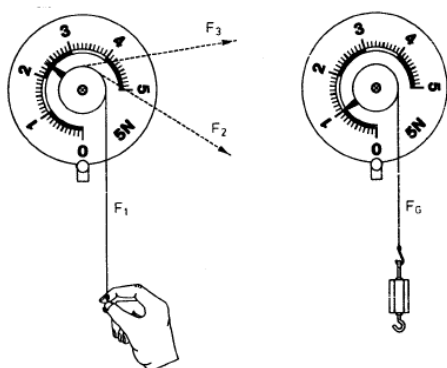


Fig. 1

Experiment procedure

- Perform by hand a gradually stronger force on the dynamometer.
- Let the force act in different directions.
- Finally hang the hooked weight, the friction block and the roller onto the dynamometer.

Result

Forces have different amounts and they can act in different directions. The weight is directed vertical to the ground. To describe a force the amount and the direction are needed.

2. Shifting of a force along the line of action

Required Components

- 1 Dynamometer
- 3 Hooked weights
- 1 Brass hook
- 3 Strings with nooses

Experimental set-up

- Position the dynamometer on the upper part of the magnetic board.
- Attach the three strings to the measuring point.

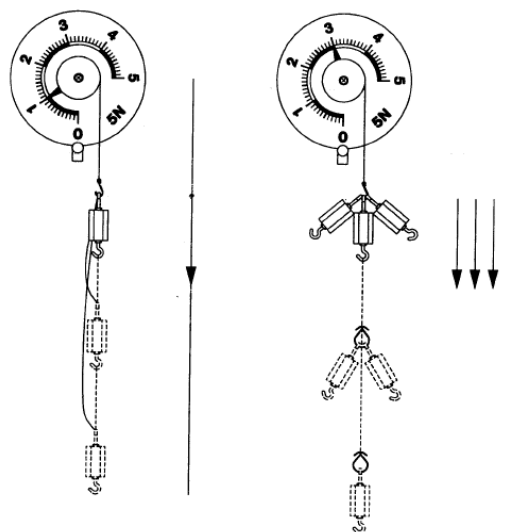


Fig. 2

Experiment procedure

- First attach one weight to the hook of the dynamometer and determine the force.
- Then hang this hooked weight to the lower from noose to noose.
- Next 3 hooked weights are attached to the dynamometer.
- Finally hang one and then the other two hooked weights to the lower nooses.
- Always determine the force.

Result

It is possible to shift a force along its line of action.

3. Hooke's law

Required Components

- 2 Coil springs
- 3 Hooked weights
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic scale

Experimental set-up

- Position the magnetic scale vertically on the board.
- Put the anchor post on the upper end.
- Attach the spring to the anchor post and secure it with the rubber grommet.

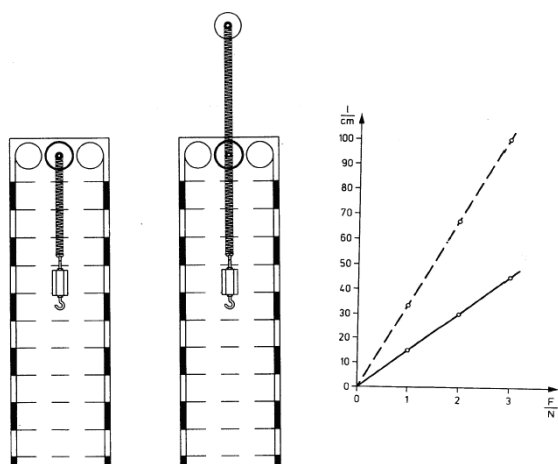


Fig. 3

Experiment procedure

- Mark the position of the lower end of the spring.
- Attach one hooked weight to the spring, measure the extension and enter it into the table.
- Next suspend two and three hooked weights from the spring and determine the respective change of length.
- Repeat the experiment with two springs hanging beneath each other. It is advisable to position the anchor post for the spring above the scale.
- Again, the respective change of length and the weights should be entered into the table.
- Plot the change of length as a function of the force.

Table

Weight of the hooked weight F_G in N	Change of length of one spring Δl in cm	Change of length of two springs Δl in cm
0		
1		
2		
3		

Result

The greater the force the longer is the extension. Hooke's law applies: $\Delta l \sim F$. The extension at a certain force is dependent on the property of the spring.

4. Combination of forces with common line of action

Required Components

- 1 Dynamometer
- 5 Hooked weights
- 2 Strings with nooses

Experimental set-up

- Position the dynamometer on the upper part of the board.
- Attach both strings with nooses to it.

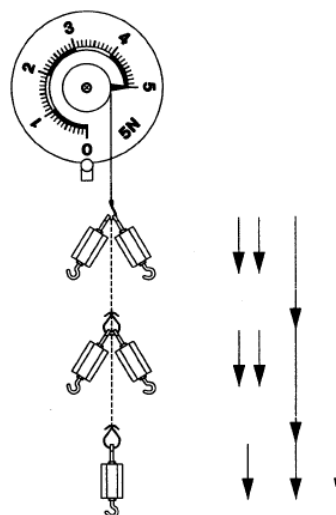


Fig. 4

Experiment procedure

- First attach one hooked weight to the dynamometer, then the others stepwise, alternatively to the dynamometer or to the strings.
- In all cases the forces shown must be read.

Result

If all forces act in one line of action, the total force equals the sum of the part forces. The direction of the total force is the same as that of the part forces.

5. Action equals reaction

Required Components

- 2 Dynamometers
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the two dynamometers next to each other on the magnetic board and attach the short string to the hooks. At first the string is not tightened.

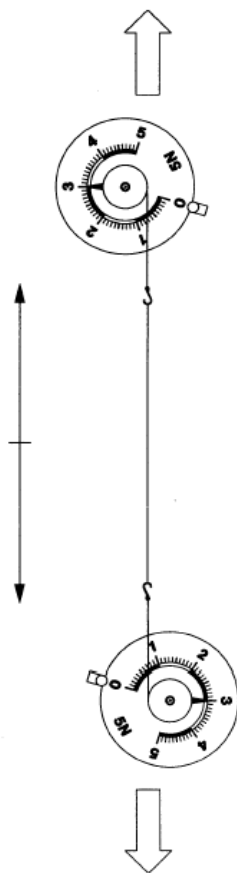


Fig. 5

Experiment procedure

- Shift the left dynamometer increasingly to the left.
- If the string is tight, each dynamometer shows a force. The forces increase with the movement of the dynamometer. They are equal in all cases.
- Return the left dynamometer to its starting point and gradually shift the right dynamometer outwards.

With the growing distance between the dynamometers always two equal forces arise.

Result

If a force acts on a body, the body reacts with a force of equal amount but opposite direction: action equals reaction.

6. Combination of forces of different line of actions – using dynamometer

Required Components

- 2 Dynamometers
- 1 Coil spring
- 1 Centre of gravity plate
- 3 Anchor posts
- 3 Rubber grommets
- 1 Hook
- 1 String with nooses

Experimental set-up

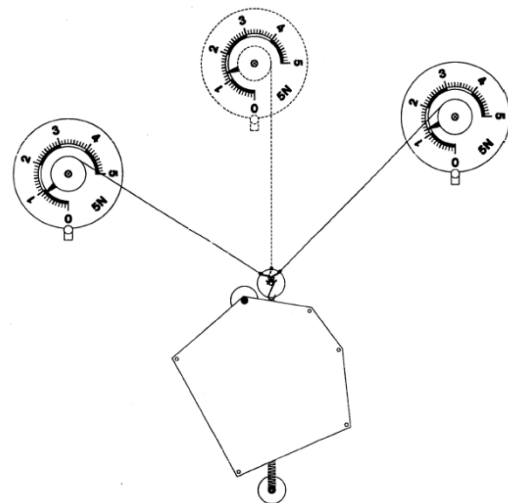


Fig. 6

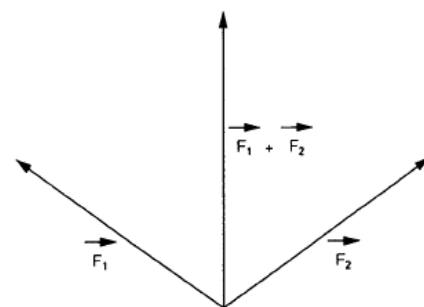


Fig. 6 a

- Position the two dynamometers on both sides of the upper half of the board and connect them with the string.
- Hang the hook with the coil spring on this string.

- Stretch the spring downwards and fix it in this position with the anchor post with rubber grommet.
- An additional anchor post must be positioned at the place where the hook is.
- Mount the centre of gravity plate in front of the coil spring on the third anchor post so that the spring is hidden and only the hook with anchor post is visible.

Experiment procedure

- Shift both dynamometers so that the hook does not touch the anchor post any more.
- In this position two forces act on the hook, which are in equilibrium with the force of the spring.
- Draw both forces of the dynamometers in direction and amount on the board.
 - Then remove one dynamometer from this set-up and attach the free noose to the measuring point of the remaining dynamometer.
 - Shift this dynamometer so that the hook does not touch the anchor post any more.

In this case the force exerted by the dynamometer has the same effect as the two single forces before.

- Draw amount and direction of this force onto the board.

It is represented by the diagonal in the parallelogram of forces.

Result

If two forces act on a body in different directions, they can be replaced by one single force. Amount and direction of this force can be determined from the diagonal of the parallelogram of forces.

7. Combination of forces of different line of actions – using hooked weights

Required Components

- 1 Dynamometer
- 1 Large pulley
- 1 Small pulley
- 6 Hooked weights
- 1 Coil spring
- 1 Centre of gravity plate
- 3 Anchor posts
- 3 Rubber grommets
- 1 Brass hook
- 1 String with nooses, long

Experimental set-up

- Position the two pulleys on both sides of the upper half of the board.
- Put the string over the pulleys and hang 2 hooked weights to it.
- Mount the spring in the lower part of the board on an anchor post with one grommet.
- Connect the other end of the spring with a hook to the string.
- Shift the anchor post downward until the wanted angle between the forces pointing diagonal upwards is reached.
- Next add an anchor post to the position of the hook. Take care that the hook does not touch the post.
- Mount the centre of gravity plate with an additional anchor post so that the spring is hidden and only the hook and the anchor post are visible.

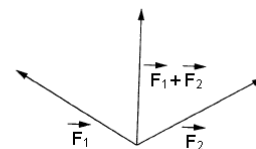
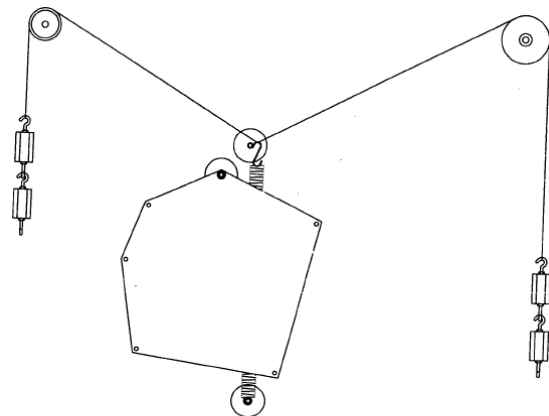


Fig. 7

Experiment procedure

Each of the hooked weights exerts a force on the hook so it remains in this position.

- Draw both forces on the board so that they represent the length and direction of the force vectors.

The objective is to replace these two forces by one force to achieve the same effect.

- Replace the string and the hooked weights with a dynamometer and shift it upwards respectively sideways until the hook floats free again in the same position as before.

The dynamometer exerts the same force onto the hook as the hooked weights did before.

- Draw amount and direction of the dynamometer force onto the board.

After removing the dynamometer, one can see that the resulting force is equal to the diagonals in the parallelogram of forces of the two single forces.

Result

If two forces act on a body in different directions, they can be replaced by one single force. The diagonal in the parallelogram of forces starting from the point of application of the two forces is equal in the amount and direction to the sum of the two single forces.

8. Resolution of a force into two components, perpendicular to each other

Required Components

- 2 Dynamometers
- 5 Hooked weights
- 1 Pulley
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Brass hook
- 2 Strings with nooses

Experimental set-up

- Position one dynamometer in the middle of the left part of the board and the other one in the middle of the upper part.

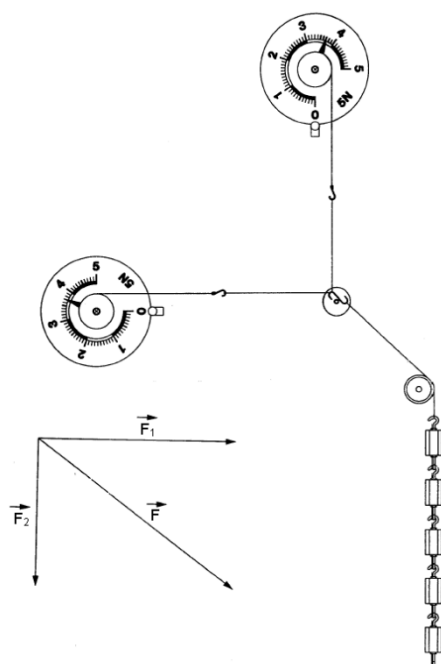


Fig. 8

- Connect these with a short string with nooses.
- Hang the brass hook on this string and add another string to the hook.
- Hang the 5 hooked weights into the free noose and put the string over a pulley so that it pulls diagonally downward.
- Change the position of the upper dynamometer so that the two forces originating from the dynamometers are at a right angle.
- Add the anchor post to the position of the brass hook. Take care that the hook does not touch the post.

Experiment procedure

The hooked weights exert a force on the brass hook, pointing diagonally downward. This force can be resolved into two perpendicular components. One force acts vertically the other horizontal. Both forces shown on the dynamometer are the counterpoises to the two components of the resolved force.

- Draw first the amount and direction of the diagonal downward directed force F of the hooked weights into the parallelogram of forces.
- From the starting point of this force a horizontal and a vertical line are then drawn.
- Now construct the parallelogram so that the force exerted by the hooked weights is the diagonal in the rectangle.

The amounts of both part forces starting from the point of application can be read from the parallelogram. These amounts correspond to those shown on the dynamometers. The direction of the part forces acting on the dynamometers is opposite though to these part forces since these are the counterpoises.

Result

Each force can be resolved into two forces perpendicular to each other. The amounts of those part forces correspond to the lengths of the two sides of the rectangle, where the resolved force forms the diagonal. Each of the part forces is smaller than the resolved one.

9. Resolution of a force into two parallel components

Required Components

- 2 Dynamometers
- 1 Lever
- 4 Hooked weights

Experimental set-up

- Positioning both dynamometers on the right and left part of the magnetic board at the same height.
- Attach the lever to the dynamometers so that the points of application of the force lie in each case in the last outside hole of the lever.
- Now change the positions of the dynamometers so that the forces act vertically upwards and the lever hangs horizontally.

The deflections on the dynamometers caused by the weight of the lever can be corrected by turning the scale disc.

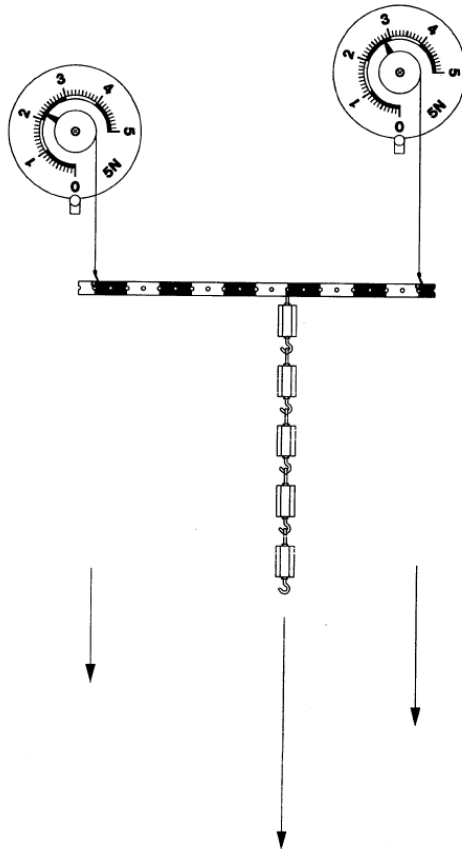


Fig. 9

Experiment procedure

- First determine the (equal) weight shown on both dynamometers.
- Then attach all 4 hooked weights in the middle of the lever and determine the part forces shown on the dynamometers.
- Then move the point of application gradually outwards and determine the part forces. Before reading, it is necessary to adjust the position of the dynamometers so that the lever is horizontal again.
- Enter the part forces F_1 and F_2 and the distances a_1 and a_2 into the table.

The sum of the part forces displayed on the dynamometers is equal to the weight of the hooked weights.

Table

Force F_1 in N	Force F_2 in N	Distance a_1 in cm	Distance a_2 in cm

Result

A force can be resolved into two part forces that act parallel to it. Thereby the sum of the amounts of the part forces is equal to the amount of the total force. The part forces act reciprocally to the distances of the points of application of the part forces from the point of application of the total force.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

10. Gravity lines and centre of gravity of a plastic plate

Required Components

- 1 Centre of gravity plate
- 1 Plumb
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet

Experimental set-up

- Position the anchor post in the middle of the upper half of the board and attach the plate to it at any of the drill holes.
- Mount the plumb on the anchor post and secure it with the rubber grommet.

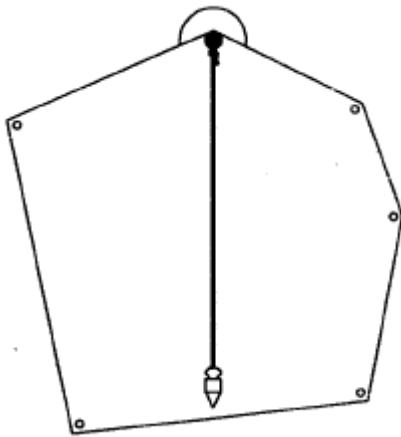


Fig. 10

Experiment procedure

- Draw a thin line with a pencil along the plumb line.
- Then attach the centre of gravity plate at one of the other drill holes, mount the plumb on the anchor post and draw another pencil line along the plumb line.
- Proceed in the same way with the other holes of the plate.

Result

All so-called gravity lines intersect in the same point. This is the centre of gravity of the plastic plate.

- To prove this dismount the plate from the anchor post, bring it in a horizontal position and balance it in the centre of gravity on a pointed pencil.

The plate does not change its position.

Notes

In the strict sense the centre of gravity is in the inner part of the plate. Therefore, the balanced plate does not stay at rest in every position.

11. States of equilibrium of a hanging body

Required Components

- 1 Lever
- 1 Steel rod, threaded
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet

Experimental set-up

- Position the anchor post in the middle of the upper half of the board and attach the lever at its middle hole and secure it with the rubber grommet.



Fig. 11

Experiment procedure

- Bring the lever in different positions and release it.
- Then mount the steel rod pointing downwards in the middle part of the lever.
- Bring the lever again in different positions and release it – with the steel rod hanging below the fulcrum.
- Finally turn the lever 180° so that the steel rod points vertically upwards.
- Release the lever also in this position.

Result

In the first case the lever is in a state of neutral equilibrium. It will stay at rest in every position it is brought to.

In the second case the lever is in a state of stable equilibrium. Moving the lever from this state, it will always return to it.

In the third case the lever is in a state of unstable equilibrium. It will stay in this position only for a short time. Any small deviation from this position will bring it into its state of stable equilibrium.

12. States of equilibrium – centre of gravity outside the lever

Required Components

- 1 Lever
- 1 Steel rod, threaded
- 1 Counterweight with knurled screw
- 1 Plumb line
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet

Experimental set-up

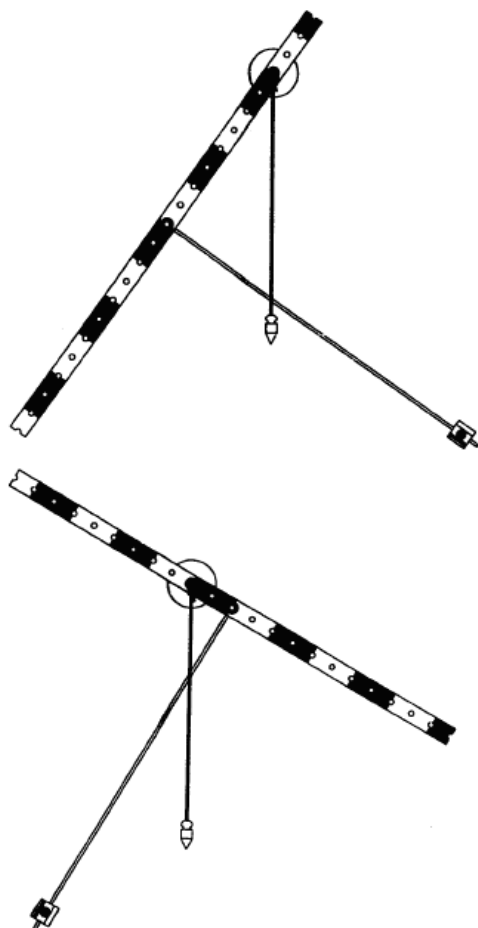


Fig. 12

- Screw the steel rod in the middle of the lever.
- Mount the counterweight with the knurled screw near the lower end of the rod.

- Position the anchor post in the middle of the upper half on the board and attach the plumb at the base plate of the anchor post.
- Put the lever on the anchor post at any hole and lock it with the rubber grommet.

Experiment procedure

- Mark the point where the plumb line intersects the rod e.g. with a piece of tape.
- Then attach the lever at another hole to the anchor post and determine the point of intersection of the plumb line and the rod.
- Repeat the experiment with two other holes on the other side of the lever from the view-point of the rod.
- Finally remove the lever and the plumb from the anchor post and balance the rod on a fingertip at the marked point.

Result

In all cases the point of intersection of the plumb line and the rod is in the same position. This point lies outside the lever. It is the centre of gravity of this set-up.

13. Equilibrium of forces at the two-sided lever

Required Components

- 6 Hooked weights
- 1 Lever
- 1 Steel rod, threaded
- 1 Counterweight with knurled screw
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic triangle

Experimental set-up

- Position the anchor post in the middle of the upper half of the board, attach the lever at its middle hole to the anchor post and secure it with the rubber grommet against sliding down.
- Screw the rod into the lever below the anchor post and fix the counterweight with knurled screw in the middle of the rod.

The higher the position of the counter mass is mounted the higher is the sensitivity of the lever.

- Mark the fulcrum of the lever with the magnetic triangle.

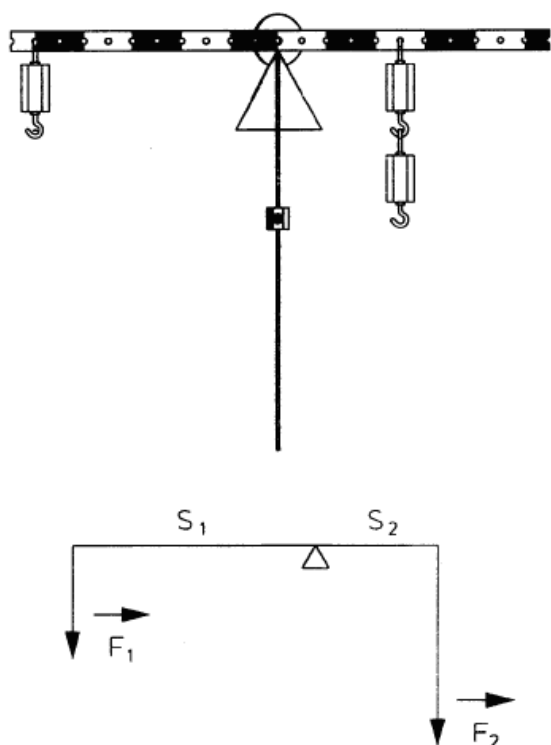


Fig. 13

Experiment procedure

- Hang one hooked weight in the left outer hole.
- Then choose the hole on the right side of the lever, where a hooked weight must be attached so that the lever is in equilibrium.
- The points on which the forces act upon can be marked with the arrows.
- The distances between the two points of application and the fulcrum must be measured and entered into the table, as well as the weight of the two hooked weights.
- After that hang a second hooked weight on the right one and look for the hole to reach equilibrium again.
- Enter the forces and the distances into the table.
- Now hang the left hooked weight two holes inwards (8th hole from the fulcrum).
- To establish equilibrium again, put first one, then two and finally four hooked weights in the appropriate position on the right side.
- Enter the lengths of the lever arms and amounts of forces into the table.

Table

Left lever arm s_1 in cm	Force acting on the left side F_1 in N	Right lever arm s_2 in cm	Force acting on the right side F_2 in N	$F_1 \cdot s_1$ in Ncm	$F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Result

The further away from the fulcrum of a lever the force acts the smaller it must be to establish equilibrium. For the mathematical analysis form the product of the force and the length of the lever arm for both sides of the lever (last two columns of the table).

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

applies.

14. Equilibrium of forces at the one-sided lever

Required Components

- 1 Dynamometer
- 6 Hooked weights
- 1 Lever
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic triangle

Experimental set-up

- Position the anchor post in the middle of the upper half of the magnetic board. Mount the lever (last hole on the left side) on the anchor post and hang the measuring part of the dynamometer into the last hole on the right side.
- Position the dynamometer in such a way to the board that the lever gets in a horizontal position and the action line of the force runs perpendicular downwards.

The deflection on the dynamometer caused by the own weight of the lever can be corrected by turning the scale disc so that the pointer is on zero.

- Mark the fulcrum of the lever with the triangle.

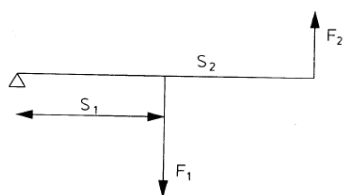
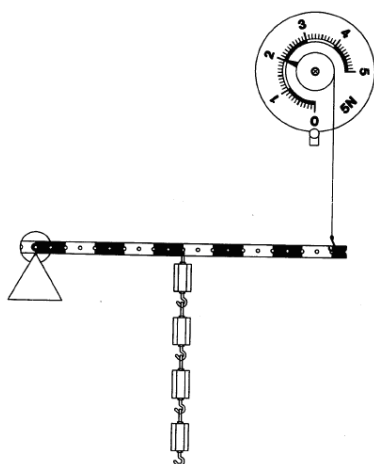


Fig. 14

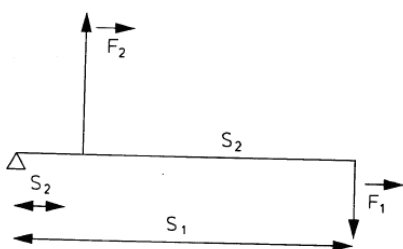
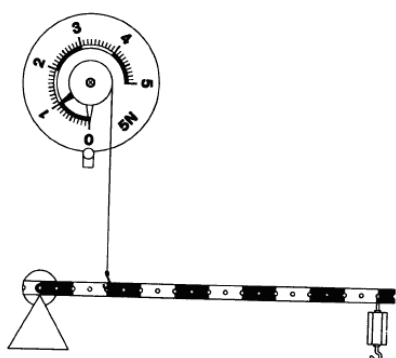


Fig. 14 a

Experiment procedure

- Attach 4 hooked weights to each other and hang them to the lever at a position about half the length of the lever.
- Enter the lengths of the lever arms and the values of the forces into the table.
- First hang the hooked weights in a hole near the fulcrum then to a hole further away. Again, enter the physical quantities into the table.

- Detach the dynamometer from the lever and hang it in the 4th hole counted from the fulcrum.
- Adjust the dynamometer so that the lever is horizontal and the action line perpendicular upwards.
- Perform a zero-point calibration of the dynamometer again.
- Now attach one hooked weight successively at three positions to the right from the measuring point of the force.
- Enter the measured physical quantities into the table.

Table

Lever arm s_1 in cm	Force acting down- wards F_1 in N	Lever arm s_2 in cm	Force acting up- wards F_2 in N	$F_1 \cdot s_1$ in Ncm	$F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Result

The greater the distance is between the point of application of the force and the fulcrum the smaller is the force to establish equilibrium.

For the mathematical analysis form the products of the lengths of the lever arms and the respective forces (last two columns of the table). For the one-side lever

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

applies.

15. Torque

Required Components

- 2 Dynamometers
- 1 Lever
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic triangle

Experimental set-up

- Position the anchor post in the middle of the magnetic board.
- Mount the lever with its middle hole on the anchor post and secure it with the rubber grommet against sliding down.
- Put one dynamometer above the right arm of the lever and the other one below the lever.
- Mark the fulcrum of the lever with the triangle.

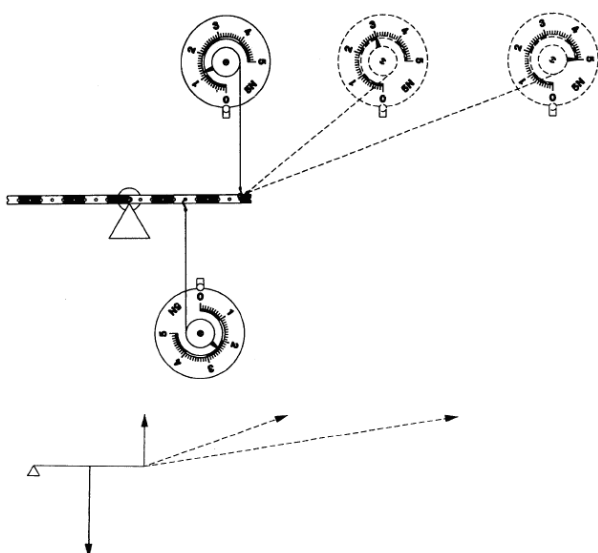


Fig. 15

Experiment procedure

- First hook the measuring point of the upper dynamometer in the last hole of the lever.
- Connect the lower dynamometer to the 5th hole from the fulcrum.
- Change the positions of the dynamometers so that the lever is in a horizontal position and the strings point perpendicularly up- resp. downward.
- While doing this, set on one dynamometer a force of a few Newtons.
- Enter the respective distances between the points of application of the forces and the fulcrum of the lever and the corresponding forces into the table.
- Then first vary the point of application of the lower dynamometer twice, finally also the point of application of the upper dynamometer.
- In all cases adjust the lever to a horizontal position and pay attention to the forces acting perpendicularly.
- Enter again the distances from the fulcrum and the corresponding forces into the table.
- Finally change the position of the lower dynamometer in such a way that the direction of the force deviates increasingly from the perpendicular. Take care to keep the lever in a horizontal position.

Table

Distance F_1 to ful- crum s_1 in cm	Force 1 F_1 in N	Distance F_2 to ful- crum s_2 in cm	Force 2 F_2 in N	Torque 1 $F_1 \cdot s_1$ in Ncm	Torque 2 $F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Result

To describe the equilibrium of a pivoted body the torque can be used. It is the product of the distance from the point of application of the force to the fulcrum and the perpendicular acting force. In case of equilibrium the amount of the right-turning torque is equal to the amount of the left-turning torque.

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

applies.

The more the force deviates from the direction perpendicular to the lever, the stronger it must be to keep the system in equilibrium. This result shows, that it is appropriate to define the torque as the product of the distance from the point of application of the force to the fulcrum and the force acting perpendicular to it. The more the force deviates from this direction, the greater its amount must be so that the torque will be the same.

16. Forces at the fixed pulley

Required Components

- 6 Hooked weights
- 1 Large pulley
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic scale
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the magnetic scale vertically on the board.
- Mount the big pulley in the middle of the upper end of the scale.
- Put the string over the pulley and hang one hooked weight in each noose.

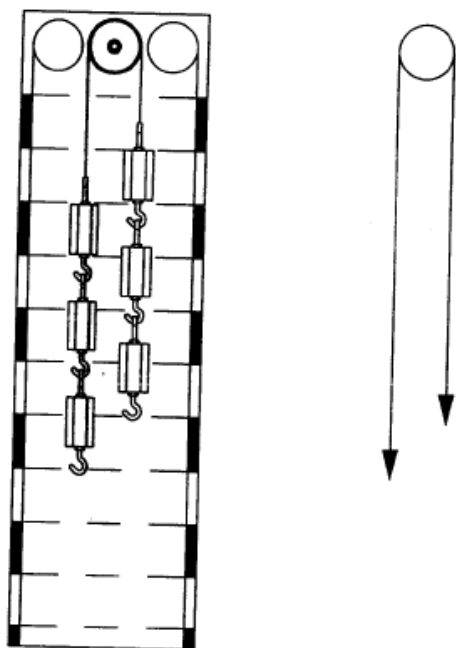


Fig. 16

Experiment procedure

- Raise the number of the hooked weights first to two then to three.
- In all cases bring the hooked weights in different positions and observe the behaviour of the whole set-up.

Result

Equilibrium is obtained when the same force is acting on both sides of the fixed pulley.

17. Forces at the loose pulley

Required Components

- 1 Dynamometer
- 1 Large pulley
- 1 Double pulley block
- 6 Hooked weights
- 1 Counterweight with knurled screw
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic scale
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the magnetic scale vertically on the board.
- Mount the anchor post in the middle of the upper half of the scale.
- Put the large pulley close above.
- Attach one noose of the string to the anchor post and secure it with the rubber grommet.

- Hang the movable block with two pulleys on the string and let it run upwards over the fixed pulley at the upper end of the magnetic scale.
- Attach one hooked weight in the noose at the end of the string and two hooked weights to the movable block.
- To compensate the weight of the movable block also attach the counterweight with knurled screw to the hooked weight and add some plasticine if needed.

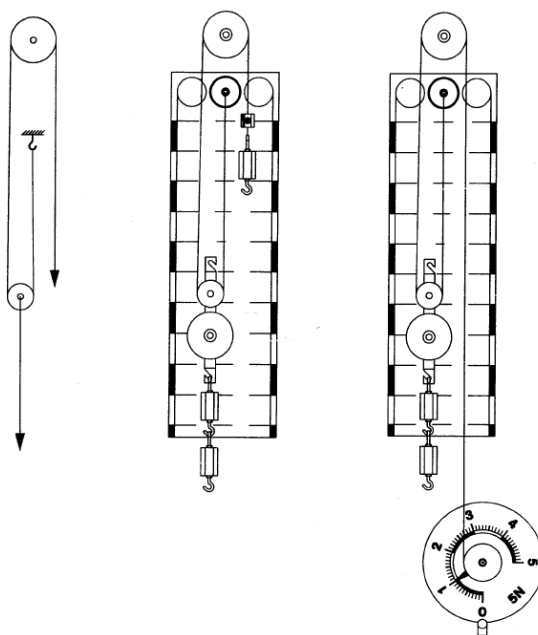


Fig. 17

Fig. 17 a

Fig. 17 b

Experiment procedure 1

- Move the hooked weight along the magnetic scale into different positions and release it.
- Then attach a second hooked weight to the movable block and more hooked weights to the noose to obtain the state of equilibrium.

Experiment procedure 2

- Replace of the hooked weight with a dynamometer and attach its measuring point to the noose where the hooked weight and the counterweight with knurled screw were hanging before.
- Remove the hooked weights from the movable block.
- First perform a zero-point calibration of the dynamometer by turning its scale disc to compensate the weight of the block.
- Then attach the hooked weights one after the other to the movable block and determine the respective forces shown on the dynamometer.

Result

The loose pulley is in a state of equilibrium when the force on the string is half of the force on the pulley.

Note

To perform the experiment, it is advisable to remove the large pulley from the block for reasons of clarity and to reduce the weight of the block.

18. Forces at the block and tackle

Required Components

- 6 Hooked weights
- 1 Small pulley
- 1 Large pulley
- 1 Double pulley block
- 1 Counterweight with knurled screw
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic scale
- 1 Long string with nooses

Experimental set-up

- Position the magnetic scale vertically on the board.
- Mount the large pulley above the scale, the small pulley below the large one and further below the anchor post.
- Attach one noose of the string to the anchor post and secure it with the rubber grommet.
- Pass the string over the small pulley of the movable block, with the small pulley pointing upwards.
- Pass the string further up over the small pulley, then down again over the large pulley of the movable block and finally up over the large pulley.
- Attach the counterweight with knurled screw and if needed some plasticine to compensate the weight of the movable block.

Experiment procedure

- Attach a hooked weight to the free noose.
- Hang as many hooked weights to the movable block as needed to obtain a state of equilibrium of the block and tackle system.

By moving the block up and down you can check if the block and tackle is in equilibrium in every position.

Result

The block and tackle with 4 pulleys is in a state of equilibrium when the force at the block is 4 times bigger than the force at the end of the string.

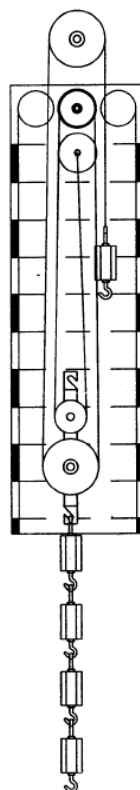


Fig. 18 a

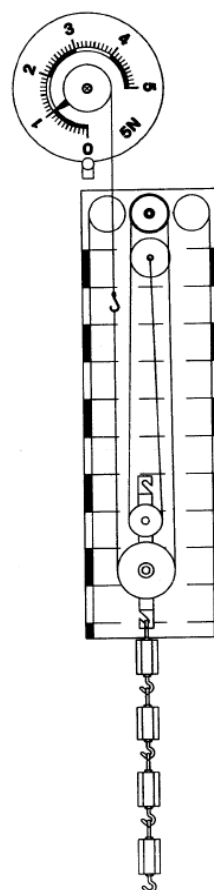


Fig. 18 b

Notes

Instead of the upper large pulley a dynamometer can be used (Fig. 18b). It should be positioned at about the same place as the large pulley on the upper end of the magnetic board. In this case the weight of the movable block must be compensated by a zero-point calibration of the dynamometer. With the attachment of each additional hooked weight the force shown increases by 0.25 N.

19. Forces at the inclined plane – study with the dynamometer

Required Components

- 1 Dynamometer
- 1 Inclined plane
- 1 Hooked roller
- 1 Lever
- 2 Anchor posts
- 1 Plumb line
- 2 Rubber grommets
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the inclined plane on the magnetic board and attach the plumb to the upper part of the protractor.
- Adjust the angle to the horizontal first to 10° .
- Put the hooked roller on the surface so that it is close to the board.
- Hang the roller in one noose of the string, which runs over the pulley vertically downwards to the dynamometer.
- Position the lever horizontally underneath the inclined plane on two anchor posts in the 5th and 10th holes from the left lower end of the inclined plane and secure it with rubber grommets.

In this way the height of the inclined plane can be determined as the vertical distance from the horizontal lever to the right lower end of the inclined plane.

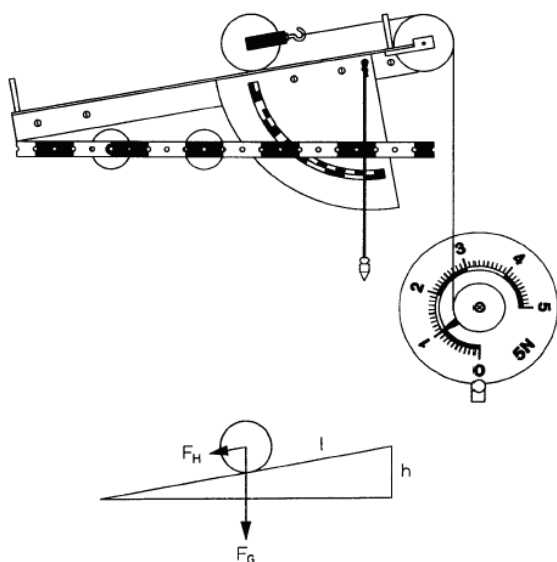


Fig. 19

Experiment procedure

- Gradually increase the angle between the inclined plane and the horizontal from 10° to 40° .
- Measure the heights of the inclined plane and the corresponding parallel forces shown on the dynamometer and enter the values into the table.

Table

Height h in cm	Length l in cm	Parallel force F_H in N	Weight of roller F_G in N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Result

The more the height of the inclined plane is increased the greater is the parallel force. For the mathematical analysis form the quotients of the parallel force F_H and the weight F_G as well as of height h and length l of the inclined plane (last two columns of the table). The comparison of the quotients shows that

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

applies.

Notes

1. The string between the roller and the dynamometer can run horizontally behind the pulley or at any other angle. The only requirement is that it should run parallel to the inclined plane near the roller. The set-up is very clear when the string runs parallel to the inclined plane from the roller to the dynamometer. However, with every change of the angle the position of the dynamometer must be changed too.
2. The state of equilibrium on the inclined plane can be obtained by attaching weights of the same amount as the parallel force to the end of the string instead of the dynamometer.
3. If the mathematical preconditions are fulfilled, the angle can be used in the analysis instead of the height and the length

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha.$$

20. Forces at an inclined plane – study with the hooked weights

Required Components

- 1 Inclined plane
- 1 Hooked roller
- 4 Hooked weights
- 1 Lever
- 2 Anchor posts
- 1 Plumb line
- 2 Rubber grommets
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the inclined plane on the magnetic board and attach the plumb to the upper part of the protractor.
- First mount the inclined plane in horizontal position.
- Put the hooked roller on the surface so that it is close to the board.
- Hang the roller in one noose of the string, which runs over the pulley vertically downwards.
- Position the lever horizontally underneath the inclined plane on two anchor posts in the 5th and 10th holes from the left lower end of the inclined plane and secure it with rubber grommets.

In this way the height of the inclined plane can be determined as the vertical distance from the horizontal lever to the right lower end of the inclined plane.

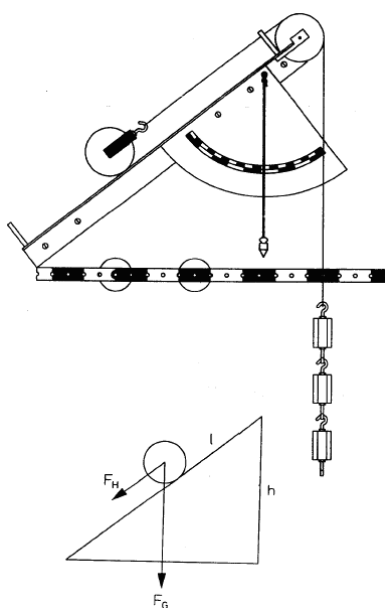


Fig. 20

Experiment procedure

- Attach one hooked weight to the second noose of the string.
- Hold the hooked roller first and increase the angle of the inclined plane so that the hooked weight compensates the parallel force of the hooked roller.
- Measure the height of the inclined plane and enter it with the length of the plane, the weight of the hooked roller and that of the downhill slope force into the table.
- After that, attach two hooked weights to the noose and increase the angle till the weight of the hooked weights compensates the parallel force of the hooked roller.
- Repeat the experiment with 3 and 4 hooked weights.

Table

Height h in cm	Length l in cm	Parallel force F_H in N	Weight of hooked roller F_G in N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Result

The more the height of the inclined plane is increased the greater is the parallel force.

For the mathematical analysis form the quotients of the parallel force F_H and the weight F_G as well as of height h and length l of the inclined plane (last two columns of the table). The quotients are equal.

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

applies.

Notes

Instead of the hooked weights a very light and small weight pan can be used. Then the inclined plane can be set at any given angle. The parallel force can be determined by putting weights on the pan.

21. Dynamic friction - study with the dynamometer

Required Components

- 1 Dynamometer
- 1 Inclined plane
- 1 Aluminium friction block with two hooks
- 6 Hooked weights
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the inclined plane horizontally on the left side of the magnetic board.
- Put the friction block on the left end of the inclined plane with the largest side face down.
- Attach the string with nooses to one hook. The string should run parallel to the inclined plane over the fixed pulley.
- Connect the second noose to the measuring point of the dynamometer.

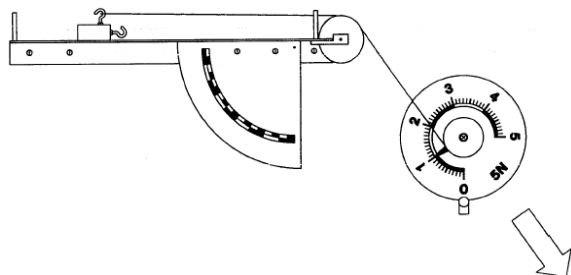


Fig. 21

Experiment procedure

- Shift the dynamometer slowly horizontally resp. diagonally downwards so that the friction block moves in a steady way.
- During this movement, read the friction force from the dynamometer.
- Next put the block on its smaller side with the same surface texture and repeat the experiment.

By putting hooked weights on the block, the effective weight can be increased gradually.

- After that put sheets of different materials on the inclined plane (e.g. wood, paper, plastic) and repeat the experiments in the same way.

Result

The dynamic friction is dependent on the characteristics of the two materials sliding on each other. It increases proportionally with the weight of the sliding body. It is independent from size of the sliding area.

Notes

The dynamic friction coefficient can be determined by forming the quotient of the dynamic friction force and the weight of the block. One narrow side of the block is coated with a rubber layer. The comparison of the forces of the equally large friction surfaces with different textures shows particularly clearly the dependence of the friction on the kind of materials sliding one on the other.

22. Dynamic friction - study with weights

Required Components

- 1 Inclined plane
- 1 Aluminium friction block with 2 hooks
- 2 Hooked weights
- 1 Plumb line
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the inclined plane slightly tilted on the upper part of the magnetic board.
- Attach the plumb to the upper part of the protractor.
- Put the friction block on the left end of the inclined plane with the largest side face down.
- Attach the string with nooses to one hook. The string should run parallel to the inclined plane over the fixed pulley.
- Attach a hooked weight to the free noose of the string.

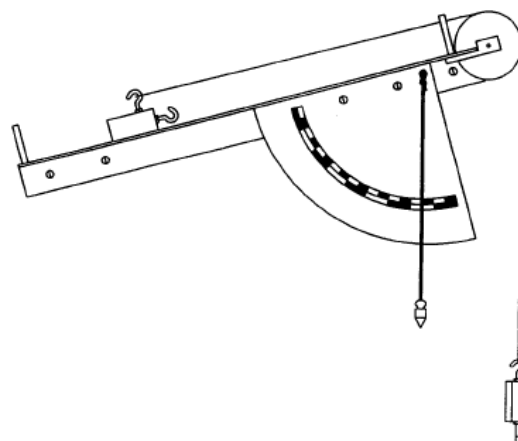


Fig. 22

Experiment procedure

- Decrease the slope of the plane so that the friction block slides with constant speed after a slight push.
- As a measure of the needed force the slope of the plane must be determined.
- Repeat the experiment in the same way after putting the block on one of its smaller sides. Finally increase the force with which the block is pressing onto the inclined plane by gradually putting hooked weights on it.
- Repeat the experiments after putting sheets of different materials (e.g. wood, paper, plastic) on the inclined plane.

Result

The dynamic friction increases proportionally with the weight of the sliding body. It depends on the characteristics of the two materials sliding on each other. The dynamic friction is independent from the size of the sliding area.

Notes

1. The force of dynamic friction can be determined by finding out how flat the slope should be so that the hooked weight pulls the block up the plane. It can also be determined by setting the plane gradually steeper and measure the angle at which the friction block pulls the hooked weight upwards.
2. It is also possible to do the experiment without the string and the hooked weight. Put the block on the upper end of the inclined plane and increase its slope until the block, after a slight push, slides down the plane at a constant speed.
3. By changing the slope of the inclined plane, the force with which the body presses perpendicular to the surface changes too. Only in the case of a horizontal plane is it equal to the weight. This force decreases with an increase of the slope. For analysis though it is assumed that the force is constant. Therefore, in this experiment only an estimation of the dependence of the friction force is carried out.

23. Static friction

Required Components

- 1 Dynamometer
- 1 Inclined plane
- 1 Aluminium friction block with 2 hooks
- 6 Hooked weights
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the inclined plane horizontally on the left side in the upper half of the board.
- Put the friction block on the left end of the inclined plane.
- Attach the string to one of the hooks and let it run over the fixed pulley so that it is nearly parallel to the inclined plane.
- Attach the other end of the string to the measuring point of the dynamometer.

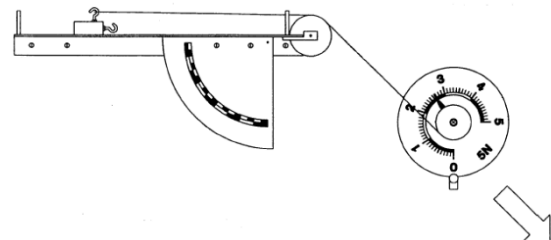


Fig. 23

Experiment procedure

- Shift the dynamometer slowly diagonally to the right downward. Thereby determine the force which is needed to actuate the friction block.
- Repeat the experiment after putting the block on one of its small sides.
- Finally put sheets of different materials (e.g. wood, metal, paper, plastic) on the surface and repeat the experiment.
- After that gradually load the friction block with hooked weights and determine the respective forces for actuation.

Result

The static friction is dependent on the kind of surfaces sliding on each other. It increases proportional to the force of the pressure. At constant pressure the static friction is the higher the larger the sliding surface is.

In all cases the static friction is higher than the dynamic friction determined in experiment 21.

Notes

Instead of the dynamometer a hooked weight can be attached to the string. Conclusions about the amount of the frictional force are possible by tilting the inclined plane (cf. experiment 21). The experiment can be done without the string by increasing the slope of the inclined plane to such an extent that the friction block just starts to move. Refer to note 3 of experiment 22.

24. Roll friction

Required Components

- 1 Dynamometer
- 1 Inclined plane
- 1 Hooked roller
- 1 Aluminium friction block with 2 hooks
- 3 Hooked weights
- 1 String with nooses

Experimental set-up

- Position the inclined plane horizontally in the left upper part of the magnetic board.
- Put the hooked roller on the left end of the inclined plane and attach one end of the string to it.
- Run the string over the fixed pulley and attach it to the dynamometer, which is on the right side below the inclined plane.

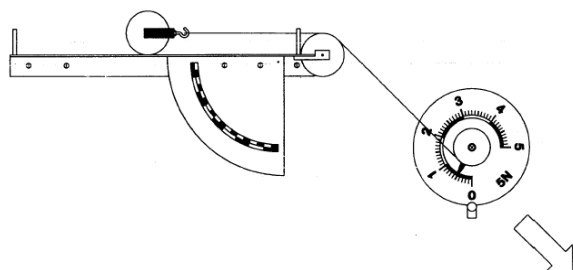


Fig. 24

Experiment procedure

- Shift the dynamometer slowly to the right downward. Thereby determine the force which is needed to keep the hooked roller moving.
- Then replace the hooked roller with the block loaded with three hooked weights. Its weight equals that of the hooked roller.
- With this procedure determine the force, which is needed to keep the block moving at a constant speed.

Result

Compared to dynamic and static friction the roll friction is much smaller.

25. Period length of a string pendulum

Required Components

- 3 Hooked weights
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Brass clip
- 1 Magnetic scale
- 1 String with nooses, long
- 1 Stopwatch

Experimental set-up

- Position the magnetic scale vertically on the board.
- Mount the anchor post with a rubber grommet on the middle circle on the upper end of the scale.
- Put the brass clip over the anchor post.
- Hook the nooses of the string onto each end and hang one hooked weight on the string.

The length can be read directly from the scale. The active upper end of the pendulum is in the middle of the brass clip at the beginning of the scale, the lower end in the middle of the weight.

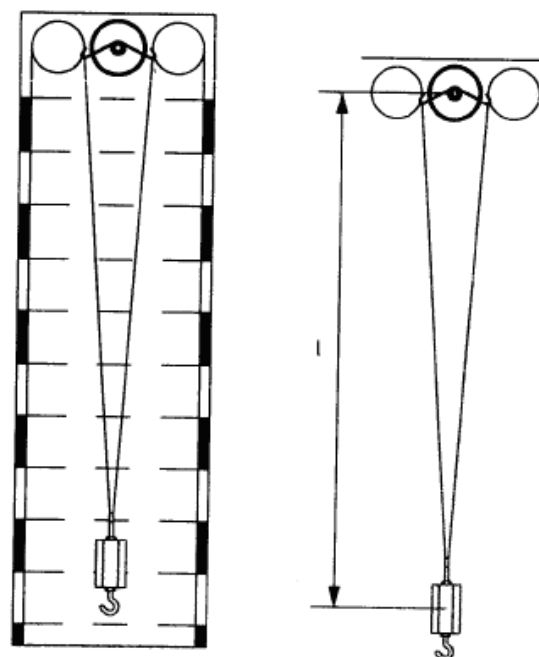


Fig. 25

Experiment procedure 1

Relation between period length and mass of the string pendulum

- Deflect the weight to the edge of the scale and release it.
- Determine the time for 10 periods with the stopwatch and enter it into the table.

- Then instead of one hooked weight attach two, finally three hooked weights next to each other on the string.
- Determine the time for 10 periods for each case. Repeat the experiments with a different pendulum length (string of another length).

Table

Length / in cm	Mass <i>m</i> in g	Time of 10 periods <i>t</i> in s	Period length <i>T</i> in s

Result

The period length of a string pendulum is not dependent on the mass.

Experiment procedure 2

Relation between period length and pendulum length

The pendulum mass is a hooked weight.

- The pendulum length should be about 50 cm.
- Deflect the hooked weight to the edge of the scale and release it. Determine the time for 10 periods and enter it to the table.
- Decrease the pendulum length to 40 cm and attach the string with an easily detachable noose to the one side of the brass clip.
- Determine the time of 10 periods again and enter it to the table.
- Then decrease the pendulum length gradually.
- Calculate the period length from the time for 10 periods.
- Finally calculate the square of the period length and enter it into the last column of the table.

Table

Length / in cm	Time of 10 periods <i>t</i> in s	Period length <i>T</i> in s	Square of period length <i>T</i> ² in s ²

Result

The longer the pendulum the longer the period is. $T^2 \sim l$ applies.

Notes

1. In the first experiment the centre of gravity shifts slightly upwards because two or more hooked weights are hanging next to each other. To make sure that the pendulum length stays unchanged from experiment to experiment put a small piece of wire if necessary (e.g. paperclip) between string and pendulum body.

2. The second experiment can be used to confirm the equation for the period time of a string pendulum

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Using the pendulum length l and the acceleration of fall g the period length can be determined. For each part experiment it is equal to the measured period length.

26. Spring oscillator

Required Components

- 3 Hooked weights
- 3 Springs
- 1 Anchor post
- 1 Rubber grommet
- 1 Magnetic scale
- 1 Stopwatch

Experimental set-up

- Position the magnetic scale vertically on the board and attach the anchor post to the upper end.
- Add the spring and secure it with the rubber grommet.
- Hang a hooked weight to the lower end of the spring.

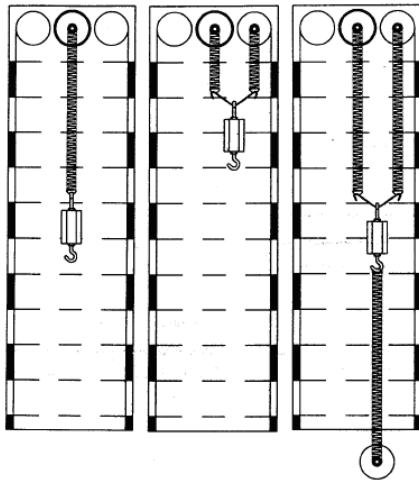


Fig. 26 a

Fig. 26 b

Experiment procedure 1

Relation between period length and mass of the spring oscillator

- Move the hooked weight about 5 cm vertically downwards and release it.
- Determine the time for 10 periods with the stopwatch and enter it into the table.
- Then attach consecutively 2 and 3 hooked weights to the spring.
- Enter the times for 10 periods into the table.
- Plot the square of the period length as a function of the mass.

Table

Mass m in g	Time of 10 periods t in s	Period length T in s	Square of period length T^2 in s ²

Result

The period length of spring oscillators increases with mass.

$$T^2 \sim m$$

applies.

Experiment procedure 2

Relation between period length and spring constant

- First hang one spring on the anchor post and determine the position of the lower end.
- Then attach one hooked weight to the spring and determine the extension.
- After that, suspend two springs hanging below each other from the anchor post and again determine their extension by hanging one hooked weight on them.
- Repeat the experiment with 3 springs.
- Form the quotient of expansion and the acting force for all three cases and enter them into the table.
- In the case of one spring with hooked weight the extension is about 5 cm. Release it and determine the time for 10 periods.
- Repeat the experiment with the other two set-ups (2 and 3 springs).
- Enter the times into the table.
- Plot the square of the period length as a function of the quotient of the extension and the force.

Table

Number of spring s	Force F in N	Spring con- stant k in N/cm	Time of 10 peri- ods t in s	Pe- riod len- gth T in s	Exten- sion / in cm
1	100				
2	100				
3	100				

Result

The quotient of force and expansion of a spring characterises its stiffness (spring constant $k = \frac{F}{l}$). The larger the spring is constant the shorter the period length.

$$T^2 \sim \frac{l}{k}$$

applies.

Notes

1. With an exact determination of the proportionality between T^2 and l/k the weight of the springs and the corresponding extension are to be considered.

2. In experiment 2 a few springs can be set up next to each other. This decreases the spring constant. This set-up can easily be achieved by attaching two anchor posts next to each other where each one of the springs is suspended.

Connect the lower end of both springs with the brass clip, where you can attach the hooked weights (refer to figure 26 a).

3. Both experiments can be used to confirm the equation for the period length of a spring oscillator

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

In this case enter mass m and spring constant k into the equation and calculate the period length. For each part experiment it is equal to the measured period length.

4. The spring constant can be changed by hanging a coil spring to the lower hook of the hooked weight and attaching its lower end to an additional anchor post (refer to figure 26 b).

27. Resonance of two spring oscillators

Required Components

- 4 Hooked weights
- 1 Lever
- 2 Coil springs
- 2 Anchor posts
- 2 Rubber grommets
- 1 Magnetic scale
- 2 Brass hooks

Experimental set-up

- Position the magnetic scale vertically on the board and attach the anchor posts on the left and right side in the height of the upper end of the scale.
- Secure them with rubber grommets and put the lever over them in a way that almost the whole length of the lever can be used.
- Using the brass hooks hang the two coil springs loaded each with two hooked weights in the middle of the lever with a distance of two holes between them.

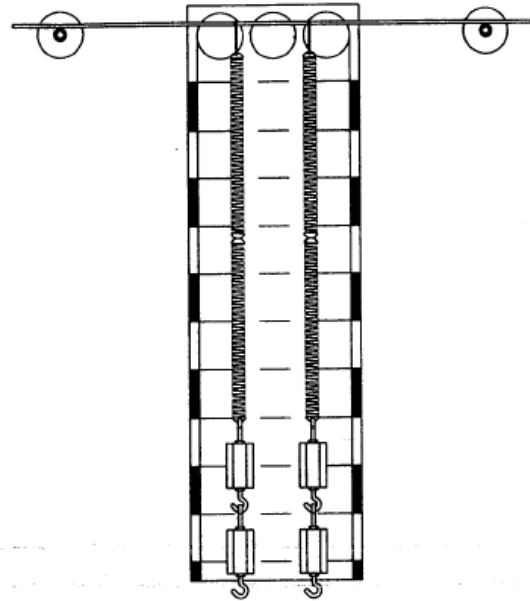


Fig. 27

Experiment procedure

- Move the lower end of one of the springs about 5 cm vertically downwards and release it.

During swinging this spring transmits its energy to the other oscillator, which starts to swing with steadily increasing amplitude.

Finally, the first oscillator comes to rest. Then the energy is transmitted back to the first oscillator.

Result

With coupled oscillators of the same natural frequency, repeated total energy transmission takes place from one oscillator to the other.

Mecánica en pizarra magnética 1000735

Manual de instrucciones

09/26 ALF/HJB



1. Descripción

El juego de montaje de mecánica y estática posibilita la ejecución de todos los experimentos básicos de esta área. La particularidad radica en que todos los montajes experimentales se realizan con piezas de experimentación provistas de discos magnéticos que se adhieren a un tablero de emplazamiento vertical. En este caso, los imanes robustos garantizan un sostén seguro de todas las piezas. La ventaja de esta técnica experimental consiste, por un lado, en que se prescinde del uso de todos los materiales de soporte y, por otro lado, en la fácil movilidad de todas las piezas de experimentación. De esta manera, es posible un rápido montaje del correspondiente arreglo experimental y un ajuste sencillo. La disposición vertical y el adecuado tamaño de todas las piezas permiten una clara visibilidad de todos los experimentos. Al prescindir del material de soporte se elimina su incómoda influencia. Además, el trabajo en el tablero magnético permite la rotulación directa del montaje experimental. Si es necesario, se puede inscribir un nombre para las piezas de montaje y, por otro lado, se pueden anotar en su correspondiente posición las respectivas magnitudes físicas que varían o se registran, como podría ser el caso de las longitudes y las fuerzas. Finalmente, aparte del arreglo experimental, se puede representar de manera directa un esbozo del experimento, que contenga el principio del montaje experimental. Este esbozo se puede dibujar antes de la realización del

montaje, de manera que la colocación de las piezas se lleve a cabo en base al esbozo. Éste también se puede desarrollar después del montaje experimental, con lo cual se podrían poner de relieve las partes esenciales del arreglo de experimentación. De esta manera es posible, por ejemplo, la representación de fuerzas y paralelogramas de fuerza.

Además del juego de montaje, para la realización de los experimentos se necesita un tablero magnético que tenga una dimensión mínima de 100 cm x 100 cm.

2. Volumen de suministro

Nº	Componente	Cantidad
1.	Dinamómetro de 5 N	2
2.	Plano inclinado con polea fija y medidor de ángulos	1
3.	Rodillo de 5 N	1
4.	Paralelepípedo de aluminio con 2 ganchos, 2 N	1
5.	Cuerpos con ganchos 1 N	6
6.	Polea, pequeña	1
7.	Polea, grande	1
8.	Polipasto de 2 poleas	1
9.	Palanca	1
10.	Varilla metálica con rosca	1

11. Contrapeso con tornillo regulador de ajuste	1
12. Resortes helicoidales	3
13. Disco de centro de gravedad	1
14. Plomada	1
15. Soportes	3
16. Manguitos de caucho	3
17. Ganchos de latón	3
18. Estribo de latón	1
19. Escala adherente	1
20. Flechas adherentes	4
21. Triángulo adherente	1
22. Cuerdas de nylon con lazos	4

3. Experimentos con el equipo

Constitución de una fuerza, composición y descomposición de fuerzas

1. Medición de la fuerza con un dinamómetro – la fuerza como magnitud vectorial
2. Desplazamiento de una fuerza a lo largo de su línea de acción
3. Ley de Hooke
4. Adición de fuerzas con línea de acción común
5. Ley de acción y reacción
6. Adición de fuerzas de sentidos diferentes – utilización de dinamómetros
7. Adición de fuerzas de sentidos diferentes – utilización de cuerpos con ganchos
8. Descomposición de una fuerza en dos componentes perpendiculares entre sí
9. Descomposición de una fuerza en dos fuerzas paralelas

Centro de gravedad y posición de equilibrio

10. Ejes baricéntricos y centro de gravedad de un disco de plástico
11. Posiciones de equilibrio de un cuerpo colgante
12. Posiciones de equilibrio – centro de gravedad fuera de la palanca

Dispositivos de transformación de fuerzas

13. Equilibrio de fuerzas en palanca de dos brazos
14. Equilibrio de fuerzas en palanca de un brazo
15. Par de giro
16. Fuerzas en la polea fija
17. Fuerzas en la polea libre

18. Fuerzas en el polipasto
19. Fuerzas en el plano inclinado – análisis con el dinamómetro
20. Fuerzas en el plano inclinado – análisis con los cuerpos con ganchos
21. Fricción de deslizamiento – análisis con el dinamómetro
22. Fricción de deslizamiento – análisis con las pesas
23. Fricción estática
24. Fricción de rodadura

Oscilaciones

25. Duración del ciclo de un péndulo de un hilo
26. Duración del ciclo de un péndulo de torsión
27. Resonancia de dos péndulos de torsión

4. Indicaciones acerca de algunas piezas de montaje

1. Dinamómetro

Los dinamómetros se los puede usar en cualquier posición. Dado el caso, se debe tomar en cuenta el propio peso de los hilos, ganchos etc. Sin embargo, si se emplean fuerzas elevadas su influencia es pequeña. La posición cero del indicador se alcanza girando el dial graduado. El hilo se debe pasar sobre el disco de cordón en el sentido de las agujas del reloj.

2. Plano inclinado

El plano inclinado se puede asegurar en el tablero de adhesión en diferentes inclinaciones. La plomada colgante indica el correspondiente ángulo de inclinación.

3. Polipasto con 2 poleas

El polipasto con dos poleas se puede utilizar también como polea libre. Con este fin, resulta apropiado destornillar una polea. De esta manera, el montaje experimental se vuelve más claro y disminuye la fuerza del peso de la polea.

4. Flechas y triángulo adherentes

Las direcciones de las fuerzas, o bien los movimientos, se pueden marcar en los montajes experimentales por medio de las flechas adherentes. Dado que estas flechas poseen la misma longitud, si se presentan magnitudes de fuerza diferentes, se debería anotar una indicación, en la que se explique que las flechas no reflejan correctamente los valores de las fuerzas.

Con el triángulo adherente se puede marcar muy bien la posición del punto de giro.

5. Ejecución de los experimentos

1. Medición de la fuerza con un dinamómetro – la fuerza como magnitud vectorial

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 1 Rodillo
- 1 Paralelepípedo de aluminio con 2 ganchos
- 1 Cuerpos con ganchos
- 1 Ganchos de latón
- 3 Cuerdas con lazos, de diferente longitud

Montaje experimental

- Colocar el dinamómetro en la parte superior del tablero magnético.
- En él se fija la cuerda con lazos y en el extremo de ésta se fija el gancho de latón.

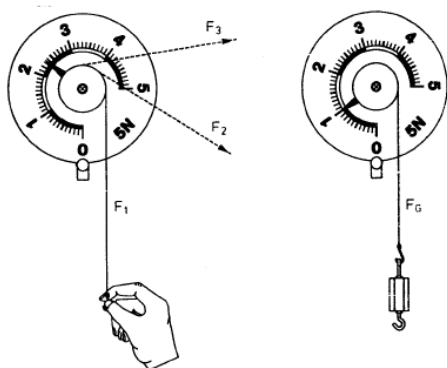


Fig. 1

Experimento

- Ejercer con la mano, paso a paso, una fuerza mayor sobre el dinamómetro.
- Aplicar la fuerza sucesivamente en diferentes direcciones.
- Al final se cuelgan del dinamómetro los cuerpos con ganchos, el paralelepípedo de aluminio y el rodillo, uno después de otro.

Resultado

Las fuerzas tienen diferentes valores y pueden actuar en diferentes direcciones. La fuerza del peso se orienta perpendicularmente hacia abajo. Para identificar una fuerza se requieren los datos de magnitud y dirección.

2. Desplazamiento de una fuerza a lo largo de su línea de acción

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 3 Cuerpos con ganchos
- 1 Ganchos de latón
- 3 Cuerdas con lazos

Montaje experimental

- Fijar el dinamómetro en la parte superior del tablero magnético.
- Colgar las 3 cuerdas con lazos en su punto de medición.

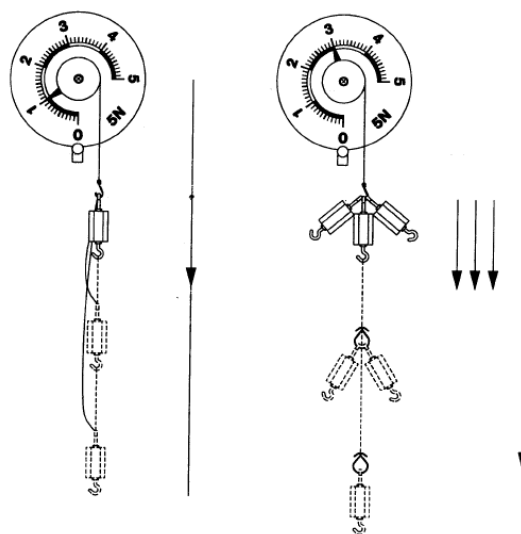


Fig. 2

Experimento

- Primeramente, se cuelga un cuerpo del gancho del dinamómetro y se determina la fuerza presente.
- A continuación, se cuelga este cuerpo con ganchos cada vez más abajo, pasando sucesivamente a los siguientes lazos.
- Después, se fijan los 3 cuerpos con ganchos del dinamómetro.
- Finalmente, se cuelga primero un cuerpo en el siguiente lazo inferior, y luego los otros dos cuerpos pasando sucesivamente a los siguientes lazos.
- Registre la fuerza indicada en cada ocasión.

Resultado

Una fuerza puede desplazarse a lo largo de su línea de acción.

3. Ley de Hooke

Componentes Necesarios

- 2 Resortes helicoidales
- 3 Cuerpos con ganchos
- 1 Soportes
- 1 Manguitos de caucho
- 1 Escala adherente

Montaje experimental

- Colocar la escala adherente en posición vertical sobre el tablero adherente.
- Fijar el soporte de su extremo superior.
- De allí se cuelga un resorte que se debe asegurar con un manguito de caucho.

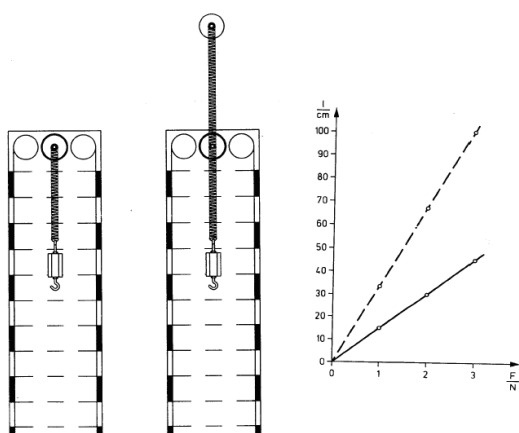


Fig. 3

Experimento

- Establecer la posición del extremo inferior del resorte.
- A continuación, sujetar un cuerpo con ganchos del resorte, establecer la prolongación y registrar el valor en la tabla.
- Después, colgar sucesivamente 2 y 3 cuerpos con ganchos del resorte y registrar la prolongación.
- Repetir el experimento con 2 resortes colgados uno debajo del otro. Para esto es conveniente colocar el soporte de los resortes por encima de la escala adherente.
- Registrar nuevamente en la tabla la correspondiente prolongación y fuerza de peso producida.
- Representar gráficamente la prolongación en función de la fuerza.

Tabla

Fuerza de peso de los cuerpos con ganchos F_G en N	Prolongación de un resorte Δl en cm	Prolongación de dos resortes Δl en cm
0		
1		
2		
3		

Resultado

Mientras más grande sea la fuerza producida, más grande es también la prolongación. Es válida la ley de Hooke: $\Delta l \sim F$. La prolongación frente a una fuerza determinada depende de las características del resorte.

4. Adición de fuerzas con línea de acción común

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 5 Cuerpos con ganchos
- 2 Cuerdas con lazos

Montaje experimental

- Fijar el dinamómetro en la parte superior del tablero magnético.
- Colocar las dos cuerdas con lazos en el dinamómetro.

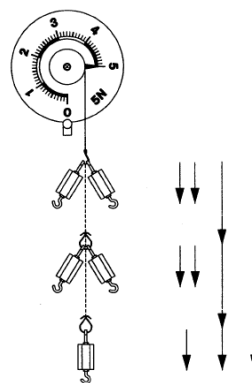


Fig. 4

Experimento

- En primer lugar, fije un cuerpo con ganchos del dinamómetro y, a continuación, los otros, paso a paso, según elección, en el dinamómetro o en las cuerdas.
- Lea la fuerza indicada en todos los casos.

Resultado

Si todas las fuerzas actúan a lo largo de la línea de acción, entonces la fuerza total resulta de la adición de las fuerzas parciales. El sentido de la fuerza total es igual al de las fuerzas parciales.

5. Ley de acción y reacción

Componentes Necesarios

- 2 Dinamómetros
- 1 Cuerdas con lazos

Montaje experimental

- Colocar los dos dinamómetros a ambos lados del tablero magnético de tal forma que entre los dos se encuentre la cuerda corta con sus lazos. La cuerda aún no está tensada.

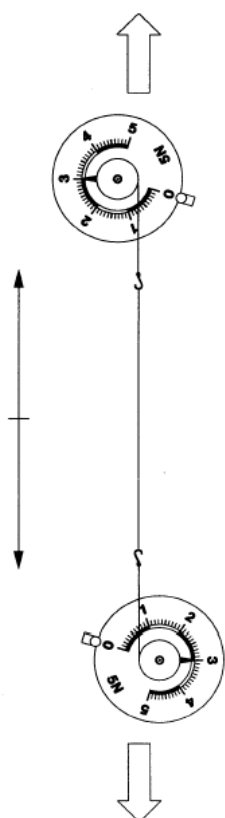


Fig. 5

Experimento

- Desplazar el dinamómetro izquierdo progresivamente hacia la izquierda.

Cuando la cuerda se haya tensado, ambos dinamómetros indican una fuerza. Las fuerzas aumentan con el movimiento del dinamómetro. En todo caso, ambas son de igual magnitud.

- Llevar el dinamómetro izquierdo nuevamente a la posición original y desplazar el dinamómetro derecho progresivamente hacia el exterior.

Al ampliarse la distancia entre los dinamómetros se presentan siempre dos fuerzas de igual magnitud.

Resultado

Si una fuerza actúa sobre un cuerpo, este cuerpo opone una fuerza antagónica de igual magnitud: ley de acción y reacción.

6. Adición de fuerzas de direcciones diferentes - utilización de dinamómetros

Componentes Necesarios

- 2 Dinamómetros
- 1 Resortes
- 1 Disco de centro de gravedad
- 3 Soportes
- 3 Manguitos de caucho
- 1 Gancho
- 1 Cuerdas con lazos

Montaje experimental

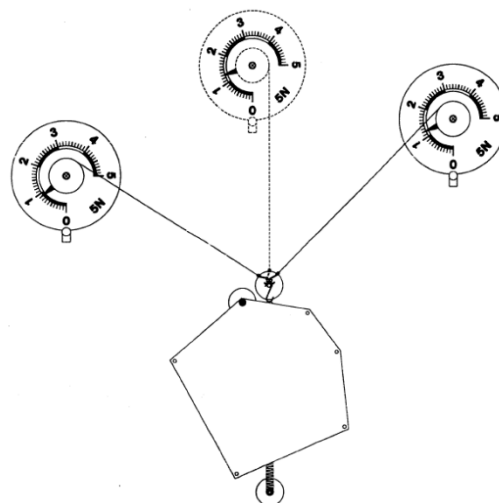


Fig. 6

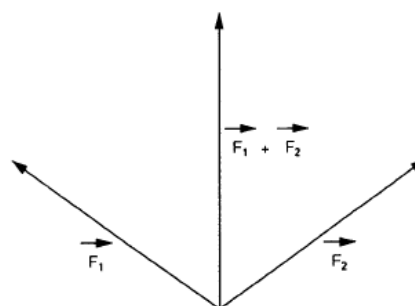


Fig. 6 a

- Fijar los dos dinamómetros a ambos lados, en la parte superior del tablero magnético, y unirlos con una cuerda con lazos.
- Colgar el gancho de esta cuerda.

- Fijar en el gancho el resorte helicoidal. Éste se estira hacia abajo para fijarlo en un soporte con manguito de caucho.
- Colocar un soporte adicional en el lugar donde se encuentra el gancho.
- Fijar el disco de centro de gravedad en un soporte, delante del resorte helicoidal, de manera que el resorte quede cubierto y sólo el gancho con soporte permanezca visible.

Experimento

- Desplazar los dos dinamómetros de manera que el gancho ya no esté junto al soporte.

En esta posición actúan dos fuerzas sobre el gancho, que se encuentran en equilibrio con la fuerza del resorte.

- Trazar en el tablero las dos fuerzas de los dinamómetros, en sentido y magnitud.
- A continuación, retire un dinamómetro del montaje y cuelgue el lazo libre de la cuerda del punto de medición del dinamómetro restante.
- Desplace este dinamómetro hasta que el gancho nuevamente deje de topar el soporte.

En este caso, la fuerza que proviene del dinamómetro, y que actúa sobre el gancho, produce el mismo resultado obtenido anteriormente con las dos fuerzas individuales.

- Registrar igualmente en el tablero esta fuerza, en magnitud y sentido.

Esta fuerza describe una diagonal en el paralelograma de fuerzas.

Resultado

Si sobre un cuerpo actúan dos fuerzas de diferente sentido, éstas se pueden reemplazar por una sola fuerza. La magnitud y el sentido de esta fuerza se obtienen de la diagonal trazada en el paralelogramo de fuerzas.

7. Adición de fuerzas de diferentes direcciones – utilización de cuerpos de gancho

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 1 Polea, grande
- 1 Polea, pequeña
- 6 Cuerpos con ganchos
- 1 Resorte helicoidal
- 1 Disco de centro de gravedad
- 3 Soportes
- 3 Manguitos de caucho
- 1 Ganchos de latón
- 1 Cuerdas con lazos, largos

Montaje experimental

- Fijar las dos poleas a ambos lados de la parte superior del tablero magnético.
- Colocar la cuerda sobre las poleas y colgar de cada lazo 2 cuerpos con ganchos.
- Asegurar el resorte en la parte inferior del tablero en un soporte con un manguito.
- Unir el otro extremo del resorte con la cuerda por medio de un gancho.
- Desplazar el soporte hacia abajo hasta que, entre las dos fuerzas que se dirigen oblicuamente hacia arriba, aparezca el ángulo deseado.
- A continuación, colocar un soporte en el lugar del gancho sin toparlo.
- Fijar con un soporte adicional el disco de centro de gravedad de tal forma que cubra al resorte y sólo el gancho con el soporte permanezca visible.

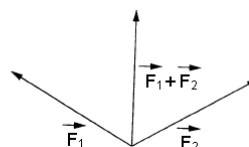
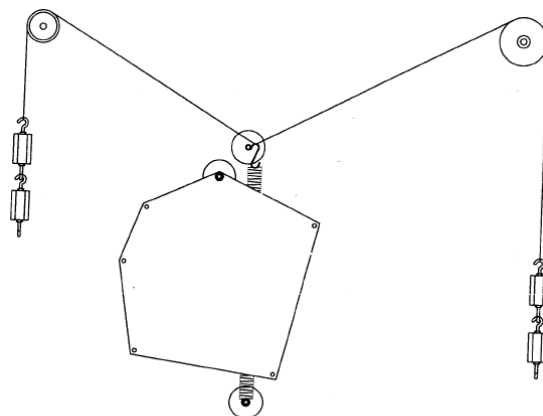


Fig. 7

Experimento

Cada uno de los cuerpos con ganchos ejerce una fuerza tal sobre el gancho que lo obliga a permanecer en esta posición.

- Marcar en el tablero los dos sentidos de las fuerzas e integrar al montaje puntas de flechas, de manera que la longitud de los vectores corresponda a la magnitud de las fuerzas.

El objetivo consiste en reemplazar estas dos fuerzas por una sola, de manera que se produzca el mismo efecto.

- Para ello, ajuste el dinamómetro al gancho, en lugar de la cuerda con los cuerpos con gancho, y desplácelo hacia arriba, o bien

hacia un costado, hasta que el gancho se suspenda otra vez libremente.

Ahora, el dinamómetro ejerce la misma fuerza que anteriormente ejercían los cuerpos con ganchos.

- Trace la magnitud y el sentido de la fuerza del dinamómetro en el tablero.

Después de retirar el dinamómetro, en el paralelograma de fuerzas, se reconoce que la fuerza resultante es igual a las diagonales que se extienden a partir de las dos fuerzas individuales.

Resultado

Si dos fuerzas actúan sobre un cuerpo en sentidos diferentes, éstas se pueden reemplazar por una sola fuerza. La diagonal del paralelograma de fuerzas, que parte del punto de aplicación de ambas fuerzas, corresponde en magnitud y sentido a la suma de ambas fuerzas individuales.

8. Descomposición de una fuerza en dos componentes perpendiculares entre sí

Componentes Necesarios

- 2 Dinamómetros
- 5 Cuerpos con ganchos
- 1 Polea
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho
- 1 Ganchos de latón
- 2 Cuerdas con lazos

Montaje experimental

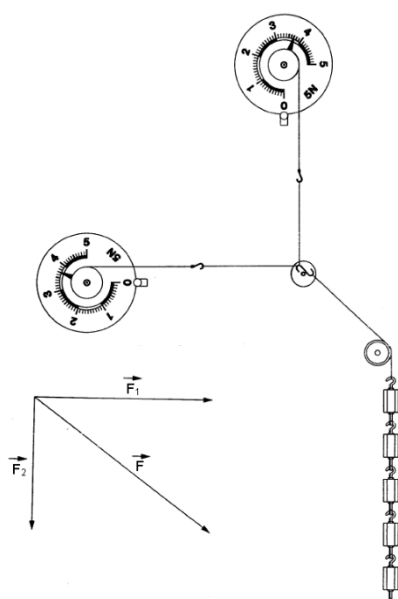


Fig. 8

- Sujetar un dinamómetro a media altura, del lado izquierdo del tablero magnético y, el

otro, en la mitad de la parte superior del tablero.

- Unir ambos dinamómetros con una cuerda corta con lazos.
- Sujetar el gancho de latón a esta cuerda y equiparlo con una cuerda adicional con lazos.
- Colgar los 5 pesos en el lazo libre y colocar la cuerda sobre la polea de manera que la cuerda tire, en sentido oblicuo, hacia abajo y hacia la derecha.
- Cambiar la posición del dinamómetro superior de manera que se forme un ángulo recto entre las dos fuerzas que emergen de los dinamómetros.
- Fijar el soporte en el lugar del gancho de latón de manera que el gancho no lo tope.

Experimento

Los cuerpos ejercen sobre el gancho de latón una fuerza oblicua que se dirige hacia abajo. El gancho descompone esta fuerza en dos componentes perpendiculares entre sí. La primera fuerza tiene un sentido vertical y, la otra, horizontal. Ambas fuerzas, indicadas por los dinamómetros, muestran la fuerza de reacción opuesta a las dos componentes parciales de la fuerza descompuesta.

- Primeramente, indicando magnitud y dirección, registre en el paralelograma la fuerza F de los cuerpos con gancho, que se dirige hacia abajo en sentido oblicuo.
- Trace después, desde el punto de partida de esta fuerza, una línea horizontal y una vertical.
- Ahora, construya un paralelograma de tal manera que, la fuerza de los cuerpos con gancho corresponda a la diagonal del rectángulo.

En el paralelograma se puede leer la magnitud de las dos fuerzas parciales que emergen del punto de aplicación de la fuerza. Estas magnitudes corresponden a los valores indicados por los dinamómetros. El sentido de las fuerzas parciales que actúan sobre los dinamómetros es, sin embargo, opuesto a estas fuerzas parciales, puesto que éstas representan fuerzas antagónicas.

Resultado

Toda fuerza se puede descomponer en dos fuerzas parciales perpendiculares entre sí. Las magnitudes de las dos fuerzas parciales corresponden a las longitudes de los dos lados del rectángulo, en el que la fuerza descompuesta forma la diagonal. Cada una de las fuerzas parciales es más pequeña que la fuerza descompuesta.

9. Descomposición de una fuerza en dos fuerzas paralelas

Componentes Necesarios

- 2 Dinamómetros
- 1 Palanca
- 4 Cuerpos con ganchos

Montaje experimental

- Fijar los dos dinamómetros, a igual altura, al lado derecho e izquierdo del tablero magnético.
- Colgar la palanca en el dinamómetro de tal forma que los puntos de aplicación de la fuerza sean los agujeros extremos de la palanca.
- Variar la posición del dinamómetro de tal forma que las fuerzas actúen hacia arriba, verticalmente, y que la palanca penda en posición horizontal.

Las desviaciones en los dinamómetros, producidas por la fuerza de peso de la palanca, se corrigen girando el cuadrante.

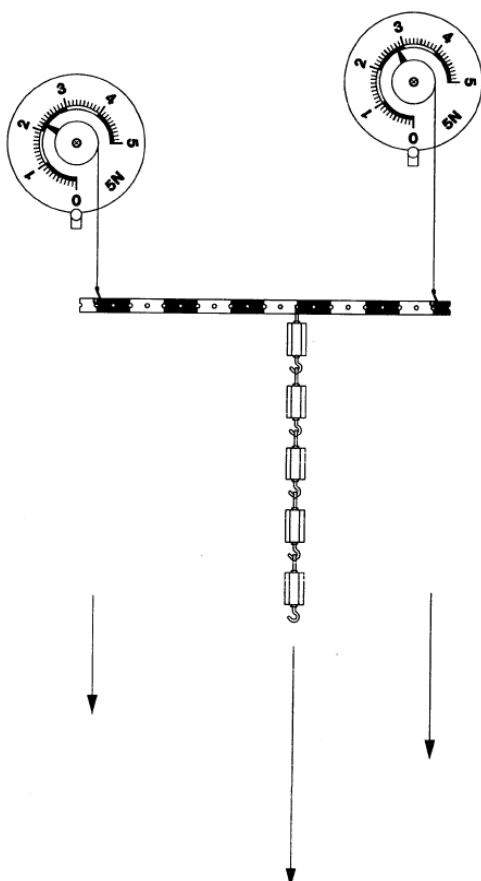


Fig. 9

Experimento

- En primer lugar, registre la (misma) fuerza de peso indicada por los dos dinamómetros.
- Después, cuelgue en la mitad de la palanca los 4 cuerpos, de manera que uno se suspenda de otro, y determine las fuerzas parciales indicadas por los dinamómetros.
- A continuación, desplace hacia afuera el punto de suspensión registrando siempre las fuerzas parciales. Para ello es necesario, antes de la lectura, alinear horizontalmente la palanca mediante el desplazamiento vertical del dinamómetro.
- Anote en la tabla siguiente las fuerzas parciales F_1 y F_2 y las distancias a_1 y a_2 .

La suma de las fuerzas parciales indicadas por los dinamómetros es igual a la fuerza de peso de los cuerpos con gancho.

Tabla

Fuerza F_1 en N	Fuerza F_2 en N	Distancia a_1 en cm	Distancia a_2 en cm

Resultado

Una fuerza se puede descomponer en dos fuerzas parciales paralelas a ella. Además, la suma de las fuerzas parciales es igual a la magnitud de la fuerza total. Las fuerzas parciales se comportan de manera inversa a las distancias de los puntos de aplicación de las fuerzas parciales del punto de aplicación de la fuerza total.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

10. Ejes baricéntricos y centro de gravedad de un disco de plástico

Componentes Necesarios

- 1 Disco de centro de gravedad
- 1 Plomada
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho

Montaje experimental

- Fijar el soporte en la mitad de la parte superior del tablero magnético y colocar el disco de centro de gravedad en el soporte, utilizando uno de sus agujeros.
- A continuación, fijar la plomada en el soporte y asegurarla con el manguito de caucho.

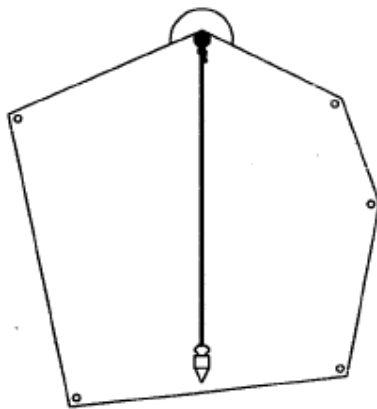


Fig. 10

Experimento

- Trazar a lo largo de la plomada una línea fina con un lápiz.
- Después, colgar el disco de centro de gravedad de otro de sus agujeros, asegurar de igual manera la plomada en el soporte y trazar nuevamente a lo largo de la plomada una línea fina con un lápiz.
- Proceder de igual manera con los otros agujeros del disco de centro de gravedad.

Resultado

Todos los llamados ejes baricéntricos se cortan en el mismo punto. Éste es el centro de gravedad del disco de plástico.

- Para probar lo afirmado, retire el disco del soporte, colóquelo en posición horizontal y sosténgalo con un lápiz afilado apoyado en el centro de gravedad.

El disco apoyado en el centro de gravedad no cambia de posición.

Nota

Considerado exactamente, el centro de gravedad del disco se encuentra en su interior. Por eso

el disco no permanece quieto en todas las posiciones si se lo apoya en el punto encontrado.

11. Posiciones de equilibrio de un cuerpo colgante

Componentes Necesarios

- 1 Palanca
- 1 Varilla metálica con rosca
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho

Montaje experimental

- Fijar el soporte en el centro de la parte superior del tablero, insertar la palanca en su agujero central y asegurarla con un manguito de caucho.

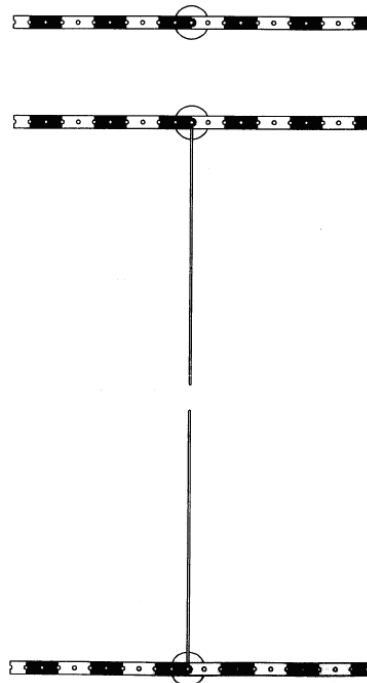


Fig. 11

Experimento

- Poner la palanca en diferentes posiciones y soltarla en cada ocasión.
- A continuación, fijar la varilla con rosca en la parte central de la palanca, de tal forma que la varilla se dirija hacia abajo.
- Volver a poner la palanca en diferentes posiciones, con la varilla metálica ubicada por debajo del punto de suspensión y, luego, soltar la palanca.
- Finalmente, girar la palanca 180°, de manera que la varilla metálica se dirija verticalmente hacia arriba.
- Soltar la palanca también en esta posición.

Resultado

En el primer caso, la palanca se encuentra en equilibrio indiferente. Se mantiene quieta en cualquier posición a la que se la lleve.

En el segundo caso, la palanca se encuentra en un equilibrio estable. Si se la desvía de su posición de equilibrio, la palanca siempre vuelve a adoptar dicho equilibrio.

En el tercer caso, la palanca se encuentra en un equilibrio inestable. Se mantiene sólo poco tiempo en esta posición. Cualquier desviación de esta posición, por más pequeña que sea, conduce a que se aleje siempre más y pase a la posición de equilibrio estable.

12. Posiciones de equilibrio – centro de gravedad fuera de la palanca

Componentes Necesarios

- 1 Palanca
- 1 Varilla metálica con rosca
- 1 Contrapeso con tornillo de ajuste
- 1 Plomada
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho

Montaje experimental

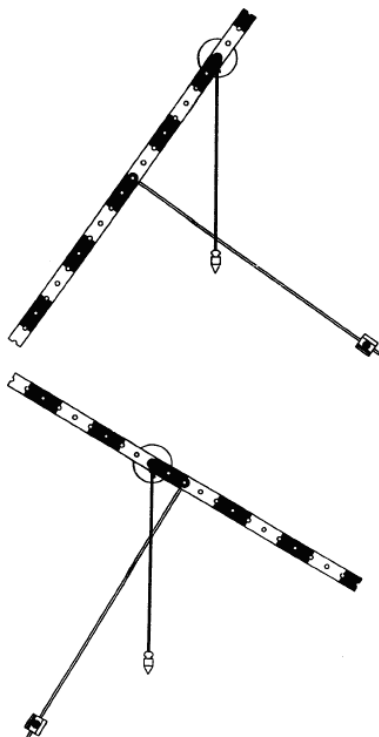


Fig. 12

- Atornillar la varilla metálica en el medio de la palanca.
- Fijar el contrapeso con tornillo regulador de ajuste cerca del extremo inferior de la varilla metálica.

- Colocar el soporte en el medio de la parte superior del tablero magnético y dejar que la plomada se desplace desde el soporte hasta la placa base.
- Insertar la palanca por cualquier agujero en el soporte y retenerla con el manguito de caucho.

Experimento

- Marcar el punto en donde la plomada corta a la varilla metálica, por ejemplo, con un trozo de cinta adhesiva.
A continuación, insertar la palanca en el soporte, empleando otro agujero, y determinar el punto de cruce de la plomada con la varilla metálica.
- Repetir el experimento con dos agujeros que, desde el punto de vista de la varilla metálica, se encuentren al otro lado de la palanca.
- Finalmente, retirar la palanca y la plomada del soporte y sostener la varilla con la punta de un dedo, de manera que el punto de apoyo se encuentre en el sitio marcado de la varilla metálica.

Resultado

En todos los casos, el punto de cruce de la plomada con la varilla metálica se encuentra en el mismo sitio. Este punto está fuera de la palanca. Éste es el centro de gravedad del montaje.

13. Equilibrio de fuerzas en la palanca de dos brazos

Componentes Necesarios

- 6 Cuerpos con ganchos
- 1 Palanca
- 1 Varilla metálica con rosca
- 1 Contrapeso con tornillo de ajuste
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho
- 1 Triángulo adherente

Montaje experimental

- Fijar el soporte en la parte media superior del tablero, unir la palanca con el soporte, por medio de su agujero central, y proteger esta unión contra deslizamiento por medio del manguito de caucho.
- Debajo del soporte, atornillar la varilla metálica con rosca en la palanca y fijar en la altura media de la varilla el contrapeso con tornillo de ajuste.

Mientras más arriba se encuentre el peso de compensación, más grande será la sensibilidad de la palanca.

- Marcar el punto de giro de la palanca con el triángulo adherente.

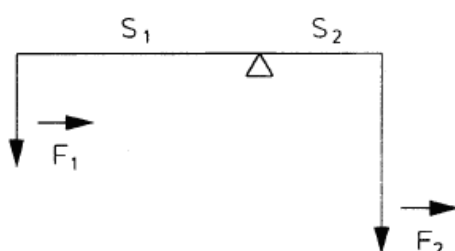
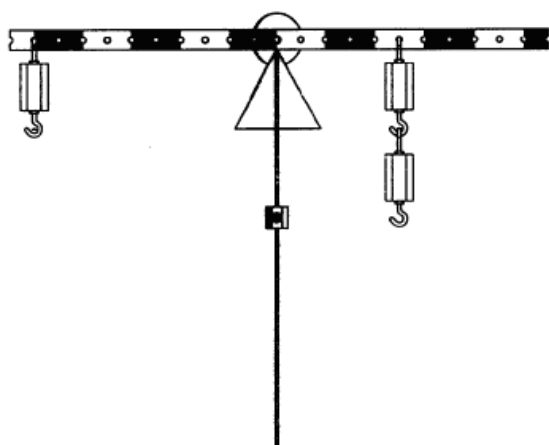


Fig. 13

Experimento

- Colgar un cuerpo con ganchos del agujero que se encuentra en el extremo izquierdo de la palanca.
- A continuación, escoger un agujero del lado derecho de la palanca y colgar del mismo un cuerpo con gancho, para que la palanca esté en equilibrio.
- Los puntos donde actúan las fuerzas se pueden marcar con las flechas indicadoras de fuerzas.
- Medir la distancia que existe entre los dos puntos de aplicación de la fuerza y el punto de giro, y registrarla en la tabla; lo mismo se aplica a las fuerzas de peso de los dos cuerpos con ganchos.
- Luego, colgar del cuerpo con ganchos de la derecha un cuerpo más y buscar el agujero de la palanca de donde se puedan colgar los dos cuerpos para que se mantenga el equilibrio.
- Registrar las fuerzas y los brazos de fuerza en la tabla.
- Ahora, colgar el cuerpo izquierdo moviéndolo dos agujeros hacia adentro (octavo agujero desde el punto de giro).
- Para lograr un equilibrio, colgar a la derecha primeramente uno, después dos y finalmente

4 cuerpos con gancho, en el sitio correspondiente.

- Registrar nuevamente el largo de los brazos de fuerza y las magnitudes de las fuerzas en la tabla.

Tabla

Brazo izq. de palanca s_1 en cm	Fuerza activa hacia la izq. F_1 en N	Brazo der. de palanca s_2 en cm	Fuerza activa hacia la derecha F_2 en N	$F_1 \cdot s_1$ en Ncm	$F_2 \cdot s_2$ en Ncm

Resultado

Mientras más lejos del punto de giro actúe la fuerza en una palanca, más pequeña debe ser la fuerza que la mantiene en equilibrio. Para la evaluación matemática, se forman los productos de fuerza y brazo de fuerza para los dos brazos de la palanca (las dos últimas columnas en la tabla). Es válido:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

14. Equilibrio de fuerzas en la palanca de un brazo

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 6 Cuerpos con ganchos
- 1 Palanca
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho
- 1 Triángulo adherente

Montaje experimental

- Fijar el soporte en la parte superior media del tablero magnético.
- Insertar la palanca (último hueco de la izquierda) en el soporte y, del último agujero de la derecha de la palanca, colgar la pieza de medición del dinamómetro.
- Fijar el dinamómetro en el tablero magnético de manera que la palanca se encuentre en posición horizontal y la línea de acción de la fuerza siga un curso perpendicular hacia abajo.

La desviación del dinamómetro, producida por el propio peso de la palanca, se corrige girando el cuadrante hasta que la aguja llegue a cero.

- Marcar el punto de giro de la palanca con el triángulo manual.

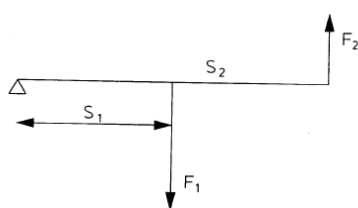
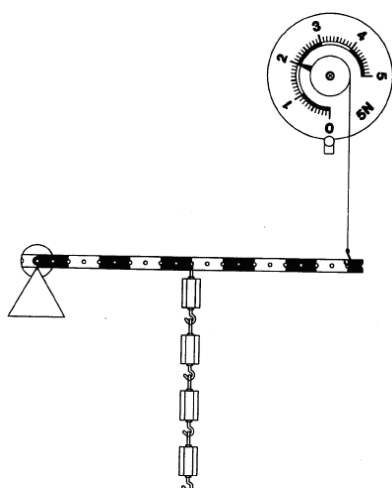


Fig. 14

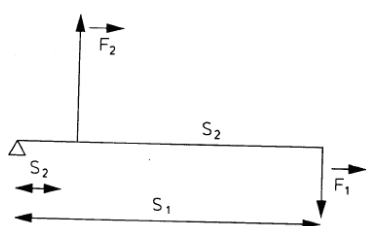
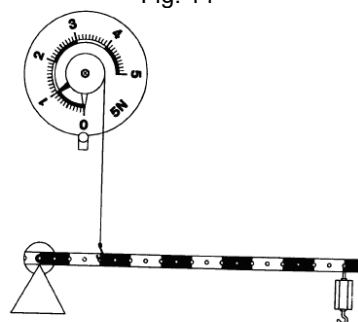


Fig. 14 a

Experimento

- Suspender entre sí 4 cuerpos con ganchos y, primeramente, sujetarlos de la parte central de la palanca.
- Registrar las longitudes de los brazos de la palanca y los valores de las fuerzas en la tabla de datos de medición
- A continuación, colgar los cuerpos en un agujero que se dirija hacia el punto de giro y, después, en un agujero que esté más apartado de él. Las magnitudes de las medidas físicas se registran también en la tabla.

- Aflojar el dinamómetro de la palanca y engancharlo en el cuarto agujero, a partir del punto de giro.
- Ocurre ahora que la palanca permanece en posición horizontal y la línea de acción se dirige verticalmente hacia arriba.
- Realizar una nueva corrección del punto cero del dinamómetro.
- Ahora, colocar sucesivamente un cuerpo con ganchos en tres lugares de la palanca, que se encuentren a la derecha del punto de medición de la fuerza.
- Anotar en la tabla los correspondientes valores de las magnitudes físicas medidas.

Tabla

Brazo de palanca s_1 en cm	Fuerza activa dirigida hacia abajo F_1 en N	Fuerza activa dirigida hacia arriba F_2 en N	Fuerza activa dirigida hacia arriba F_2 en N	$F_1 \cdot s_1$ en Ncm	$F_2 \cdot s_2$ en Ncm

Resultado

Mientras más grande sea la distancia existente entre el punto de aplicación de la fuerza y el punto de giro, más pequeña deberá ser la fuerza necesaria para que se logre un equilibrio.

Para la evaluación matemática se forman los productos del correspondiente brazo de la palanca y de su respectiva fuerza (las dos últimas columnas en la tabla). Para la palanca de un brazo es válido lo siguiente:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

15. Par de giro

Componentes Necesarios

2 Dinamómetros

- 1 Palanca
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho
- 1 Triángulo adherente

Montaje experimental

- Fijar el soporte en el centro del tablero magnético.
- Insertar la palanca en el soporte, a través del agujero central, y sostener la unión con el manguito de caucho, asegurándola contra cualquier deslizamiento.

- Colocar un dinamómetro arriba del brazo derecho de la palanca, y el otro abajo del mismo.
- Marcar el punto de giro de la palanca con el triángulo adherente.

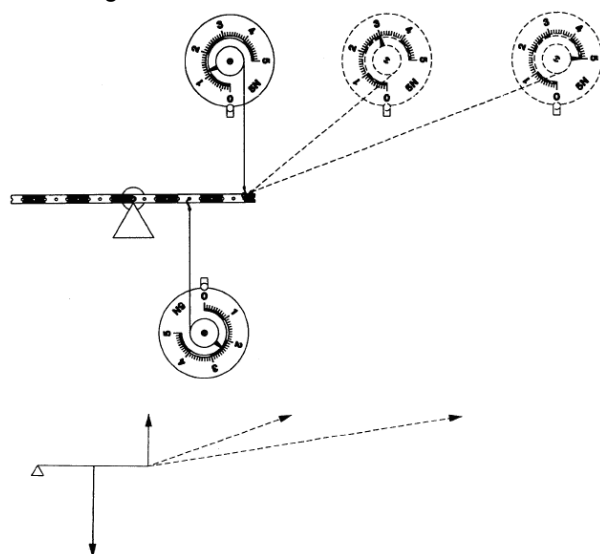


Fig. 15

Experimento

- Enganchar el punto de medición del dinamómetro superior en el último agujero de la palanca.
- Enganchar el punto de medición del dinamómetro inferior en el quinto agujero contado a partir del punto de giro.
- Modificar la posición de los dinamómetros de manera que la palanca se encuentre en posición horizontal y las cuerdas señalen verticalmente hacia arriba, o hacia abajo, correspondientemente.
- Al hacerlo, ajustar una fuerza de algunos newtons en uno de los dinamómetros.
- Registrar en la tabla de valores de medición la correspondiente distancia existente entre el punto de aplicación de la fuerza y el punto de giro de la palanca, al igual que las fuerzas correspondientes.
- A continuación, variar primeramente dos veces el punto de sujeción del dinamómetro inferior, finalmente variar también el punto de sujeción del dinamómetro superior.
- En cada caso, regular una posición horizontal de la palanca y prestar atención a las fuerzas perpendiculares que pasan por ahí.
- Volver a registrar en la tabla las distancias existentes entre el punto de giro y las fuerzas.
- Finalmente, variar la posición del dinamómetro inferior de manera que el sentido de la fuerza difiera cada vez más de la perpendicular de la palanca. Al hacerlo, no obstante,

la palanca debe permanecer en posición horizontal.

Tabla

Distancia de la fuerza 1 del punto de giro s_1 en cm	1. fuerza F_1 en N	Distancia de la fuerza a 2 del punto de giro s_2 en cm	2. fuerza F_2 en N	Par de giro 1 $F_1 \cdot s_1$ en Ncm	Par de giro 2 $F_2 \cdot s_2$ en Ncm

Resultado

El par de giro se puede utilizar para describir el equilibrio de un cuerpo giratorio. Éste es el producto de la distancia existente, correspondientemente, entre el punto de aplicación de la fuerza y el punto de giro por la fuerza perpendicularmente orientada a ella. Si existe equilibrio, la magnitud del par de giro dirigido hacia la derecha es igual a la del par de giro dirigido hacia la izquierda.

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

Si la fuerza se desvía perpendicularmente y en mayor grado del sentido del brazo de la palanca, dicha fuerza debe ser más elevada para que se mantenga el equilibrio. Este resultado justifica la afirmación de que el par de giro es el producto entre la distancia existente entre el punto de aplicación de la fuerza y el punto de giro por la fuerza perpendicularmente orientada a ella. Mientras más se desvíe la fuerza de este sentido, mayor debe ser su magnitud para que se presente el mismo par de giro.

16. Fuerzas en la polea fija

Componentes Necesarios

- 6 Cuerpos con ganchos
- 1 Polea, grande
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho
- 1 Escala de adherencia
- 1 Cuerda de nylon con lazos

Montaje experimental

- Fijar la escala adherente en posición vertical sobre el tablero magnético.
- Colocar la polea grande, en el extremo superior, en la mitad de la escala adherente.

- Colocar la cuerda con lazos sobre la polea. Suspender de cada lazo un cuerpo con gancho.

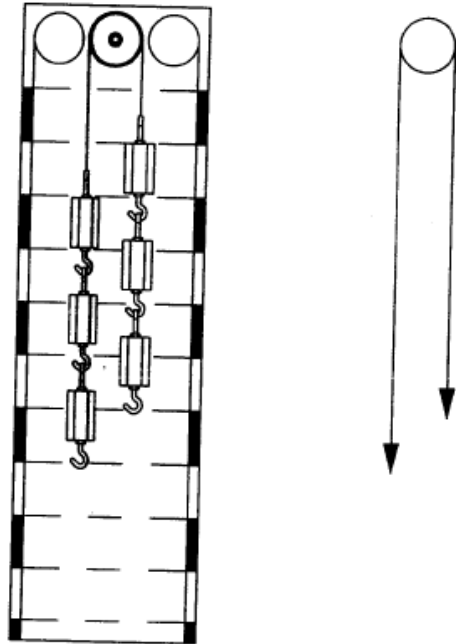


Fig. 16

Experimento

- Elevar el número de cuerpos primero a dos y luego a tres.
- En cada caso, se llevan los cuerpos a diferentes posiciones con el fin de observar el comportamiento del montaje en su conjunto.

Resultado

En la polea fija domina el equilibrio, si a cada lado actúa la misma fuerza.

17. Fuerzas en la polea libre

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 1 Polea, grande
- 1 Polipasto con 2 poleas
- 6 Cuerpos con ganchos
- 1 Contrapeso con tornillo de ajuste w
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho
- 1 Escala adherente
- 1 Cuerda de nylon con lazos

Montaje experimental

- Fijar la escala adherente, en posición vertical, sobre el tablero magnético.
- Asegurar el soporte en el extremo superior, en la mitad de la escala adherente.

- Colocar muy cerca y por encima la polea grande.
- Suspender del soporte un lazo de la cuerda y retenerlo con el manguito de caucho.
- A continuación, dirigir la cuerda hacia abajo y colgar el polipasto con las poleas. Dirigir la cuerda nuevamente hacia arriba y colocarla en el extremo superior de la escala adherente a través de la polea fija.
- Colgar un cuerpo con ganchos del lazo, en el extremo de la cuerda, y cargar el polipasto con dos cuerpos.
- Colocar adicionalmente el contrapeso con tornillo regulador de ajuste en el cuerpo con gancho, para equilibrar la fuerza de peso del polipasto y, dado el caso, añadir algo de plastilina.

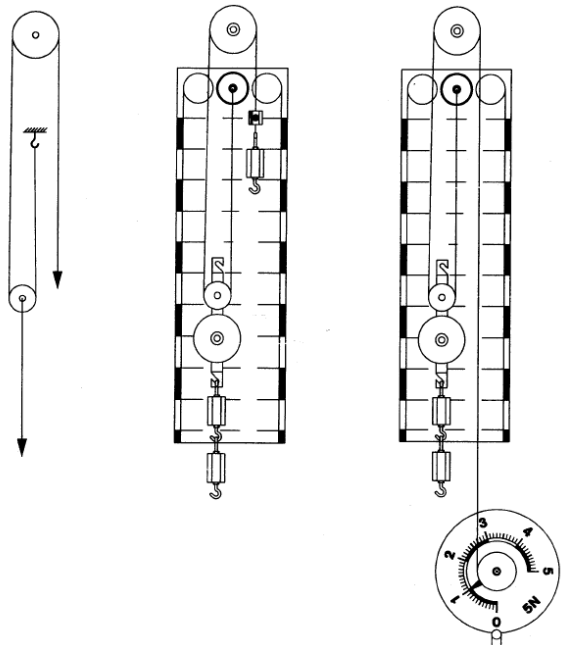


Fig. 17

Fig. 17 a

Fig. 17 b

Experimento 1

- Llevar al cuerpo con gancho, a lo largo de la escala, a diferentes posiciones y soltarlo en cada ocasión.
- A continuación, colgar un segundo cuerpo del polipasto y colgar otros cuerpos del lazo hasta lograr el equilibrio.

Experimento 2

- Sustituir la polea fija por un dinamómetro y colgar de su punto de medición la cuerda con lazo, en la que se encontraba el cuerpo con ganchos con el contrapeso con tornillo regulador de ajuste.
- Retirar los cuerpos con ganchos del polipasto.

- A continuación, la desviación de la aguja del dinamómetro, causada por el propio peso de la polea libre con polipasto, se debe ajustar a cero girando el cuadrante.
- Después, colgar del polipasto, uno tras otro, los cuerpos con ganchos y registrar en cada ocasión la fuerza indicada por el dinamómetro.

Resultado

La polea libre se encuentra en equilibrio si la fuerza que actúa sobre la cuerda tiene un valor equivalente a la mitad de la fuerza que actúa sobre la polea.

Nota

Para la ejecución de los experimentos es conveniente destornillar del polipasto la polea grande. De este modo, se aumenta la visibilidad y se disminuye la fuerza de peso incómoda del polipasto.

18. Fuerzas en el polipasto

Componentes Necesarios

- 6 Cuerpos con gancho
- 1 Polea, pequeña
- 1 Polea, grande
- 1 Polipasto con 2 poleas
- 1 Contrapeso con tornillo de ajuste
- 1 Soporte
- 1 Manguito de caucho
- 1 Escala adherente
- 1 Cuerda de nylon con lazos, larga

Montaje experimental

- Colocar la escala adherente en el tablero magnético.
- Colocar la polea grande arriba de la escala, en la mitad, la polea pequeña abajo, en la parte superior de la escala y, más abajo, el soporte.
- Enganchar un lazo de la cuerda en el soporte, retenerlo con el manguito de caucho y, después, pasarlo sobre la polea pequeña del polipasto. El polipasto se sostiene de manera que la polea pequeña se encuentra arriba.
- Después, llevar la cuerda por encima y colocarla por arriba de la polea pequeña, luego, llevarla de nuevo hacia abajo por encima de la polea grande del polipasto y, finalmente, por encima de la polea grande.
- Colgar el contrapeso con el tornillo regulador de ajuste y, dado el caso, aplicar plastilina para equilibrar la fuerza de peso del polipasto.

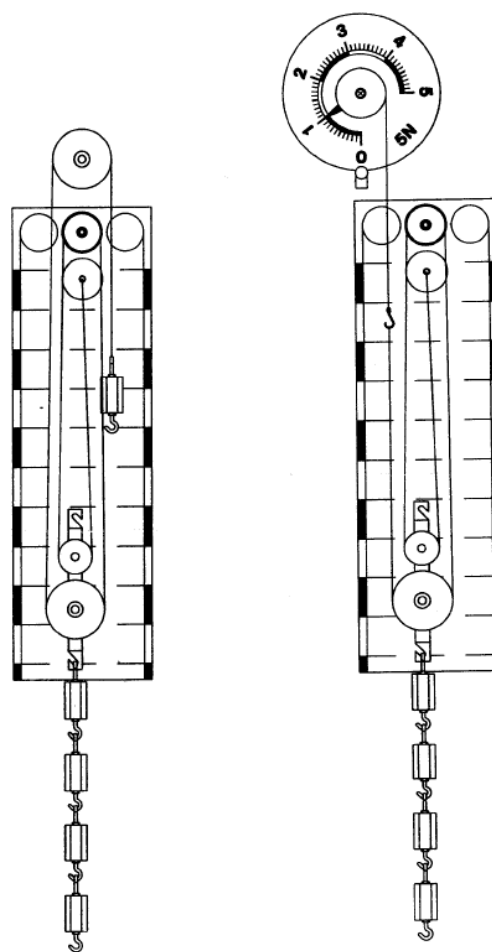


Fig. 18 a

Fig. 18 b

Experimento

- Colgar en el lazo libre un cuerpo con gancho.
- Colgar del polipasto tantos cuerpos con ganchos como sean necesarios para que el aparato alcance el equilibrio.

Moviendo el polipasto hacia arriba y hacia abajo se puede comprobar si el aparato se encuentra en equilibrio en cada posición.

Resultado

El aparato, con un total de 4 poleas, se encuentra en equilibrio si la fuerza del polipasto es 4 veces más grande que la fuerza que actúa en el extremo de la cuerda.

Nota

En lugar de la polea grande se puede usar también un dinamómetro (Fig. 18b). Éste se coloca, en reemplazo de la polea grande, en el extremo superior del tablero magnético. En este caso, en primer lugar, se compensa la fuerza que proviene del propio peso del polipasto girando la escala. Al suspender pesos adicionales, por cada cuerpo con ganchos se aumenta la fuerza señalada en 0,25 N.

19. Fuerzas en el plano inclinado – análisis con el dinamómetro

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Rodillo
- 1 Palanca
- 2 Soportes
- 1 Plomada
- 2 Manguitos de caucho
- 1 Cuerda de nylon con lazos

Montaje experimental

- Colocar el plano inclinado en el tablero magnético que se encuentra en posición vertical y suspender la plomada de la parte superior del medidor de ángulos.
- En primer lugar, ajustar el ángulo en relación con la horizontal a 10° .
- Colocar el rodillo en el plano, de manera que se encuentre muy cerca del tablero magnético.
- Colgar el rodillo de uno de los lazos de la cuerda y pasarla sobre la polea y dirigirla verticalmente hacia abajo hasta alcanzar el dinamómetro.
- Partiendo del extremo inferior izquierdo del plano inclinado, fijar la palanca horizontalmente en la quinta y décima apertura, partiendo desde la izquierda, por medio de manguitos de caucho.

La altura del plano inclinado se puede determinar como una distancia perpendicular de la palanca que se encuentra en posición horizontal, a partir del extremo inferior derecho del plano inclinado.

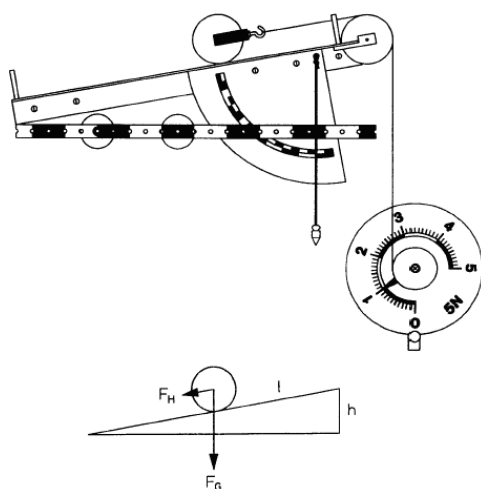


Fig. 19

Experimento

- Aumentar el ángulo existente entre el plano inclinado y la horizontal, paso a paso, de 10° a 40° .
- Medir la altura del plano inclinado y la fuerza tangencial paralela al plano indicada por el dinamómetro y registrar los valores en la tabla.

Tabla

Altura h en cm	Largo l en cm	Fuerza tangencial F_H en N	Fuerza de peso F_G en N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Resultado

Mientras más elevada es la altura del plano inclinado, más grande es también la fuerza tangencial paralela al plano. Para la evaluación matemática se forman los cocientes de la fuerza tangencial F_H y la fuerza de peso F_G como también de la altura h y longitud l del plano inclinado (últimas dos columnas de la tabla). La comparación de los cocientes indica que es válido lo siguiente:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Nota

1. La cuerda tensada que va desde la polea fija hacia el dinamómetro puede también ir por detrás de la polea, horizontalmente o en otro ángulo deseado. La única condición es que la cuerda esté cerca del rodillo y paralela al plano inclinado. En particular, el montaje es muy fácil de comprender si la cuerda va desde el rodillo al dinamómetro en posición paralela con respecto al plano inclinado. Entonces, en cada cambio de la inclinación del plano, debe cambiar también la posición del dinamómetro.

2. El equilibrio en el plano inclinado se puede lograr también si en el extremo de la cuerda, en lugar del dinamómetro, se colocan pesas cuya fuerza de peso sea igual a la fuerza tangencial.

3. Si se cumplen los requisitos matemáticos, se puede incluir en la evaluación, en lugar de la altura y longitud, también el ángulo

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha.$$

20. Fuerzas en el plano inclinado – análisis con los cuerpos con ganchos

Componentes Necesarios

- 1 Plano inclinado
- 1 Rodillo
- 4 Cuerpos con ganchos
- 1 Palanca
- 2 Soportes
- 1 Plomada
- 2 Manguitos de caucho
- 1 Cuerda de nylon con laz

Montaje experimental

- Colocar el plano inclinado en el tablero magnético vertical y colgar la plomada de la parte superior del medidor de ángulos.
- Primeramente, se debe alinear el plano inclinado en posición horizontal.
- Colocar el rodillo sobre el plano, de tal forma que se encuentre muy cerca del tablero.
- Colgar el rodillo de un lazo de la cuerda, hacer pasar el hilo sobre la polea y llevarlo verticalmente hacia abajo hasta alcanzar el dinamómetro.
- Fijar la palanca cerca y debajo del plano inclinado en dos soportes, en posición horizontal, en los orificios quinto y décimo, contando desde la izquierda. Fijar la abertura y sujetar con el manguito para impedir el deslizamiento.

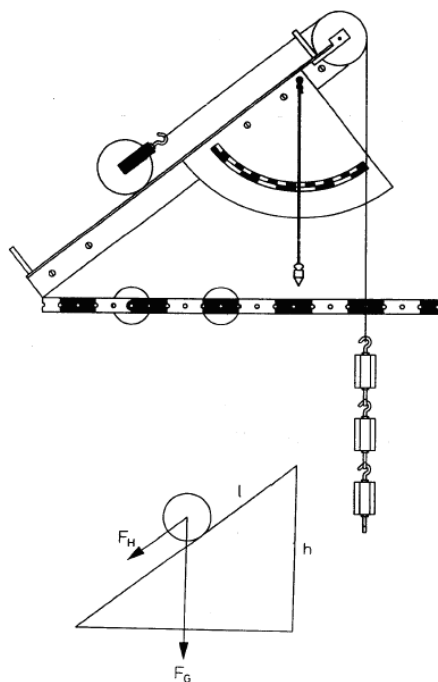


Fig. 20

La altura del plano inclinado se puede determinar como una distancia perpendicular de la palanca que se encuentra en posición horizontal, a partir del extremo inferior derecho del plano inclinado.

Experimento

- Colgar un cuerpo con ganchos del segundo lazo del gancho.
- En primer lugar, sostener el rodillo y aumentar la inclinación del plano hasta que el cuerpo con ganchos compense la fuerza tangencial del rodillo.
- Medir la altura del plano inclinado y registrarla en la tabla, junto con la longitud del plano, la fuerza de peso del rodillo y la fuerza de peso del cuerpo con gancho.
- A continuación, fijar dos cuerpos con ganchos al lazo y aumentar la inclinación del plano, hasta que nuevamente la fuerza de los pesos compense la fuerza tangencial del rodillo.
- Repetir el experimento con 3 y 4 cuerpos con ganchos.

Tabla

Altura h en cm	Largo l en cm	Fuerza tan- gencial F_H en N	Fuerza de peso de cuer- pos con gancho F_G en N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Resultado

Mientras más grande es la altura del plano inclinado, mayor es también la fuerza tangencial. Para la evaluación matemática se forman los cocientes de la fuerza tangencial F_H y la fuerza de peso F_G como también de la altura h y la longitud l del plano inclinado (últimas dos columnas de la tabla). Los cocientes son iguales:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Nota

En lugar de los cuerpos con ganchos se puede utilizar un platillo de balanza muy liviano y pequeño. Así se puede aplicar cualquier ángulo de inclinación del plano. La fuerza tangencial se puede determinar también colocando pesos sobre el platillo.

21. Fricción de deslizamiento – análisis con el dinamómetro

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Paralelepípedo de aluminio con 2 ganchos
- 6 Cuerpos con ganchos
- 1 Cuerda de nylon con lazos

Montaje experimental

- Colocar el plano inclinado, en posición horizontal, sobre el lado izquierdo del tablero magnético.
- Poner el paralelepípedo de aluminio con 2 ganchos en la punta izquierda del plano inclinado de modo que quede apoyado sobre su superficie mayor.
- Fijar la cuerda con lazos en el gancho. Hacer pasar la cuerda sobre la polea fija, de tal manera que se encuentre prácticamente en paralelo con el plano inclinado.
- Enganchar el segundo lazo en el punto de medición del dinamómetro.

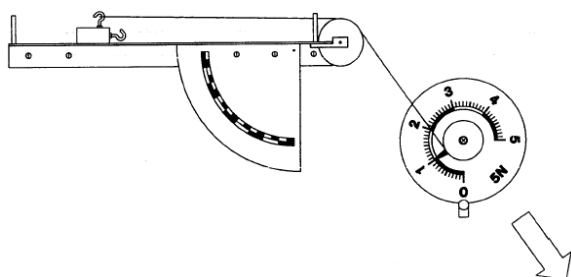


Fig. 21

Experimento

- Mover el dinamómetro lentamente en dirección horizontal o en diagonal y hacia abajo, de tal forma que el paralelepípedo de aluminio se mueva uniformemente.
- Durante el movimiento, leer en el dinamómetro la fuerza de fricción.
- A continuación, poner el paralelepípedo de aluminio sobre la superficie más pequeña, con la misma estructura superficial y repetir el experimento.

Con la colocación de cuerpos con ganchos se puede agrandar paso a paso la fuerza de peso efectiva.

- Después, cubrir el plano inclinado con tiras de diferentes materiales (por ejemplo: madera, cartón, papel, plástico) y realizar el experimento de igual manera.

Resultado

La fricción de deslizamiento depende del tipo de material que se desliza. Ésta aumenta proporcionalmente a la fuerza de peso del cuerpo deslizante. La fricción de deslizamiento es independiente del tamaño de la superficie friccionada.

Nota

El coeficiente de la fricción de deslizamiento se lo puede determinar fácilmente formando el cociente de la fuerza de fricción de deslizamiento y la fuerza de peso del paralelepípedo. El lado delgado del paralelepípedo está cubierto con una capa de caucho. La comparación de las fuerzas en la misma superficie de fricción, con diferentes características, demuestra muy claramente la dependencia de la fricción del tipo de material friccionado.

22. Fricción de deslizamiento – análisis con las pesas

Componentes Necesarios

- 1 Plano inclinado
- 1 Paralelepípedo de aluminio con 2 ganchos
- 2 Cuerpos con ganchos
- 1 Plomada
- 1 Cuerda de nylon con lazos

Montaje experimental

- Fijar el plano inclinado con poca inclinación en la parte superior del tablero magnético.
- Colgar la plomada de la parte superior del medidor de ángulos.
- En el extremo izquierdo del plano inclinado, colocar el paralelepípedo con 2 ganchos, de tal manera que se apoye sobre la mayor superficie.
- Colgar el lazo de la cuerda en el gancho que se dirige hacia la polea.

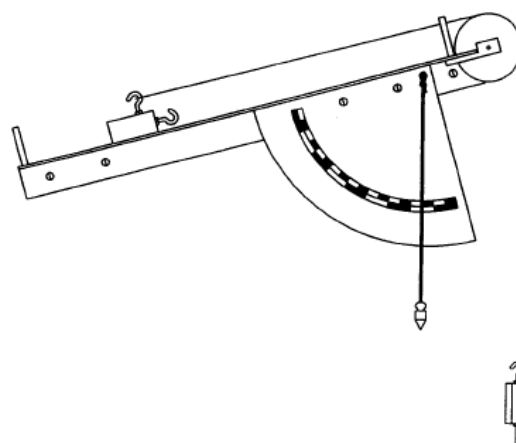


Fig. 22

- Llevar la cuerda del modo más paralelo posible al plano inclinado por encima de la polea fija y cargar la otra punta de la cuerda con un cuerpo con gancho.

Experimento

- Repita el experimento después de colocar tiras de diferentes materiales (por ejemplo: madera, papel, plástico) en el plano inclinado.
- Disminuir la inclinación del plano hasta que el paralelepípedo se desplace con una velocidad constante sobre el plano después de recibir un ligero empujón.
- Determinar la inclinación del plano como medida para la fuerza necesaria.
- Repetir el experimento de la misma manera, después de apoyar el paralelepípedo sobre su superficie menor. Finalmente, aumentar paso a paso la fuerza con la que el paralelepípedo de aluminio presiona la base, colocando cuerpos con ganchos.
- Cubrir el plano inclinado con tiras de diferentes materiales (por ejemplo: madera, cartón, papel, plástico) y repetir los experimentos.

Resultado

La fricción de deslizamiento es más grande mientras mayor es la fuerza de presión con la que el cuerpo actúa sobre la base. Depende de los materiales que cubren las superficies de deslizamiento. Con el mismo peso, la fricción es independiente del tamaño de la superficie de deslizamiento.

Nota

1. La fuerza de fricción dinámica se puede determinar constatando cuán horizontal debe encontrarse el plano para que el cuerpo con ganchos empuje al paralelepípedo de aluminio hacia lo alto de la inclinación. Se la puede también determinar inclinando cada vez más el plano y estableciendo el ángulo en el cual el paralelepípedo de aluminio hala hacia arriba al cuerpo con gancho.
2. También es posible prescindir de los cuerpos con ganchos y de la cuerda. Se coloca el paralelepípedo de aluminio en el extremo superior del plano inclinado y se aumenta su inclinación hasta que este objeto, después de recibir un empujón leve, se deslice hacia abajo con una velocidad constante.
3. Con la inclinación del plano se transforma también la fuerza con la que el cuerpo presiona perpendicularmente sobre la base. Ésta es sólo igual a la fuerza de peso en el caso de un plano horizontal. Con un aumento cada vez mayor de la inclinación esta fuerza disminuye. En la

evaluación, sin embargo, se asume que la fuerza es constante. Por eso con el experimento se logra solamente un valor estimativo de la dependencia de la fuerza de fricción.

23. Fricción estática

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Paralelepípedo de aluminio con 2 ganchos
- 6 Cuerpos con ganchos
- 1 Cuerda de nylon con lazos

Montaje experimental

- Fijar el plano inclinado en el lado izquierdo de la parte superior del tablero magnético.
- Situar en el extremo izquierdo el paralelepípedo de aluminio. Fijar la cuerda de uno de los ganchos y dirigirlo sobre la polea fija de manera que corra casi paralelamente al plano inclinado.
- Colocar el otro extremo del hilo en el punto de medición del dinamómetro.

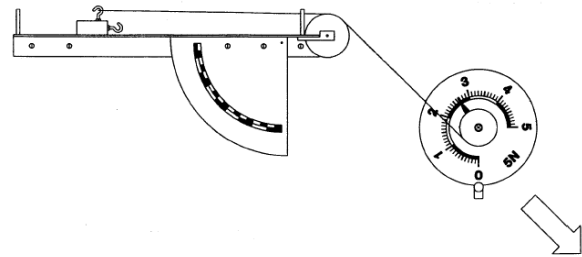


Fig. 23

Experimento

- Mover el dinamómetro lentamente en dirección horizontal o en diagonal y hacia abajo. Al mismo tiempo, determinar la fuerza necesaria para poner al paralelepípedo de aluminio en movimiento.
- Repetir el experimento después de apoyar el paralelepípedo sobre una de sus superficies pequeñas.
- Finalmente, cubrir el plano inclinado con tiras de diferentes materiales (por ejemplo: madera, metal, cartón, plástico) y repetir el experimento.
- Seguidamente, cargar paso a paso el paralelepípedo de aluminio con cuerpos con ganchos y determinar siempre la fuerza necesaria para poner en movimiento al paralelepípedo.

Resultado

La fricción de adherencia depende de los tipos de materiales que se deslizan entre sí. Ésta aumenta proporcionalmente a la fuerza de presión.

La fuerza de fricción de adherencia, con igual fuerza de presión, es más grande en tanto sea mayor la superficie de fricción. En todo caso, la fuerza de fricción de adherencia es mayor que la fuerza de fricción de deslizamiento registrada en el experimento 21.

Nota

En lugar del dinamómetro se puede fijar un cuerpo con ganchos al final de la cuerda. Es posible llegar a conclusiones sobre el valor de la fuerza de fricción inclinando el plano (comparar con experimento 21). Sin embargo, también se puede prescindir de la cuerda si se elige una inclinación del plano que permita que el paralelepípedo de aluminio empiece a deslizarse. Además, es válida la indicación 3 del experimento 22.

24. Fricción de rodadura

Componentes Necesarios

- 1 Dinamómetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Rodillo
- 1 Paralelepípedo de aluminio con 2 ganchos
- 3 Cuerpos con ganchos
- 1 Cuerda de nylon con lazos

Montaje experimental

- Fijar el plano inclinado horizontalmente en la parte superior izquierda del tablero magnético.
- Situar en el extremo izquierdo del plano inclinado el rodillo y fijar en él un extremo de la cuerda.
- Hacer pasar la cuerda sobre la polea fija y fijarla en el dinamómetro, el cual se encuentra en el lado derecho del tablero, debajo del plano.

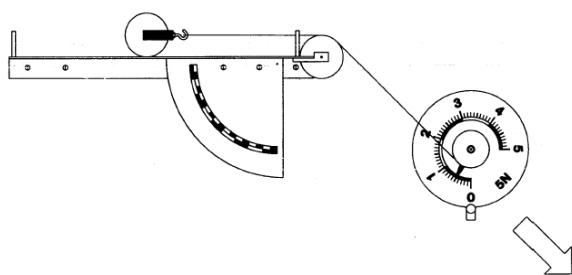


Fig. 24

Experimento

- Mover el dinamómetro lentamente hacia la derecha y hacia abajo. Al hacerlo, determinar la fuerza que es necesaria para que el rodillo se mantenga en movimiento.
- Después, sustituir el rodillo por el paralelepípedo de aluminio, el cual recibe la carga de

3 cuerpos con ganchos. Así, su fuerza corresponde al peso del rodillo.

- Con el mismo montaje determinar la fuerza necesaria para mantener el movimiento continuo del paralelepípedo.

Resultado

En comparación con la fricción de deslizamiento y la de adherencia, la fricción de rodadura es mucho más pequeña.

25. Duración del ciclo de un péndulo de un hilo

Componentes Necesarios

- 3 Cuerpos con ganchos
- 1 Soportes
- 1 Manguito de caucho
- 1 Estribo de latón
- 1 Escala adherente
- 1 Cuerda de nylon con lazos, larga
- 1 Cronómetro

Montaje experimental

- Fijar la escala adherente verticalmente en el tablero magnético.
- Colocar el soporte en el círculo medio del extremo superior de la escala y cubrir su extremo anterior con un manguito de caucho.
- Colocar el estribo de latón sobre el soporte.
- Colgar sobre cada uno de los extremos uno de los lazos de la cuerda y fijar ahí un cuerpo con gancho.

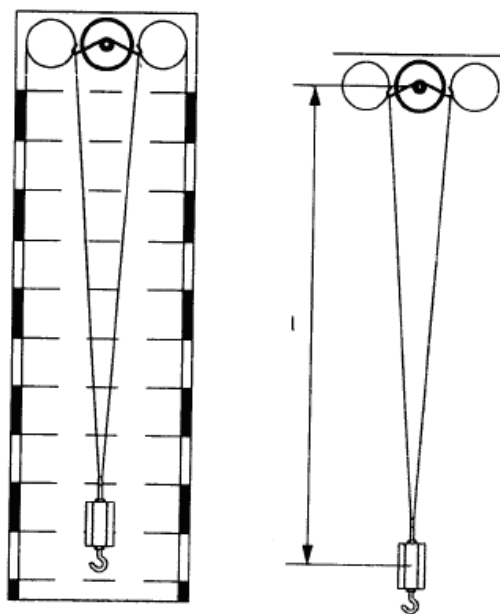


Fig. 25

La longitud correspondiente se puede leer directamente en la escala. El extremo superior efectivo del péndulo se encuentra en la mitad del estribo de latón, al principio de la escala, el extremo inferior, en la mitad del peso.

Experimento 1

Relación entre la duración del ciclo y la masa del péndulo de hilo

- Desviar lateralmente la masa hasta el borde de la escala y soltarla.
- Determinar con el cronómetro el tiempo de 10 ciclos y registrarlo en la tabla.
- Después, en la cuerda, fijar en lugar del cuerpo con ganchos dos, y luego tres cuerpos con gancho, uno al lado del otro.
- Para cada caso determinar la duración del ciclo de 10 oscilaciones.
- Repetir los ensayos con una segunda longitud del péndulo (cuerda de otra longitud).

Tabla

Longitud / en cm	Masa m en g	Tiempo para 10 ciclos t en s	Duración T del ciclo en s

Resultado

La duración del ciclo de un péndulo de hilo es independiente de la masa.

Experimento 2

Relación entre la duración del ciclo y el largo del péndulo

Se puede utilizar un cuerpo con ganchos como masa del péndulo. La longitud del péndulo debe ser de aproximadamente 50 cm.

- Desviar el cuerpo hasta el borde de la escala y soltarlo. Determinar el tiempo para 10 ciclos y registrarlo en la tabla.
- Reducir la longitud del péndulo a 40 cm. Además, fijar la cuerda a un lado del estribo de latón con un lazo fácilmente desatable.
- Determinar el tiempo para 10 ciclos y registrarlo en la tabla.
- A continuación, disminuir paso a paso la longitud del péndulo.
- Determinar en base al tiempo de 10 oscilaciones la duración del ciclo.
- Finalmente, calcular el cuadrado de la duración del ciclo y anotarlo en la última columna de la tabla.

Tabla

Longitud / en cm	Tiempo para 10 ciclos t en s	Duración T del ciclo en s	Cuadrado de la duración del ciclo T^2 en s^2

Resultado

Mientras más grande es la longitud del péndulo de hilo, mayor es también la duración del ciclo. Es válido: $T^2 \sim l$

Nota

1. En el primer experimento, debido a que se cuelgan uno tras otro dos o más cuerpos con gancho, el punto de gravedad se desplaza ligeramente hacia arriba. Para que la longitud del péndulo permanezca inalterable de un experimento a otro, dado el caso, es necesario colocar un pequeño pedazo de alambre (por ejemplo: de un sujetapapeles) entre el hilo y el cuerpo del péndulo.

2. El segundo experimento se lo puede tomar como la confirmación de la ecuación que determina la duración de oscilación de un péndulo de hilo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Con la aplicación de la correspondiente longitud del péndulo l y de la aceleración de caída g se calcula la duración del ciclo. Esta concuerda con la duración del ciclo medido en cada experimento parcial.

26. Duración del ciclo de un péndulo de torsión

Componentes Necesarios

- 3 Cuerpos con ganchos
- 3 Resortes helicoidales
- 1 Soportes
- 1 Manguitos de caucho
- 1 Escala de adherencia
- 1 Cronómetro

Montaje experimental

- Fijar la escala adherente en el tablero magnético y colocar un soporte en el extremo superior.

- Colgar el resorte y asegurarlo con un manguito de caucho.
- Colgar del extremo inferior del resorte un cuerpo con gancho.

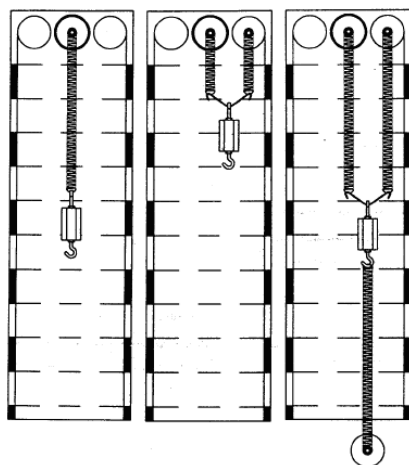


Fig. 26 a

Fig. 26 b

Experimento 1

Relación entre el ciclo y la masa del péndulo de torsión

- Mover el cuerpo con ganchos verticalmente unos 5 centímetros y soltarlo.
- Determinar con el cronómetro el tiempo para 10 ciclos y registrarlo en la tabla.
- En lugar del cuerpo con gancho, fijar después dos y finalmente tres cuerpos, uno debajo del otro, en el resorte helicoidal.
- Para cada caso, determinar la duración del ciclo para 10 oscilaciones y registrar el valor en la tabla.
- Representar gráficamente el cuadrado de la duración del ciclo como función de la masa.

Tabla

Masa m en g	Tiempo para 10 ci- clos t en s	Duración del ciclo T en s	Cuadrado de la duración del ciclo T^2 en s^2

Resultado

La duración del ciclo de un péndulo de torsión aumenta con la masa. Es válido: $T^2 \sim m$

Experimento 2

Relación entre la duración del ciclo y la constante de muelle

- Colgar primeramente un resorte en el soporte y determinar la posición de su extremo inferior.
- Luego, colgar del resorte un cuerpo con ganchos y determinar su prolongación.
- Enseguida, colgar 2 resortes del soporte, uno debajo de otro, y determinar nuevamente su prolongación tras colgar un cuerpo con gancho.
- Repetir el experimento con 3 resortes.
- Para todos los tres casos, formar el cociente de la prolongación y de la fuerza activa y registrarlo en la tabla.
- En el caso de un resorte con un cuerpo con gancho, se produce un desvío vertical de unos 5 cm, a continuación, soltar el cuerpo con ganchos y establecer el tiempo para 10 ciclos.
- Repetir el experimento para los otros dos montajes (2 resortes y 3 resortes).
- Registrar los tiempos en la tabla.
- Representar gráficamente el cuadrado de la duración del ciclo a través del cociente entre la variación de la longitud y fuerza.

Tabla

Número de resortes	Fuerza F en N	Constante de muelle k en N/cm	Tiempo para 10 ciclos t en s	Duración del ciclo T en s	Variación de longitud l en cm
1	100				
2	100				
3	100				

Resultados

El cociente entre la fuerza y la prolongación de un resorte caracteriza su resistencia (constante de muelle $k = F/l$). Mientras más grande es la constante de muelle, más pequeña es la duración del ciclo.

$$\text{Es válido: } T^2 \sim \frac{l}{k}$$

Nota

1. ¡Para determinar exactamente la proporcionalidad entre T^2 y l/k , es necesario tener en cuenta las fuerzas de peso de los resortes colgados y las variaciones de longitud correspondientes!

2. En el experimento 2 se pueden también montar más resortes, junto entre sí. De esta manera disminuye la constante de muelle. La fijación de dos resortes, uno junto a otro, es fácil de realizar colocando dos soportes juntos, y fijando en cada uno de ellos un resorte. Se une el extremo inferior de ambos resortes con un estribo de latón, en el cual se sujetan los cuerpos con ganchos (ver Fig. 26a).

3. Los dos experimentos se pueden aplicar para confirmar la ecuación de la duración del ciclo de un péndulo de torsión.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

En este caso, se introduce la masa m y la constante de muelle k en la ecuación y, a partir de ello, se calcula la duración del ciclo. Ésta concuerda, en cada experimento parcial, con la duración de ciclo medido.

4. También se puede variar la constante de muelle si se coloca en el gancho inferior del cuerpo con ganchos otro resorte helicoidal, cuyo extremo inferior se sostenga en un soporte adicional (ver Fig. 26b).

27. Resonancia de dos péndulos de torsión Equipos

Componentes Necesarios

- 4 Cuerpos con ganchos
- 1 Palanca
- 2 Resortes helicoidales
- 2 Soportes
- 2 Manguitos de caucho
- 1 Escala de adherencia
- 2 Ganchos de latón

Montaje experimental

- Fijar verticalmente la escala adherente en el tablero magnético y colocar un soporte a la altura de su extremo superior derecho y otro en el izquierdo.
- Asegurar cada uno de los soportes con un manguito de caucho y colocar la palanca de plano por encima. Elegir la distancia de los soportes de manera que se pueda utilizar casi toda la longitud de la palanca.
- En el centro de la palanca, por medio de los ganchos de latón, a una distancia de 2 orificios, asegurar los dos resortes helicoidales y colgar de cada uno de ellos 2 cuerpos con ganchos.

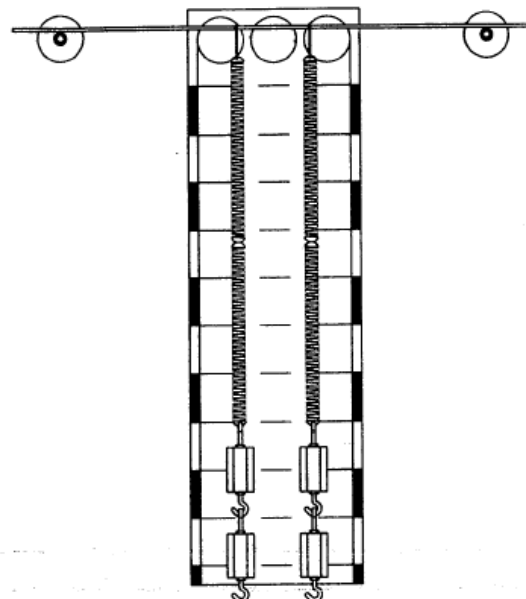


Fig. 27

Experimento

- Estirar verticalmente y hacia abajo el extremo inferior de uno de los dos resortes en unos 5 centímetros y soltarlo.

Al oscilar, el péndulo transmite su energía poco a poco al segundo péndulo, el mismo que empieza a oscilar con una amplitud siempre creciente. Finalmente, el primer péndulo descansa. A continuación, la energía retorna al primer péndulo de torsión.

Resultado

En los péndulos acoplados, de igual frecuencia, se realiza un repetitivo y completo traslado de energía de un péndulo a otro.

Mécanique sur tableau magnétique 1000735

Manuel d'utilisation

09/26 ALF/HJB



1. Description

Le kit Mécanique - Statique permet de réaliser toutes les expériences fondamentales en matière de statique. La particularité est que tous les montages expérimentaux peuvent être effectués sur un tableau magnétique vertical à l'aide des pièces aimantées. Les puissants aimants garantissent une fixation sûre de toutes les pièces. Grâce à cette technique d'expérimentation, tout matériel de support est superflu et, d'autre part, les pièces peuvent être déplacées aisément. Ce qui permet un montage rapide des expériences et un ajustage simplifié. La disposition verticale et les grandes dimensions de toutes les pièces garantissent une bonne visibilité de toutes les expériences. L'absence de matériel de support entraîne la suppression de toute influence perturbatrice. En outre, le travail au tableau magnétique permet d'apporter des inscriptions directement sur le montage de l'expérience. D'une part, il est possible - au besoin - de dénommer les composants. D'autre part, on peut inscrire les grandeurs physiques modifiées ou mesurées, par exemple les longueurs et les forces dans leurs positions mutuelles. Enfin, un schéma représentant le principe du montage expérimental peut être placé à côté du montage. Ce schéma peut être réalisé avant le montage, permettant ainsi de réaliser l'expérience d'après lui. Mais il peut également être développé après le montage, les principaux composants de l'expérience étant mis en évidence. Ce système permet par exemple de représenter des forces et des parallélogrammes de forces.

Pour réaliser les expériences, le kit propose en outre un tableau magnétique aux dimensions minimum de 100 cm x 100 cm.

2. Matériel fourni

N°	Composant	Quantité
1.	Dynamomètre 5 N	2
2.	Plan incliné à poulie fixe et graphomètre	1
3.	Cylindre 5 N	1
4.	Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets 2 N	1
5.	Corps à crochet 1 N	6
6.	Petite poulie	1
7.	Grande poulie	1
8.	Moufle à 2 poulies	1
9.	Levier	1
10.	Barre filetée en acier	1
11.	Contrepoids avec vis de serrage	1
12.	Ressorts cylindriques	3
13.	Disque de centre de gravité	1
14.	Fil à plomb	1
15.	Support	3
16.	Manchons en caoutchouc	3
17.	Crochet en laiton	3
18.	Étrier en laiton	1
19.	Graduation aimantée	1
20.	Flèches aimantées	4

- | | |
|----------------------------|---|
| 21. Équerre aimantée | 1 |
| 22. Fil en nylon à boucles | 4 |

3. Expériences avec le matériel fourni

Nature d'une force, composition et décomposition de forces

1. Mesure de force avec un dynamomètre à ressort - la force comme grandeur vectorielle
2. Décalage d'une force le long d'une ligne d'action
3. Loi de Hooke
4. Addition de forces avec une ligne d'action commune
5. Action égale réaction
6. Addition de forces de différentes directions - Emploi de dynamomètres
7. Addition de forces de différentes directions - Emploi de corps à crochet
8. Décomposition d'une force en deux composantes verticales superposées
9. Décomposition d'une force en deux forces parallèles

Centre de gravité et position d'équilibre

10. Lignes de gravité et centre de gravité d'un disque en plastique
11. Positions d'équilibre d'un corps suspendu
12. Positions d'équilibre - Centre de gravité à l'extérieur du levier

Dispositifs de transformation de la force

13. Équilibre de forces sur un levier à deux bras
14. Équilibre de forces sur un levier à un bras
15. Couple de rotation
16. Forces exercées sur une poulie fixe
17. Forces exercées sur une poulie mobile
18. Forces exercées sur un palan
19. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec le dynamomètre
20. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec des corps à crochet
21. Frottement de glissement - Étude avec un dynamomètre
22. Frottement de glissement - Étude avec des éléments de pesage
23. Frottement par adhérence
24. Frottement de roulement

Oscillations

25. Durée de période d'un pendule à fil
26. Durée de période d'un oscillateur à ressort vertical
27. Résonance de deux oscillateurs à ressort

4. Notes sur quelques éléments de montage

1. Dynamomètre à ressort

Le dynamomètre à ressort peut être utilisé dans toutes les positions. Le cas échéant, il suffit de tenir compte du propre poids des fils, crochets, etc. Mais son influence est faible lorsque les forces utilisées sont importantes. Pour atteindre la position zéro de l'aiguille, tournez le disque gradué. Le fil doit être placé sur la poulie dans le sens des aiguilles d'une montre.

2. Plan incliné

Le plan incliné peut être aisément fixé au tableau magnétique dans différents angles. Le fil à plomb indique l'angle.

3. Moufle à 2 poulies

Le moufle à deux poulies peut être utilisé comme roue mobile. Pour cela, il est utile de dévisser une poulie. Le montage de l'expérience en est plus clair et le poids massique du moufle réduit.

4. Flèches et équerre aimantées

Les directions des forces et des mouvements peuvent être marquées par les flèches aimantées. Les flèches ayant toutes la même longueur, il est nécessaire toutefois, en cas de forces différentes, de signaler que les flèches ne représentent pas exactement les sommes des forces.

L'équerre aimantée permet de présenter la position du centre de rotation.

5. Réalisation des expériences

1. Mesure de force avec un dynamomètre à ressort - la force comme grandeur vectorielle

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 1 Cylindre
- 1 Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
- 1 Corps à crochet
- 1 Crochet en laiton
- 3 Fils à boucles de longueurs différentes

Montage de l'expérience

- Placez le dynamomètre dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Puis, attachez-y le fil avec les boucles et, à son extrémité, le crochet en laiton.

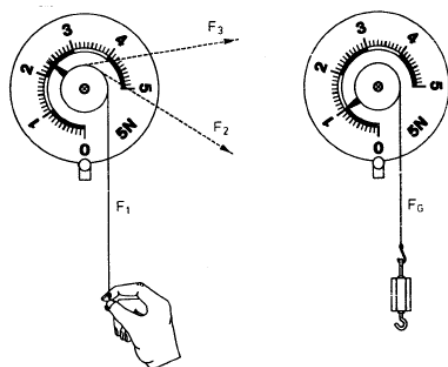


Fig. 1

Expérience

- Avec la main, exercez une force toujours plus importante sur le dynamomètre à ressort.
- Faites agir la force successivement dans différentes directions.
- Enfin, accrochez successivement le corps à crochet, le parallélépipède en aluminium et le cylindre au dynamomètre.

Résultat

Les forces présentent différentes valeurs et peuvent agir dans différentes directions. La force massique est orientée verticalement vers le bas. Pour être identifiée, une force doit recevoir une valeur et une direction.

2. Décalage d'une force le long d'une ligne d'action

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 3 Corps à crochet
- 1 Crochet en laiton
- 3 Fils à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez le dynamomètre à ressort dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- À son point de mesure, fixez les trois fils à boucles.

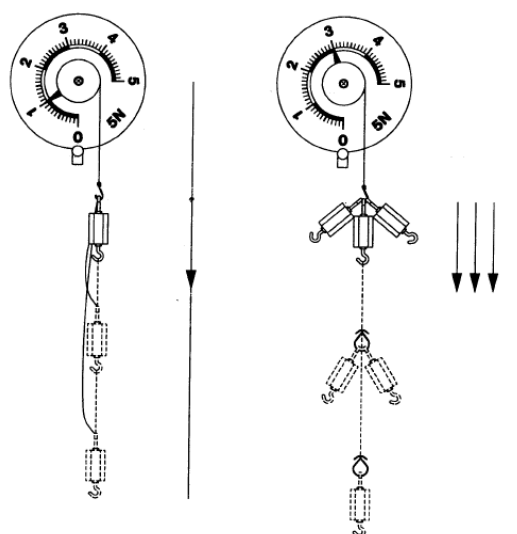


Fig. 2

Expérience

- D'abord, accrochez le corps dans le crochet du dynamomètre et déterminez la force indiquée.
- Puis, accrochez ce corps toujours plus bas, pas à pas, d'une boucle à l'autre.
- Ensuite, fixez les trois corps à crochet au dynamomètre. Pour terminer, placez d'abord un, puis les deux corps à crochet toujours plus bas, pas à pas, d'une boucle à l'autre.
- Déterminez à chaque fois la force indiquée.

Résultat

Une force peut être déplacée le long de sa ligne d'action.

3. Loi de Hooke

Composants Requis

- 2 Ressorts cylindriques
- 3 Corps à crochet
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Graduation aimantée

Montage de l'expérience

- Placez la graduation verticalement sur le tableau magnétique.
- Fixez le support à son extrémité supérieure.
- Puis accrochez-y un ressort fixé par un manchon en caoutchouc.

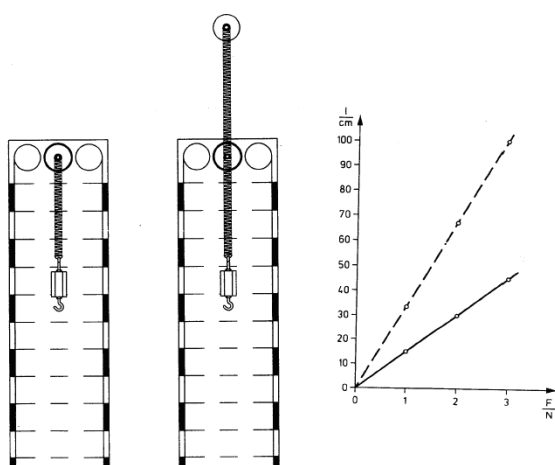


Fig. 3

Expérience

- Déterminez la position de l'extrémité inférieure du ressort.
- Puis, fixez un corps à crochet au ressort, déterminez l'allongement et notez la valeur dans le tableau.
- Ensuite, accrochez deux, puis trois corps dans les ressorts et déterminez à chaque fois l'allongement.
- Répétez l'expérience avec deux ressorts accrochés l'un au-dessus de l'autre. Dans ce cas, il est utile de placer le support pour les ressorts au-dessus de la graduation.
- Déterminez à chaque fois l'allongement et notez la force massique dans le tableau.
- L'allongement est représenté dans le graphique en fonction de la force.

Tableau

Force massique des corps F_G en N	Allongement d'un ressort Δl en cm	Allongement de deux ressorts Δl en cm
0		
1		
2		
3		

Résultat

Plus la force agissante est élevée, plus l'allongement est important. La loi de Hooke s'applique : $\Delta l \sim F$. L'allongement dû à une certaine force dépend des propriétés du ressort.

4. Addition de forces avec une ligne d'action commune

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 5 Corps à crochet hts
- 2 Fils à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez le dynamomètre à ressort dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Fixez les deux fils à boucles au dynamomètre à ressort.

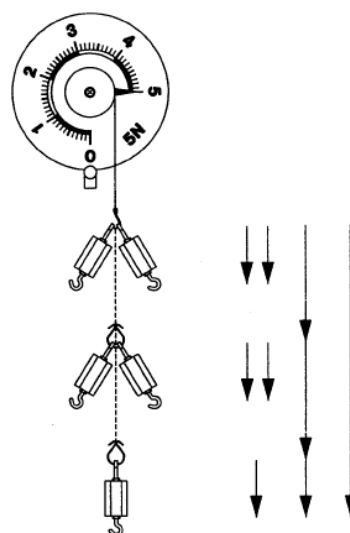


Fig. 4

Expérience

- Fixez d'abord un corps à crochet au dynamomètre, puis successivement les autres, au choix au dynamomètre ou aux fils.
- En tous les cas, lisez à chaque fois la force indiquée.

Résultat

Lorsque toutes les forces agissent le long d'une ligne d'action, la force totale est égale à la somme des forces partielles. Le sens de la force totale est identique à celui des forces partielles.

5. Action égale réaction

Composants Requis

- 2 Dynamomètres
- 1 Fil à boucles

Montage de l'expérience

- Positionnez les deux dynamomètres côte à côte sur le tableau magnétique et fixez la ficelle courte aux crochets. Dans un premier temps, il n'est pas encore tendu.

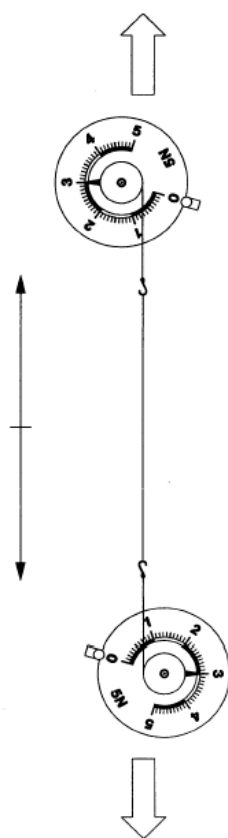


Fig. 5

Expérience

- Déplacez le dynamomètre de gauche progressivement vers la gauche.

Lorsque le fil est tendu, les deux dynamomètres indiquent une force. Les forces augmentent au fur et à mesure que le dynamomètre est déplacé. En tous les cas, elles sont identiques.

- Ramenez le dynamomètre de gauche dans sa position initiale et déplacez celui de droit progressivement vers l'extérieur.

Lorsque l'écart entre les dynamomètres augmente, les deux forces qui apparaissent sont toujours identiques.

Résultat

Lorsqu'une force est exercée sur un corps, celui-ci oppose à cette force une force toujours identique, mais contraire. Action égale réaction.

6. Addition de forces de différentes directions - Emploi de dynamomètres

Composants Requis

- 2 Dynamomètres
- 1 Ressort
- 1 Disque de centre de gravité
- 3 Supports
- 3 Manchons en caoutchouc
- 1 Crochet
- 1 Fil à boucles

Montage de l'expérience

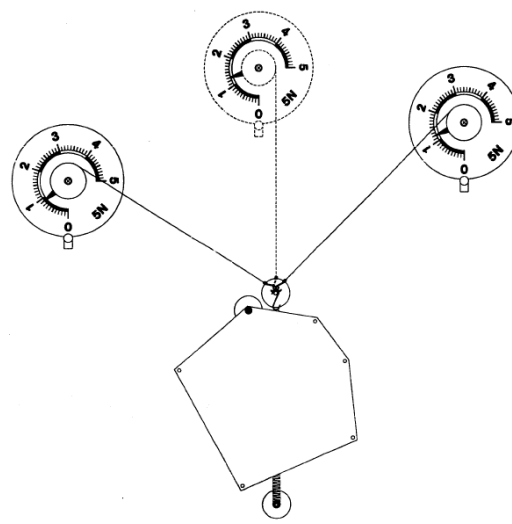


Fig. 6

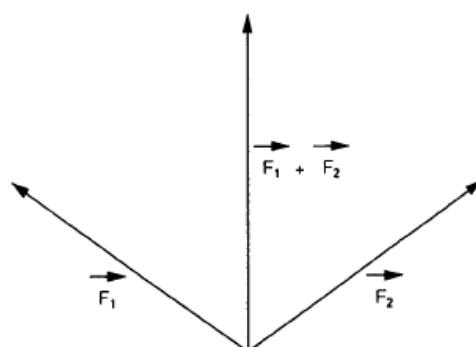


Fig. 6 a

- Fixez les deux dynamomètres des deux côtés dans la partie supérieure du tableau magnétique et reliez-les avec un fil à boucles.
- Suspendez le crochet à ce fil.
- Fixez le ressort cylindrique au crochet. Tendez le ressort vers le bas, puis fixez-le dans un support avec un manchon en caoutchouc.
- Mettez un support supplémentaire à l'endroit où se trouve le crochet.
- Fixez le disque de centre de gravité à l'un des supports devant le ressort, de manière à recouvrir le ressort et à ne laisser visibles que le crochet et le support.

Expérience

- Déplacez les deux dynamomètres de sorte que le crochet ne soit plus en contact avec le support.

Dans cette position, deux forces, qui sont en équilibre avec la force du ressort, agissent sur le crochet.

- Reproduisez dans le tableau le sens et la valeur des deux forces des dynamomètres.
- Puis, retirez l'un des dynamomètres et accrochez la boucle ainsi libérée au point de mesure du dynamomètre restant.
- À présent, déplacez ce dernier, jusqu'à ce que le crochet ne touche plus le support.

Dans ce cas, la force mise à disposition par le dynamomètre présente le même effet que les deux forces individuelles auparavant.

- Reproduisez également le sens et la valeur de cette force dans le tableau.

Cette force est représentée par la diagonale du parallélogramme de forces.

Résultat

Lorsque deux forces agissent sur un corps dans différentes directions, elles peuvent être remplacées par une seule force. La valeur et la direction de cette force résultent de la diagonale du parallélogramme.

7. Addition de forces de différentes directions - Emploi de corps à crochet

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 1 Grande poulie
- 1 Petite poulie
- 6 Corps à crochet
- 1 Ressort cylindrique
- 1 Disque de centre de gravité
- 3 Supports

3 Manchons en caoutchouc

1 Crochet en laiton

1 Fil à boucles long

Montage de l'expérience

- Fixez les deux poulies des deux côtés dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Disposez le fil autour des poulies et suspendez 2 corps à crochet dans chaque boucle.
- Fixez le ressort dans la partie inférieure du tableau magnétique à un support avec un manchon.
- Reliez l'autre extrémité du ressort au fil via un crochet.
- Déplacez le support vers le bas, jusqu'à ce que vous obteniez l'angle souhaité entre les deux forces orientées de biais vers le haut.
- Ensuite, placez un support à l'emplacement du crochet, sans que ce dernier ne soit touché.
- Fixez le disque de centre de gravité à un support supplémentaire, de manière à ce qu'il recouvre le ressort et que seul le crochet soit visible avec le support.

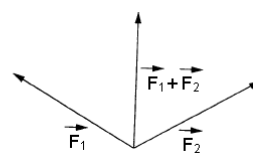
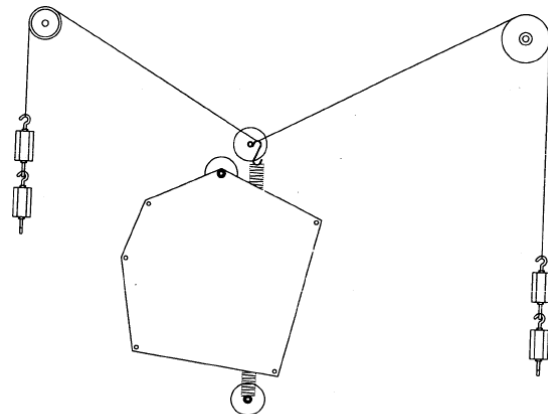


Fig. 7

Expérience

Les deux corps à crochet exercent une force sur le crochet, de manière à ce que celui-ci reste dans cette position.

- Marquez les deux directions des forces au tableau et dotez-les de pointes de flèches de

sorte que la longueur des vecteurs corresponde aux forces.

L'objectif est de remplacer ces deux forces par une seule force, de manière à obtenir le même effet.

- Pour cela, remplacez le fil avec le corps à crochet par le dynamomètre. Déplacez celui-ci vers le haut ou vers le côté, de manière à ce que le crochet soit de nouveau suspendu librement.

À présent, le dynamomètre exerce sur le crochet la même force qu'auparavant les deux corps à crochet.

- Esquissez au tableau le sens et la valeur de la force du dynamomètre.

Après avoir retiré le dynamomètre, on observe que la force est égale aux diagonales du parallélogramme de forces résultant des deux forces individuelles.

Résultat

Lorsque deux forces agissent sur un corps dans différentes directions, elles peuvent être remplacées par une seule force. La valeur et la direction de la diagonale dans le parallélogramme de forces, qui part du point d'attaque des deux forces, correspondent à la somme des deux forces individuelles.

8. Décomposition d'une force en deux composantes verticales superposées

Composants Requis

- 2 Dynamomètres
- 5 Corps à crochet
- 1 Poulie
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Crochet en laiton
- 2 Fils à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez un dynamomètre à mi-hauteur dans la partie gauche du tableau magnétique, l'autre au milieu de la partie supérieure.
- Reliez les deux dynamomètres par un fil court à boucles.
- Suspendez le crochet en laiton dans ce fil et pourvoyez-le d'un autre fil à boucles.
- Accrochez les 5 éléments de pesage dans la boucle encore libre et placez le fil au-dessus d'une poulie, de manière à ce qu'il tire de biais vers le bas à droite.

- Modifiez la position du dynamomètre supérieur de sorte à obtenir un angle droit entre les deux forces qui partent des dynamomètres.
- À l'emplacement du crochet en laiton, mettez le support de sorte que le crochet ne le touche pas.

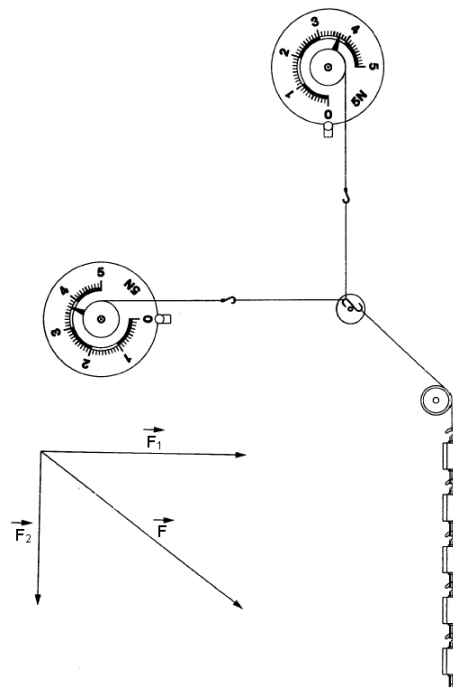


Fig. 8

Expérience

Les corps à crochet exercent sur le crochet en laiton une force orientée de biais vers le bas. Cette force est décomposée à hauteur du crochet en deux composantes dirigées verticalement l'une vers l'autre. L'une des forces a une orientation verticale, l'autre une orientation horizontale. Les forces indiquées par les dynamomètres indiquent la force contraire des deux composantes de la force décomposée.

- Dans le parallélogramme des forces, inscrivez d'abord la valeur et la direction de la force orientée de biais vers le bas F des corps à crochet.
- Puis, tracez une ligne horizontale et verticale partant du point de départ de cette force.
- À présent, construisez un parallélogramme dans lequel la force des corps à crochet est représentée par la diagonale dans le rectangle.

La valeur des deux forces partielles émanant du point d'attaque de la force peut être lue dans le

parallélogramme. Ces valeurs correspondent à celles indiquées par les deux dynamomètres. Mais la direction des forces partielles agissant sur les dynamomètres est contraire à ces forces partielles, car celles-ci représentent des forces opposées.

Résultat

Chaque force peut être décomposée en deux forces partielles orientées verticalement l'une vers l'autre. Les valeurs des deux forces partielles correspondent aux longueurs des deux côtés du rectangle dans lequel la force décomposée représente la diagonale. Chacune des deux forces partielles est inférieure à la force décomposée.

9. Décomposition d'une force en deux forces parallèles

Composants Requis

- 2 Dynamomètres
- 1 Levier
- 4 Corps à crochet

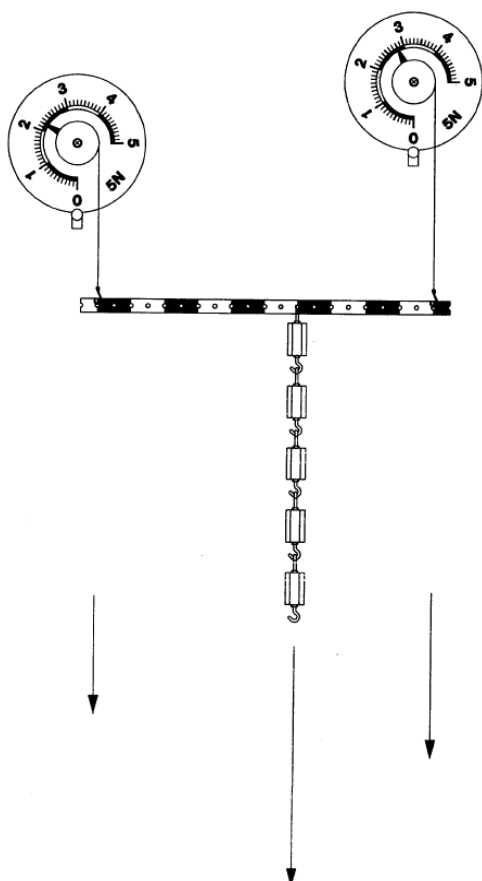


Fig. 9

Montage de l'expérience

- Fixez les dynamomètres à la même hauteur dans les parties droite et gauche du tableau magnétique.
- Accrochez le levier aux dynamomètres de manière à ce que les points d'attaque de la force se situent dans le dernier trou extérieur du levier.
- À présent, modifiez la position des dynamomètres de sorte que les forces agissent verticalement vers le haut et que le levier pende horizontalement.

Pour corriger les déviations occasionnées sur les dynamomètres par la force massique du levier, tournez le disque gradué.

Expérience

- Déterminez d'abord la force massique (identique) indiquée par les deux dynamomètres.
- Puis, accrochez les 4 corps reliés entre eux d'abord au milieu du levier et déterminez les forces partielles indiquées par les dynamomètres.
- Ensuite, déplacez progressivement le point de suspension vers l'extérieur et déterminez à chaque fois les forces partielles. Pour cela, avant la lecture, il est nécessaire de réajuster horizontalement le levier en décalant verticalement les dynamomètres.
- Inscrivez les forces partielles F_1 et F_2 et les écarts a_1 et a_2 la valeur dans le tableau.

La somme des forces partielles indiquées par les dynamomètres est égale à la force massique des corps à crochet.

Tableau

Force F_1 en N	Force F_2 en N	Écart a_1 en cm	Écart a_2 en cm

Résultat

Une force peut être décomposée en deux forces partielles parallèles. La somme des forces partielles est égale à la force totale. Le comportement des forces partielles est contraire à celui des écarts des points d'attaque des forces partielles par rapport au point d'attaque de la force totale.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

10. Lignes de gravité et centre de gravité d'un disque en plastique

Composants Requis

- 1 Disque de centre de gravité
- 1 Fil à plomb
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc

Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau magnétique et enfichez sur le support le disque de centre de gravité par l'un des trous.
- Puis, fixez le fil à plomb au support et protégez-le avec le manchon en caoutchouc.

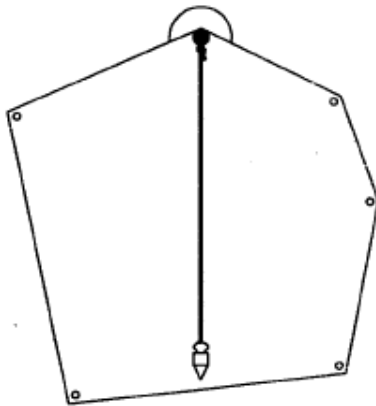


Fig. 10

Expérience

- Le long du fil à plomb, tracez un trait mince au crayon.
- Puis, accrochez le disque de centre de gravité à l'un des autres trous, fixez de nouveau le fil à plomb au support et tracez un nouveau trait au crayon le long du fil.
- Procédez de la même manière avec les autres trous du disque de centre de gravité.

Résultat

Toutes les lignes de gravité se coupent au même point. C'est le centre de gravité du disque en plastique.

- Pour le vérifier, retirez le disque du support, placez-le en position horizontale et soutenez-le en son centre de gravité avec un crayon pointu.

Le disque soutenu en son centre de gravité ne modifie pas sa position.

Remarque

En vérité, le centre de gravité du disque se situe à l'intérieur. Aussi, lorsqu'il est soutenu au point

déterminé, le disque ne reste pas immobile dans chaque position.

11. Positions d'équilibre d'un corps suspendu

Composants Requis

- 1 Levier
- 1 Barre filetée en acier
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc

Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau, enfichez le levier dans son trou central et protégez-le avec un manchon en caoutchouc.

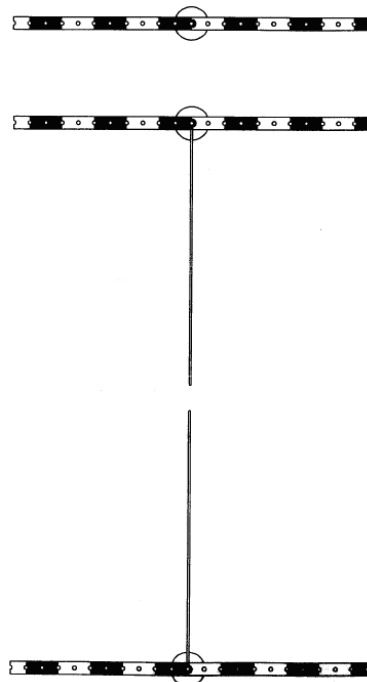


Fig. 11

Expérience

- Placez le levier dans différentes positions et relâchez-le à chaque fois.
- Puis, fixez la barre filetée en acier dans la partie centrale du levier, de sorte qu'elle soit tournée vers le bas.
- Encore une fois, placez le levier dans différentes positions, la barre se trouvant au-dessous du point de suspension, puis relâchez-le.
- Enfin, tournez le levier à 180° , de telle sorte que la barre en acier soit orientée verticalement vers le haut.
- Relâchez le levier également dans cette position.

Résultat

Dans le premier cas, le levier est en équilibre indifférent. Il reste immobile dans n'importe quelle position.

Dans le deuxième cas, le levier est en équilibre stable. S'il est dévié de sa position d'équilibre, il retourne toujours dans cette dernière.

Dans le troisième cas, le levier est en équilibre instable. Il ne reste qu'un court instant dans cette position. Tout écart, aussi faible soit-il, l'entraîne dans une position d'équilibre stable.

12. Positions d'équilibre - Centre de gravité à l'extérieur du levier

Composants Requis

- 1 Levier
- 1 Barre filetée en acier
- 1 Contrepoids avec vis de serrage
- 1 Fil à plomb
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc

Montage de l'expérience

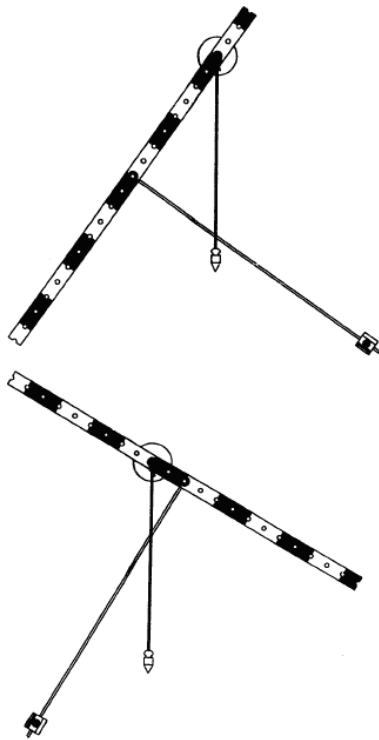


Fig. 12

- Vissez la barre filetée en acier au milieu du levier.
- À proximité de l'extrémité inférieure de la barre, fixez le contrepoids avec la vis de serrage.
- Placez le support au milieu de la partie supérieure du tableau magnétique et glissez le fil

à plomb sur le support jusqu'à la plaque de base.

- Enfichez le levier par l'un des trous sur le support et fixez-le avec le manchon en caoutchouc.

Expérience

- Marquez par ex. avec un petit morceau de ruban adhésif l'endroit où le fil coupe la barre filetée.
- Puis, enfichez le levier dans un autre trou du support et déterminez le point d'intersection entre le fil à plomb et la barre en acier.
- Répétez l'expérience avec deux trous qui, vus de la barre en acier, se trouvent de l'autre côté du levier.
- Enfin, retirez le levier et le fil à plomb du support et placez la barre en acier sur un bout du doigt, de sorte que le point de support se situe à l'emplacement marqué de la barre.

Résultat

Dans tous les cas, le point d'intersection entre le fil à plomb et la barre se situe au même endroit. Ce point se situe à l'extérieur du levier. C'est le centre de gravité du montage.

13. Équilibre de forces sur un levier à deux bras

Composants Requis

- 6 Corps à crochet
- 1 Levier
- 1 Barre filetée en acier
- 1 Contrepoids avec vis de serrage
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Équerre aimantée

Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau, enfichez le levier dans son trou central et fixez-le avec un manchon en caoutchouc.
- Vissez la barre en acier sous le support dans le levier et fixez-y le contrepoids à mi-hauteur.

Plus la masse de compensation est située en hauteur, plus la sensibilité du levier est importante.

- Marquez le centre de rotation du levier à l'aide de l'équerre aimantée.

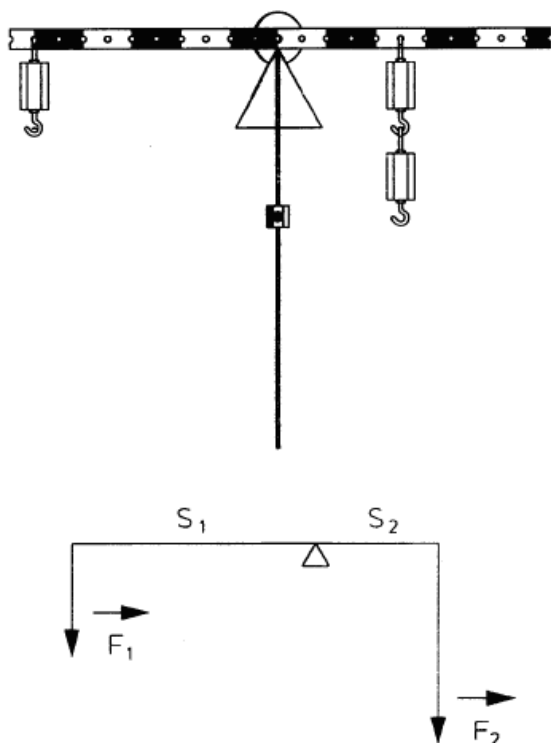


Fig. 13

Expérience

- Suspendez un corps à crochet dans le trou extérieur gauche du levier.
- Puis, cherchez le trou sur le côté droit du levier dans lequel il faut également suspendre un corps à crochet pour que le levier se trouve en équilibre.
- Les endroits où les forces agissent peuvent être marqués par les flèches représentant les forces.
- Mesurez l'écart entre les deux points d'attaque et le centre de rotation et inscrivez la valeur dans le tableau, de même que les forces massiques des deux corps à crochet.
- Puis, suspendez un autre corps au corps droit et cherchez le trou dans lequel doivent être placés les deux corps pour obtenir un équilibre.
- Inscrivez les forces et les bras dans le tableau.
- À présent, accrochez le corps gauche dans deux trous plus à l'intérieur (8ème trou à compter du centre de rotation).
- Pour établir l'équilibre, placez d'abord un, puis deux et enfin quatre corps à l'endroit correspondant.
- Inscrivez dans le tableau la longueur des bras et la valeur des forces.

Tableau

Bras de levier gauche s_1 en cm	Force agissante à gauche F_1 en N	Bras de levier droit s_2 en cm	Force agissante à droite F_2 en N	$F_1 \cdot s_1$ en Ncm	$F_2 \cdot s_2$ en Ncm

Résultat

Plus la force en action est éloignée du centre de rotation, plus elle doit être faible pour obtenir un équilibre des forces. L'évaluation mathématique résulte du produit de la force et du bras pour les deux bras de levier (les deux dernières colonnes du tableau). On a l'équation suivante :

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

14. Équilibre de forces sur un levier à un bras

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 6 Corps à crochet
- 1 Levier
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Équerre aimantée

Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu de la partie supérieure du tableau magnétique.
- Enfichez le levier (dernier trou à gauche) sur le support et accrochez dans le dernier trou à droite le dispositif de mesure du dynamomètre à ressort.
- Fixez le dynamomètre au tableau magnétique de manière à ce que le levier se trouve en position horizontale et que la ligne d'action de la force soit verticale vers le bas.

Pour corriger la déviation du dynamomètre occasionnée par le propre poids du levier, tournez le disque gradué de manière à ce qu'il indique zéro.

- Marquez le centre de rotation du levier à l'aide de l'équerre aimantée.

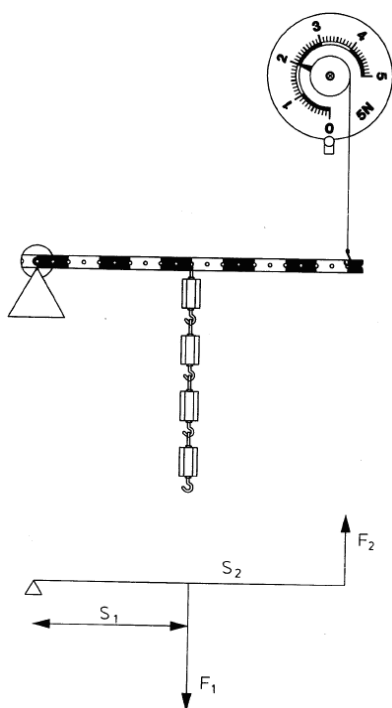


Fig. 14

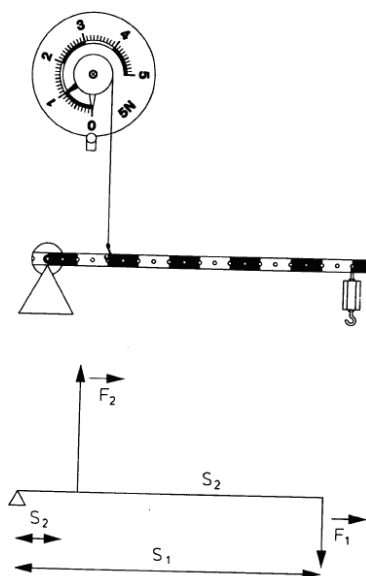


Fig. 14 a

Expérience

- Suspendez quatre corps ensemble et fixez-les d'abord à mi-longueur du levier.
- Inscrivez dans le tableau la longueur des bras et la valeur des forces.
- Accrochez d'abord les corps dans un trou tourné vers le centre de rotation, puis dans un trou opposé. Inscrivez les valeurs des grandeurs physiques dans le tableau.
- Desserrez le dynamomètre du levier et accrochez-le dans le 4e trou à compter du centre de rotation.

- Le levier doit être horizontal et la ligne d'action orientée verticalement vers le haut.
- Effectuez une nouvelle correction du point zéro du dynamomètre.
- À présent, placez un corps successivement à trois endroits du levier se trouvant à droite du point de mesure de la force.
- Inscrivez les valeurs des grandeurs physiques dans le tableau.

Tableau

Bras de levier s_1 en cm	Force agissante vers le bas F_1 en N	Bras de levier s_2 en cm	Force agissante vers le haut F_2 en N	$F_1 \cdot s_1$ en Ncm	$F_2 \cdot s_2$ en Ncm

Résultat

Plus l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation est important, plus la force doit être faible pour obtenir un équilibre des forces. L'évaluation mathématique résulte du produit du bras de levier et de la force correspondante (les deux dernières colonnes du tableau). Pour le levier à un bras :

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

15. Couple de rotation

Composants Requis

- 2 Dynamomètres
- 1 Levier
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Équerre aimantée

Montage de l'expérience

- Fixez le support au milieu du tableau magnétique.
- Enfichez le levier par son trou central au support et fixez-le avec le manchon en caoutchouc.
- Placez un dynamomètre au-dessus du bras droit du levier, l'autre au-dessous.
- Marquez le centre de rotation du levier à l'aide de l'équerre aimantée.

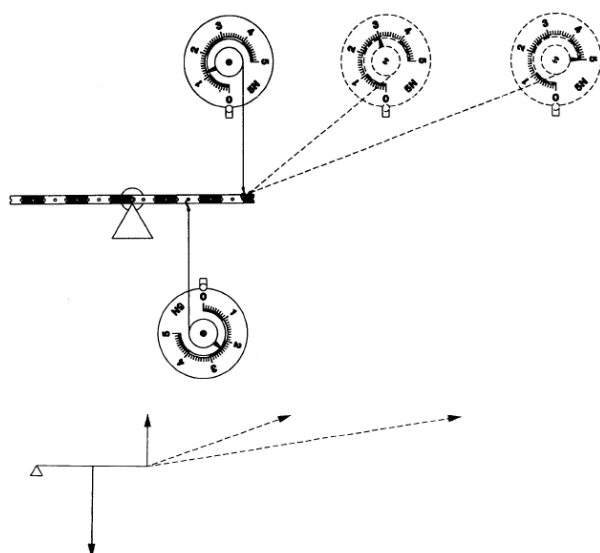


Fig. 15

Expérience

- Dans un premier temps, accrochez le point de mesure du dynamomètre supérieur dans le dernier trou du levier.
- Accrochez le point de mesure du dynamomètre inférieur dans le cinquième trou du centre de rotation.
- Modifiez la position du dynamomètre de manière à ce que le levier se trouve en position horizontale et que les fils soient orientés verticalement vers le haut ou vers le bas.
- Sur l'un des dynamomètres, réglez une force de quelques newtons.
- Inscrivez dans le tableau l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation du levier ainsi que les forces correspondantes.
- Puis, variez d'abord deux fois le point d'attaque du dynamomètre inférieure, puis le point d'attaque du dynamomètre supérieur.
- Dans tous les cas, réglez une position horizontale du levier et veillez à obtenir des forces verticales.
- Reportez dans le tableau les écarts du centre de rotation et les forces.
- Enfin, modifiez la position du dynamomètre inférieure de sorte que le sens de la force diverge toujours fortement de la verticale sur le levier. Cependant, le levier doit rester en position horizontale.

Tableau

Écart de la 1ère force du centre de rotation s_1 en cm	1. Force F_1 en N	Écart de la 2e force du centre de rotation s_2 en cm	2. Force F_2 en N	Couple de rotation 1 $F_1 \cdot s_1$ en Ncm	Couple de rotation 2 $F_2 \cdot s_2$ en Ncm

Résultat

Pour décrire l'équilibre d'un corps tournant, vous pouvez vous servir du couple de rotation. C'est le produit de l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation et de la force verticale correspondante. En cas d'équilibre, la valeur du couple tournant à droite est égale à celle du couple tournant à gauche.

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

Plus la force diverge du sens vertical par rapport au bras de levier, plus elle doit être importante pour conserver l'équilibre. Ce résultat confirme qu'il est utile de déterminer le couple de rotation comme produit de l'écart entre le point d'attaque de la force et le centre de rotation et de la force verticale correspondante. Plus la force diverge de ce sens, plus elle doit être importante pour obtenir le même couple de rotation.

16. Forces exercées sur une poulie fixe

Composants Requis

- 6 Corps à crochet
- 1 Grande poulie
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Graduation aimantée
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement au tableau magnétique.
- Disposez la grande poulie au milieu de l'extrémité supérieure de la graduation.
- Placez le fil sur la poulie. Fixez un corps dans chaque boucle.

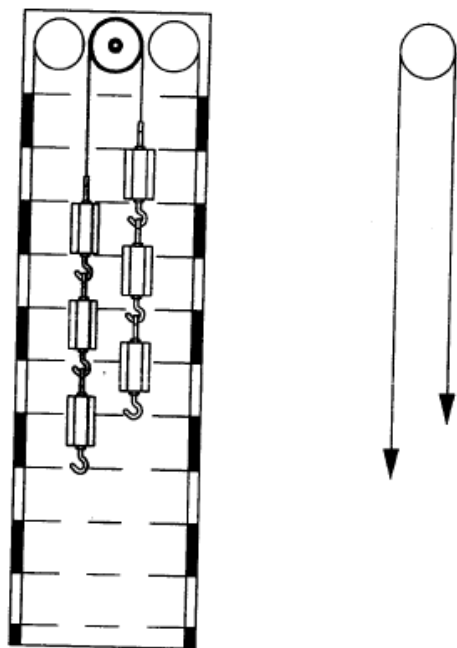


Fig. 16

Expérience

- Augmentez le nombre de corps d'abord à deux, puis à trois.
- Dans tous les cas, placez les crochets dans différentes positions et observez le comportement du montage.

Résultat

Dans le cas d'une poulie fixe, l'équilibre est garanti lorsque la même force agit de chaque côté.

17. Forces exercées sur une poulie mobile

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 1 Grande poulie
- 1 Moufle à 2 poulies
- 6 Corps à crochet
- 1 Contrepoids avec vis de serrage
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Graduation aimantée
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement au tableau magnétique.
- Fixez le support au milieu de l'extrémité supérieure de la graduation.
- Placez la grande poulie juste au-dessus. Suspendez une boucle du fil au support et fixez-la avec le manchon en caoutchouc.

- Puis, faites passer le fil par le bas et accrochez-y le moufle avec les poulies. Ramenez le fil vers le haut et placez-le au-dessus de la poulie fixe sur l'extrémité supérieure de la graduation.
- Accrochez un corps dans la boucle à l'extrémité du fil et chargez le moufle de deux corps.
- Pour compenser la force massique du moufle à poulies, ajoutez au corps le contrepoids avec la vis de serrage et, au besoin, ajoutez un peu de plastiline.

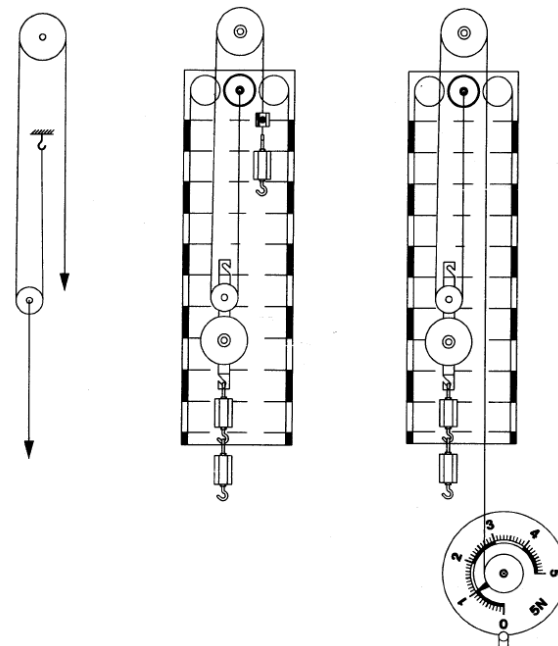


Fig. 17

Fig. 17 a

Fig. 17 b

Expérience 1

- Disposez le corps dans différentes positions le long de la graduation et relâchez-le à chaque fois.
- Ensuite, accrochez un deuxième corps au moufle et d'autres corps à la boucle, jusqu'à ce que vous obteniez un équilibre.

Expérience 2

- Remplacez la poulie fixe par un dynamomètre à ressort et accrochez à son point de mesure le fil avec la boucle où s'était trouvé le corps avec le contrepoids doté de la vis de serrage.
- Retirez les corps du moufle.
- D'abord, en tournant le disque gradué, réglez à zéro la déviation de l'aiguille du dynamomètre due au propre poids de la poulie mobile avec le moufle.
- Puis, accrochez successivement les corps au moufle et déterminez à chaque fois la force indiquée par le dynamomètre.

Résultat

La poulie mobile est en équilibre lorsque la force exercée sur le fil est moitié moins grande que la force de la poulie.

Remarque

Pour réaliser les expériences, il est utile de dévisser la grande poulie du moufle. Le montage est alors plus clair et la force massique perturbatrice du moufle réduite.

18. Forces exercées sur un palan

Composants Requis

- 6 Corps à crochet
- 1 Petite poulie
- 1 Grande poulie
- 1 Moufle à 2 poulies
- 1 Contrepoids avec vis de serrage
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Graduation aimantée
- 1 Fil en nylon à boucles long

Montage de l'expérience

- Placez la graduation verticalement sur le tableau magnétique.
- Placez la grande poulie au-dessus du milieu de la graduation, puis, au-dessous, dans la partie supérieure de la graduation, mettez la petite poulie et, plus en dessous encore, le support.
- Disposez une boucle du fil dans le support, fixez-la avec le manchon en caoutchouc, puis faites-la passer sur la petite poulie du moufle. Tenez le moufle de manière à ce que la petite poulie se trouve en haut.
- Ensuite, faites passer le fil par le haut et placez-y la petite poulie, puis de nouveau vers le bas sur la grande poulie du moufle et, enfin, sur la grande poulie.
- Accrochez le contrepoids avec la vis de serrage et, au besoin, ajoutez un peu de plastiline, pour compenser la force massique du moufle.

Expérience

- Accrochez un corps dans la boucle libre.
- Accrochez plusieurs corps au moufle, jusqu'à ce que le palan soit en équilibre.

Montez et descendez le moufle pour vérifier que le palan est en équilibre dans n'importe quelle position.

Résultat

Le palan avec au total quatre poulies est en équilibre lorsque la force exercée sur le palan est quatre fois plus grande que la force à l'extrémité du fil.

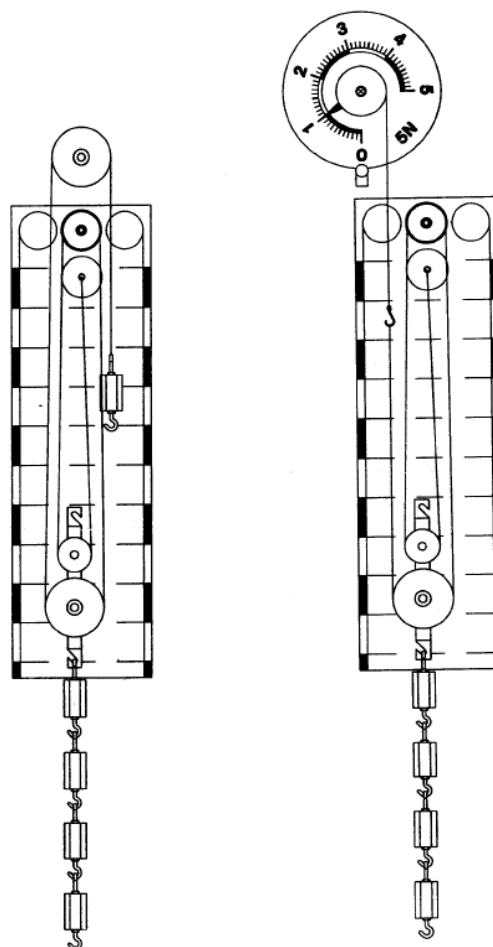


Fig. 18 a

Fig. 18 b

Remarque

À la place de la grande poulie supérieure, vous pouvez aussi utiliser un dynamomètre à ressort (fig. 18 b). Il sera placé environ à l'emplacement de la grande poulie, à l'extrémité supérieure du tableau magnétique. Dans ce cas, tournez la graduation pour compenser d'abord la force due au propre poids du moufle. À chaque nouveau corps accroché, la force indiquée augmente de 0,25 N.

19. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec le dynamomètre

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 1 Plan incliné
- 1 Cylindre
- 1 Levier
- 2 Supports
- 1 Fil à plomb
- 2 Manchons en caoutchouc
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Placez le plan incliné sur le tableau magnétique vertical et accrochez le fil à plomb à la partie supérieure du graphomètre.
- Dans un premier temps, réglez l'angle par rapport à l'horizontale à 10° .
- Positionnez le cylindre sur le plan, de sorte qu'il se trouve proche du tableau.
- Accrochez le cylindre dans l'une des boucles du fil et faites passer le fil sur la poulie verticalement vers le bas vers le dynamomètre à ressort.
- À partir de l'extrémité inférieure gauche du plan incliné, fixez le levier horizontalement à deux supports dans les 5e et 10e trous à compter de la gauche à l'aide de manchons en caoutchouc.

La hauteur du plan incliné peut donc être déterminée comme écart vertical entre le levier horizontal et l'extrémité inférieure droite du plan incliné.

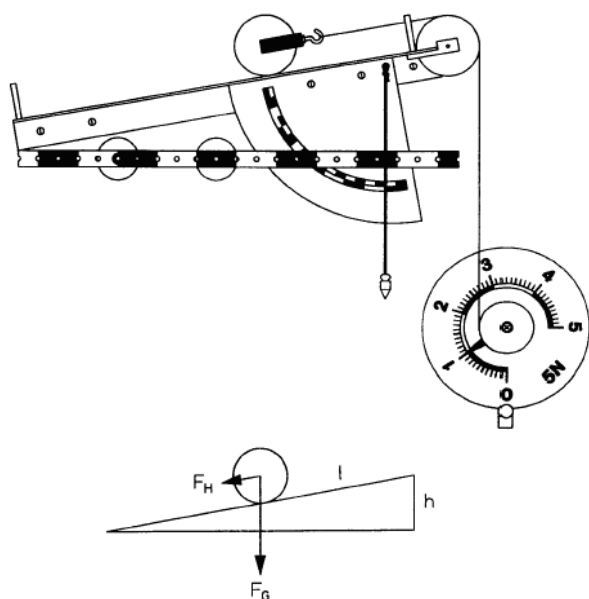


Fig. 19

Expérience

- Augmentez progressivement de 10° à 40° l'angle entre le plan incliné et le plan horizontal.
- Mesurez à chaque fois la hauteur du plan incliné et la force de porte-à-faux indiquée par le dynamomètre, puis notez les valeurs dans le tableau.

Tableau

Hau- teur h en cm	Lon- gueur l en cm	Force de porte-à- faux F_H en N	Force massique F_G en N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Résultat

Plus le plan incliné est élevé, plus la force de porte-à-faux est importante. Pour l'évaluation mathématique, on forme les quotients de la force de porte-à-faux F_H et de la force massique F_G ainsi que de la hauteur h et la longueur l du plan incliné (les deux dernières colonnes du tableau). La comparaison des quotients confirme :

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Remarque

1. Le fil tendu entre la poulie fixe et le dynamomètre à ressort peut également passer horizontalement derrière la poulie ou dans un autre angle quelconque. La seule condition est qu'il se situe à proximité du cylindre parallèlement au plan incliné. L'agencement du fil passant du cylindre au dynamomètre parallèlement au plan incliné est particulièrement compréhensible. Dans ce cas cependant, à chaque modification de l'inclinaison du plan, il faut modifier la position du dynamomètre.

2. Il est également possible d'établir l'équilibre du plan incliné en disposant à l'extrémité du fil, à la place du dynamomètre, des éléments de pesage dont la force massique est égale à la force du porte-à-faux.

3. Dans la mesure où les conditions mathématiques sont données, vous pouvez, à la place de la hauteur et de la longueur, utiliser l'angle dans l'évaluation

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha.$$

20. Forces exercées sur un plan incliné - Étude avec des corps à crochet

Composants Requis

- 1 Plan incliné
- 1 Cylindre
- 4 Corps à crochet
- 1 Levier
- 2 Supports
- 1 Fil à plomb
- 2 Manchons en caoutchouc
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Placez le plan incliné sur le tableau magnétique vertical et accrochez le fil à plomb à la partie supérieure du graphomètre.
- Dans un premier temps, ajustez le plan incliné à l'horizontale.
- Positionnez le cylindre sur le plan, de sorte qu'il se trouve proche du tableau.
- Accrochez le cylindre dans l'une des boucles du fil et faites passer le fil sur la poulie verticalement vers le bas vers le dynamomètre à ressort.
- Juste sous le plan incliné, fixez le levier horizontalement à deux supports dans les 5e et 10e trous à compter de la gauche à l'aide de manchons en caoutchouc.

La hauteur du plan incliné peut donc être déterminée comme écart vertical entre le levier horizontal et l'extrémité inférieure droite du plan incliné.

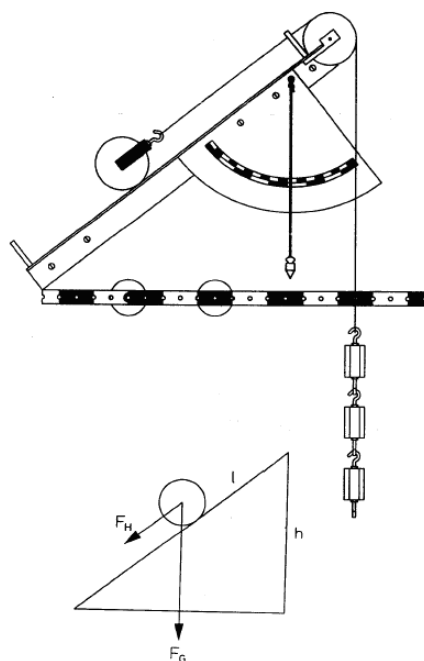


Fig. 20

Expérience

- Suspendez un corps à crochet dans la deuxième boucle du crochet.
- Dans un premier temps, tenez le cylindre et augmentez l'angle du plan de manière à ce que le corps compense la force du porte-à-faux du cylindre.
- Mesurez la hauteur du plan incliné et notez la valeur dans le tableau avec la longueur du plan, la force massique du cylindre et la force massique du corps.
- Ensuite, fixez deux corps dans la boucle et augmentez l'angle du plan jusqu'à ce que la force des masses compense à nouveau la force du porte-à-faux du cylindre.
- Répétez l'expérience avec trois, puis quatre corps.

Tableau

Hau- teur h en cm	Lon- gueur l en cm	Force de porte- à-faux F_H en N	Force mas- sique corps à crochet F_G en N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Résultat

Plus le plan incliné est élevé, plus la force de porte-à-faux est importante. Pour l'évaluation mathématique, on forme les quotients de la force de porte-à-faux F_H et de la force massique F_G ainsi que de la hauteur h et la longueur l du plan incliné (les deux dernières colonnes du tableau). Les quotients sont identiques :

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Remarque

À la place des corps, on peut aussi utiliser une petite balance à plateau très légère. Plusieurs angles quelconques du plan incliné peuvent alors être définis. Pour déterminer alors la force du porte-à-faux, on place des éléments de pesage sur la balance.

21. Frottement de glissement - Étude avec un dynamomètre

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 1 Plan incliné
- 1 Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
- 6 Corps à crochet
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Placez le plan incliné horizontalement sur la partie gauche du tableau magnétique.
- À l'extrémité gauche du plan incliné, placez le parallélépipède en aluminium avec deux crochets, de telle manière qu'il repose du côté large.
- Fixez le fil avec les boucles au crochet. Faites passer le fil sur la poulie fixe, de sorte qu'il soit parallèle au plan incliné.
- Accrochez la deuxième boucle au point de mesure du dynamomètre à ressort.

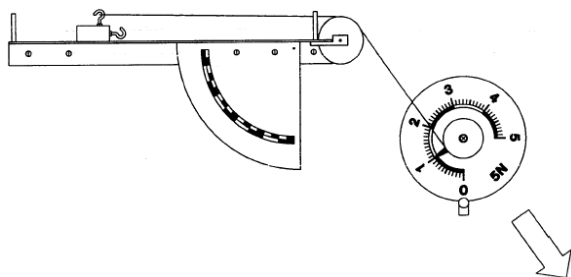


Fig. 21

Expérience

- Orientez lentement le dynamomètre à l'horizontale ou de biais vers le bas, de sorte que le parallélépipède en aluminium se déplace en un mouvement uniforme.
- Pendant le mouvement, lisez la force de frottement sur le dynamomètre à ressort.
- Ensuite, posez le parallélépipède sur la petite surface de même structure superficielle et répétez l'expérience.

L'application de corps à crochet permet d'augmenter progressivement la force massique effective.

- Ensuite, placez des bandes de différents matériaux (bois, carton, papier, plastique, etc.) sur le plan incliné et répétez l'expérience.

Résultat

Le frottement de glissement dépend du type de matériaux glissant l'un sur l'autre. Il augmente

proportionnellement à la force massique du corps glissant. Il ne dépend pas de la surface frottante.

Remarque

Le coefficient du frottement de glissement peut être aisément déterminé. Il suffit de calculer le quotient de la force de frottement de glissement et de la force massique du parallélépipède. Le côté étroit du parallélépipède est recouvert d'une couche en caoutchouc. La comparaison des forces avec les mêmes surfaces de frottement et les différentes natures montre clairement que le frottement dépend du type des matériaux glissant l'un sur l'autre.

22. Frottement de glissement - Étude avec des éléments de pesage

Composants Requis

- 1 Plan incliné
- 1 Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
- 2 Corps à crochet
- 1 Fil à plomb
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez le plan incliné avec un petit angle dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Accrochez le fil à plomb sur la partie supérieure du graphomètre.
- À l'extrémité gauche du plan incliné, placez le parallélépipède en aluminium avec deux crochets, de telle manière qu'il repose sur le côté large.
- Suspendez la boucle du fil dans le crochet tourné vers la poulie.
- Faites passer le fil sur la poulie fixe si possible parallèlement au plan incliné et fixez un corps à son autre extrémité.

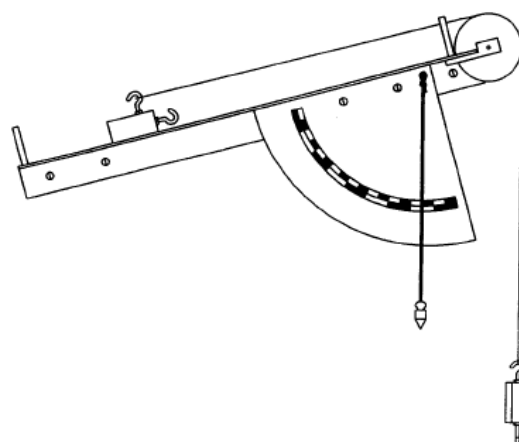


Fig. 22

Expérience

- Répétez les expériences après avoir disposé différents matériaux (bois, papier, plastique, etc.) sur le plan incliné.
- Réduisez l'angle du plan, de sorte que le parallélépipède en aluminium, après avoir été poussé légèrement, glisse sur le plan à vitesse à peu près constante.
- Comme mesure pour la force requise à ce mouvement, déterminez l'inclinaison du plan.
- Ensuite, posez le parallélépipède sur une très petite surface et répétez l'expérience.
- Enfin, augmentez la force qui presse le parallélépipède sur l'appui en mettant un corps à crochet après l'autre.
- Placez des bandes de différents matériaux (bois, carton, papier, plastique, etc.) sur le plan incliné et répétez l'expérience.

Résultat

Le frottement de glissement est d'autant plus grand que la force de pression exercée par le corps sur l'appui est importante. Il dépend de la nature des surfaces de glissement. À force massique identique, le frottement de glissement est indépendant de la taille de la surface de glissement.

Remarque

1. Vous pouvez déterminer la force de frottement de glissement en observant l'angle que doit présenter le plan pour que le corps puisse remonter le parallélépipède sur le plan. Vous pouvez la déterminer en réglant le plan dans un angle toujours plus raide et en déterminant l'angle où le bloc en aluminium tire le corps vers le haut.
2. On peut aussi se passer du corps et du fil. Placez le parallélépipède en aluminium à l'extrémité supérieure du plan incliné et augmentez l'angle de celui-ci, jusqu'à ce que le bloc en aluminium, après avoir été poussé légèrement, glisse sur le plan à vitesse constante.
3. La modification de l'inclinaison du plan modifie également la force exercée verticalement par le corps sur l'appui. Lorsque le plan est horizontal, cette force est égale à la force massique. Elle diminue au fur et à mesure que diminue l'inclinaison. Lors de l'évaluation, on se basera toutefois sur une force constante. Aussi l'expérience ne permet-elle qu'une estimation des dépendances de la force de frottement.

23. Frottement par adhérence

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 1 Plan incliné
- 1 Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
- 6 Corps à crochet
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez le plan incliné horizontalement sur la gauche, dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- Placez le parallélépipède en aluminium sur l'extrémité gauche. Fixez le fil à un crochet et faites-le passer sur la poulie fixe, de sorte qu'il soit quasiment parallèle au plan incliné.
- Fixez l'autre extrémité du fil au point de mesure du dynamomètre.

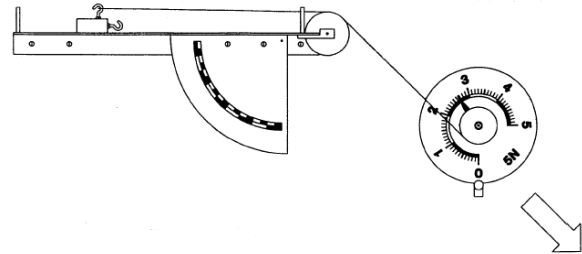


Fig. 23

Expérience

- Orientez lentement le dynamomètre à ressort de biais vers le bas à droite. Déterminez la force requise pour mettre le bloc en aluminium en mouvement.
- Posez le parallélépipède sur une très petite surface et répétez l'expérience.
- Enfin, placez des bandes de différents matériaux (bois, métal, carton, plastique, etc.) sur le plan incliné et répétez l'expérience.
- Ensuite, ajoutez successivement plusieurs corps à crochet au bloc en aluminium et déterminez à chaque fois la force nécessaire à la mise en mouvement du bloc.

Résultat

Le frottement par adhérence dépend du type de matériaux glissant l'un sur l'autre. Il augmente proportionnellement à la force de pression. À force de pression identique, la force de frottement par adhérence est d'autant plus élevée que la surface de frottement est grande.

Dans tous les cas, la force de frottement par adhérence est supérieure à la force de frottement de glissement déterminée au cours de l'expérience 21.

Remarque

À la place du dynamomètre à ressort, on peut aussi fixer un corps à crochet à l'extrémité du fil. Pour évaluer les grandeurs de la force de frottement, il suffit alors d'incliner le plan (cf. l'expérience 21). Mais on peut également se passer du fil en choisissant une inclinaison du plan telle que le parallélépipède en aluminium se mette juste à glisser. Les Remarques 3 de l'expérience 22 s'appliquent également dans ce cas.

24. Frottement de roulement

Composants Requis

- 1 Dynamomètre
- 1 Plan incliné
- 1 Cylindre
- 1 Parallélépipède en aluminium avec 2 crochets
- 3 Corps à crochet
- 1 Fil en nylon à boucles

Montage de l'expérience

- Fixez le plan incliné horizontalement sur la gauche, dans la partie supérieure du tableau magnétique.
- À l'extrémité gauche du plan incliné, placez le cylindre et fixez-y une extrémité du fil.
- Faites passer le fil sur la poulie fixe et fixez-le au dynamomètre à ressort qui se trouve à droite du tableau magnétique, sous le plan.

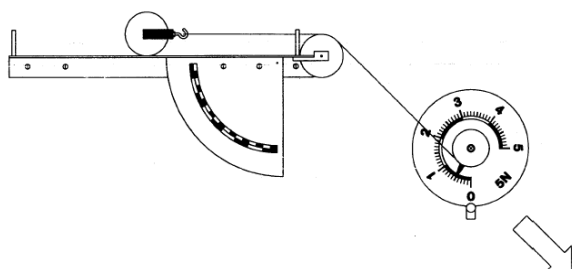


Fig. 24

Expérience

- Orientez lentement le dynamomètre à ressort vers le bas à droite. Déterminez la force requise pour maintenir le mouvement du cylindre.
- Puis, remplacez le cylindre par le parallélépipède en aluminium auquel on a fixé trois corps à crochet. Sa force massique correspond alors à celle du cylindre. Avec le même agencement, déterminez la force requise pour maintenir un mouvement constant du parallélépipède.

Résultat

Comparé aux frottements de glissement et par adhérence, le frottement de roulement est sensiblement inférieur.

25. Durée de période d'un pendule à fil

Composants Requis

- 3 Corps à crochet
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Étrier en laiton
- 1 Graduation aimantée
- 1 Fil en nylon à boucles long
- 1 Chronomètre

Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement au tableau magnétique.
- Placez le support sur le cercle central à l'extrémité supérieure de la graduation et pourvoyez son extrémité avant d'un manchon en caoutchouc.
- Placez l'étrier en laiton au-dessus du support.
- Suspendez l'une des boucles du fil à chacune des extrémités et fixez-y un corps à crochet.

La longueur peut être lue directement sur la graduation. L'extrémité supérieure effective du pendule se trouve au milieu de l'étrier en laiton au début de la graduation, l'extrémité inférieure au milieu de l'élément de pesage.

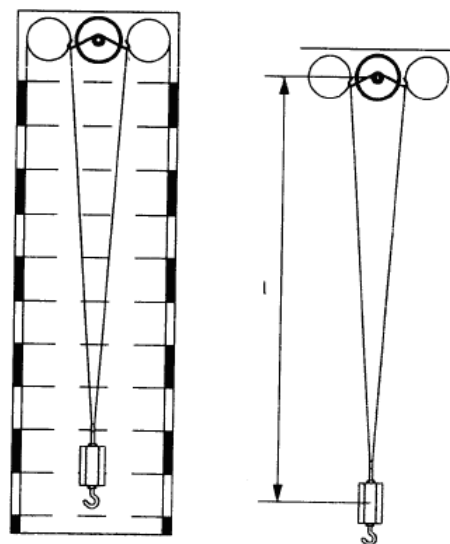


Fig. 25

Expérience 1

Rapport entre la durée de période et la masse du pendule à fil

- Déviez la masse sur le côté, environ jusqu'au bord de la graduation, puis relâchez-la.

- Avec le chronomètre, déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.
- À la place d'un corps à crochet, fixez au fil d'abord deux, puis trois corps les uns à côté des autres.
- Dans tous les cas, déterminez la durée de période pour dix oscillations.
- Répétez l'étude avec une deuxième longueur de pendule (fil d'une autre longueur).

Tableau

Longueur l en cm	Masse m en g	Durée pour 10 périodes t en s	Durée de période T en s

Résultat

La durée de période d'un pendule à fil ne dépend pas de la masse.

Expérience 2

Rapport entre la durée de période et la longueur du pendule

Comme masse pendulaire, utilisez un corps à crochet. Le pendule doit mesurer environ 50 cm.

- Déviez le corps sur le côté, environ jusqu'au bord de la graduation, puis relâchez-le. Déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.
- Réduisez la longueur du pendule à 40 cm. Pour cela, fixez le fil en le nouant sommairement à l'un des côtés de l'étrier en laiton.
- Déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.
- Ensuite, réduisez progressivement la longueur du pendule.
- Déterminez la durée de période à partir de la durée des dix oscillations.
- Enfin, calculez le carré de la durée de période et notez le résultat dans la dernière colonne.

Tableau

Longueur l en cm	Durée pour 10 périodes t en s	Durée de période T en s	Carré de la durée de période T^2 en s ²

Résultat

Plus la longueur du pendule à fil est grande, plus la durée de période est longue. On a l'équation suivante :

$$T^2 \sim l$$

Remarque

1. Au cours de la première expérience, le centre de gravité se déplace légèrement vers le haut par la suspension de deux ou plusieurs corps. Pour que la longueur du pendule reste inchangée au cours des différentes expériences, placez éventuellement un petit bout de fil de fer (par ex. provenant d'un trombone de bureau) entre le fil et le corps pendulaire.

2. La deuxième expérience peut aussi être utilisée pour confirmer l'équation servant à déterminer la durée d'oscillation d'un pendule à fil :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

La longueur de pendulaire réglée l et l'accélération de la pesanteur g permettent de déterminer la durée de période. Dans chaque expérience partielle, elle correspond à la durée de période mesurée.

26. Durée de période d'un oscillateur à ressort vertical

Composants Requis

- 3 Corps à crochet
- 3 Ressorts cylindriques
- 1 Support
- 1 Manchon en caoutchouc
- 1 Graduation aimantée
- 1 Chronomètre

Montage de l'expérience

- Placez la graduation sur le tableau magnétique et un support sur son extrémité supérieure.
- Accrochez le ressort et fixez ce dernier par un manchon en caoutchouc.

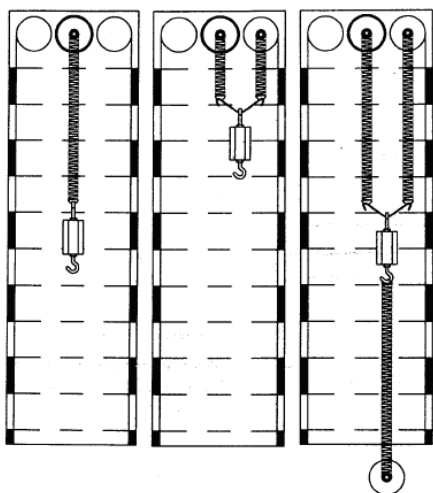


Fig. 26 a

Fig. 26 b

- Suspendez un corps à crochet à l'extrémité inférieure du ressort.

Expérience 1

Rapport entre la durée de période et la masse de l'oscillateur à ressort

- Déviez le corps sur le côté, sur environ cinq centimètres, puis relâchez-le.
- Avec le chronomètre, déterminez la durée pour dix périodes et inscrivez la valeur dans le tableau.
- À la place d'un seul corps à crochet, superposez-en au ressort cylindrique d'abord deux, puis trois.
- Dans tous les cas, déterminez la durée de période pour dix oscillations et notez la valeur dans le tableau.
- Représentez sous forme graphique le carré de la durée de période comme fonction de la masse.

Tableau

Masse m en g	Durée pour 10 pé- riodes t en s	Durée de pé- riode T en s	Carré de la durée de pé- riode T^2 en s^2

Résultat

La durée de période d'un oscillateur à ressort augmente avec la masse. On a l'équation suivante :

$$T^2 \sim m.$$

Expérience 2

Rapport entre la durée de période et la constante du ressort

- Accrochez d'abord un ressort au support et déterminez la position de son extrémité inférieure.
- Puis, accrochez un corps au ressort et déterminez l'allongement de ce dernier.
- Ensuite, superposez deux ressorts au support et déterminez leur allongement lorsqu'un corps est accroché.
- Répétez l'expérience avec trois ressorts.
- Dans les trois cas, calculez le quotient de l'allongement et de la force agissante et notez la valeur dans le tableau.
- Dans le cas d'un seul ressort avec corps, déviez le corps d'environ 5 cm, puis relâchez-le et déterminez la durée pour dix périodes.
- Répétez l'expérience pour les deux autres agencements (deux, puis trois ressorts).
- Inscrivez les durées dans le tableau.
- Représentez sous forme graphique le carré de la durée de période par le quotient de la modification de longueur et de la force.

Tableau

Nom bre de res- sorts	Force F en N	Cons- tante du res- sort k en N/cm	Durée pour 10 périodes t en s	Durée de pé- riode T en s	Modifi- cation de lon- gueur l en cm
1	100				
2	100				
3	100				

Résultat

Le quotient de la force et de l'allongement d'un ressort caractérise sa résistance (constante de ressort $k = F/l$). Plus cette constante est importante, plus la durée de période est courte.

On a l'équation suivante :

$$T^2 \sim \frac{l}{k}$$

Remarque

1. Si vous souhaitez déterminer avec précision la proportionnalité entre T^2 et l/k , vous devez tenir compte des forces massiques des ressorts accrochés et ainsi des modifications de longueurs !
2. Au cours de l'expérience 2, vous pouvez accrocher plusieurs ressorts les uns à côté des autres. La constante de ressort en est ainsi réduite. Pour ajouter deux ressorts, placez deux

supports auxquels est fixé un ressort chacun. Re-liez l'extrémité inférieure des deux ressorts avec un étrier en laiton auquel sont fixés les corps à crochet (cf. fig. 26 a).

3. Les deux expériences peuvent aussi être utilisées pour confirmer l'équation servant à déterminer la durée de période d'un oscillateur à ressort :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Dans ce cas, insérez la masse m et la constante de ressort k dans l'équation et calculez la durée de période. Dans chaque expérience partielle, elle correspond à la durée de période mesurée.

4. Pour modifier la constante de ressort, vous pouvez aussi ajouter au crochet inférieur du corps un ressort cylindrique supplémentaire dont l'extrémité inférieure est fixée à un support supplémentaire (cf. fig. 26 b).

27. Résonance de deux oscillateurs à ressort

Composants Requis

- 4 Corps à crochet
- 1 Levier
- 2 Ressorts cylindriques
- 2 Supports
- 2 Manchons en caoutchouc
- 1 Graduation aimantée
- 2 Crochets en laiton

Montage de l'expérience

- Fixez la graduation verticalement sur le tableau magnétique et placez un support à droite et à gauche, à hauteur de son extrémité supérieure.
- Fixez chaque support avec un manchon en caoutchouc et posez le levier à plat par-dessus. Choisissez un écart entre les supports permettant d'utiliser toute la longueur du levier.
- Au milieu du levier, dans un écart de 2 trous, fixez les deux ressorts cylindriques à l'aide des crochets en laiton et accrochez-y 2 corps.

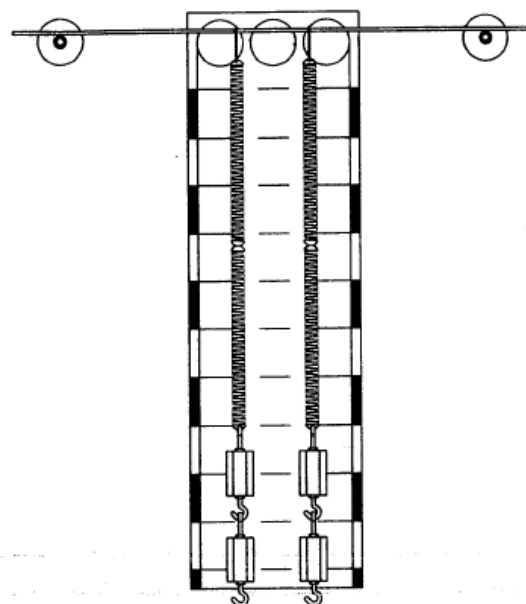


Fig. 27

Expérience

- Déviez l'extrémité inférieure de l'un des deux ressorts d'environ cinq centimètres, puis relâchez-la.

Lors de l'oscillation, il transmet progressivement son énergie au second oscillateur qui se met à osciller à une amplitude sans cesse croissante. Après un certain temps, le premier oscillateur s'arrête. Puis, l'énergie est retransmise au premier oscillateur.

Résultat

Lorsque des oscillateurs de même fréquence propre sont reliés entre eux, l'énergie est entièrement transmise à deux reprises d'un oscillateur à l'autre.

Meccanica su lavagna magnetica 1000735

Manuale di istruzioni

09/26 ALF/HJB



1. Descrizione

Il kit di montaggio meccanica-statica permette di eseguire tutti gli esperimenti fondamentali sulla statica. La peculiarità sta nel fatto che tutte le strutture sperimentali vengono eseguite per mezzo dei componenti sperimentali, provvisti di dischi magnetici, su una lavagna magnetica di sposta in verticale. In tal modo i potenti magneti di contatto garantiscono una tenuta sicura di tutti i componenti. Il vantaggio offerto da questa tecnica sperimentale consiste da un lato nella possibilità di fare a meno di qualsiasi stativo, dall'altro lato nella semplice mobilità di tutti i componenti sperimentali. In tal modo sono possibili un rapido montaggio della relativa disposizione sperimentale e una semplice regolazione. La disposizione verticale e le grandi dimensioni di tutti i componenti garantiscono una buona visibilità di tutte le strutture sperimentali. Grazie all'assenza dello stativo viene meno il relativo influsso di disturbo. Inoltre, l'utilizzo della lavagna magnetica permette di scrivere direttamente sulla disposizione sperimentale. Da un lato, se necessario, è possibile denominare i componenti. Dall'altro lato è possibile inserire le corrispondenti grandezze fisiche, che vengono modificate o misurate, come ad es. le lunghezze e le forze nella loro relativa posizione. Infine, oltre alla disposizione sperimentale, è possibile realizzare direttamente uno schizzo dell'esperimento contenente il principio della disposizione sperimentale. Questo schizzo può essere realizzato prima della struttura sperimentale in modo tale che la disposizione

sperimentale venga composta in base allo schizzo. Lo schizzo può essere comunque sviluppato anche dopo la struttura sperimentale: in questo caso vengono rimossi i componenti essenziali della disposizione sperimentale. In questo modo risulta possibile ad es. rappresentare le forze e i parallelogrammi delle forze. Nella realizzazione degli esperimenti è compreso, oltre al kit di montaggio, anche una lavagna magnetica delle dimensioni minime di 100 cm x 100 cm.

2. Fornitura

N.	Componente	Quantità
1.	Dinamometro 5 N	2
2.	Piano inclinato con puleggia fissa e goniometro	1
3.	Rullo 5 N	1
4.	Parallelepipedo di alluminio con 2 ganci 2 N	1
5.	Corpo con gancio 1 N	6
6.	Puleggia, piccola	1
7.	Puleggia, grande	1
8.	Paranco con 2 pulegge	1
9.	Leva	1
10.	Asta di acciaio con filettatura	1
11.	Contrappeso con vite di bloccaggio	1
12.	Molle ad elica	3
13.	Disco del baricentro	1

14. Piombo	1
15. Supporto	3
16. Manicotti in gomma	3
17. Gancio in ottone	3
18. Staffa in ottone	1
19. Scala magnetica	1
20. Frecce magnetiche	4
21. Triangolo magnetico	1
22. Filo di nylon con occhielli	4

3. Esperimenti con il kit

Caratteristiche di una forza, composizione e scomposizione di forze

1. Misurazione della forza con un dinamometro a molla – forza come grandezza vettoriale
2. Spostamento di una forza lungo la sua linea di azione
3. Legge di Hooke
4. Somma di forze con una linea di azione comune
5. Azione uguale a reazione
6. Somma di forze con diverse direzioni – utilizzo di dinamometri
7. Somma di forze con diverse direzioni – utilizzo di corpi con ganci
8. Scomposizione di una forza in due componenti perpendicolari un rispetto all'altra
9. Scomposizione di una forza in due forze parallele

Baricentro e posizione di equilibrio

10. Assi baricentro e baricentro di un disco di plastica
11. Posizioni di equilibrio di un corpo sospeso
12. Posizioni di equilibrio – baricentro fuori dalla leva

Dispositivi di trasformazione della forza

13. Equilibrio delle forze sulla leva bilaterale
14. Equilibrio delle forze sulla leva unilaterale
15. Momento torcente
16. Forze sulla puleggia fissa
17. Forze sulla puleggia mobile
18. Forze sul paranco
19. Forze sul piano inclinato – verifica con il dinamometro
20. Forze sul piano inclinato – verifica con corpi con gancio
21. Attrito radente - verifica con il dinamometro

22. Attrito radente – verifica con pesi
23. Attrito statico
24. Attrito volvente

Vibrazioni

25. Periodo di un pendolo a filo
26. Periodo di un oscillatore a molla verticale
27. Risonanza di due oscillatori a molla

4. Note su alcuni componenti

1. Dinamometro a molla

I dinamometri a molla possono essere utilizzati in qualsiasi posizione. Eventualmente si deve prendere in considerazione soltanto il peso proprio dei fili, dei ganci ecc. Utilizzando le forze più grandi possibili, il loro influsso è tuttavia ridotto. L'indicatore viene azzerato ruotando il quadrante. Il filo deve essere posizionato in senso orario sul disco della corda.

2. Piano inclinato

Il piano inclinato può essere facilmente fissato con diverse inclinazioni sulla lavagna magnetica. Il piombo sospeso indica il relativo angolo di inclinazione.

3. Paranco/bottiglia/flacone con 2 pulegge

Il paranco con 2 pulegge può essere utilizzato anche come puleggia mobile. A tale scopo è opportuno svitare una puleggia. In tal modo la disposizione sperimentale diventa più chiara e la forza del peso del paranco diminuisce.

4. Frecce magnetiche e triangolo magnetico

È possibile marcare le direzioni delle forze o dei movimenti nelle disposizioni sperimentali mediante le frecce magnetiche. Tuttavia, a causa della stessa lunghezza delle frecce magnetiche, in presenza di forze di grandezza diversa, si dovrebbe indicare che le frecce non rispecchiano correttamente i valori delle forze.

Con il triangolo magnetico è possibile contrassegnare perfettamente la posizione del punto di rotazione.

5. Esecuzione degli esperimenti

1. Misurazione della forza con un dinamometro a molla – forza come grandezza vettoriale

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 1 Rullo
- 1 Parallelepipedo di alluminio con 2 ganci
- 1 Corpo con gancio
- 1 Gancio in ottone
- 3 Fili con occhielli di diversa lunghezza

Struttura sperimentale

- Applicare il dinamometro nella parte superiore della lavagna magnetica.
- Fissarvi il filo con gli occhielli, alla cui estremità viene fissato il gancio in ottone.

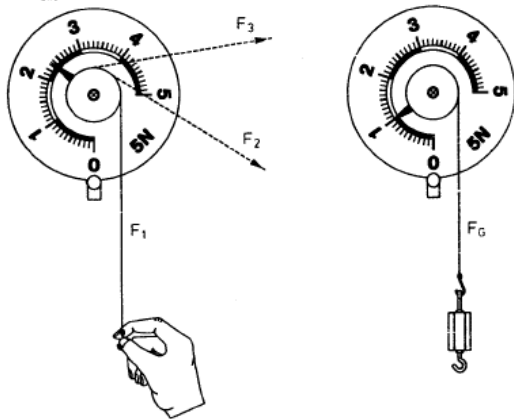


Fig. 1

Esperimento

- Con la mano esercitare una forza gradualmente maggiore sul dinamometro a molla.
- Lasciare agire la forza in diverse direzioni consecutive.
- Infine, appendere il corpo a gancio, il parallelepipedo di alluminio e il rullo, uno dopo l'altro, al dinamometro a molla.

Risultato

Le forze hanno valori diversi e possono agire in direzioni diverse. La forza del peso è orientata verticalmente verso il basso. Per contrassegnare una forza è necessaria l'indicazione del valore e della direzione.

2. Spostamento di una forza lungo la sua linea di azione

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 3 Corpi con gancio
- 1 Gancio in ottone
- 3 Fili con occhielli

Struttura sperimentale

- Fissare il dinamometro a molla nella parte superiore della lavagna magnetica.
- Appendere al suo punto di misurazione i 3 fili con occhielli.

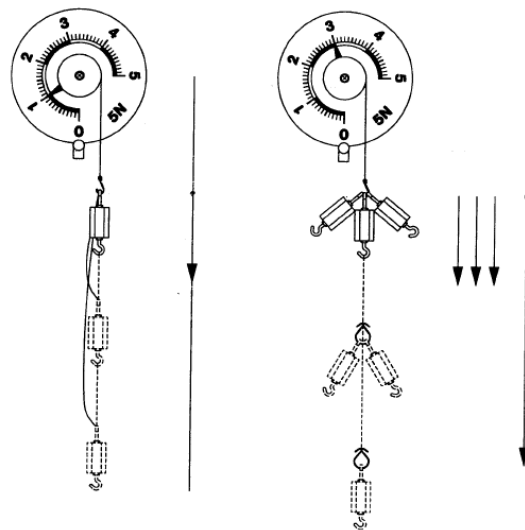


Fig. 2

Esperimento

- Innanzitutto, agganciare un corpo con gancio nel gancio del dinamometro a molla e determinare la forza indicata.
- Quindi agganciare questo corpo con gancio scendendo gradualmente da un occhiello all'altro.
- Successivamente fissare al dinamometro a molla i 3 corpi con gancio.
- Infine, collocare scendendo gradualmente verso il basso prima uno, poi gli altri due corpi con gancio occhiello dopo occhiello.
- Determinare ogni volta la forza indicata.

Risultato

È possibile spostare una forza lungo la sua linea di azione.

3. Legge di Hooke

Componenti Necessari

- 2 Molle ad elica
- 3 Corpi con gancio
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Scala magnetica

Struttura sperimentale

- Applicare la scala magnetica verticalmente sulla lavagna magnetica.
- Sulla sua estremità superiore fissare il supporto.
- Appendervi una molla e assicurarla con un manicotto in gomma.

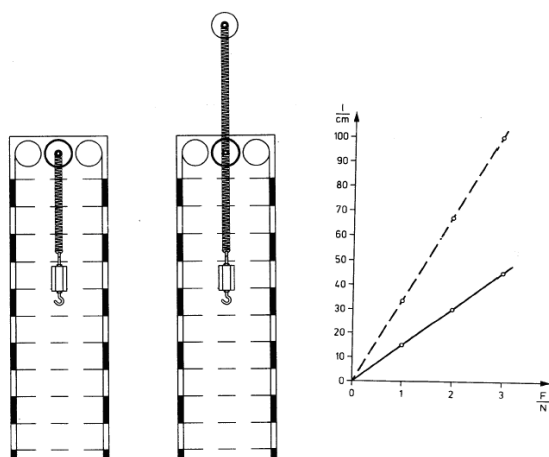


Fig. 3

Esperimento

- Determinare la posizione dell'estremità inferiore della molla.
- Quindi fissare alla molla un corpo con gancio, determinare l'allungamento e registrarlo nella tabella.
- Successivamente appendere alla molla 2 e 3 corpi con gancio e determinare ogni volta l'allungamento.
- Ripetere l'esperimento con 2 molle appese una sotto l'altra. Durante questa operazione è opportuno applicare il supporto per le molle sopra la scala magnetica.
- Inserire di nuovo nella tabella il relativo allungamento e la forza del peso agente.
- Rappresentare graficamente l'allungamento in base alla forza.

Tabella:

Forza del peso dei corpi con gancio F_G in N	Allungamento di una molla Δl in cm	Allungamento di due molle Δl in cm
0		
1		
2		
3		

Risultato

Tanto maggiore è la forza agente, quanto maggiore è anche l'allungamento. Vale la legge di Hooke: $\Delta l \sim F$. L'allungamento per una determinata forza dipende dalle caratteristiche della molla.

4. Somma di forze con una linea di azione comune

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 5 Corpi con gancio
- 2 Fili con occhielli

Struttura sperimentale

- Fissare il dinamometro a molla nella parte superiore della lavagna magnetica.
- Applicare al dinamometro a molla i due fili con occhielli.

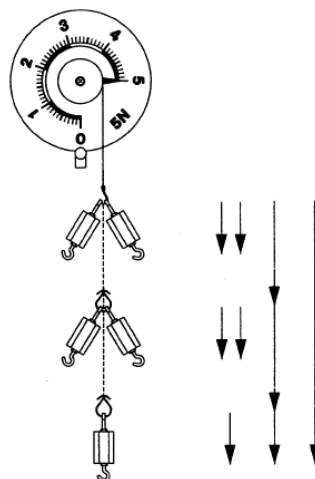


Fig. 4

Esperimento

- Fissare al dinamometro a molla prima un corpo con gancio, quindi gradualmente i restanti, a scelta al dinamometro a molla o ai fili.
- Ogni volta leggere la forza indicata.

Risultato

Se tutte le forze agiscono lungo una linea di azione, la forza totale si ottiene sommando le forze parziali. La direzione della forza totale è uguale alla direzione delle forze parziali.

5. Azione uguale a reazione

Componenti Necessari

- 2 Dinamometri
- 1 Filo con occhielli

Struttura sperimentale

- Applicare i due dinamometri a molla sui due lati della lavagna magnetica in modo tale che tra di loro si trovi il filo corto con gli occhielli. Inizialmente non è teso.

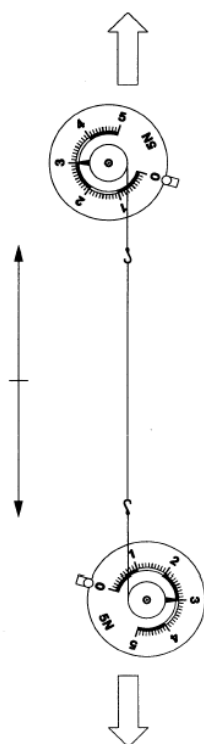


Fig. 5

Esperimento

- Spostare gradualmente sempre più verso sinistra il dinamometro a molla sinistro.

Quando il filo è teso, i due dinamometri a molla indicano una forza. Spostando il dinamometro le forze aumentano. In ogni caso sono della stessa grandezza.

- Riportare il dinamometro a molla sinistro nella posizione iniziale e spostare gradualmente sempre più verso l'esterno il dinamometro destro.

Aumentando la distanza tra i dinamometri compaiono sempre due forze della stessa grandezza.

Risultato

Se su un corpo agisce una forza, il corpo oppone sempre a questa forza una forza della stessa grandezza ma con direzione opposta: azione uguale a reazione

6. Somma di forze con diverse direzioni – utilizzo di dinamometri

Componenti Necessari

- 2 Dinamometri
- 1 Molla
- 1 Disco del baricentro
- 3 Supporti
- 3 manicotti in gomma
- 1 Gancio
- 1 Filo con occhielli

Struttura sperimentale

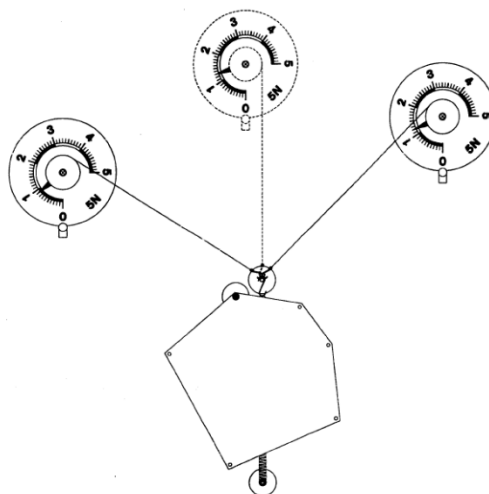


Fig. 6

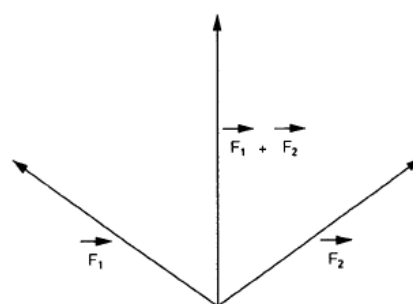


Fig. 6 a

- Fissare i due dinamometri a molla nella parte superiore della lavagna magnetica sui due lati e collegarli con un filo con occhielli.
- A questo filo agganciare il gancio.
- Fissare al gancio la molla ad elica. Tendere la molla verso il basso e fissarla a un supporto con manicotto in gomma.

- Applicare nel punto in cui si trova il gancio un altro supporto.
- Fissare il disco del baricentro a un supporto a monte della molla ad elica in modo tale che la molla risulti coperta e che rimanga visibile soltanto il gancio con il supporto.

Esperimento

- Spostare i due dinamometri a molla in modo tale che il gancio non si trovi più sul supporto.

In questa posizione, sul gancio agiscono due forze che sono in equilibrio con la forza esercitata dalla molla.

- Segnare sulla lavagna la direzione e il valore delle due forze dei dinamometri a molla.
- Quindi estrarre un dinamometro a molla dalla disposizione e agganciare l'occhiello ora libero del filo nel punto di misurazione del restante dinamometro a molla.
- Spostare ora questo dinamometro fino a quando il gancio di nuovo non è più a contatto con il supporto.

In questo caso la forza messa a disposizione dal dinamometro ha lo stesso effetto sul gancio esercitato in precedenza dalle due forze singole.

- Trasferire sulla lavagna anche il valore e la direzione anche di questa forza.

Questa forza rappresenta la diagonale nel parallelogramma delle forze.

Risultato

Se su un corpo agiscono due forze in direzioni diverse, esse possono essere sostituite da un'unica forza. Il valore e la direzione di questa forza si ottengono dalla diagonale nel parallelogramma delle forze.

7. Somma di forze con diverse direzioni – utilizzo di corpi con ganci

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 1 Puleggia, grande
- 1 Puleggia, piccola
- 6 Corpi con gancio
- 1 Molla ad elica
- 1 Disco del baricentro
- 3 Supporti
- 3 Manicotti in gomma
- 1 Gancio in ottone
- 1 Filo con occhielli, lungo

Struttura sperimentale

- Fissare le due pulegge sui due lati nella parte superiore della lavagna magnetica.
- Collocare il filo sulle pulegge e appendere a ogni occhiello 2 corpi con gancio.
- Fissare a un supporto la molla nella parte inferiore della lavagna magnetica mediante un manicotto.
- Collegare al filo l'altra estremità della molla mediante un gancio.
- Spostare il supporto verso il basso fino a quando tra le due forze orientate obliquamente verso l'alto compare l'angolo desiderato.
- Successivamente applicare un supporto al punto del gancio senza toccarlo.
- Con un ulteriore supporto fissare il disco del baricentro in modo tale che copra la molla e che rimanga visibile soltanto il gancio con il supporto.

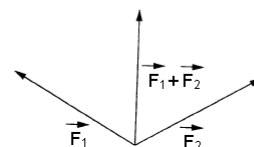
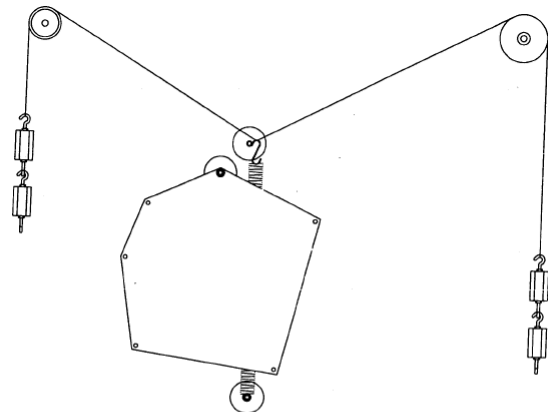


Fig. 7

Esperimento

Ciascuno dei due corpi con gancio esercita sul gancio una forza tale per cui il gancio rimane in questa posizione.

- Marcare sulla lavagna le due direzioni delle forze e dotarle di punte di freccia in modo tale che la lunghezza dei vettori corrisponda alle forze.

L'obiettivo consiste ora nel sostituire queste due forze con una sola in modo tale che l'effetto sia lo stesso.

- A tale scopo fissare sul gancio, anziché il filo con il corpo con gancio, il dinamometro a

molla e spostarlo verso l'alto o di lato in modo tale che il gancio oscilli di nuovo liberamente.

Ora il dinamometro a molla esercita sul gancio la stessa forza esercitata in precedenza dai due corpi con gancio.

- Sulla lavagna eseguire lo schizzo del valore e della direzione della forza del dinamometro a molla.

Dopo avere rimosso il dinamometro è possibile notare che la forza risultante è uguale alla diagonale nel parallelogramma delle forze creato dalle due forze singole.

Risultato

Se su un corpo agiscono due forze in direzioni diverse, esse possono essere sostituite da un'unica forza. La diagonale nel parallelogramma delle forze, che parte dal punto di applicazione delle due forze, corrisponde per quanto riguarda il valore e la direzione alla somma delle due forze singole.

8. Scomposizione di una forza in due componenti perpendicolari tra loro

Componenti Necessari

- 2 Dinamometri
- 5 Corpi con gancio
- 1 Puleggia
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Gancio in ottone
- 2 Fili con occhielli

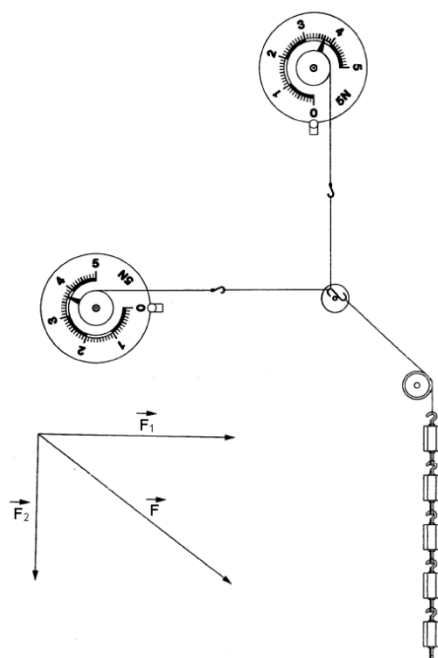


Fig. 8

Struttura sperimentale

- Fissare un dinamometro a molla a metà altezza nel campo sinistro della lavagna magnetica e l'altro al centro dell'area superiore.
- Collegare i due dinamometri a molla con un filo corto con occhielli.
- Agganciare il gancio di ottone a questo filo e dotarlo di un ulteriore filo con occhielli.
- Agganciare i 5 pesi all'occhiello libero e collocare il filo su una puleggia in modo tale che tiri obliquamente verso il basso a destra.
- Modificare la posizione del dinamometro a molla superiore in modo tale che tra le due forze in uscita dai dinamometri a molla sia presente un angolo retto.
- Applicare il supporto nel punto del gancio in ottone in modo tale che non vi sia contatto.

Esperimento

I corpi con gancio esercitano sul gancio in ottone una forza orientata obliquamente verso il basso. Questa forza viene scomposta, in corrispondenza del gancio, in due componenti perpendicolari tra loro. Una forza è orientata verticalmente e l'altra orizzontalmente. Le due forze indicate dai dinamometri a molla rappresentano ciascuna la forza opposta rispetto alle due componenti parziali della forza scomposta.

- Inserire nel parallelogramma delle forze il valore e la direzione innanzitutto della forza orientata obliquamente verso il basso F dei corpi con gancio.
- Quindi dal punto di partenza di questa forza tracciare una linea orizzontale e una linea verticale.
- Ora costruire un parallelogramma in modo tale che la forza dei corpi con gancio costituisca la diagonale nel rettangolo.

Il valore delle due forze parziali che partono dal punto di applicazione della forza può essere letto nel parallelogramma. Questi valori corrispondono ai valori indicati dai due dinamometri a molla. La direzione delle forze parziali da applicare ai dinamometri a molla è tuttavia opposta a queste forze parziali poiché rappresentano le forze opposte.

Risultato

Ogni forza può essere scomposta in due componenti perpendicolari tra loro. I valori delle due forze parziali corrispondono alle lunghezze dei due lati del rettangolo nel quale la forza scomposta costituisce la diagonale. Ciascuna delle due forze parziali è inferiore alla forza scomposta.

9. Scomposizione di una forza in due forze parallele

Componenti Necessari

- 2 Dinamometri
- 1 Leva
- 4 Corpi con gancio

Struttura sperimentale

- Fissare i due dinamometri a molla alla stessa altezza nella parte destra e sinistra della lavagna magnetica.
- Agganciare la leva nel dinamometro a molla in modo tale che i punti di applicazione della forza si trovino di volta in volta nell'ultimo foro esterno della leva.
- Ora modificare la posizione dei dinamometri a molla in modo tale che le forze agiscano verticalmente verso l'alto e che la leva sia in posizione orizzontale.

Le deviazioni causate dalla forza del peso della leva sui dinamometri vengono corrette ruotando il quadrante.

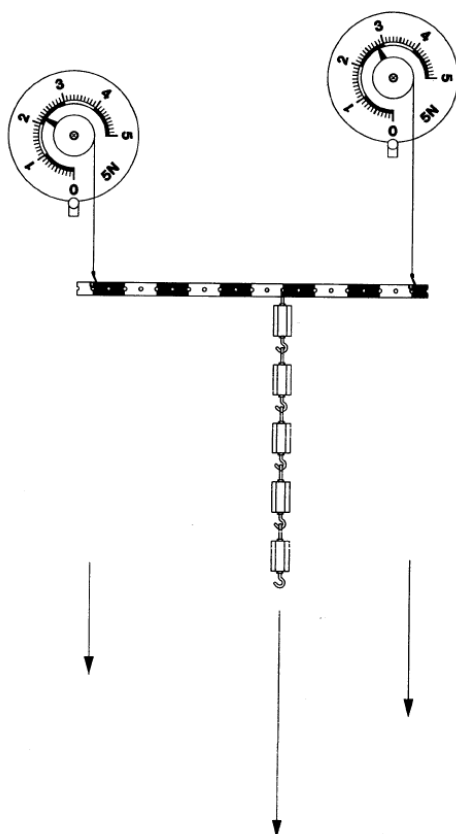


Fig. 9

Esperimento

- Determinare innanzitutto la (stessa) forza del peso che viene indicata dai due dinamometri a molla.
- Quindi appendere uno all'altro tutti e 4 i corpi con gancio inizialmente al centro della leva e determinare le forze parziali indicate dai dinamometri a molla.
- Quindi spostare il punto di sospensione sempre più verso l'esterno e determinare di volta in volta le forze parziali. A tale scopo, prima della lettura, è necessario orientare di nuovo orizzontalmente la leva spostando verticalmente i dinamometri.
- Inserire nella tabella le forze parziali F_1 e F_2 e le distanze a_1 e a_2 .

La somma delle forze parziali indicate dai dinamometri è uguale alla forza del peso dei corpi con gancio.

Tabella:

Forza F_1 in N	Forza F_2 in N	Distanza a_1 in cm	Distanza a_2 in cm

Risultato

Una forza può essere scomposta in due forze parziali che corrono parallele ad essa. La somma dei valori delle forze parziali è uguale al valore della forza totale. Le forze parziali al contrario si comportano come le distanze dei punti di applicazione delle forze parziali dal punto di applicazione della forza totale.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

10. Assi baricentro e baricentro di un disco di plastica

Componenti Necessari

- 1 Disco del baricentro
- 1 Piombo
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma

Struttura sperimentale

- Fissare il supporto al centro della parte superiore della lavagna magnetica e inserire in uno dei suoi fori il disco del baricentro.
- Quindi fissare il piombo al supporto e assicurarlo con il manicotto in gomma.

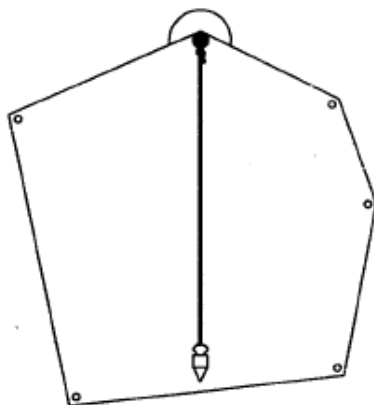


Fig. 10

Esperimento

- Longitudinalmente al piombo tracciare una sottile linea di matita.
- Quindi appendere il disco del baricentro a uno dei loro fori, fissare di nuovo il piombo al supporto e tracciare un'altra linea con la matita longitudinalmente al piombo.
- Procedere allo stesso modo con i restanti fori nel disco del baricentro.

Risultato

Tutti i cosiddetti assi baricentro si incrociano nello stesso punto. Si tratta del baricentro del disco di plastica.

- Per verificarlo, rimuovere il disco dal supporto, portarlo nella posizione orizzontale e supportarlo nel baricentro con una matita appuntita.

Il disco supportato nel baricentro non cambia posizione.

Nota

A rigore di termini il baricentro del disco si trova all'interno. Pertanto, se supportato nel punto determinato, il disco non rimane a riposo in qualsiasi posizione.

11. Posizioni di equilibrio di un corpo sospeso

Componenti Necessari

- 1 Leva
- 1 Asta di acciaio con filettatura
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma

Struttura sperimentale

- Fissare il supporto nella parte superiore della lavagna, inserire la leva nel suo foro centrale e assicurarla con un manicotto di gomma.

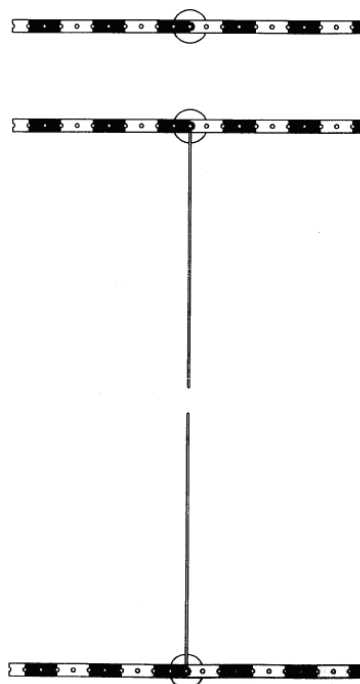


Fig. 11

Esperimento

- Portare la leva in diverse posizioni e ogni volta rilasciarla.
- Quindi fissare l'asta di acciaio con la filettatura nella parte centrale della leva in modo tale che l'asta sia rivolta verso il basso.
- Portare di nuovo la leva in diverse posizioni con l'asta di acciaio sotto il punto di sospensione e rilasciarla.
- Infine, ruotare la leva di 180° in modo tale che l'asta di acciaio sia rivolta verticalmente verso l'alto.
- Rilasciare la leva anche in questa posizione.

Risultato

Nel primo caso la leva si trova in equilibrio indifferente. In ogni posizione in cui viene portata rimane a riposo.

Nel secondo caso la leva si trova in equilibrio stabile. Se la si sposta dalla sua posizione di equilibrio, ritorna sempre in questa posizione.

Nel terzo caso la leva si trova in equilibrio labile. Rimane ferma in questa posizione solo per un breve intervallo. Qualsiasi scostamento anche se minimo da questa posizione fa sì che la leva si allontani sempre di più da questa posizione e che passi nella posizione di equilibrio stabile.

12. Posizioni di equilibrio – baricentro fuori dalla leva

Componenti Necessari

- 1 Leva
- 1 Asta di acciaio con filettatura
- 1 Contrappeso con vite di bloccaggio
- 1 Piombo
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma

Struttura sperimentale

- Avvitare l'asta di acciaio con la filettatura al centro della leva.
- In prossimità dell'estremità inferiore dell'asta di acciaio fissare il contrappeso con la vite di bloccaggio.
- Applicare il supporto nella parte superiore centrale della lavagna magnetica e spostare il piombo sul supporto fino alla piastra di base.
- Inserire la leva in un foro qualsiasi sul supporto e arrestarla con il manicotto in gomma.

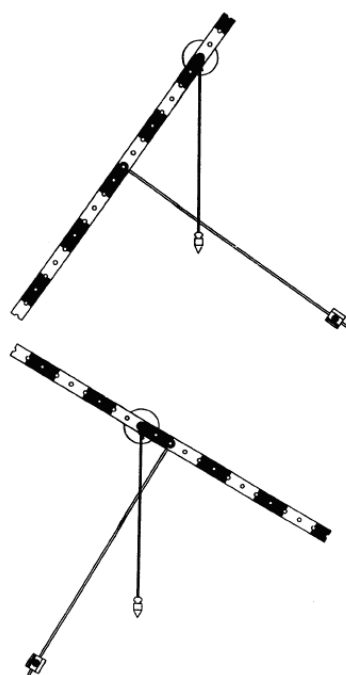


Fig. 12

Esperimento

- Marcare ad es. con un pezzetto di nastro adesivo il punto in cui il piombo incrocia l'asta di acciaio. Quindi inserire la leva in un altro foro sul supporto e determinare il punto d'incontro del piombo con l'asta di acciaio.
- Ripetere l'esperimento con due fori che, rispetto all'asta di acciaio, si trovano sull'altro lato della leva.
- Infine, rimuovere la leva e il piombo dal supporto e porre l'asta di acciaio su un polpastrello in modo tale che il punto di supporto si trovi nel punto marcato dell'asta di acciaio.

Risultato

In tutti i casi il punto d'incontro del piombo con l'asta di acciaio si trova nello stesso punto. Questo punto si trova fuori dalla leva. Si tratta del baricentro della disposizione.

13. Equilibrio delle forze sulla leva bilaterale

Componenti Necessari

- 6 Corpi con gancio
- 1 Leva
- 1 Asta di acciaio con filettatura
- 1 Contrappeso con vite di bloccaggio
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Triangolo magnetico

Struttura sperimentale

- Fissare il supporto nella parte centrale superiore della lavagna magnetica, inserire la leva nel suo foro centrale sul supporto e proteggerla dallo scivolamento verso il basso con un manicotto in gomma.
- Avvitare alla leva l'asta di acciaio con la filettatura sotto il supporto e fissarvi a metà altezza il contrappeso con la vite di bloccaggio.

Tanto più in alto viene applicata la massa di compensazione, quanto maggiore è la sensibilità della leva.

- Con il triangolo magnetico marcare il punto di rotazione della leva.

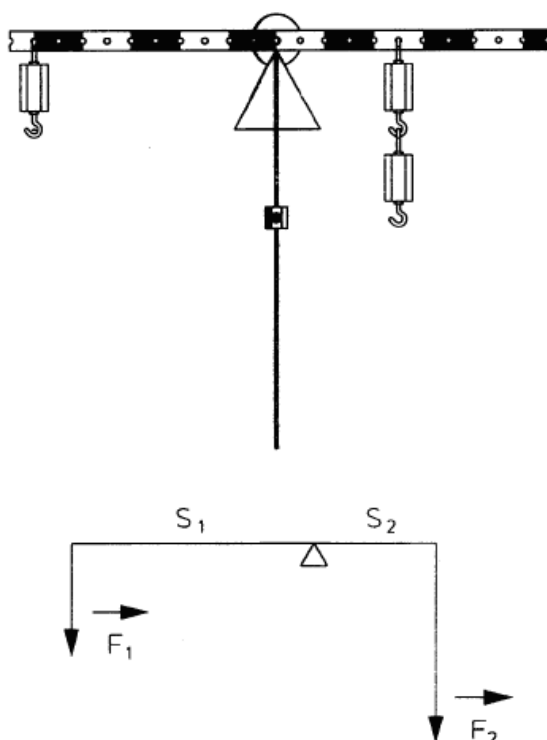


Fig. 13

Esperimento

- Agganciare un corpo con gancio nel foro sinistro esterno della leva.
- Quindi cercare il foro sul lato destro della leva in cui ugualmente deve essere agganciato un corpo con gancio, così che la leva si trova in equilibrio.
- È possibile marcare i punti in cui hanno effetto le forze con le frecce delle forze.
- Misurare la distanza dei due punti di applicazione dal punto di rotazione e inserirla nella tabella assieme alle forze del peso dei due corpi con gancio.
- Quindi appendere un altro corpo al corpo con gancio destro e cercare il foro in cui devono essere agganciati i due corpi con gancio affinché vi sia equilibrio.
- Inserire nella tabella le forze e i bracci di forza. Ora agganciare il corpo con gancio sinistro due fori ancora più verso l'interno (8° foro dal punto di rotazione).
- Per creare equilibrio, portare innanzitutto a destra uno, poi due e infine 4 corpi con gancio nel punto corrispondente.
- Inserire di nuovo nella tabella la lunghezza dei bracci di forza e i valori delle forze.

Tabella:

Braccio di leva sinistro s_1 in cm	Forza agente a sinistra F_1 in N	Braccio di leva destro s_2 in cm	Forza agente a destra F_2 in N	$F_1 \cdot s_1$ in Ncm	$F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Risultato

Tanto più in una leva la forza agisce lontano dal punto di rotazione, quanto più ridotta deve essere affinché vi sia equilibrio tra le forze. Per l'analisi matematica i prodotti vengono ricavati dalla forza e dal braccio di forza per i due bracci di leva (le ultime due colonne nella tabella). Ossia:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

14. Equilibrio delle forze sulla leva unilaterale

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 6 Corpi con gancio
- 1 Leva
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Triangolo magnetico

Struttura sperimentale

- Fissare il supporto nella parte superiore centrale della lavagna magnetica.
- Inserire la leva (ultimo foro sinistro) sul supporto e agganciare nell'ultimo foro destro della leva il componente di misurazione del dinamometro a molla.
- Fissare il dinamometro a molla alla lavagna magnetica in modo tale che la leva si trovi in posizione orizzontale e che la linea d'azione della forza corra perpendicolarmente verso il basso.

La deviazione del dinamometro causata dal peso proprio della leva può essere corretta ruotando il quadrante in modo tale che l'indicatore si trovi sullo zero.

- Con il triangolo magnetico marcare il punto di rotazione della leva.

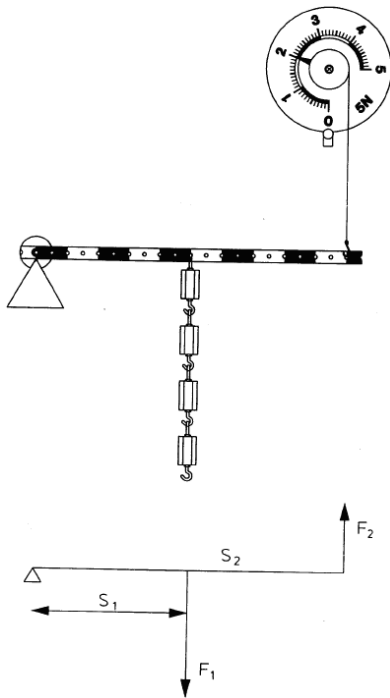


Fig. 14

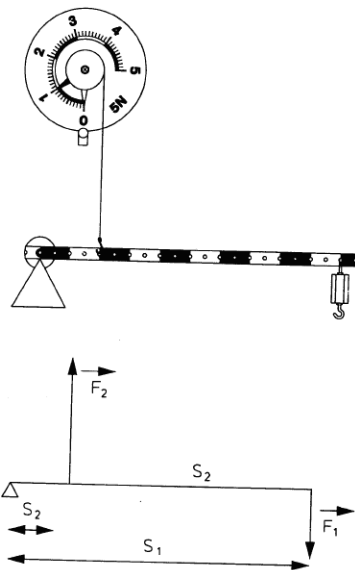


Fig. 14 a

Esperimento

- Agganciare uno all'altro 4 corpi con gancio e fissarli innanzitutto a metà lunghezza della leva.
- Inserire di nuovo nella tabella dei valori misurati la lunghezza dei bracci di leva e i valori delle forze.
- Agganciare innanzitutto i corpi con gancio in un foro rivolto verso il punto di rotazione, successivamente in un foro distante da esso. Inserire nella tabella anche i valori delle grandezze fisiche. Staccare il dinamometro a molla dalla leva e agganciarlo nel 4° foro, contando dal punto di rotazione.

- Eseguire questa operazione di nuovo in modo tale che la leva corra orizzontalmente e la linea d'azione verticalmente verso l'alto.
- Eseguire una nuova correzione del punto zero del dinamometro a molla.
- Ora applicare un corpo con gancio ai tre punti consecutivi della leva che si trovano a destra del punto di misurazione della forza.
- Inserire nella tabella i valori di volta in volta misurati delle grandezze fisiche.

Tabella:

Braccio di leva s_1 in cm	Forza che agisce verso il basso F_1 in N	Braccio di leva s_2 in cm	Forza che agisce verso l'alto F_2 in N	$F_1 \cdot s_1$ in Ncm	$F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Risultato

Tanto maggiore è la distanza del punto di applicazione della forza dal punto di rotazione, quanto minore deve essere la forza affinché vi sia equilibrio tra le forze. Per l'analisi matematica i prodotti vengono ricavati dal relativo braccio di leva e dalla corrispondente forza (le ultime due colonne nella tabella). Per la leva unilaterale:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

15. Momento torcente

Componenti Necessari

- 2 Dinamometri
- 1 Leva
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Triangolo magnetico

Struttura sperimentale

- Fissare il supporto al centro della lavagna magnetica.
- Inserire la leva nel suo foro centrale sul supporto e proteggerla dallo scivolamento verso il basso applicando il manicotto in gomma.
- Applicare un dinamometro a molla sopra il braccio destro della leva, l'altro sotto.
- Con il triangolo magnetico marcare il punto di rotazione della leva.

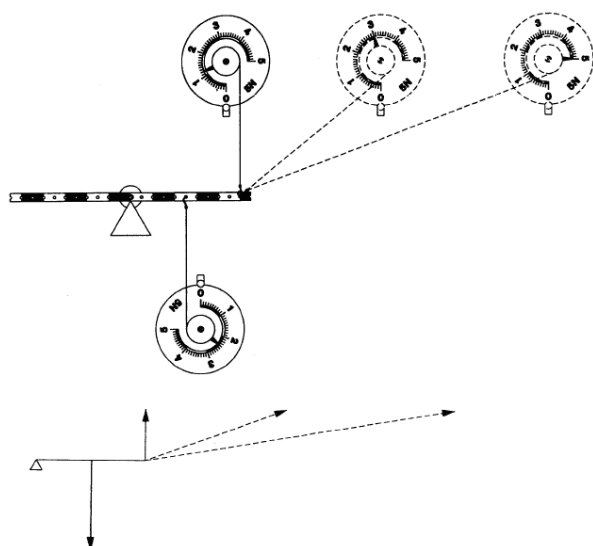


Fig. 15

Esperimento

- Agganciare il punto di misurazione del dinamometro a molla superiore inizialmente nell'ultimo foro della leva.
- Agganciare il punto di misurazione del dinamometro a molla inferiore nel quinto foro dal punto di rotazione.
- Modificare la posizione dei dinamometri a molla in modo tale che la leva si trovi in posizione orizzontale e che i fili siano rivolti verticalmente verso l'alto e verso il basso.
- Durante questa operazione impostare su un dinamometro una forza di alcuni Newton.
- Inserire la relativa distanza del punto di applicazione della forza dal punto di rotazione della leva nonché le relative forze nella tabella dei valori misurati.
- Quindi variare inizialmente per due volte il punto di applicazione del dinamometro a molla inferiore, infine anche il punto di applicazione del dinamometro a molla superiore.
- In ogni caso impostare una posizione orizzontale della leva e fare attenzione alle forze che corrono verticali ad essa.
- Trasferire di nuovo nella tabella le distanze dal punto di rotazione e le forze.
- Infine, modificare la posizione del dinamometro a molla inferiore in modo tale che sulla leva la direzione della forza si discosti sempre più dalla verticale. Tuttavia, durante questa operazione la leva deve continuare a rimanere in posizione orizzontale.

Tabella:

Di- stanza a della 1 ^a forza dal punto di ro- ta- zione s_1 in cm	1 ^a forza F_1 in N	Di- stanza della 2 ^a forza dal punto di rota- zione s_2 in cm	2 ^a forza F_2 in N	Momento torcente 1 $F_1 \cdot s_1$ in Ncm	Mo- mento torcente 2 $F_2 \cdot s_2$ in Ncm

Risultato

Per descrivere l'equilibrio di un corpo montato in modo girevole è possibile utilizzare il momento torcente. Si tratta del prodotto ottenuto dalla relativa distanza del punto di applicazione della forza dal punto di rotazione e dalla forza ad essa perpendicolare. In caso di equilibrio il valore del momento torcente che ruota verso destra è pari al valore del momento torcente che ruota verso sinistra

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

Tanto più la forza si discosta dalla direzione perpendicolare rispetto al braccio di leva, quanto maggiore deve essere tale forza affinché venga conservato l'equilibrio. Questo risultato dimostra che è opportuno stabilire il momento torcente come prodotto della distanza del punto di applicazione della forza dal punto di rotazione e della forza ad essa perpendicolare. Tanto maggiore è lo scostamento della forza da questa direzione, quanto maggiore deve essere il suo valore affinché si ottenga lo stesso momento torcente.

16. Forze sulla puleggia fissa

Componenti Necessari

- 6 Corpi con gancio
- 1 Puleggia, grande
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Scala magnetica
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Fissare la scala magnetica verticalmente sulla lavagna magnetica.
- Applicare la puleggia grande sull'estremità superiore della scala magnetica al centro.
- Collocare il filo con gli occhielli sulla puleggia. In ogni occhiello fissare un corpo con gancio.

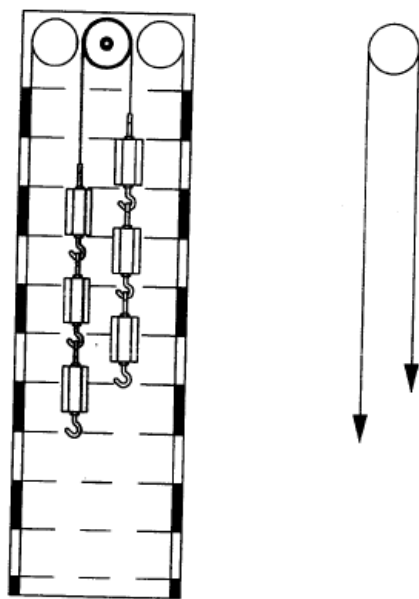


Fig. 16

Esperimento

- Aumentare il numero dei corpi con gancio innanzitutto di due per ogni occhiello, quindi di tre per ogni occhiello.
- Ogni volta i corpi con gancio vengono portati in diverse posizioni e viene osservato il comportamento dell'intera disposizione.

Risultato

La puleggia fissa è in equilibrio, se su ogni lato agisce la stessa forza.

17. Forze sulla puleggia mobile

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 1 Puleggia, grande
- 1 Paranco con 2 pulegge
- 6 Corpi con gancio
- 1 Contrappeso con vite di bloccaggio
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Scala magnetica
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Fissare la scala magnetica verticalmente sulla lavagna magnetica.
- Fissare il supporto sull'estremità superiore della scala magnetica al suo centro.
- Subito sopra collocare la puleggia grande.
- Agganciare un occhiello del filo al supporto e bloccarlo con il manicotto in gomma.

- Quindi portare il filo verso il basso e qui agganciarvi il paranco con le pulegge. Riportare il filo verso l'alto e collocarlo sulla puleggia fissa sull'estremità superiore della scala magnetica.
- Agganciare all'occhiello all'estremità del filo un corpo con gancio e caricare il paranco con due corpi con gancio.
- Come compensazione per la forza del peso del paranco con pulegge applicare, oltre al corpo con gancio, il contrappeso con vite di bloccaggio ed eventualmente aggiungere un po' di plastilina.

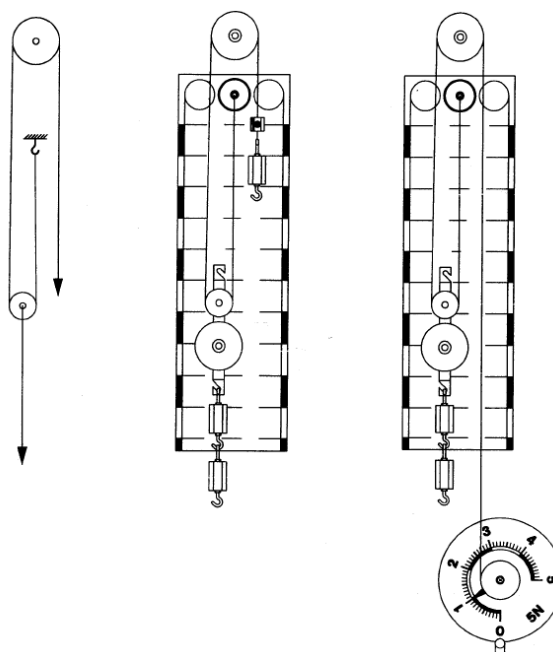


Fig. 17

Fig. 17 a

Fig. 17 b

Esperimento 1

- Portare il corpo con gancio longitudinalmente alla scala in diverse posizioni e ogni volta rilasciarlo.
- Successivamente agganciare un secondo corpo con gancio al paranco e applicare all'occhiello altri corpi con gancio fino al raggiungimento dell'equilibrio.

Esperimento 2

- Sostituire la puleggia fissa con un dinamometro a molla e agganciare al suo punto di misurazione il filo con occhiello sul quale si trovava il corpo con gancio con il contrappeso con la vite di bloccaggio.
- Rimuovere i corpi con gancio presenti sul paranco.
- Innanzitutto, azzerare la deviazione dell'indicatore del dinamometro a molla, causata dal peso proprio della puleggia mobile con il paranco, ruotando il quadrante.

- Quindi appendere al paranco uno dopo l'altro i corpi con gancio e ogni volta determinare la forza visualizzata dal dinamometro a molla.

Risultato

La puleggia mobile si trova in equilibrio, se la forza sul filo è uguale alla metà della forza sulla puleggia.

Nota

Per eseguire gli esperimenti è opportuno svitare dal paranco la puleggia grande. In tal modo aumenta la chiarezza e diminuisce la forza del peso del paranco che agisce come fonte di disturbo.

18. Forze sul paranco

Componenti Necessari

- 6 Corpi con gancio
- 1 Puleggia, piccola
- 1 Puleggia, grande
- 1 Paranco con 2 pulegge
- 1 Contrappeso con vite di bloccaggio
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Scala magnetica
- 1 Filo di nylon con occhielli, lungo

Struttura sperimentale

- Applicare la scala magnetica verticalmente sulla lavagna magnetica.
- Applicare la puleggia grande sopra il centro della sala, sotto nella parte superiore della scala la puleggia piccola e ancora più in basso il supporto.
- Agganciare nel supporto un occhiello del filo, arrestarlo con il manicotto di gomma e quindi portarlo sulla puleggia piccola del paranco. Il paranco viene tenuto in modo tale che la puleggia piccola si trovi in alto.
- Quindi portare il filo verso l'alto e qui collocarlo sulla puleggia piccola, quindi di nuovo verso il basso sulla puleggia grande del paranco e infine sulla puleggia grande.
- Agganciare il contrappeso con la vite di bloccaggio ed eventualmente un po' di plastilina per compensare la forza del peso del paranco.

Esperimento

- Agganciare un corpo con gancio nell'occhiello libero.
- Agganciare al paranco tanti corpi con gancio fino a quando il paranco si trova in equilibrio.

Spostando verso il basso e verso l'alto il paranco è possibile verificare se il paranco si trova in equilibrio in qualsiasi posizione.

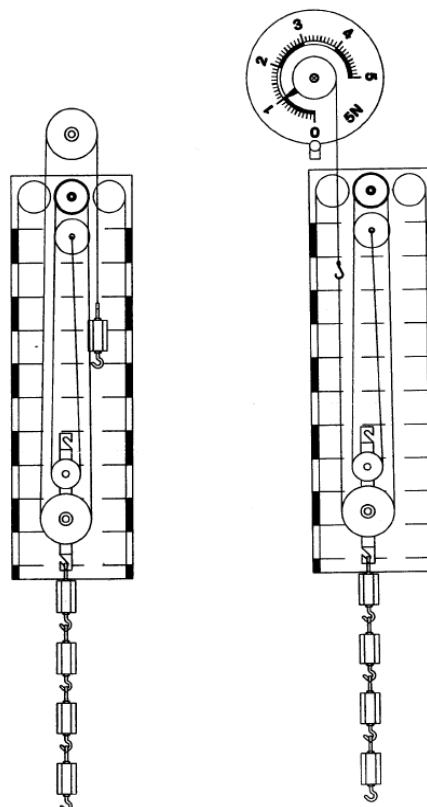


Fig. 18 a

Fig. 18 b

Risultato

Il paranco con complessivamente 4 pulegge si trova in equilibrio se la forza sul paranco è quattro volte tanto la forza sull'estremità del filo.

Nota

Anziché la puleggia grande superiore può essere utilizzato anche un dinamometro a molla (fig. 18b). Viene applicato ad esempio al posto della puleggia grande sull'estremità superiore della lavagna magnetica. In questo caso la forza, determinata dal peso proprio del paranco, viene innanzitutto compensata ruotando la scala. Continuando ad agganciare, ad ogni corpo con gancio la forza indicata aumenta di 0,25 N.

19. Forze sul piano inclinato – verifica con il dinamometro

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 1 Piano inclinato
- 1 Rullo
- 1 Leva
- 2 Supporti
- 1 Piombo
- 2 Manicotti in gomma
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Applicare il piano inclinato alla lavagna magnetica verticale e agganciare il piombo alla parte superiore del goniometro.
- Impostare l'angolo rispetto alla linea orizzontale inizialmente su 10° .
- Collocare il rullo sul piano in modo tale che si trovi subito a monte della lavagna.
- Agganciare il rullo a un occhiello del filo e portare il filo sopra la puleggia verticalmente verso il basso al dinamometro a molla.
- Partendo dall'estremità inferiore sinistra del piano inclinato fissare la leva orizzontalmente a due supporti nella 5° e 10° apertura partendo da sinistra mediante manicotti in gomma.

È possibile determinare l'altezza del piano inclinato di volta in volta come distanza verticale della leva che si trova in orizzontale dall'estremità inferiore destra del piano inclinato.

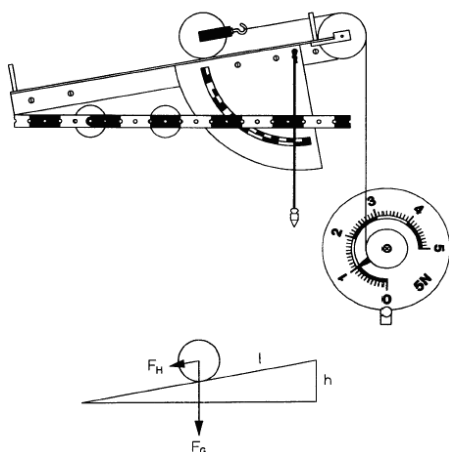


Fig. 19

Esperimento

- Aumentare l'angolo tra il piano inclinato e la linea orizzontale da 10° a 40° .
- Ogni volta misurare l'altezza del piano inclinato e la forza di trazione indicata dal dinamometro a molla e inserirla nella tabella.

Tabella:

Altezza h in cm	Lunghezza a / in cm	Forza di trazione F_H in N	Forza del peso F_G in N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Risultato

Tanto maggiore è l'altezza del piano inclinato, quanto maggiore è anche la forza di trazione. Per l'analisi matematica i quozienti vengono ricavati dalla forza di trazione F_H e dalla forza del peso F_G nonché dall'altezza h e dalla lunghezza l del piano inclinato (ultime due colonne della tabella). Il confronto dei quozienti indica che vale:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Note

1. Il filo teso che va dalla puleggia fissa al dinamometro a molla può anche correre dietro la puleggia orizzontalmente o con un qualsiasi altro angolo. L'unico presupposto è che si trovi in prossimità del rullo parallelamente al piano inclinato. La disposizione risulta estremamente comprensibile, se il filo corre dal rullo fino al dinamometro a molla parallelamente al piano inclinato. Quindi ad ogni modifica dell'inclinazione del piano deve tuttavia essere modificata anche la posizione del dinamometro a molla.

2. È possibile mettere in equilibrio il piano inclinato anche applicando all'estremità del filo pesi anziché il dinamometro a molla, la cui forza del peso è pari alla forza di trazione.

3. Se vi sono i presupposti matematici, anziché l'altezza e la lunghezza, è possibile includere nell'analisi anche l'angolo

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha.$$

20. Forze sul piano inclinato – verifica con corpi con gancio

Componenti Necessari

- 1 Piano inclinato
- 1 Rullo
- 4 Corpi con gancio
- 1 Leva
- 2 Supporti
- 1 Piombo
- 2 Manicotti in gomma
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Applicare il piano inclinato alla lavagna magnetica verticale e agganciare il piombo alla parte superiore del goniometro.
- Inizialmente allineare orizzontalmente il piano inclinato.
- Collocare il rullo sul piano in modo tale che si trovi subito a monte della lavagna.
- Agganciare il rullo a un occhiello del filo e portare il filo sopra la puleggia verticalmente verso il basso al dinamometro a molla.
- Fissare proprio sotto il piano inclinato la leva a 2 supporti orizzontalmente nella 5° e 10° apertura partendo da sinistra e assicurarla contro lo scivolamento con manicotti in gomma.

È possibile determinare l'altezza del piano inclinato di volta in volta come distanza verticale della leva che si trova in orizzontale dall'estremità inferiore destra del piano inclinato.

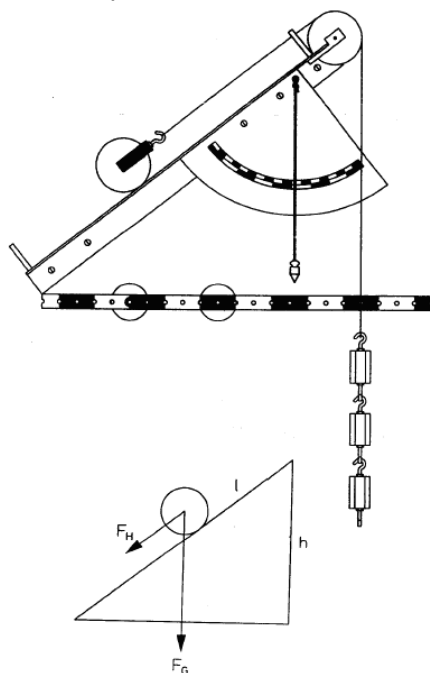


Fig. 20

Esperimento

- Agganciare al secondo occhiello del gancio un corpo con gancio.
- Inizialmente tenere saldamente il rullo e aumentare l'inclinazione del piano fino a quando il corpo con gancio compensa la forza di trazione del rullo.
- Misurare l'altezza del piano inclinato e inserirla nella tabella assieme alla lunghezza del piano, alla forza del peso del rullo e alla forza del peso del corpo con gancio.
- Successivamente fissare due corpi con gancio all'occhiello e continuare ad aumentare l'inclinazione del piano fino a quando la forza del peso delle masse compensa di nuovo la forza di trazione del rullo.
- Ripetere l'esperimento con 3 e 4 corpi con gancio.

Tabella:

Altezza h in cm	Lun- ghezza l in cm	Forza di trazione F_H in N	Forza del peso del corpo con gan- cio F_G in N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Risultato

Tanto maggiore è l'altezza del piano inclinato, quanto maggiore è anche la forza di trazione. Per l'analisi matematica i quozienti vengono ricavati dalla forza di trazione F_H e dalla forza del peso F_G nonché dall'altezza h e dalla lunghezza l del piano inclinato (ultime due colonne della tabella). I quozienti sono uguali:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Nota

Anziché i corpi con gancio è possibile utilizzare un piatto della bilancia estremamente leggero e piccolo. Pertanto, è possibile preimpostare qualsiasi angolo del piano inclinato. La forza di trazione viene determinata posizionando pesi sul piatto della bilancia.

21. Attrito radente - verifica con il dinamometro

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 1 Piano inclinato
- 1 Parallelepipedo di alluminio con 2 ganci
- 6 Corpi con gancio
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Applicare il piano inclinato orizzontalmente sul lato sinistro della lavagna magnetica.
- Collocare il parallelepipedo di alluminio con 2 ganci sull'estremità sinistra del piano inclinato in modo tale che appoggi sulla sua superficie maggiore.
- Fissare il filo con occhielli al gancio. Portare il filo sulla puleggia fissa in modo tale che corra il più possibile parallelamente al piano inclinato.
- Agganciare il secondo occhiello nel punto di misurazione del dinamometro a molla.

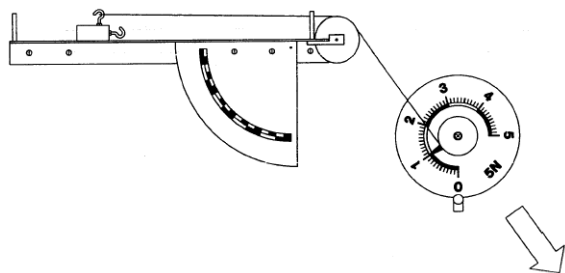


Fig. 21

Esperimento

- Portare lentamente il dinamometro orizzontalmente od obliquamente verso il basso in modo tale che il parallelepipedo in alluminio si sposti in modo uniforme.
- Durante lo spostamento leggere la forza di attrito sul dinamometro a molla.
- Successivamente collocare il parallelepipedo di alluminio sulla superficie più piccola con la stessa struttura superficiale e ripetere l'esperimento.

Mediante il posizionamento di corpi con gancio è possibile aumentare gradualmente la forza del peso efficace.

- Quindi rivestire il piano inclinato con strisce di diversi materiali (ad es. legno, cartone, carta, plastica) ed eseguire gli esperimenti allo stesso modo.

Risultato

L'attrito radente dipende dal tipo di materiali che si sfregano uno sull'altro. Esso aumenta in modo proporzionale rispetto alla forza del peso del

corpo che scorre. Non dipende dalle dimensioni della superficie di sfregamento.

Nota

Il coefficiente dell'attrito radente può essere facilmente determinato ottenendo il quoziente dalla forza dell'attrito radente e dalla forza del peso del parallelepipedo. Il lato piccolo del parallelepipedo è rivestito con uno strato di gomma. Il confronto delle forze per le superfici

di attrito con le stesse dimensioni ma con una composizione diversa indica in modo particolarmente chiaro la dipendenza dell'attrito dal tipo dei materiali che scorrono uno sull'altro.

22. Attrito radente - verifica con pesi

Componenti Necessari

- 1 Piano inclinato
- 1 Parallelepipedo di alluminio con 2 ganci
- 2 Corpi con gancio
- 1 Piombo
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Fissare il piano inclinato con una leggera inclinazione nella parte superiore della lavagna magnetica.
- Agganciare il piombo nella parte superiore del goniometro.
- Collocare il parallelepipedo di alluminio con 2 ganci sull'estremità sinistra del piano inclinato in modo tale che appoggi sulla superficie più grande.
- Agganciare l'occhiello del filo nel gancio rivolto verso la puleggia.
- Portare il filo il più parallelamente possibile al piano inclinato sulla puleggia fissa e sulla sua altra estremità caricarlo con un corpo con gancio.

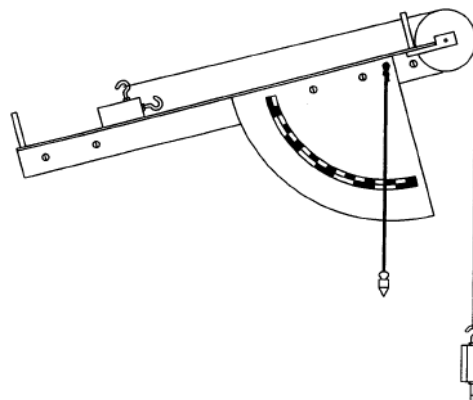


Fig. 22

Esperimento

- Ripetere gli esperimenti dopo avere collocato strati di materiali diversi (ad es. legno, carta, plastica) sul piano inclinato.
- Ridurre l'inclinazione del piano fino a quando il parallelepipedo di alluminio dopo una leggera eccitazione scorre sul piano con una velocità costante.
- Come misura per la forza necessaria a tale scopo determinare l'inclinazione del piano.
- Ripetere l'esperimento allo stesso modo, dopo avere collocato il parallelepipedo di alluminio su una delle sue superfici piccole.
- Infine, aumentare la forza con la quale il parallelepipedo di alluminio preme sulla base collocando gradualmente corpi con gancio.
- Collocare strisce di diversi materiali (ad es. legno, cartone, carta, plastica) sul piano inclinato e ripetere gli esperimenti.

Risultato

L'attrito radente è tanto maggiore quanto maggiore è la pressione con cui il corpo agisce sulla base. Dipende da quali materiali sono costituite le superficie di scorrimento. In presenza della stessa forza del peso l'attrito radente non dipende dalle dimensioni della superficie di scorrimento.

Note

1. È possibile determinare la forza dell'attrito radente stabilendo quale deve essere l'inclinazione del piano in modo tale che il corpo con gancio sollevi il parallelepipedo di alluminio sopra il piano. Può essere comunque determinata anche impostando il piano con un'inclinazione sempre maggiore e determinando l'angolo in base al quale il blocco di alluminio tira verso l'alto il corpo con gancio.
2. È possibile anche fare a meno del corpo con gancio e del filo. Si porta il parallelepipedo di alluminio sull'estremità superiore del piano inclinato e si aumenta l'inclinazione del piano fino a quando il blocco di alluminio dopo una leggera eccitazione scorre verso il basso con velocità costante.
3. Inclinando il piano cambia anche la forza con la quale il corpo preme verticalmente sulla base. Soltanto nel caso in cui il piano sia orizzontale, tale forza è uguale alla forza del peso. Se l'inclinazione aumenta, questa forza diminuisce. Nell'analisi si parte comunque da una forza costante. Pertanto, con l'esperimento viene eseguita soltanto una valutazione delle dipendenze della forza di attrito.

23. Attrito statico

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 1 Piano inclinato
- 1 Parallelepipedo di alluminio con 2 ganci
- 6 Corpi con gancio
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Applicare il piano inclinato orizzontalmente sul lato sinistro nella parte superiore della lavagna magnetica.
- Sull'estremità sinistra collocare il parallelepipedo di alluminio. Fissare il filo a uno dei ganci e portarlo sulla puleggia fissa in modo tale che corra praticamente parallelo al piano inclinato.
- Applicare l'altra estremità del filo al punto di misurazione del dinamometro.

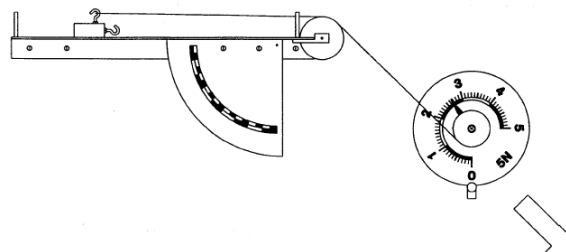


Fig. 23

Esperimento

- Portare il dinamometro a molla lentamente e obliquamente verso il basso a destra. Durante questa operazione determinare la forza che è necessaria per mettere in movimento il blocco di alluminio.
- Ripetere l'esperimento dopo avere collocato il blocco di alluminio su una delle sue superfici piccole.
- Infine, rivestire il piano inclinato con strisce di diversi materiali (ad es. legno, metallo, cartone, carta, plastica) e ripetere l'esperimento.
- Successivamente caricare gradualmente il blocco di alluminio con corpi con gancio e ogni volta determinare la forza per mettere in movimento il blocco.

Risultato

L'attrito statico dipende dal tipo dei materiali che scorrono uno sull'altro. Aumenta in modo proporzionale alla pressione. La forza dell'attrito statico è, a parità di pressione, tanto maggiore quanto maggiore è la superficie di scorrimento.

In tutti i casi la forza dell'attrito statico è maggiore della forza dell'attrito radente determinata nell'esperimento 21.

Nota

Anziché il dinamometro a molla, è possibile fissare all'estremità del filo anche un corpo con gancio. Sono quindi possibili indicazioni sulle dimensioni della forza di attrito inclinando il piano (cfr. esperimento 21). È tuttavia possibile anche fare a meno del filo selezionando un'inclinazione del piano tale per cui il parallelepipedo di alluminio inizia a scivolare. In merito vale la nota 3 relativa all'esperimento 22.

24. Attrito volvente

Componenti Necessari

- 1 Dinamometro
- 1 Piano inclinato
- 1 Rullo
- 1 Parallelepipedo di alluminio con 2 ganci
- 3 Corpi con gancio
- 1 Filo di nylon con occhielli

Struttura sperimentale

- Fissare il piano inclinato nella parte superiore sinistra orizzontalmente alla lavagna magnetica.
- Collocare il rullo sull'estremità sinistra del piano inclinato e fissarvi un'estremità del filo.
- Portare il filo sulla puleggia fissa e fissarlo sul dinamometro a molla che si trova sul lato destro della lavagna magnetica sotto il piano.

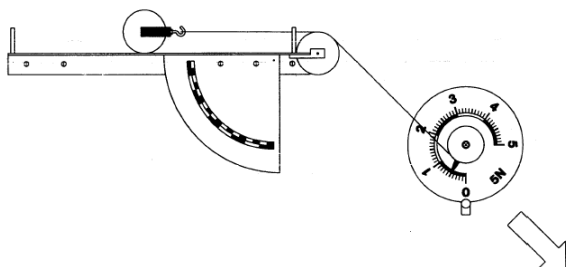


Fig. 24

Esperimento

- Spostare il dinamometro a molla lentamente verso il basso a destra. Durante questa operazione determinare la forza che è necessaria per mantenere in movimento il rullo.
- Quindi sostituire il rullo con il parallelepipedo di alluminio che è stato caricato con 3 corpi con gancio. In tal modo la sua forza del peso corrisponde a quella del rullo.
- Con la stessa disposizione determinare la forza che è necessaria per mantenere costante il movimento del parallelepipedo.

Risultato

Rispetto all'attrito radente e all'attrito statico, l'attrito volvente è notevolmente minore.

25. Periodo di un pendolo a filo

Componenti Necessari

- 3 Corpi con gancio
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Staffa in ottone
- 1 Scala magnetica
- 1 Filo di nylon con occhielli, lungo
- 1 Cronometro

Struttura sperimentale

- Fissare la scala magnetica verticalmente sulla lavagna magnetica.
- Collocare il supporto sul cerchio centrale dell'estremità superiore della scala e dotare la sua estremità anteriore con un manicotto in gomma.
- Collocare la staffa di ottone sul supporto.
- Agganciare a ciascuna delle estremità uno degli occhielli dei fili e fissarvi un corpo con gancio.

È possibile leggere la relativa lunghezza direttamente sulla scala. L'estremità superiore efficace del pendolo si trova al centro della staffa di ottone all'inizio della scala, l'estremità inferiore al centro del peso.

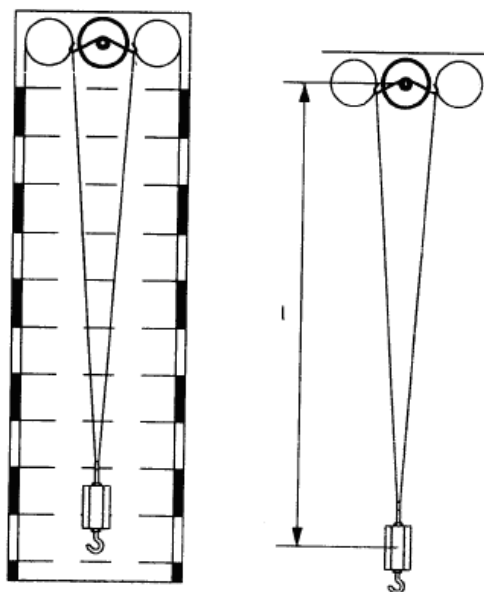


Fig. 25

Esperimento 1

Correlazione tra periodo e peso del pendolo a filo

- Spostare la massa lateralmente fino al bordo della scala circa e rilasciarla.
- Con il cronometro determinare il tempo per 10 periodi e inserirlo nella tabella.

- Anziché un corpo con gancio, fissare sul filo successivamente due e infine tre corpi con gancio uno accanto all'altro.
- In ogni caso determinare il periodo per 10 oscillazioni.
- Ripetere le analisi con una seconda lunghezza del pendolo (filo di un'altra lunghezza).

Tabella:

Lunghezza / in cm	Peso m in g	Tempo per 10 periodi t in s	Periodo T in s

Risultato

Il periodo di un pendolo a filo è indipendente dal peso.

Esperimento 2

Correlazione tra periodo e lunghezza del pendolo

Come peso del pendolo viene utilizzato un corpo con gancio. La lunghezza del pendolo deve essere di circa 50 cm.

- Spostare il corpo con gancio fino al bordo della scala e rilasciarlo. Determinare il tempo per 10 periodi e inserirlo nella tabella.
- Ridurre la lunghezza del pendolo a 40 cm. A tale scopo fissare il filo con un occhiello che può essere facilmente staccato di nuovo su un lato della staffa di ottone.
- Determinare il tempo per 10 periodi e inserirlo nella tabella.
- Successivamente ridurre di nuovo gradualmente la lunghezza del pendolo.
- Dal tempo delle 10 oscillazioni determinare il periodo.
- Infine calcolare il quadrato del periodo e inserirlo nell'ultima colonna.

Tabella:

Lunghezza / in cm	Tempo per 10 pe- riodi t in s	Periodo T in s	Quadrato del periodo T^2 in s^2

Risultato

Tanto maggiore è la lunghezza del pendolo a filo, quanto maggiore è anche il periodo. Vale: $T^2 \sim l$

Note

1. Nel primo esperimento in seguito all'aggancio reciproco di due o più corpi con gancio il baricentro si sposta leggermente verso l'alto. Affinché la lunghezza del pendolo rimanga inalterata da esperimento a esperimento, deve eventualmente essere applicato un pezzetto di filo metallico (ad es. di una graffetta metallica) tra il filo e il corpo del pendolo.

2. Il secondo esperimento può essere utilizzato anche per confermare l'equazione per il periodo di oscillazione di un pendolo a filo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Inserendo la relativa lunghezza del pendolo impostata l e l'accelerazione di caduta g viene determinato il periodo. Per ogni esperimento parziale corrisponde al periodo misurato.

26. Periodo di un oscillatore a molla verticale

Componenti Necessari

- 3 Corpi con gancio
- 3 Molle ad elica
- 1 Supporto
- 1 Manicotto in gomma
- 1 Scala magnetica
- 1 Cronometro

Struttura sperimentale

- Fissare la scala magnetica verticalmente alla lavagna magnetica e applicare un supporto sulla sua sommità superiore.
- Agganciare la molla e assicurarla con un manicotto di gomma.
- Agganciare un corpo con gancio all'estremità inferiore della molla.

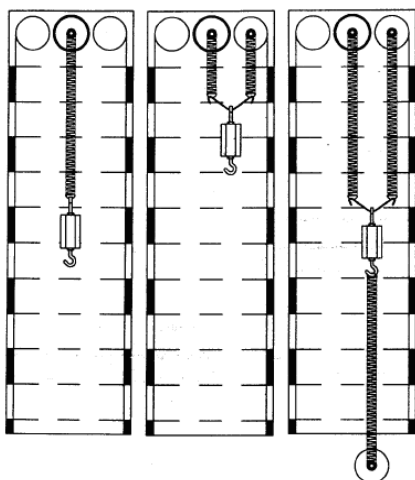


Fig. 26 a

Fig. 26 b

Esperimento 1

Correlazione tra periodo e peso dell'oscillatore a molla

- Spostare il corpo con gancio verticalmente di circa 5 centimetri e rilasciarlo.
- Con il cronometro determinare il tempo per 10 periodi e inserirlo nella tabella.
- Anziché un corpo con gancio, successivamente fissare alla molla ad elica 2 e 3 corpi con gancio uno sotto l'altro.
- In ogni caso determinare il periodo per 10 oscillazioni e inserirlo nella tabella.
- Rappresentare graficamente il quadrato del periodo come funzione del peso.

Tabella:

Peso m in g	Tempo per 10 periodi t in s	Periodo T in s	Quadrato del periodo T^2 in s^2

Risultato

Il periodo di un oscillatore a molla aumenta con il peso. Vale:

$$T^2 \sim m.$$

Esperimento 2

Correlazione tra periodo e indice di rigidità

- Agganciare al supporto inizialmente una molla e determinare la posizione della sua estremità inferiore.
- Quindi agganciare un corpo con gancio alla molla e determinarne l'allungamento.
- Successivamente agganciare al supporto 2 molle una sotto l'altra e determinarne di nuovo l'allungamento agganciando un corpo con gancio.
- Ripetere l'esperimento con 3 molle.
- Per tutti e tre i casi ricavare il quoziente dall'allungamento e dalla forza agente e inserirlo nella tabella.
- Nel caso di una molla con corpo con gancio si verifica uno spostamento verticale di circa 5 cm, quindi rilasciare il corpo con gancio e determinare il tempo per 10 periodi.
- Ripetere l'esperimento per le altre due disposizioni (2 molle e 3 molle).
- Inserire i tempi nella tabella.
- Rappresentare graficamente il quadrato del periodo mediante il quoziente ricavato dalla variazione di lunghezza e dalla forza.

Tabella:

Nu- mero delle molle n	Forz a F in N	Indice di rigi- dezza k in N/cm	Tempo per 10 periodi t in s	Pe- riodo T in s	Varia- zione di lun- ghezza l in cm
1	100				
2	100				
3	100				

Risultato

Il quoziente ricavato dalla forza e dall'allungamento di una molla definisce la sua rigidità (indice di rigidità $k = F/l$). Tanto maggiore è l'indice di rigidità, quanto minore è il periodo.

Vale:

$$T^2 \sim \frac{l}{k}$$

Note

1. Per una determinazione precisa della proporzionalità tra T^2 e $1/k$ fare attenzione alle forze del peso delle molle agganciate e alle variazioni di lunghezza connesse!
2. Nel 2° esperimento è possibile anche disporre più molle una accanto all'altra. In tal modo diminuisce l'indice di rigidità. È possibile fissare facilmente due molle una accanto all'altra applicando due supporti uno accanto all'altro, a ciascuno dei quali è fissata una molla. Collegare

l'estremità inferiore delle due molle con una staffa di ottone alla quale vengono fissati i corpi con gancio (ved. fig. 26a).

3. I due esperimenti possono essere utilizzati anche per confermare l'equazione per il periodo di un oscillatore a molla

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

In questo caso il peso m e l'indice di rigidezza k vengono inseriti nell'equazione e da ciò viene calcolato il periodo. Per ogni esperimento parziale il periodo corrisponde al periodo misurato.

4. L'indice di rigidezza può esser modificato anche agganciando al gancio inferiore del corpo con gancio un'ulteriore molla ad elica la cui estremità inferiore viene applicata a un ulteriore supporto (ved. fig. 26b).

27. Risonanza di due oscillatori a molla

Componenti Necessari

- 4 Corpi con gancio
- 1 Leva
- 2 Molle ad elica
- 2 Supporti
- 2 Manicotti in gomma
- 1 Scala magnetica
- 2 Ganci in ottone

Struttura sperimentale

- Fissare la scala magnetica verticalmente alla lavagna magnetica e all'altezza della sua estremità superiore a destra e a sinistra applicare un supporto.
- Assicurare ciascun supporto con un manicotto in gomma e collocarvi sopra in piano la leva. Scegliere la distanza dei supporti in modo tale che l'intera lunghezza della leva possa essere utilizzata.
- Fissare con l'ausilio dei ganci in ottone le due molle ad elica al centro della leva distanziate dalle 2 aperture e a ciascuna appendere 2 corpi con gancio.

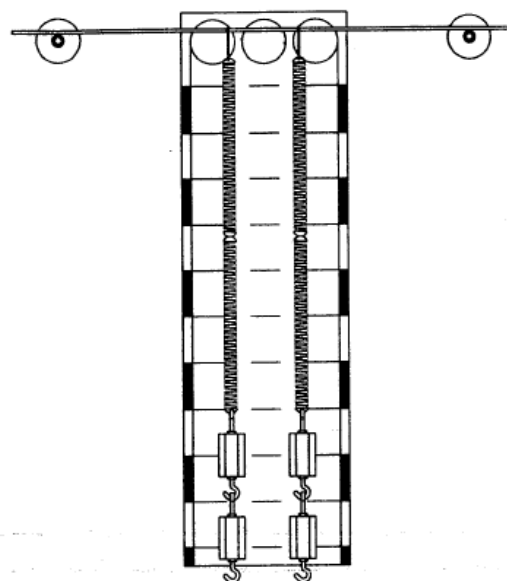


Fig. 27

Esperimento

- Spostare l'estremità inferiore di una delle due molle di circa 5 centimetri verticalmente verso il basso e rilasciarla.

Oscillando trasmette la sua energia gradualmente al secondo oscillatore che inizia a oscillare con un'ampiezza sempre maggiore. Infine, il primo oscillatore si ferma. Successivamente l'energia viene ritrasmessa al primo oscillatore.

Risultato

In caso di oscillatori accoppiati con la stessa frequenza propria, si verifica di nuovo una trasmissione completa dell'energia da un oscillatore all'altro.

Mecânica no quadro magnético 1000735

Manual de instruções

09/26 ALF/HJB



1. Descrição

O conjunto de montagem Mecânica - Estática permite a execução de todas as experiências fundamentais relativas à estática. A particularidade consiste no fato que todas as montagens experimentais podem ser realizadas na vertical, graças aos elementos experimentais equipados de discos magnéticos. Os fortes ímãs aderentes garantem uma fixação segura de todos os elementos. A vantagem desta técnica experimental consiste por um lado na ausência de necessidade de um dispositivo de pé de apoio, por outro lado, no fácil deslocamento de todos os elementos experimentais. Por isso, é possível uma montagem rápida de cada ordenação experimental e um fácil ajuste. A montagem na vertical e as grandes dimensões de todas as peças proporcionam uma boa visibilidade de todos os elementos da montagem experimental. Por não precisar de pé de apoio, as dificuldades a estas associadas desaparecem. Além disso, o trabalho no quadro de aderência magnética permite escrever imediatamente ao lado dos elementos montados. Tanto pode-se (caso seja útil) anotar os nomes das peças, como também grandezas físicas, que podem ser anotadas após medidas e alteradas, como, por exemplo, comprimentos e forças nas suas situações correspondentes. Finalmente, também pode-se desenhar esboços das experiências imediatamente ao lado da montagem experimental que contém os princípios de funcionamento da experiência. Esse esboço pode ser realizado antes de montar a experiência, de modo que a montagem siga o esboço previamente

desenhado. Ele pode, porém, também ser desenvolvido após a montagem experimental, de modo que os pontos mais importantes da experiência podem ser sublinhados. Desta forma, é possível a representação de forças e de paralelogramos de forças.

Para a realização das experiências é necessária, além do conjunto experimental, um quadro de aderência magnética de pelo menos 100 cm x 100 cm.

2. Fornecimento

Nº.	Elemento	Quantidade
1.	Dinamômetro 5 N	2
2.	Plano inclinado com roldanas fixas e compasso	1
3.	Barril 5 N	1
4.	Esquadro de alumínio com 2 ganchos 2 N	1
5.	Corpo do gancho 1 N	6
6.	Roldana, pequena	1
7.	Roldana, grande	1
8.	Polia com 2 roldanas	1
9.	Alavanca	1
10.	Vara de aço com passo	1
11.	Contrapeso com parafuso de fixação	1
12.	Molas parafuso	3
13.	Disco de centro de gravidade	1

14. Prumo	1
15. Suporte	3
16. Mangas de borracha	3
17. Ganchos de latão	3
18. Cabide de latão	1
19. Escala aderente	1
20. Flechas aderente	4
21. Triângulo aderente	1
22. Fio de náilon com laço	4

3. Experiências com o conjunto de aparelhos

Constituição de uma força, composição e de-composição de forças

1. Medição de força com um dinamômetro de mola - a força como grandeza vetorial
2. Deslocamento de uma força ao longo da sua linha de ação
3. Lei de Hooke
4. Adição de forças com linhas de ação comum
5. Lei da Ação-Reação
6. Adição de forças de direções diferentes - utilização de dinamômetros
7. Adição de forças de direções diferentes - utilização de corpos em gancho
8. Decomposição de uma força em dois componentes perpendiculares um ao outro
9. Decomposição de uma força em duas forças paralelas

Centro de gravidade e ponto de equilíbrio

10. Linhas de gravidade e centro de gravidade de um disco de plástico
11. Pontos de equilíbrio de um corpo pendurado
12. Pontos de equilíbrio - centro de gravidade fora da alavanca

Dispositivos de transformação de forças

13. Equilíbrio de forças numa alavanca de dois lados
14. Equilíbrio de forças numa alavanca de um único lado
15. Momento de torção
16. Forças na roldana fixa
17. Forças na roldana móvel
18. Forças numa polia
19. Forças no plano inclinado - pesquisa com o dinamômetro
20. Forças no plano inclinado - pesquisa com corpos em gancho

21. Atrito dinâmico - pesquisa com o dinamômetro
22. Atrito dinâmico - pesquisa com pesas
23. Atrito estático
24. Atrito de rolamento

Oscilações

25. Duração do período de um pêndulo de fio
26. Duração do período de um pêndulo de torção vertical
27. Ressonância de dois pêndulos de torção

4. Indicações para alguns elementos de montagem

1. Dinamômetro de mola

Os dinamômetros podem ser de utilidade em qualquer situação. Caso necessário, deve-se levar em conta o peso próprio dos fios, ganchos etc. Utilizando-se, porém, as maiores forças possíveis, sua influência será reduzida. O ajuste ao ponto zero do indicador é obtido girando o disco da escala. O fio deve ser colocado no sentido horário sobre o disco para fio.

2. Plano inclinado

O plano inclinado pode ser facilmente fixado no quadro aderente em diferentes inclinações. O prumo nele pendurado mostra a inclinação em cada caso.

3. Polia com 2 roldanas

A polia com duas roldanas pode também ser utilizada como roldana livre. Para tal, é útil desapa-rafusar uma roldana. Assim a ordenação experimental fica mais visível e a força do peso da polia reduzido.

4. Flechas aderentes e triângulo aderente

A direção das forças ou dos movimentos pode ser marcada na montagem experimental com as flechas aderentes. Por causa do comprimento idêntico das duas flechas, deveria se indicar que o tamanho das flechas não reflete os valores das forças representadas.

Com o triângulo aderente pode-se marcar muito bem a localização do ponto de torção.

5. Execução das experiências

1. Medição de força com um dinamômetro de mola - a força como grandeza vetorial

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 1 Barril
- 1 Esquadro de alumínio com 2 ganchos
- 1 Corpo em gancho
- 1 Ganchos de latão
- 3 Fios com laço, de diversos comprimentos

Montagem experimental

- Instalar o dinamômetro na parte superior do quadro aderente.
- Nela é fixado o fio com laço e na sua extremidade é colocado o gancho de latão.

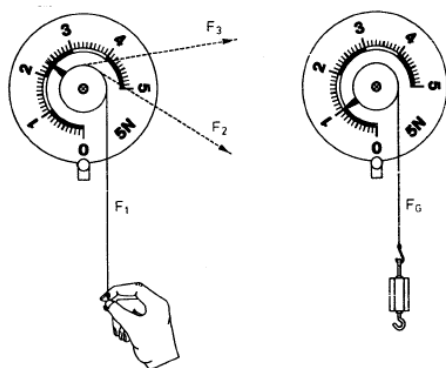


Fig. 1

Experiência

- Exercer uma força em aumento progressivo no dinamômetro com a mão.
- Deixar agir a força a cada vez numa direção diferente.
- Finalmente, são pendurados, um após o outro, o corpo em gancho, o esquadro de alumínio e o barril no dinamômetro de mola.

Resultado

Forças possuem diferentes valores que podem agir em direções diferentes. A força da gravidade é direcionada verticalmente para baixo. Para a definição de uma força são necessários o valor e a direção.

2. Deslocamento de uma força ao longo da sua linha de ação

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 3 Corpos em gancho
- 1 Ganchos de latão
- 3 Fios com laço

Montagem experimental

- Pendurar o dinamômetro na parte superior do quadro aderente.
- Pendurar os 3 fios com laço no seu ponto de medição.

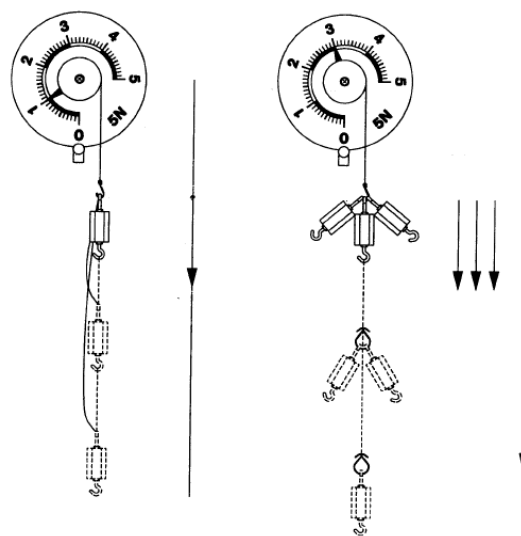


Fig. 2

Experiência

- Primeiro, pendurar um corpo em gancho no gancho do dinamômetro e registrar a força indicada.
- Logo, pendurar o corpo em gancho mais e mais baixo de gancho a gancho progressivamente.
- A seguir, fixar 3 corpos em gancho no dinamômetro de mola.
- Finalmente, levar primeiro este, logo os dois outros corpos em gancho progressivamente de gancho para gancho para baixo.
- Registrar a força exercida a cada vez.

Resultado

Uma força pode ser deslocada ao longo da sua linha de ação.

3. Lei de Hooke

Componentes Necessários

- 2 Molas em parafuso
- 3 Corpos em gancho
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Escala aderente

Montagem experimental

- Instalar a escala aderente na vertical sobre o quadro aderente.
- Fixar o suporte na sua extremidade superior.
- Ali é pendurada uma mola que é fixada com uma manga de borracha.

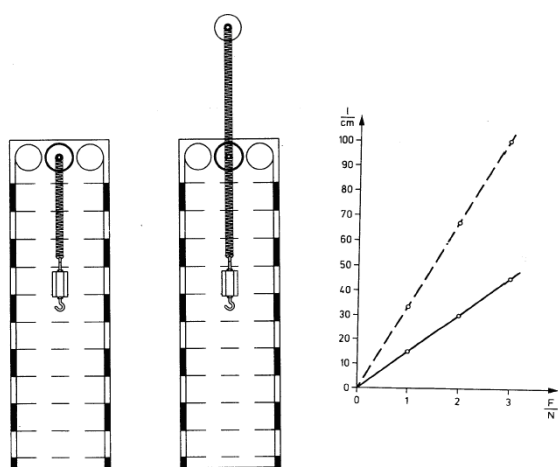


Fig. 3

Experiência

- Determinar a posição da ponta inferior da mola.
- Logo, fixar um corpo em gancho na mola, determinar a distensão e inserir o valor na tabela.
- A seguir, pendurar 2 e 3 corpos em gancho na mola e determinar a distensão em cada caso.
- Repetir a experiência com 2 molas penduradas uma debaixo da outra. Sendo que é útil colocar os suportes para molas por cima da escala aderente.
- Registrar novamente cada distensão e a força do peso em ação na tabela.
- Representar graficamente a distensão em função da força.

Tabela

Força do peso dos corpos em gancho F_G em N	Distensão de uma mola Δl em cm	Distensão de duas molas Δl em cm
0		
1		
2		
3		

Resultado

Quanto maior é a força ativa, maior também é a distensão. É válida a lei de Hooke: $\Delta l \sim F$. A distensão por uma força específica depende das características da mola.

4. Adição de forças com linhas de ação comum

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 5 Corpos em gancho
- 2 Fios com laço

Montagem experimental

- Fixar o dinamômetro de mola na parte superior do quadro aderente.
- Colocar ambos os fios com laço no dinamômetro de mola.

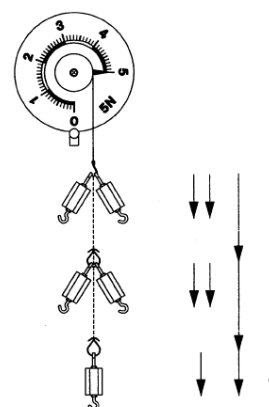


Fig. 4

Experiência

- Primeiro, fixar um corpo em gancho no dinamômetro. A seguir, fixar os restantes na sequência, seja no dinamômetro, seja nos fios.
- Ler a força indicada em cada caso.

Resultado

Se todas as forças agem ao longo de uma mesma linha de ação então, a força total resulta da soma das forças parciais. A direção da força total é idêntica com a das forças parciais.

5. Lei da Ação-Reação

Componentes Necessários

- 2 Dinamômetros
- 1 Fio com laço

Montagem da experiência

- Posicione os dois dinamômetros lado a lado no quadro magnético e prenda o cordão curto aos ganchos. Por enquanto ele não está tenso.

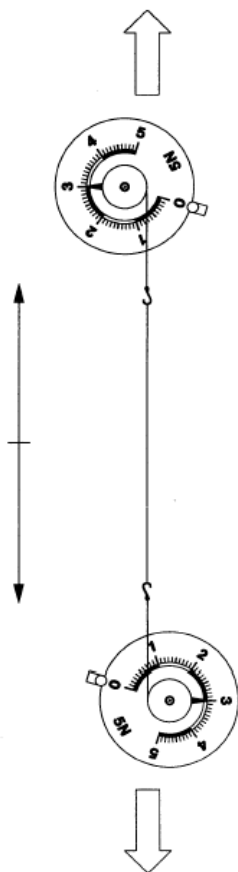


Fig. 5

Experiência

- Empurrar o dinamômetro da esquerda lentamente mais e mais para a esquerda.

Quando fio estiver tenso, ambos dinamômetros indicam uma força. As forças aumentam ao ser movido o dinamômetro. Elas são em todo caso do mesmo tamanho.

- Levar o dinamômetro da esquerda novamente à sua posição inicial e levar o da direita cada vez mais para a direita.

Ao aumentar a distância entre os dinamômetros surgem então duas forças de mesmo tamanho.

Resultado

Se uma força age sobre um corpo, este corpo exerce uma força de mesmo tamanho, mas de direção oposta em contra da força: ação-reação.

6. Adição de forças de diferentes direções - Utilização de dinamômetros

Componentes Necessários

- 2 Dinamômetros
- 1 Mola
- 1 Disco de centro de gravidade
- 3 Suportes
- 3 Mangas de borracha
- 1 Ganchos
- 1 Fios com laços

Montagem experimental

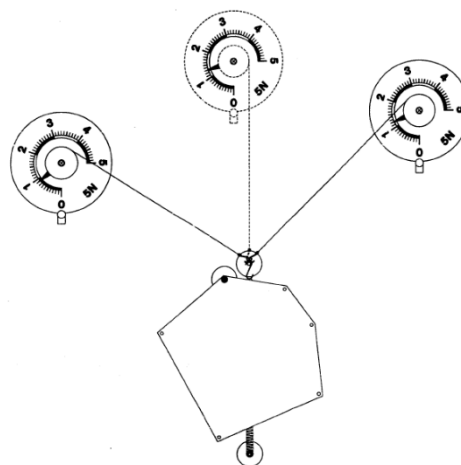


Fig. 6

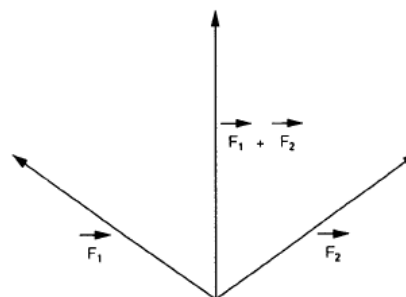


Fig. 6 a

- Fixar ambos os dinamômetros na parte superior do quadro aderente, um de cada lado, e ligá-los com um fio com laço.
- Pendurar os ganchos nesse fio.
- Fixar a mola de parafuso no gancho. Ela é distendida para baixo e fixada lá num suporte com manga de borracha.
- Colocar mais um suporte no lugar onde se encontra o gancho.

- Fixar o disco de centro de gravidade num suporte na frente da mola de parafuso de modo que a mola esteja coberta e só o gancho com o suporte sejam visíveis.

Experiência

- Deslocar ambos os dinamômetros de modo que os ganchos não fiquem mais no suporte.

Nessa situação, duas forças agem sobre os ganchos, que se encontram em equilíbrio com a força da mola.

- Desenhar no quadro ambas as forças dos dinamômetros, indicando seus módulos e direções.
- Logo, retirar um dos dinamômetros da montagem e pendurar o laço agora livre do fio no ponto de medição do dinamômetro restante.
- Deslocar agora esse dinamômetro até que o gancho por sua vez não toque mais no suporte.

Neste caso, a força fornecida pelo dinamômetro tem o mesmo efeito que as duas forças anteriores adicionadas no gancho.

- Registrar também esta força, no seu valor e na sua direção, no quadro.

Essa força representa a diagonal no paralelogramo de forças.

Resultado

Se duas forças com direções diferentes agem sobre um corpo, estas podem ser substituídas por uma só força. O valor e a direção dessa força resultam da diagonal no paralelogramo de forças.

7. Adição de forças de diferentes direções - Utilização de corpos em gancho

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 1 Roldana, grande
- 1 Roldana, pequena
- 6 Corpos em gancho
- 1 Mola de parafuso
- 1 Disco de centro de gravidade
- 3 Suportes
- 3 Mangas de borracha
- 1 Ganchos de latão
- 1 Fios com laço, longo

Montagem experimental

- Fixar ambas as roldanas nos dois lados na parte superior do quadro aderente.

- Colocar os fios sobre as roldanas e pendurar 2 corpos em gancho em cada laço.
- Fixar as molas com uma manga de borracha na parte inferior do quadro aderente.
- Ligar a outra extremidade das molas com os fios por meio de um gancho.
- Deslocar o suporte para baixo até o ângulo desejado entre as duas forças dirigidas para cima inclinadas seja obtido.
- Logo, colocar um suporte no lugar do gancho sem que este seja tocado.
- Com mais um suporte, fixar o disco de centro de gravidade de modo que cubra a mola e só o gancho e o suporte fiquem visíveis.

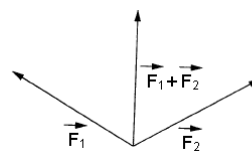
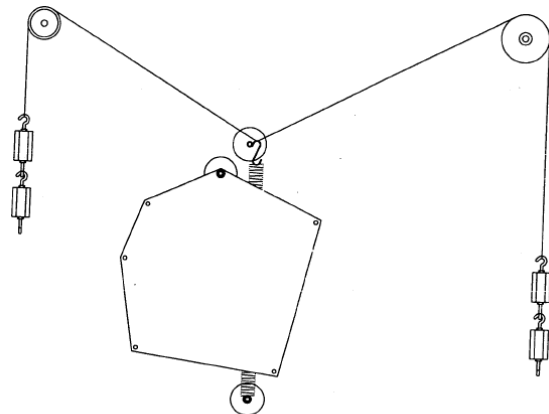


Fig. 7

Experiência

Os dois corpos em gancho exercem uma força sobre cada um dos ganchos de modo que ele permanece nessa posição.

- Marcar as duas direções das forças no quadro e assim associá-las a vetores com tamanhos proporcionais às forças que representam.

O objetivo agora é substituir essas duas forças por uma só de modo que permaneça o mesmo efeito.

- Para tal, em vez de pendurar nos ganchos o fio com corpos em gancho, fixar o dinamômetro de mola e empurrar para cima ou para o lado de modo que o gancho volte a balançar livremente.

Agora, o dinamômetro exerce a mesma força sobre os ganchos que os corpos em gancho anteriormente.

- Esboçar no quadro o valor e a direção da força do dinamômetro de mola.

Depois de retirar o dinamômetro, reconhece-se que a força resultante é igual a diagonal no paralelogramo de forças, que é constituída pelas duas forças.

Resultado

Se duas forças de direções diferentes agem sobre um corpo, então estas forças podem ser substituídas por uma força única. A diagonal no paralelogramo que parte dos pontos de ataque das duas forças corresponde em valor e direção às duas forças individualmente.

8. Decomposição de uma força em dois componentes perpendiculares um ao outro

Componentes Necessários

- 2 Dinamômetros
- 5 Corpos em gancho
- 1 Roldana
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Gancho de latão
- 2 Fios com laço

Montagem da experiência

- Fixar um dinamômetro a meia altura da parte esquerda o quadro aderente, e o outro no meio da parte superior.

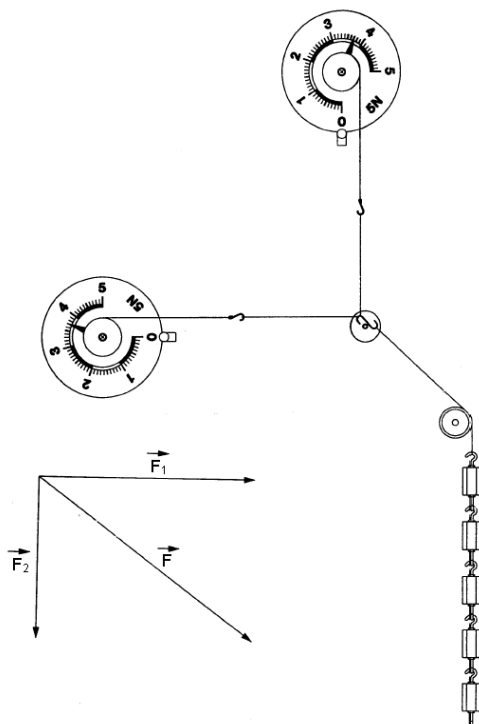


Fig. 8

- Ligar os dois dinamômetros com o fio com laço curto.
- Pendurar o gancho de latão nesse fio e pendurar outro fio com laço.
- Pendurar os 5 pesos no laço livre e passar o fio por cima da roldana de modo que ele puxe inclinado para a direita e para abaixo.
- Alterar a posição do dinamômetro de mola de cima de modo que entre as duas forças exista um ângulo reto.
- Colocar o suporte no lugar do gancho de latão sem que este seja tocado pelo gancho.

Experiência

Os corpos em gancho exercem uma força sobre os ganchos de latão direcionada em diagonal para baixo. Esta força é decomposta no gancho em duas forças de direções perpendiculares. Uma das forças é direcionada na vertical, a outra na horizontal. Ambas as forças indicadas pelos dinamômetros mostram a contraforça de cada um dos dois elementos em que a força é decomposta.

- Inserir a força F dos corpos em gancho dirigida para baixo em diagonal no paralelogramo de forças em valor e direção.
- Logo, desenhar uma linha horizontal e outra vertical a partir do ponto de partida dessa força.
- Agora construir um paralelogramo de modo que a força dos corpos em gancho forme a diagonal do retângulo.

As duas forças parciais que se originam no ponto de ataque da força podem ser lidas em seus valores no paralelogramo. Esses valores correspondem aos valores mostrados pelos dois dinamômetros de mola. A direção das forças e agem nos dinamômetros é oposta a daquelas forças parciais, já que estas representam contra-forças.

Resultado

Cada força pode ser decomposta em duas forças parciais direcionadas perpendicularmente uma a outra. Os valores de ambas as forças parciais correspondem aos comprimentos de ambos os lados do retângulo, no qual a força decomposta forma a diagonal. Cada uma das forças parciais é menor do que a força decomposta.

9. Decomposição de uma força em duas forças paralelas

Componentes Necessários

- 2 Dinamômetro
- 1 Alavanca
- 4 Corpos em gancho

Montagem experimental

- Fixar ambos os dinamômetros à mesma altura do lado esquerdo e direito do quadro aderente.
- Pendurar a alavanca nos dinamômetros de modo que os pontos de ataque da força se encontrem cada um no último orifício da alavanca.
- Agora, alterar a posição do dinamômetro de modo que as forças ajam na vertical para cima e que a alavanca se encontre na horizontal.

Os movimentos de ponteiro dos dinamômetros provocados pela força do peso da alavanca são corrigidos girando a escala rotatória.

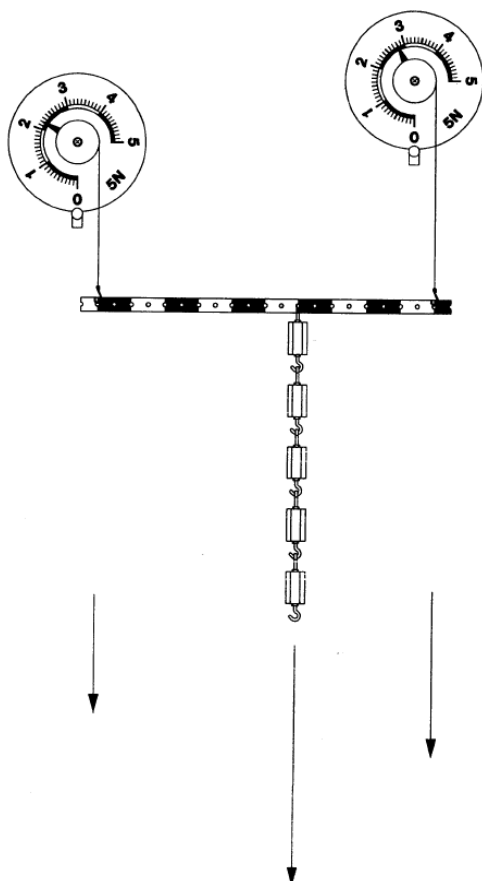


Fig. 9

Experiência

- Primeiro, determinar a força do peso (idêntica) mostrada pelos dinamômetros.
- Logo, pendurar todos os 4 corpos em gancho num princípio no meio da alavanca e determinar e determinar as forças parciais mostradas pelos dinamômetros.
- Depois, levar o ponto de pendurar sempre mais para fora e determinar a cada vez as forças parciais. Para tal, é necessário posicionar a alavanca novamente na horizontal deslocando verticalmente o dinamômetro.
- Inscriver as forças parciais F_1 e F_2 e as distâncias a_1 e a_2 na tabela.

A soma das forças mostradas pelos dinamômetros é igual à força do peso dos corpos em gancho.

Tabela

Força F_1 em N	Força F_2 em N	Distância a_1 em cm	Distância a_2 em cm

Resultado

Uma força pode ser decomposta em duas forças de percursos paralelos a ela. Sendo que a soma dos valores das forças parciais é igual ao valor da força total. As forças parciais se comportam inversamente às distâncias entre os pontos de ataque das forças parciais e o ponto de ataque da força total.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

10. Linhas de gravidade e centro de gravidade de um disco de plástico

Componentes Necessários

- 1 Disco de centro de gravidade
- 1 Prumo
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha

Montagem da experiência

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente e pendurar nela o disco de centro de gravidade por uma de suas perfurações.
- Logo fixar o prumo no suporte e fixar com a manga de borracha.

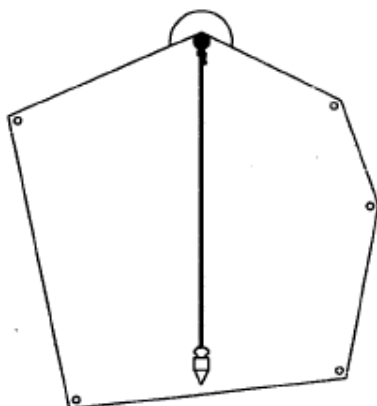


Fig. 10

Experiência

- Desenhar finas linhas com lápis ao longo do prumo.
- Logo, pendurar o disco de centro de gravidade num dos seus outros orifícios, fixar novamente o prumo no suporte e traçar mais uma linha ao longo do prumo.
- Proceder do mesmo modo com os orifícios restantes do disco de centro de gravidade.

Resultado

Todas as chamadas linhas de gravidade se entrecortam num mesmo ponto. É o centro de gravidade do disco de plástico.

- Para comprovar isso, retirar o disco do suporte, levá-lo à posição horizontal e apoiar no centro de gravidade com um lápis de ponta fina.

O disco apoiado no ponto de gravidade não altera a sua posição.

Observação

Na realidade, o centro de gravidade do disco se encontra dentro do disco. Por isso o disco não fica em qualquer situação em repouso na sua posição quando apoiado no ponto calculado.

11. Situações de equilíbrio de um corpo pendurado

Componentes Necessários

- 1 Alavanca
- 1 Barra de aço com passo
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha

Montagem experimental

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente, inserir a alavanca no seu orifício do meio e fixar com a manga de borracha.



Fig. 11

Experiência

- Levar a alavanca a diversas posições e largá-la a cada vez.
- Logo, fixar barra com passo no meio da alavanca de modo que a barra aponte para baixo.
- Levar a alavanca a diferentes posições novamente, sendo que a barra de aço deve encontrar-se por baixo do ponto de pendurar.
- Girar a alavanca em 180° de modo que a barra esteja na vertical e aponte para cima.
- Soltar a alavanca também nesta posição.

Resultado

No primeiro caso, a alavanca se encontra num equilíbrio indiferente. Ela permanece em repouso em qualquer situação à qual ele seja levado.

No segundo caso, a alavanca se entra em situação de equilíbrio estável. Se ela for tirada da sua posição de equilíbrio, ela sempre voltará a ele.

No terceiro caso, a alavanca se encontra em equilíbrio instável. Ela só permanece nessa situação por um curto instante. Por menor que seja o desvio dessa situação, isto leva a que ela se distancie cada vez mais dessa posição e passe para o estado de equilíbrio estável.

12. Situações de equilíbrio – centro de gravidade fora da alavanca

Componentes Necessários

- 1 Alavanca
- 1 Barra de aço com passo
- 1 Contrapeso com parafuso de fixação
- 1 Prumo
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha

Montagem experimental

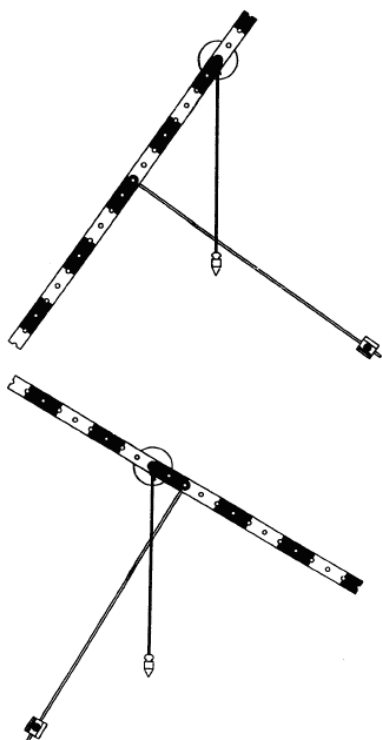


Fig. 12

- Aparafusar a barra de aço no meio da alavanca.
- Fixar o contrapeso com parafuso de fixação na proximidade da extremidade inferior da barra de aço.

- Instalar o suporte na parte mediana superior do quadro aderente e empurrar o prumo no suporte até a placa base.
- Inserir a alavanca no suporte por um orifício qualquer e fixá-lo com a manga de borracha.

Experiência

- Marcar o ponto onde o prumo corta a barra, por exemplo, com um pequeno pedaço fita adesiva.
- Em seguida, inserir a alavanca no suporte por outro orifício e determinar o ponto de encontro do prumo com a barra.
- Repetir a experiência com dois orifícios que se encontrem, do ponto de vista da barra de aço, do outro lado da alavanca.
- Finalmente, tirar a alavanca e colocar a barra de aço sobre um dedal de forma que o ponto de apoio se encontre no ponto marcado na barra de aço.

Resultado

Em todos os casos, o ponto de encontro do prumo com a barra de aço é sempre no mesmo lugar. Este ponto se encontra fora da alavanca. Ele é o centro de gravidade do sistema.

13. Equilíbrio de forças na alavanca de dois lados

Componentes Necessários

- 6 Corpos em gancho
- 1 Alavanca
- 1 Barra de aço com passo
- 1 Contrapeso com parafuso de fixação
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Triângulo aderente

Montagem experimental

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente, inserir a alavanca no suporte pelo orifício do meio e com a manga de borracha impedir que escorregue.
- Aparafusar a barra com passo na alavanca debaixo do suporte e fixar o contrapeso a meia altura com o parafuso de fixação.

Quanto mais alto for instalada a massa de compensação, mas sensível será a reação da alavanca.

- Marcar o ponto de torção da alavanca com o triângulo aderente.

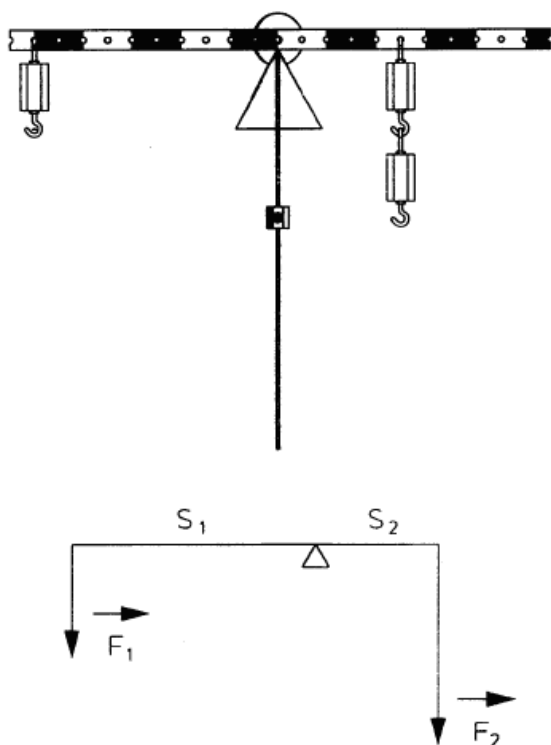


Fig. 13

Experiência

- Pendurar um dos corpos em gancho no orifício mais à esquerda da alavanca.
- Logo, procurar o orifício no lado direito da alavanca, no qual também deve ser pendurado um corpo em gancho, para que a alavanca esteja em equilíbrio.
- Os pontos nos quais as forças agem podem ser marcados com as flechas de força.
- Medir a distância dos dois pontos de força e inscrever na tabela, assim como as forças dos pesos de ambos os corpos em gancho.
- Logo, pendurar mais um corpo em gancho no corpo à direita e procurar o orifício no qual ambos os corpos em gancho devem ser pendurados para estabelecer o equilíbrio.
- Inscrever as forças e os braços de força na tabela.
- Agora, pendurar o corpo em gancho da esquerda a dois orifícios mais para dentro (8° orifício a partir do ponto de torção).
- Para estabelecer o equilíbrio, primeiro pendurar um corpo em gancho à direita, logo dois e depois quatro nos lugares correspondentes.
- Inscrever novamente comprimento dos braços de força e o valor das forças na tabela.

Tabela

Braço esquerdo de alavanca s_1 em cm	Força agindo à esquerda F_1 em N	Braço direito de alavanca s_2 em cm	Força agindo à direita F_2 em N	$F_1 \cdot s_1$ em Ncm	$F_2 \cdot s_2$ em Ncm

Resultado

Numa alavanca, quanto mais longe do ponto de torção age a força, menor ela tem que ser para manter o equilíbrio das forças. Para a análise matemática, são formados os produtos da força com o braço de força para ambos os braços de alavanca (as duas últimas colunas na tabela). É válido:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

14. Equilíbrio de forças numa alavanca de um só lado

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 6 Corpos em gancho
- 1 Alavanca
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Triângulo aderente

Montagem da experiência

- Fixar o suporte no meio da parte superior do quadro aderente.
- Inserir a alavanca no suporte (último orifício à esquerda) e pendurar a parte de medição do dinamômetro de mola no último orifício à direita.
- Fixar o dinamômetro de mola no quadro aderente de modo que a alavanca se encontre em posição horizontal e a linha de ação da força tenha um percurso vertical para baixo.

O movimento de ponteiro provocado pelo próprio peso do dinamômetro pode ser corrigido girando o disco da escala de modo que o indicador se encontre no zero.

- Marcar o ponto de torção da alavanca com o triângulo aderente.

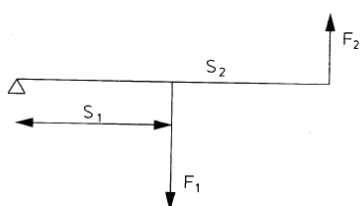
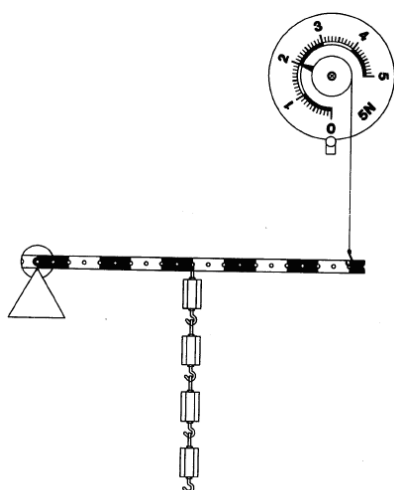


Fig. 14

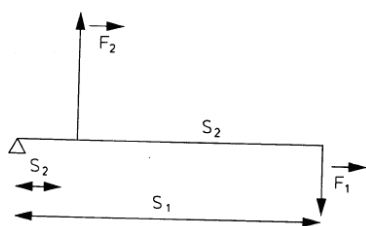
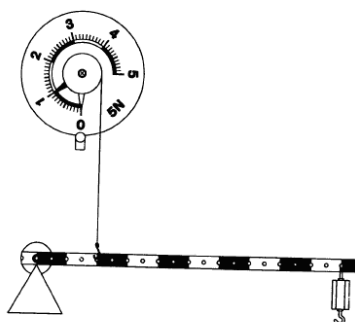


Fig. 14 a

Experiência

- Pendurar 4 corpos em gancho uns nos outros e, primeiro, fixá-los no meio comprimento da alavanca.
- Inscrever o comprimento dos braços de alavanca e os valores das forças na tabela de valores medidos.
- Primeiro pendurar os corpos em gancho num orifício que esteja virado para o ponto de torção. Os valores das grandezas físicas também são inscritos na tabela.

- Soltar o dinamômetro da alavanca e enganchá-lo no 4º orifício contando a partir do ponto de torção.
- Isto ocorre de modo que a alavanca está na horizontal e a linha de ação na vertical para cima.
- Executar mais uma correção de ponto zero no dinamômetro.
- Agora, colocar um após os outros os corpos em gancho nos três pontos da alavanca que se encontram à direita do ponto de medição.
- Inscrever os valores medidos a cada vez para as grandezas físicas na tabela.

Tabela

Braço de alavanca s_1 em cm	Força atuando para baixo F_1 em N	Braço de alavanca s_2 em cm	Força atuando para cima F_2 em N	$F_1 \cdot s_1$ em Ncm	$F_2 \cdot s_2$ em Ncm

Resultado

Quanto maior a distância entre os pontos de ataque e o ponto de torção, menor deve ser a força para que se estabeleça o equilíbrio. Para a análise matemática, são formados os produtos da força com o braço de força para ambos os braços de alavanca (as duas últimas colunas na tabela). Para a alavanca de só lado é válido:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

15. Momento de torção

Componentes Necessários

- 2 Dinamômetros
- 1 Alavanca
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Triângulo aderente

Montagem da experiência

- Fixar o suporte no meio do quadro aderente.
- Inserir a alavanca no suporte pelo orifício do meio e coloque a manga de borracha impedir que escorregue.
- Colocar um dos dinamômetros de mola por cima do braço direito da alavanca, o outro por baixo.
- Marcar o ponto de torção da alavanca com o triângulo aderente.

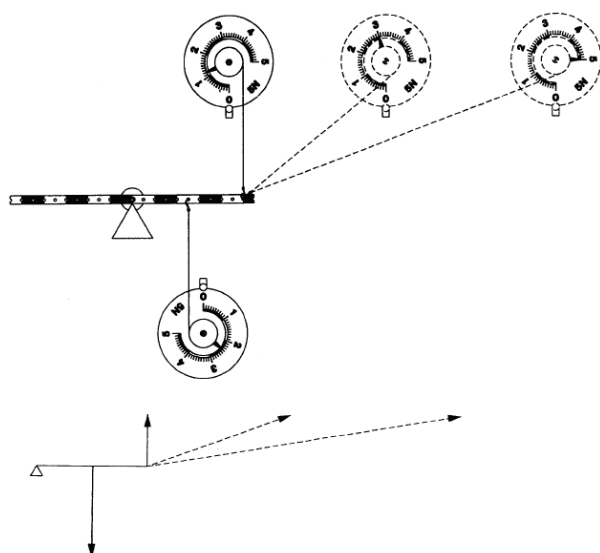


Fig. 15

Experiência

- Primeiro, enganchar o ponto de medição do dinamômetro de cima no último orifício da alavanca.
- Enganchar o ponto de medição do dinamômetro de baixo no quinto orifício contando a partir do ponto de torção.
- Alterar a posição do dinamômetro de mola de modo que a alavanca se encontre na horizontal e os fios na vertical para cima ou para baixo.
- Ao fazê-lo, ajustar uma força de vários Newton num dos dinamômetros.
- Inscrever na tabela as distâncias de cada ponto de ataque de cada força ao ponto de torção da alavanca, assim como as forças correspondentes.
- Logo, primeiramente variar duas vezes o ponto de ataque do dinamômetro de baixo, depois, variar também o ponto de ataque do dinamômetro de cima.
- Em qualquer caso acertar uma posição horizontal da alavanca e levar em conta as forças correspondentes na vertical.
- Inscrever na tabela as distâncias do ponto de torção e das forças.
- A seguir, alterar a posição do dinamômetro inferior de modo que a direção da força cada vez com mais força se desvie da vertical para a alavanca. Sendo que a alavanca deve continuar na posição horizontal.

Tabela

Distância da 1ª força a partir do p. de torção s_1 em cm	1ª força F_1 em N	Distância da 2ª força a partir do p. de torção s_2 em cm	2ª força F_2 em N	Momento de torção 1 $F_1 \cdot s_1$ em Ncm	Momento de torção 2 $F_2 \cdot s_2$ em Ncm

Resultado

Para a descrição do equilíbrio de um corpo com apoio rotativo pode-se utilizar o momento de rotação. Ele é o produto de cada distância do ponto de ataque da força ao ponto de torção e da força vertical dirigida a ele. No caso de haver equilíbrio, o valor do momento de torção à direita é igual ao valor do momento de torção à esquerda

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2.$$

Quanto mais a força se desvia da direção perpendicular à alavanca, maior ela deve ser para que o equilíbrio seja mantido. Este resultado prova que é útil definir o momento de torção como o produto da distância do ponto de ataque da força do ponto de torção e da força perpendicular a este. Quanto maior o desvio da força dessa direção, maior tem que ser o seu valor para que ocorra o mesmo momento de torção.

16. Forças na roldana fixa

Componentes Necessários

6 Corpos em gancho

1 Roldana, grande

1 Suporte

1 Manga de borracha

1 Escala aderente

1 Fio de náilon com laços

Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente na vertical no quadro aderente.
- Instalar a roldana grande na extremidade superior da escala aderente no meio.
- Colocar o fio com laços por cima da roldana. Fixar um corpo em gancho em cada laço.

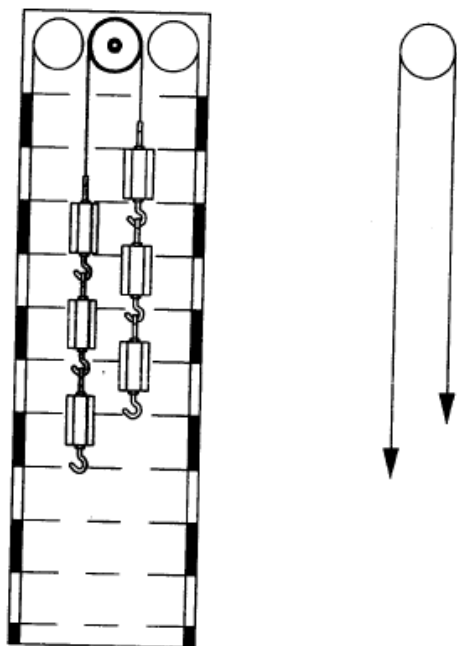


Fig. 16

Experiência

- Elevar o número de corpos em gancho, primeiro a 2 cada, a três.
- Em cada caso os corpos em gancho são colocados em diferentes posições e o comportamento de todo o sistema pode ser observado.

Resultado

Na roldana fixa, existe equilíbrio quando a cada lado agem forças idênticas.

17. Forças na roldana móvel

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 1 Large pulley
- 1 Garrafa com duas roldanas
- 6 Corpos em gancho
- 1 Contrapeso com parafuso de fixação
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Escala aderente
- 1 Fio de náilon com laço

Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente na vertical no quadro aderente.
- Instalar o suporte na extremidade superior da escala aderente no meio. Colocar a roldana grande por cima bem junto.
- Pendurar um dos laços do fio no suporte e fixar com a manga de borracha.

- Logo, passar o fio por baixo e pendurar lá a garrafa com a roldana. Trazer o fio para cima novamente e colocá-lo por cima da roldana fixa na extremidade superior da escala aderente.
- Pendurar um dos corpos em gancho no laço na ponta do fio e carregar a garrafa com dois corpos em gancho.
- Como compensação para a força do peso da garrafa com as roldanas, colocar um corpo em gancho adicional no contrapeso com parafuso de fixação e, caso necessário, pôr um pouco de plasticina.

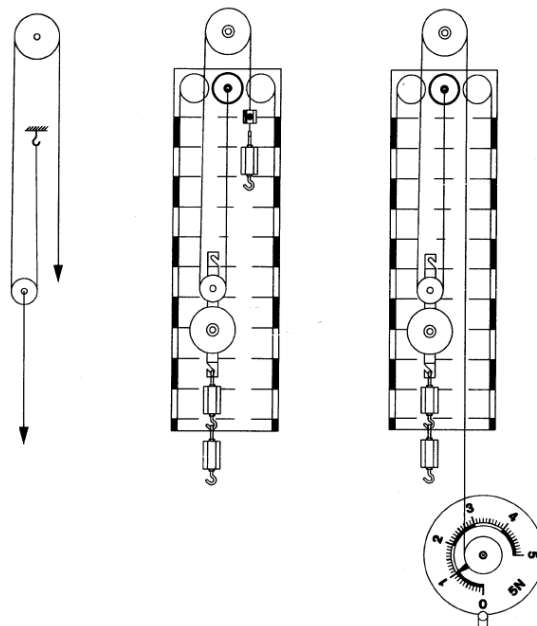


Fig. 17

Fig. 17 a

Fig. 17 b

Experiência 1

- Colocar os corpos em gancho ao longo da escala em diferentes posições e soltar a cada vez.
- A seguir pendurar um segundo corpo em gancho na garrafa e colocar mais corpos em gancho no laço até atingir-se o estado de equilíbrio.

Experiência 2

- Substituir a roldana fixa por um dinamômetro e pendurar o seu ponto de medição no fio com laço onde os corpos em gancho com o contrapeso com parafuso de fixação se encontravam.
- Retirar os corpos em gancho da garrafa.
- A seguir, girar a escala em disco para ajustar o dinamômetro a zero compensando o movimento de ponteiro ocasionado pelo peso próprio da roldana móvel e da garrafa.
- Logo, pendurar os corpos em gancho uns após os outros na garrafa e registrar a força indicada pelo dinamômetro em cada caso.

Resultado

A roldana móvel se encontra em equilíbrio quando a força que age no fio é igual à metade da força da roldana.

Observação

Para a execução das experiências, é útil desparafusar a roldana grande da garrafa. Assim aumenta-se a visibilidade e reduz-se a perturbação pela força do peso da garrafa.

18. Forças em polias

Componentes Necessários

- 6 Corpos em gancho
- 1 Roldana pequena
- 1 Roldana grande
- 1 Garrafa com 2 roldanas
- 1 Contrapeso com parafuso de fixação
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Escala aderente
- 1 Fio de náilon com laço, longo

Montagem da experiência

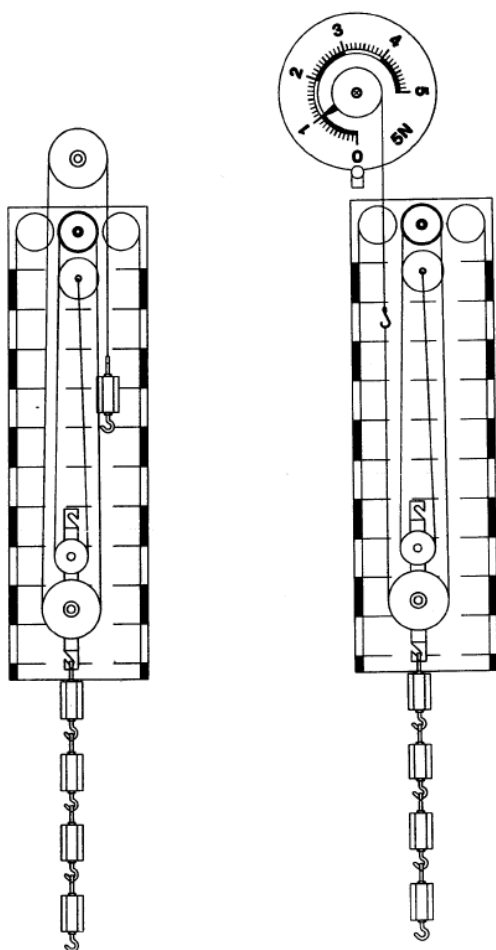


Fig. 18 a

Fig. 18 b

- Fixar a escala aderente no quadro aderente na vertical.
- Colocar a roldana grande acima do meio da escala, por baixo na parte superior da escala, colocar a roldana pequena e mais abaixo ainda, o suporte.
- Enganchar o laço do fio no suporte, fixar com a manga de borracha e logo inserir a roldana pequena na garrafa. A garrafa deve ser segura enquanto isso de modo que a roldana pequena se encontre acima.
- Logo, levar o fio para cima e coloca-lo por cima da roldana pequena, logo levá-lo de novo para baixo por cima da roldana grande da garrafa e finalmente, por cima da roldana grande.
- Pendurar o contrapeso com parafuso de fixação e caso necessário um pouco de plastilina, para compensar o peso da garrafa.

Experiência

- Pendurar um corpo em gancho no laço livre.
- Pendurar na garrafa tantos corpos em gancho quanto forem necessários até que a polia se encontre em equilíbrio.

Subindo e descendo a roldana pode-se comprovar se a polia se encontra em equilíbrio em qualquer situação.

Resultado

A polia com um total de 4 roldanas se encontra em equilíbrio quando a força na roldana é 4 vezes maior do que na ponta do fio.

Observação

Em vez da roldana grande superior, pode também ser utilizado um dinamômetro (fig. 18b). Ele é instalado no lugar da roldana grande na parte de cima do quadro aderente. Neste caso, primeiro compensa-se a força girando a escala, a qual é determinada pelo próprio peso da roldana. Ao adicionar um corpo em gancho, a força indicada aumenta a cada vez em 0,25 N.

19. Forças no plano inclinado - pesquisa com o Dinamômetro

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Barril
- 1 Alavanca
- 2 Suportes
- 1 Prumo
- 2 Mangas de borracha
- 1 Fio de náilon com laço

Montagem da experiência

- Instalar o plano inclinado no quadro aderente na vertical e pendurar o prumo na parte superior do compasso.
- Ajustar o ângulo horizontal a 10° .
- Colocar o barril sobre o plano de modo que este se encontre bem junto à placa aderente.
- Pendurar o barril num dos laços do fio e passar o fio sobre a roldana vertical para baixo até o dinamômetro de mola.
- A partir da extremidade esquerda inferior do plano inclinado, fixar a alavanca com a manga de borracha na horizontal em dois enganches no 5° e no 10° orifício contando da esquerda.

A altura do plano inclinado pode ser determinada como distância vertical da alavanca que se encontra na posição horizontal, a partir da ponta direita inferior do plano inclinado.

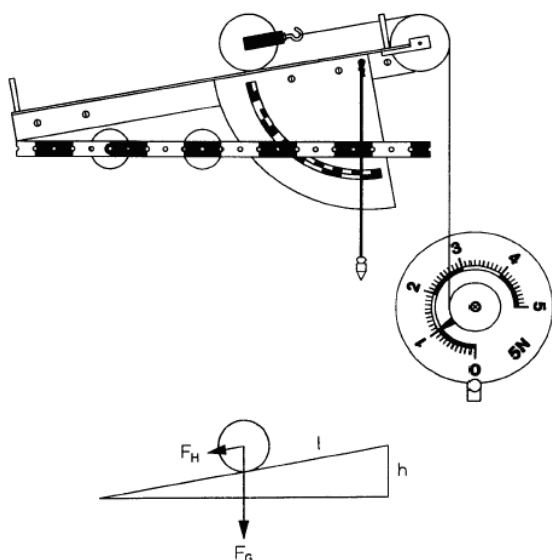


Fig. 19

Experiência

- Aumentar progressivamente o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal de 10° a 40° .
- Inscrever a cada vez na tabela a altura do plano inclinado e registrar a força tangencial paralela ao plano mostrada no dinamômetro de mola.

Tabela

Altura h em cm	Com- pri- mento l em cm	Força tan- gencial F_H em N	Força peso F_G em N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Resultado

Quanto maior a altura do plano inclinado, maior é a força tangencial paralela ao plano. Para a análise matemática, são formados os quocientes da força tangencial F_H e da força do peso F_G assim como da altura h e o comprimento l do plano inclinado (últimas duas colunas da tabela). A comparação dos quocientes mostra que é válido:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Observações

1. O fio esticado entre a roldana fixa e o dinamômetro de mola pode também percorrer por trás da roldana na horizontal ou em qualquer outro ângulo. A condição é só que na proximidade do barril, ele esteja paralelo ao plano inclinado. A ordenação é particularmente fácil de compreender quando o fio que vai do barril até o dinamômetro de mola é paralelo ao plano inclinado. Então deve-se, porém, a cada alteração da inclinação do plano inclinado, também alterar a posição do dinamômetro de mola.
2. O equilíbrio no plano inclinado também pode ser estabelecido pendurando pesos nas pontas do fio no lugar do dinamômetro de mola, cujas forças sejam iguais às da força tangencial.
3. Sempre que os requisitos matemáticos estejam dados, pode-se incluir o ângulo no cálculo, em vez da altura e do comprimento

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha.$$

20. Forças no plano inclinado - Pesquisa com corpos em gancho

Componentes Necessários

- 1 Plano inclinado
- 1 Barril
- 4 Corpos em gancho
- 1 Alavanca
- 2 Suportes
- 1 Prumo
- 2 Mangas de borracha
- 1 Fio de náilon com laço

Montagem da experiência

- Instalar o plano inclinado no quadro aderente vertical, e pendurar o prumo na parte superior do compasso.
- Posicionar o plano inclinado na horizontal.
- Colocar o barril no plano de modo que ela se encontre bem junto à placa aderente.
- Pendurar o barril num dos laços do fio e levar o fio na vertical para baixo para o dinamômetro de mola passando por cima da roldana.
- Fixar a alavanca bem embaixo do plano inclinado em dois suportes na horizontal em dois enganches no 5° e no 10° orifício contando da esquerda. Fixar a abertura e prender com a manga de borracha impedindo que escorregue.

A altura do plano inclinado pode ser determinada a cada vez como distância vertical da alavanca que se encontra na posição horizontal, a partir da ponta direita inferior do plano inclinado.

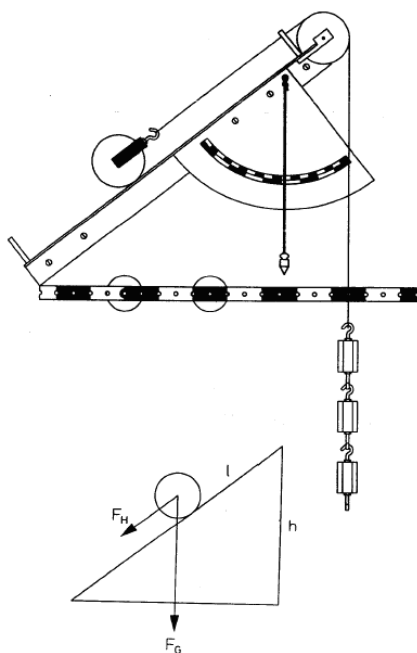


Fig. 20

Experiência

- Pendurar um corpo em gancho no segundo laço do gancho.
- Primeiro, segurar o barril e aumentar a inclinação do plano até que os corpos em gancho compensem a força tangencial do barril.
- Medir a altura do plano inclinado e inscrever o valor na tabela junto com o comprimento do plano, a força do peso do barril e a força do peso do corpo em gancho.
- A seguir, fixar dois corpos com gancho no laço e aumentar a inclinação do plano até que a força peso das massas compense a força tangencial do barril.
- Repetir a experiência com 3 e 4 corpos em gancho.

Tabela

Altura h em cm	Com- pri- mento l em cm	Força tan- gencial F_H em N	Força peso dos corpos em gancho F_G em N	$\frac{h}{l}$	$\frac{F_H}{F_G}$

Resultado

Quanto maior a altura do plano inclinado, maior também é a força tangencial. Para a análise matemática são formados os quocientes da força tangencial F_H e a força do peso F_G assim como a altura h e o comprimento l do plano inclinado (últimas duas colunas da tabela). Os quocientes são iguais:

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l}$$

Observação

No lugar dos corpos em gancho pode ser utilizado um prato de balança bem leve e pequeno. Assim pode ser aplicado qualquer ângulo de inclinação ao plano inclinado. A força tangencial é então determinada colocando pesos no prato de balança.

21. Atrito dinâmico - pesquisa com o dinamômetro

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Aluminium friction block with two hooks
- 6 Corpos em gancho
- 1 Fio de náilon com laço

Montagem da experiência

- Colocar o plano inclinado na horizontal no lado esquerdo do quadro aderente.
- Colocar o esquadro de alumínio com dois ganchos na ponta esquerda do plano inclinado de modo que ele esteja apoiado na superfície maior.
- Fixar o fio com laço no gancho. Levar o fio por cima da roldana fixa de modo que este esteja praticamente paralelo ao plano inclinado.
- Enganchar o segundo laço no ponto de medição do dinamômetro de mola.

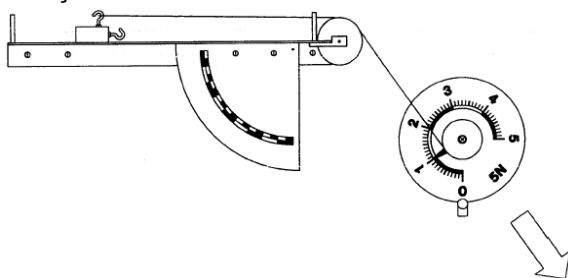


Fig. 21

Experiência

- Mover o dinamômetro de mola cuidadosamente na horizontal ou diagonal para baixo, de modo que o esquadro de alumínio se mova de forma homogênea.
- Ler a força de atrito no dinamômetro de mola durante o movimento.
- Logo, colocar o esquadro de alumínio sobre a superfície menor com a mesma estrutura superficial e repetir a experiência.

Colocando corpos em gancho a força pode ser progressivamente aumentada.

- Depois, cobrir o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico) e executar a experiência na mesma forma.

Resultado

O atrito dinâmico depende do tipo das matérias que deslizam uma sobre a outra. Ela aumenta

proporcionalmente à força do peso do corpo deslizante. Ela independe do tamanho da superfície de atrito.

Observação

O coeficiente de atrito pode ser facilmente calculado formando os quocientes da força de atrito e da força do peso do esquadro. O lado mais fino do esquadro está coberto por uma camada de borracha. A comparação das forças com superfície de atrito do mesmo tamanho, mas de características diferentes, mostra de modo bem claro a dependência da constituição das superfícies que entram em atrito.

22. Atrito dinâmico - pesquisa com pesos de balança

Componentes Necessários

- 1 Plano inclinado
- 1 Esquadro de alumínio com 2 ganchos
- 2 Corpos em gancho
- 1 Prumo
- 1 Fio de náilon com laço

Montagem da experiência

- Fixar o plano inclinado com pouca inclinação na parte superior do quadro aderente.
- Pendurar o prumo na parte superior do compasso.
- Colocar o esquadro de alumínio com 2 ganchos na ponta esquerda do plano inclinado de modo que ele esteja apoiado na superfície maior.
- Enganchar o laço do fio no gancho virado para a roldana.
- Levar o fio do modo mais paralelo possível ao plano inclinado por cima da roldana fixa e carregar a outra ponta do fio com um corpo em gancho.

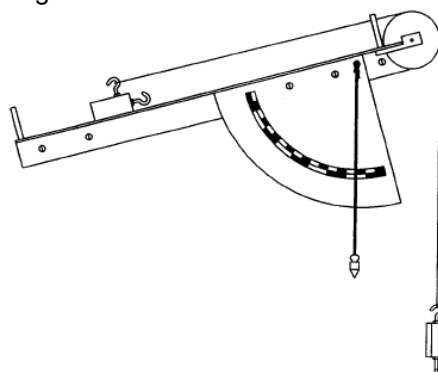


Fig. 22

Experiência

- Repetir a experiência cobrindo o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico).
- Reduzir a inclinação do plano inclinado até que o esquadro de alumínio deslize com uma velocidade constante com a ajuda de um leve empurrão.
- Determinar a inclinação do plano como medida para a força necessária. Repetir a experiência do mesmo modo após ter apoiado o esquadro de alumínio sobre a sua superfície menor.
- Depois, aumentar a força com a qual o esquadro de alumínio pressiona a superfície adicionando progressivamente corpos em gancho.
- Cobrir o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico) e executar as experiências da mesma forma.

Resultado

O atrito é tanto maior quanto a força da pressão que o corpo exerce sobre a superfície de deslize. Ela depende de que material compõe as superfícies de deslize. Com o mesmo peso, o atrito é independente do tamanho da superfície de deslize.

Observações

1. A força de atrito dinâmico pode ser determinada constatando o quanto horizontal o plano deve ser para que o corpo em gancho puxe o esquadro de alumínio inclinação acima. Mas também pode ser determinada colocando o plano cada vez mais inclinado e determina o ângulo no qual o esquadro de alumínio puxa os corpos em gancho para cima.
2. Também é possível dispensar o uso dos corpos em gancho e dos fios. Coloca-se o esquadro de alumínio na ponta superior do plano inclinado e aumenta a sua inclinação até que o bloco de alumínio deslize no plano com uma velocidade constante.
3. Com a inclinação do plano também altera-se a força com a qual o corpo pressiona a superfície de deslize na perpendicular. Ela só é idêntica à força de peso no caso de um plano horizontal. Com o aumento da inclinação essa força diminui. Na análise, porém, supõe-se uma força constante. Por isso, com a experiência só se obtém uma estimativa da dependência da força de atrito.

23. Atrito estático

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Esquadro de alumínio com 2 ganchos
- 6 Corpos em gancho
- 1 Fio de náilon com laço

Montagem da experiência

- Fixar o plano inclinado na horizontal no lado esquerdo na parte superior do quadro aderente.
- Posicionar o esquadro de alumínio na ponta esquerda. Fixar o fio num gancho e levá-lo por cima da roldana de modo que fique quase paralelo ao plano inclinado.
- Fixar a outra ponta do fio no ponto de medição do dinamômetro.

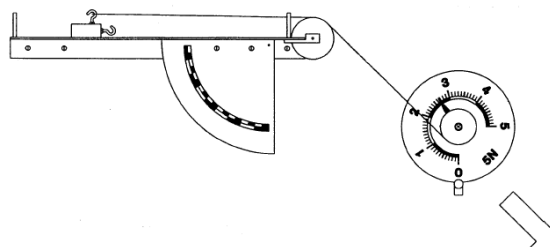


Fig. 23

Experiência

- Mover o dinamômetro de mola cuidadosamente na horizontal ou diagonal para baixo. Determinar ao fazê-lo a força necessária para que o esquadro de alumínio entre em movimento.
- Repetir a experiência, após apoiar o esquadro de alumínio sobre a sua superfície menor.
- Depois, cobrir o plano inclinado com tiras de diversos materiais (por exemplo, madeira, papelão, papel, plástico) e repetir a experiência.
- A seguir, carregar progressivamente o esquadro de alumínio com corpos em gancho e determinar a força necessária para mover o bloco a cada vez.

Resultado

O atrito estático depende do tipo de materiais em atrito. Ele aumenta proporcionalmente à pressão exercida. A força de atrito é maior quando a superfície de atrito aumenta.

Em todos os casos a força do atrito estático é maior do que a força do atrito dinâmico determinada na experiência 21.

Observação

No lugar do dinamômetro pode-se também pendurar um corpo em gancho na ponta do fio. É possível então tirar conclusões sobre o tamanho da força de atrito inclinando o plano (compare com a experiência 21). Pode-se, porém, também prescindir do fio, aplicando uma inclinação tão grande que o esquadro de alumínio começa a deslizar. Aqui vale a observação 3 sobre a experiência 22.

24. Atrito de rolamento

Componentes Necessários

- 1 Dinamômetro
- 1 Plano inclinado
- 1 Barril
- 1 Esquadro de alumínio com 2 ganchos
- 3 Corpos em gancho
- 1 Fio de náilon com laço

Montagem da experiência

- Fixar o plano inclinado horizontalmente na parte superior à esquerda no quadro aderente.
- Colocar o barril na ponta esquerda do plano inclinado e fixar uma ponta do fio nele
- Levar o fio por cima da roldana fixa e fixar no dinamômetro de mola que se encontra no lado direito do quadro aderente, por baixo do plano.

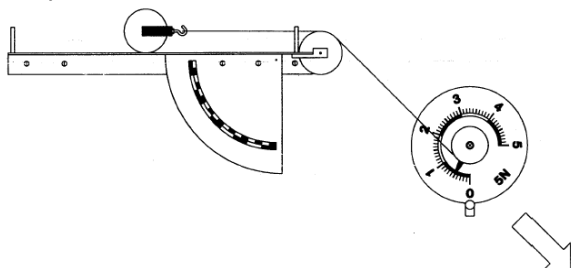


Fig. 24

Experiência

- Mover o dinamômetro lentamente para a direita. Determinar ao fazê-lo a força necessária para manter o movimento do barril.
- Depois, substituir o barril pelo esquadro de alumínio que foi carregado com 3 corpos em gancho. Assim, a força do seu peso equivale à do barril.
- Determinar com a mesma montagem a força necessária para manter um movimento regular do esquadro.

Resultado

Em comparação à força de atrito dinâmica e à força de atrito estática, a força de atrito de rolamento é sensivelmente menor.

25. Duração do período de um pêndulo de fio

Componentes Necessários

- 3 Corpos em gancho
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Cabide de latão
- 1 Escala aderente
- 1 Fio de náilon com laço, longo
- 1 Cronômetro

Montagem da experiência

- Fixar escala aderente no quadro aderente na vertical.
- Colocar o suporte no círculo mediano na extremidade superior da escala e cobrir a sua ponta anterior com uma manga de borracha.
- Colocar o cabide de latão por cima do suporte.
- Pendurar um laço do fio em cada ponta e fixar nele um corpo em gancho.

Cada comprimento pode ser lido diretamente na escala. A extremidade superior efetiva se encontra no meio do cabide de latão no começo da escala, a extremidade inferior se encontra no meio do peso de balança.

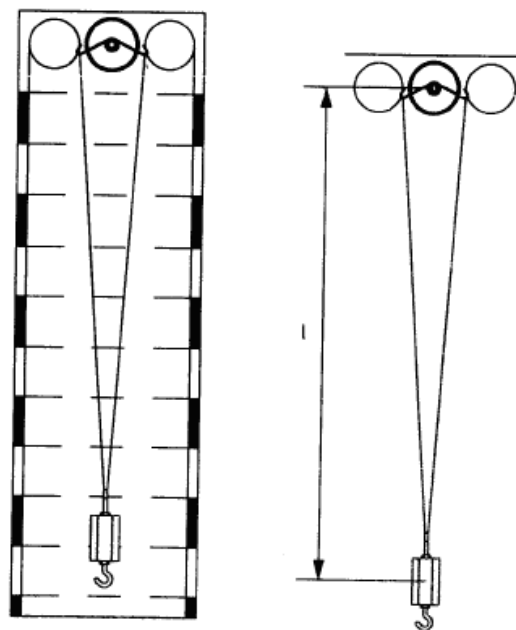


Fig. 25

Experiência 1

Relação entre a duração do período e a massa do pêndulo de fio

- Deslocar a massa para o lado até a beira da escala e soltá-la.
- Determinar o tempo para 10 períodos com o cronômetro e inscrever na tabela.

- Depois, fixar no fio no lugar do corpo em gancho dois, e logo três, corpos em gancho um ao lado do outro.
- Para cada caso, determinar a duração do período para 10 oscilações. Repetir a pesquisa com um segundo comprimento de pêndulo (fio de outro comprimento).

Tabela

Comprimento / em cm	Massa <i>m</i> em g	Tempo para 10 períodos <i>t</i> em s	Duração do período <i>T</i> em s

Resultado

A duração do período de um pêndulo independe da massa.

Experiência 2

Relação entre a duração do período e o comprimento do pêndulo

Um corpo em gancho serve de massa de pêndulo.

- O comprimento do pêndulo deveria ser de uns 50 cm.
- Deslocar o corpo em gancho até a beira da escala e soltá-lo. Determinar o tempo para 10 períodos e inscrever na tabela.
- Reduzir o comprimento do pêndulo a 40 cm. Para tal, fixar o fio com um laço fácil de soltar na lateral do cabide de latão.
- Determinar o tempo par 10 períodos e inscrever na tabela.
- A seguir, continuar a reduzir progressivamente o comprimento do pêndulo.
- Determinar a duração do período a partir do tempo de 10 oscilações.
- Logo, calcular o quadrado da duração do período e inscrever na última coluna da tabela.

Tabela

Comprimento / em cm	tempo para 10 períodos <i>t</i> em s	Duração do período <i>T</i> em s	Quadrado da duração do período <i>T</i> ² em s ²

Resultado

Quanto maior o comprimento do pêndulo de fio, maior será também a duração de período. É válido: $T^2 \sim l$.

Observações

1. Na primeira experiência, o centro de gravidade se desloca levemente para cima através da adição, um ao lado do outro, de dois ou mais corpos em gancho. Para que o comprimento de pêndulo permaneça o mesmo de experiência em experiência, deve-se caso necessário, colocar um pedacinho de arame (por exemplo de um clipe de escritório) entre o fio e o corpo de pêndulo.

2. A segunda experiência pode também ser aplicada para a comprovação da equação para a duração da oscilação de um pêndulo de fio:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Aplicando os diferentes comprimentos de pêndulo *l* e a aceleração da gravidade *g* determina-se a duração do período. Esta corresponde com a duração medida para cada experiência parcial.

26. Duração do período de um pêndulo de torção

Componentes Necessários

- 3 Corpos em gancho
- 3 Mola de parafuso
- 1 Suporte
- 1 Manga de borracha
- 1 Escala aderente
- 1 Cronômetro

Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente no quadro aderente na vertical e instalar um suporte na sua ponta superior.
- Enganchar a moa e fixar com uma manga de borracha.

- Pendurar um corpo em gancho na extremidade inferior da mola.

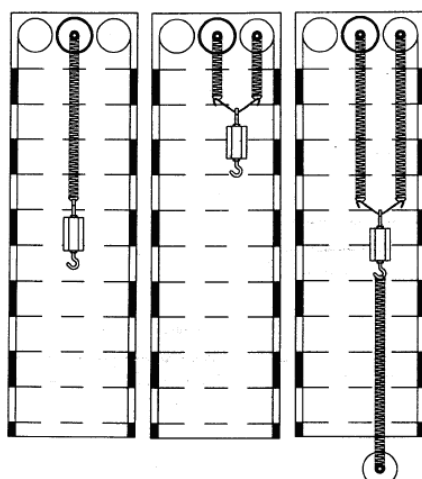


Fig. 26 a

Fig. 26 b

Experiência 1

Relação entre a duração do período e a massa do pêndulo de torção

- Mover o corpo em gancho verticalmente em uns 5 centímetros e soltar.
- Determinar o tempo necessário para 10 períodos com o cronômetro e logo inscrever na tabela.
- No lugar do corpo em gancho, fixar 2 e 3 corpos em gancho uns abaixo dos outros na mola de parafuso.
- A cada vez determinar a duração de período para 10 oscilações e inscrever na tabela.
- Representar graficamente a duração de período como função da massa.

Tabela

Massa m em g	Tempo para 10 períodos t em s	Duração do período T em s	Quadrado da duração do período T^2 em s^2

Resultado

A duração do período de um pêndulo de torção aumenta com a massa. É válido: $T^2 \sim m$

Experiência 2

Relação entre a duração do período e a constante de mola

- Primeiro pendurar uma mola no suporte e determinar a posição da sua extremidade inferior.
- Logo, pendurar um corpo em gancho na mola e determinar a sua extensão.
- A seguir, pendurar 2 molas no suporte, uma debaixo da outra, e determinar novamente a sua extensão ao pendurar um corpo em gancho.
- Repetir a experiência com 3 molas.
- Formar o quociente das extensões e a força atuante para todos os três casos e inserir na tabela.
- No caso de uma mola com um corpo em gancho, ocorre uma oscilação vertical de cerca de 5 cm, depois soltar o corpo em gancho e determinar o tempo para 10 períodos.
- Repetir a experiência com as duas outras montagens (2 molas e 3 molas).
- Inscrever os tempos na tabela.
- Representar graficamente o quadrado da duração do período através do quociente das variações de comprimento.

Tabela

Número de molas	Força F em N	Constante de mola k em N/cm	Tempo para 10 períodos t em s	Duração do período T em s	Variação do comprimento l em cm
1	100				
2	100				
3	100				

Resultado

O quociente entre a força e a variação de comprimento de uma mola é caracterizado pela sua firmeza (constante de mola $k = F/l$). Quanto maior a constante de mola, menor a duração de período.

$$\text{É válido: } T^2 \sim \frac{l}{k}$$

Observações

1. Ao determinar precisamente a proporcionalidade entre T^2 e l/k , levar em conta as forças de peso das molas penduradas e as correspondentes variações de comprimento!
2. Na experiência 2 podem também ser ordenadas várias molas uma ao lado da outra, assim reduz-se a constante de mola. A instalação de duas molas ao lado uma da outra é possível

colocando dois suportes um ao lado do outro nos quais são penduradas uma mola em cada um. As extremidades inferiores de ambas as molas são unidas por um cabide de latão, no qual são fixados os corpos com gancho (veja a Fig. 26a).

3. As duas experiências também servem para comprovação da equação para a duração de período de um pêndulo de torção

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Neste caso, são aplicadas a massa m e a constante de mola k na equação e daí calcula-se a duração de período. Ela corresponde para cada experiência parcial com a duração de período medida.

4. A constante de ola ainda pode ser alterada pendurando mais uma mola de parafuso no gancho inferior do corpo em gancho, em cuja ponta inferior está fixado um suporte (veja fig. 26b).

27. Ressonância de dois pêndulos de torção

Componentes Necessários

- 4 Corpos em gancho
- 1 Alavanca
- 2 Molas de parafuso
- 2 Suportes
- 2 Mangas de borracha
- 1 Escala aderente
- 2 Ganchos de latão

Montagem da experiência

- Fixar a escala aderente no quadro aderente na vertical e instalar um suporte na altura da sua parte superior, um à esquerda e outro à direita.
- Fixar os suportes com mangas de borracha e colocar a alavanca deitada por cima. Escolher uma distância entre suportes de modo que quase todo o comprimento da alavanca possa ser utilizado.
- Fixar as duas molas de parafuso no meio da alavanca a distância de 2 orifícios com a ajuda do gancho de latão e fixar 2 corpos em gancho em cada.

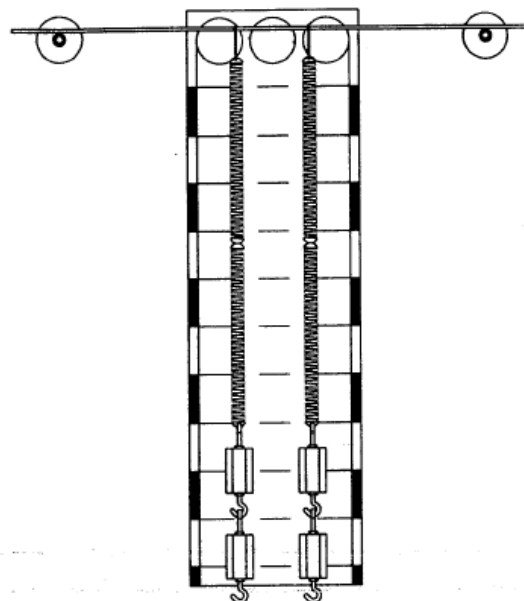


Fig. 27

Experiência

- Puxar a ponta inferior de uma das molas na vertical em uns 5 centímetros para baixo e logo soltar.

Ao oscilar ele transmite a sua energia aos poucos para o outro pêndulo, o qual começa a oscilar com cada vez mais amplitude. Logo, o primeiro pêndulo entra em repouso. Depois, a energia é transferida de volta para o primeiro pêndulo.

Resultado

No caso de pêndulos acoplados de mesma frequência própria, ocorre mais uma transferência completa da energia de um pêndulo para o outro.