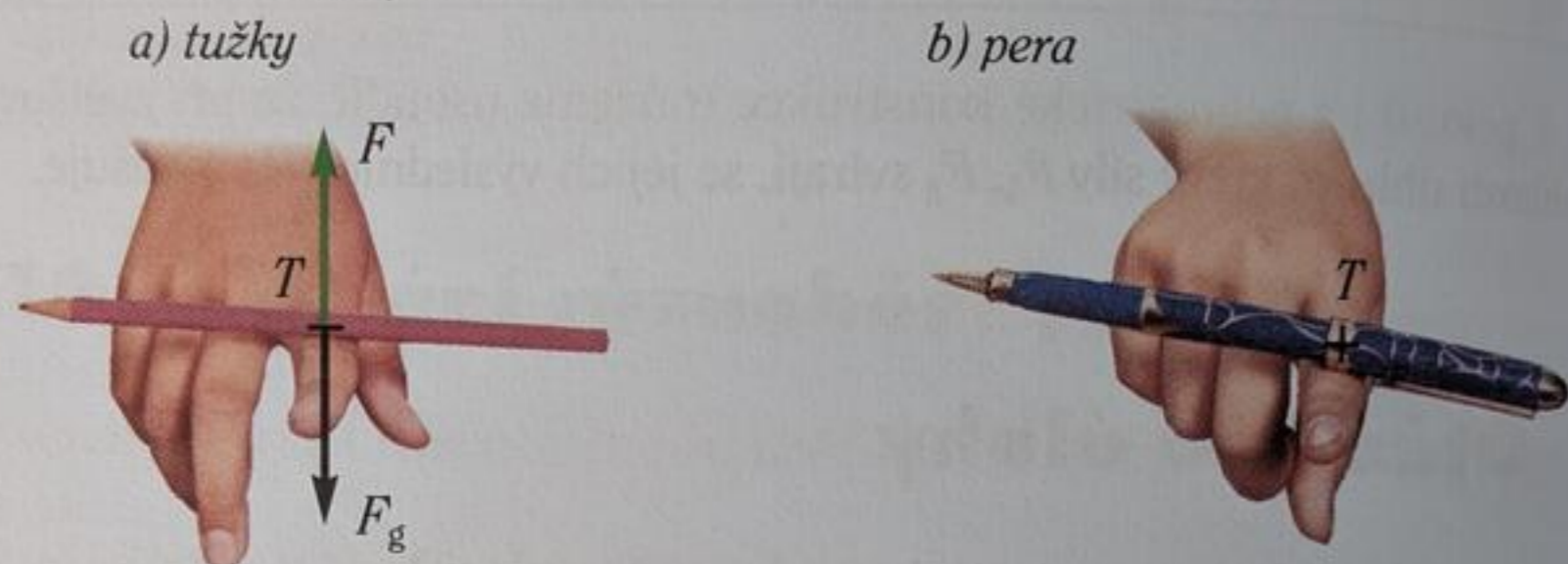


## 1.13 Těžiště tělesa

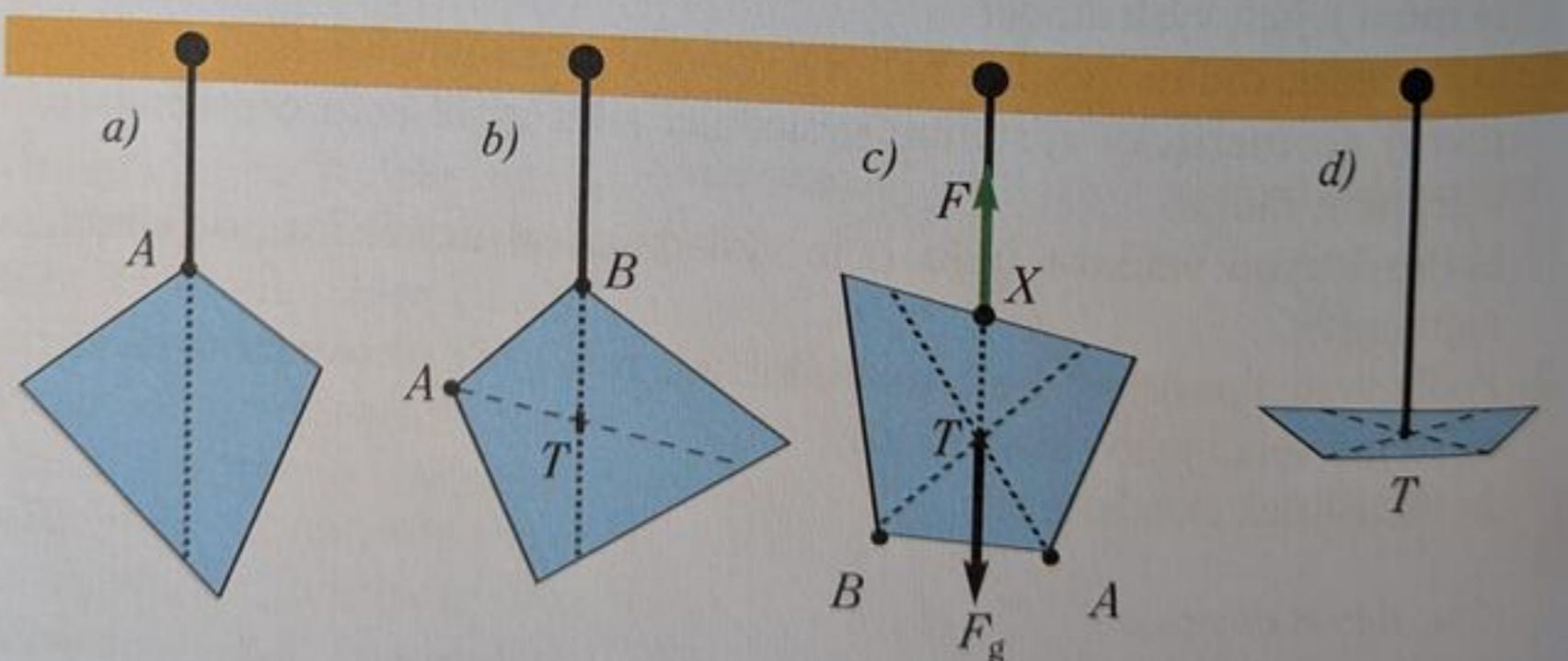
- ➔ Zkuste položit tužku na vodorovně natažený prst tak, aby nespadla. Zjistíte, že tužka zůstane v klidu ležet, jen podepřete-li ji pod určitým bodem (bod  $T$  v obr. 1.46a), který je přibližně v polovině tužky. Při posunutí prstu vzhledem k tužce vpravo nebo vlevo tužka spadne.
- ➔ Zopakujte tento pokus s perem, na kterém je násadka (obr. 1.46b). Co nyní můžete říci o poloze bodu  $T$ ? Zkuste si najít polohu bodu  $T$  i u dalších předmětů, např. pravítka, smetáku, ramínka na šaty atd.

Obr. 1.46 Rovnovážná poloha



Cirkusoví umělci dokážou udržet na hrotu meče např. skleněnou desku a na ní narovnané sklenice. Nebo dokážou vybalancovat na dlouhé tyči i několik svých kolegů. Při těchto atrakcích vlastně umějí nalézt bod  $T$ , pod nímž je nutno podepřít celou sestavu předmětů nebo i osob, aby nespadla.

Obr. 1.47 Určení těžiště tenké desky

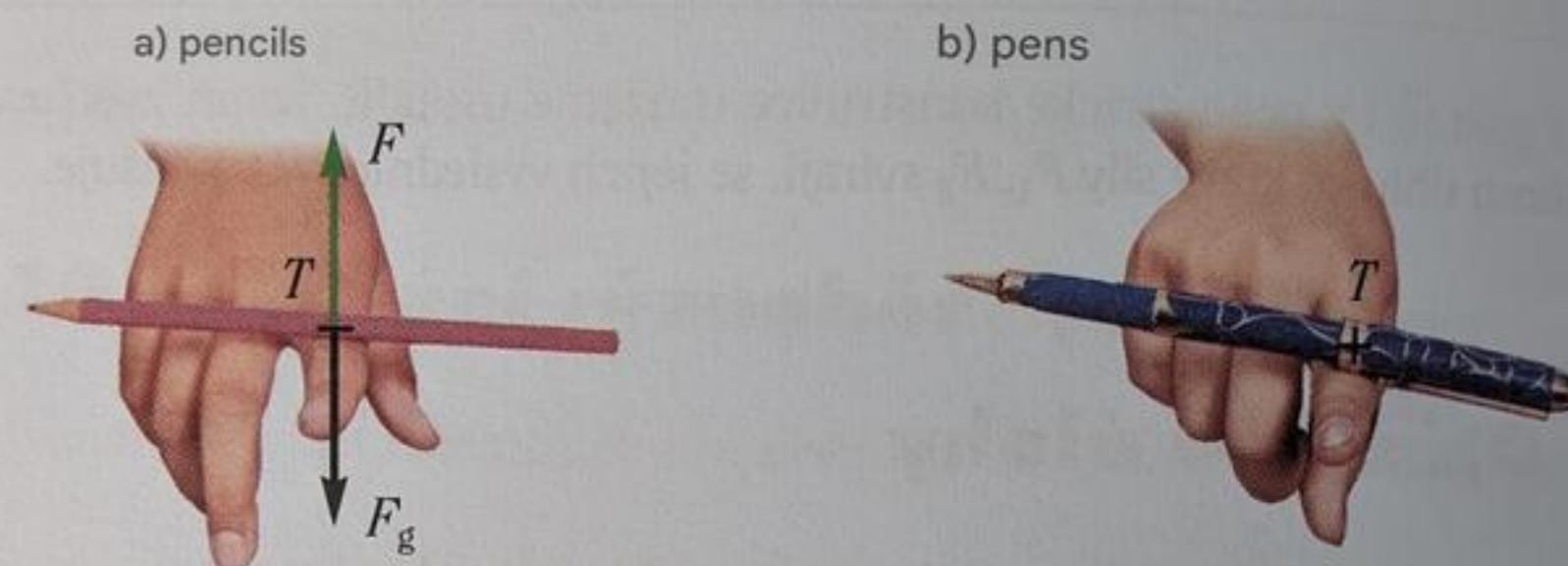


Zavěsme velmi tenkou desku na nit postupně v různých bodech podle obr. 1.47a, b, c. V každém případě se nit ustálí ve svislém směru. Narýsujme na desku pokaždé přímku procházející závěsným bodem ve směru nitě. Zjistíme, že tyto přímky se protínají v jediném bodě. Podepřeme-li nebo zavěsíme-li desku v tomto bodě, zůstane v klidu (obr. 1.47d). Tento význačný bod  $T$ , který jsme našli zkusmo i v našich předchozích pokusech, nazýváme **těžiště tělesa**.

## 1.13 Center of gravity of the body

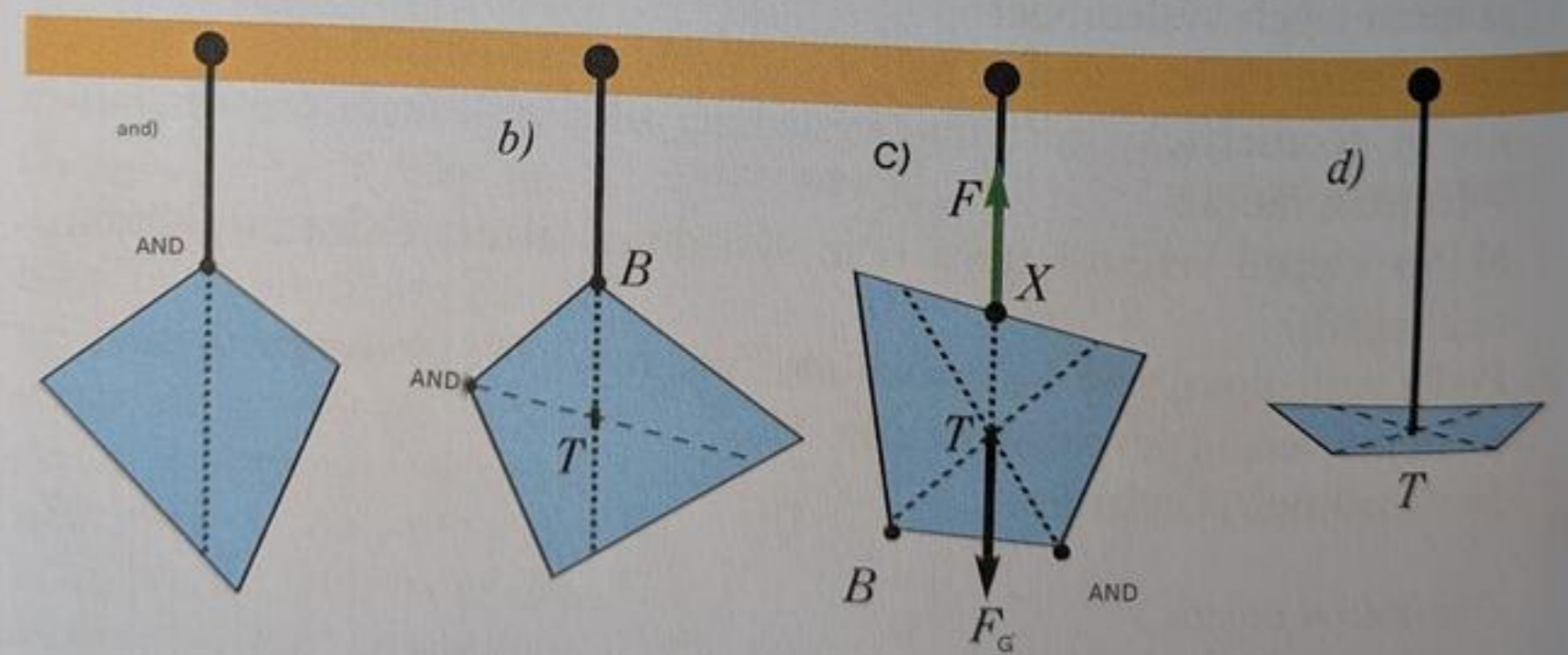
- ➔ Try placing a pencil on a horizontally extended finger so that it does not fall. You will find that the pencil will remain stationary only if you support it under a certain point (point  $T$  in Fig. 1.46a), which is approximately halfway along the pencil. If you move your finger to the right or left relative to the pencil, the pencil will fall.
- ➔ Repeat this experiment with the pen with the handle on it (Fig. 1.46b). What can you say about the position of point  $T$  now? Try to find the position of point  $T$  for other objects, e.g. a ruler, a broom, a clothes hanger, etc.

fig. 1.46 Equilibrium position



Circus artists can hold a glass plate and glasses on it, for example, on the tip of a sword. Or they can balance several of their colleagues on a long pole. In these attractions, they actually know how to find the  $T$ -point under which it is necessary to support the entire assembly of objects or even people so that it does not fall.

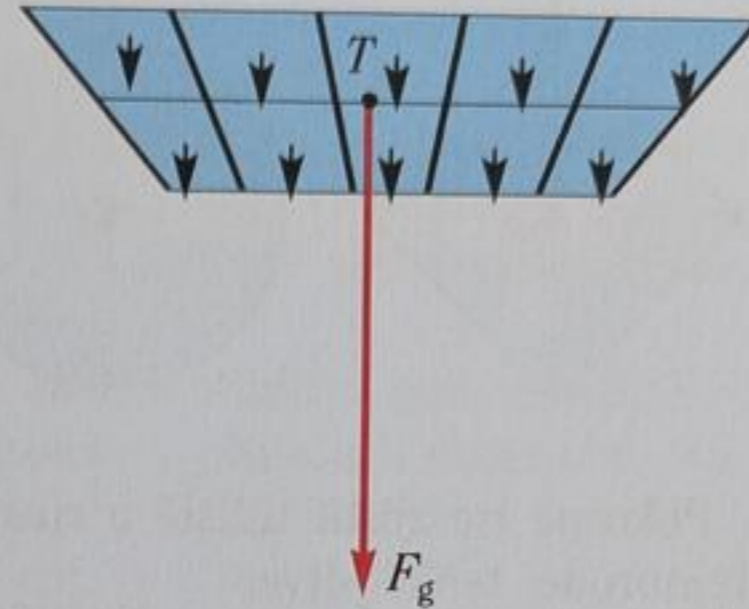
Fig. 1.47 Determining the center of gravity of a thin plate



Let us suspend a very thin plate from a thread successively at different points according to Fig. 1.47a, b, c. In each case the thread will stabilize in the vertical direction. Let us draw a straight line on the plate each time passing through the suspension point in the direction of the thread. We will find that these straight lines intersect at a single point. If we support or suspend the plate at this point, it will remain at rest (Fig. 1.47d). This significant point  $T$ , which we found experimentally and in our previous experiments, is called the center of gravity of the body.

Jak si vysvětlit, že předměty v našich pokusech nepadly nebo zůstaly v klidu, jen když jsme je podepřeli pod těžištěm nebo zavěsili nad těžištěm? Jaké vlastnosti má tento bod?

Obr. 1.48 Výslednice  $F_g$  sil, kterými Země působí na jednotlivé části desky



1.13

Každé těleso si můžeme představit rozdělené na malé části. Na každou z nich působí Země svisle dolů určitou gravitační silou. (Např. pro desku z našeho pokusu jsou tyto síly znázorněny na obr. 1.48.) Účinek všech těchto gravitačních sil na těleso je stejný jako účinek výsledné gravitační síly  $F_g$ , která by působila v těžišti  $T$  tělesa. Proto **působí gravitační síla  $F_g$  působící na těleso zakreslujeme do těžiště.**

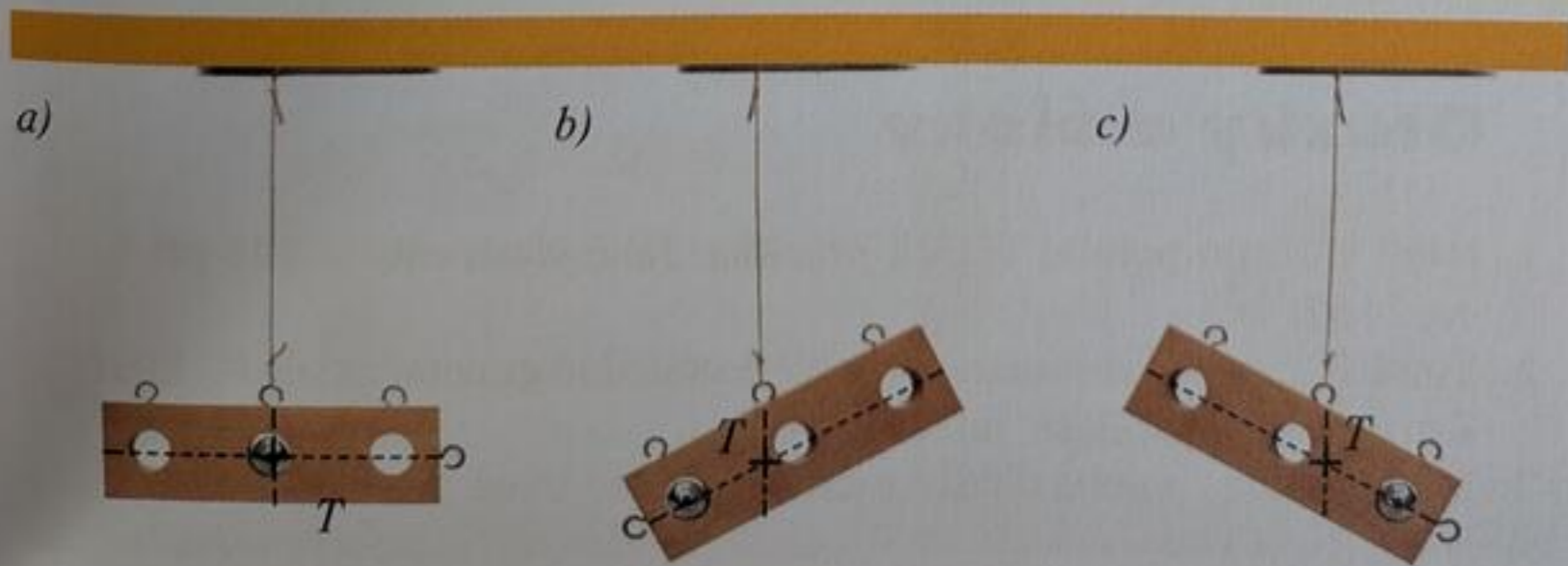
Uvedený poznatek je v souladu s našimi pokusy. Na zavěšenou desku (např. obr. 1.47c) působí svisle vzhůru nit silou  $F$  a svisle dolů výsledná gravitační síla  $F_g$ . Obě síly jsou v rovnováze, když těžiště  $T$  a bod  $X$  jsou na jedné svislé přímce. Deska zůstává v klidu.

Na tužku podepřenou pod těžištěm (obr. 1.46) působí svisle vzhůru prst silou  $F$  a svisle dolů výsledná gravitační síla  $F_g$ . Obě síly jsou v rovnováze, když těžiště  $T$  a bod, v němž je tužka podepřena, jsou na jedné svislé přímce. Tužka zůstává v klidu. Jakmile tužku posuneme, síly už nejsou v rovnováze a tužka padá. Stejnou úvahou můžete vysvětlit, jak může artista udržet desku se sklenicemi na hrotu meče.

Podepřeme-li těleso pod těžištěm, zůstane v klidu. Zavěsíme-li těleso, ustálí se vždy tak, že těžiště je pod bodem závěsu nebo v místě závěsu.

Každé těleso má jediné těžiště  $T$ . Jeho poloha závisí na rozložení látky v tělese. Přesvědčíme se o tom pokusem podle obr. 1.49. Do válcových otvorů v kvádru postupně zasazujeme ocelový váleček. Zjišťujeme, že poloha těžiště se mění. Je blíže té části, která má větší hmotnost.

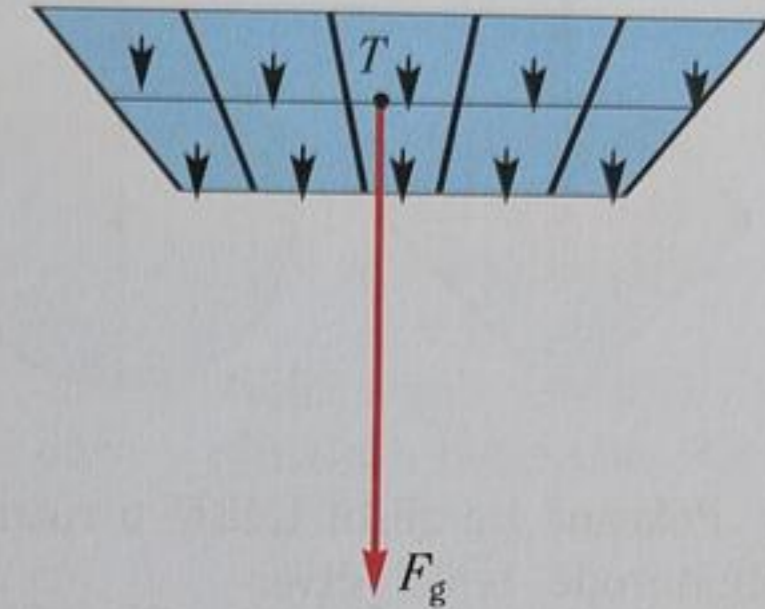
Obr. 1.49 Závislost polohy těžiště na rozložení látky v tělese



49

How can we explain that the objects in our experiments did not fall or remained at rest only when we supported them under the center of gravity or suspended them above the center of gravity? What properties does this point have?

Fig. 1.48 Resultant  $F_g$  of the forces that the Earth exerts on individual parts of the plate



1.13

We can imagine each body divided into small parts. Each of them is acted upon vertically downward by the Earth with a certain gravitational force. (For example, for the plate from our experiment, these forces are shown in Fig. 1.48.) The effect of all these gravitational forces on the body is the same as the effect of the resulting gravitational force  $F_g$ , which would act at the center of gravity  $T$  of the body. Therefore, we draw the locus of action of the gravitational force  $F_g$  acting on the body at the center of gravity.

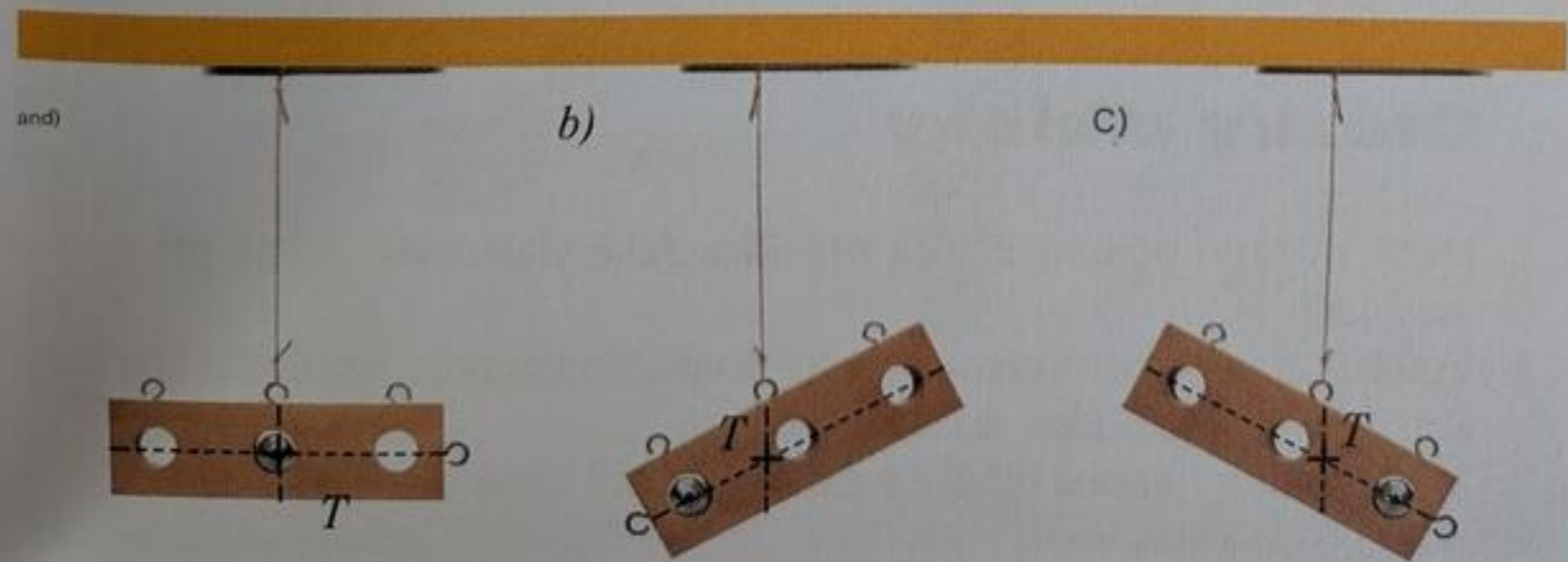
The above observation is in accordance with our experiments. A suspended plate (e.g. Fig. 1.47c) is acted upon vertically upwards by a thread with a force  $F$  and vertically downwards by the resulting gravitational force  $F_g$ . Both forces are in equilibrium when the centre of gravity  $T$  and point  $X$  are on the same vertical line. The plate remains at rest.

A pencil supported under the center of gravity (Fig. 1.46) is acted upon vertically upwards by a finger force  $F$  and vertically downwards by the resultant gravitational force  $F_g$ . Both forces are in equilibrium when the center of gravity  $T$  and the point at which the pencil is supported are on the same vertical line. The pencil remains at rest. As soon as we move the pencil, the forces are no longer in equilibrium and the pencil falls. Using the same reasoning, you can explain how an artist can hold a plate with glasses on the tip of a sword.

If we support a body below the center of gravity, it will remain at rest. If we suspend a body, it will always stabilize so that the center of gravity is below the suspension point or at the suspension point.

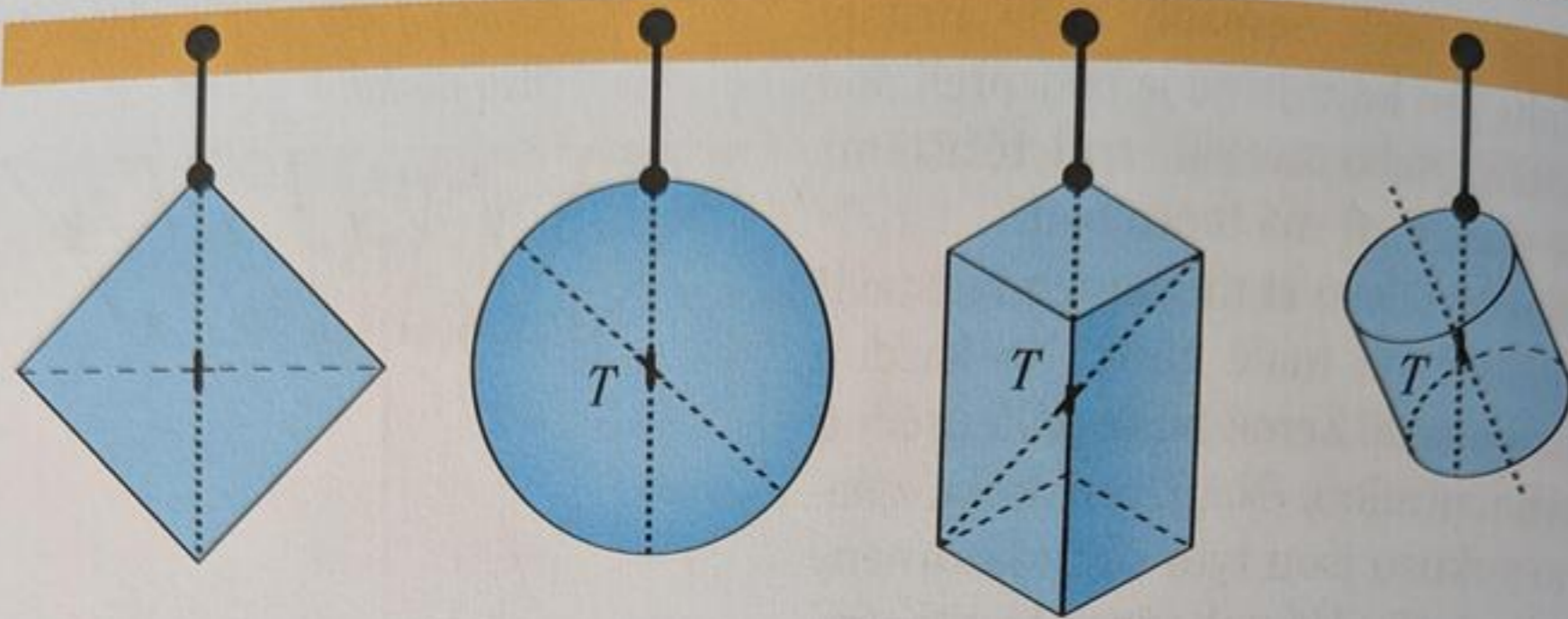
Each body has a single center of gravity  $T$ . Its position depends on the distribution of matter in the body. We will verify this by the experiment according to Fig. 1.49. We gradually insert a steel cylinder into the cylindrical holes in the cuboid. We find that the position of the center of gravity changes. It is closer to the part that has the greater mass.

Fig. 1.49 Dependence of the position of the center of gravity on the distribution of matter in the body



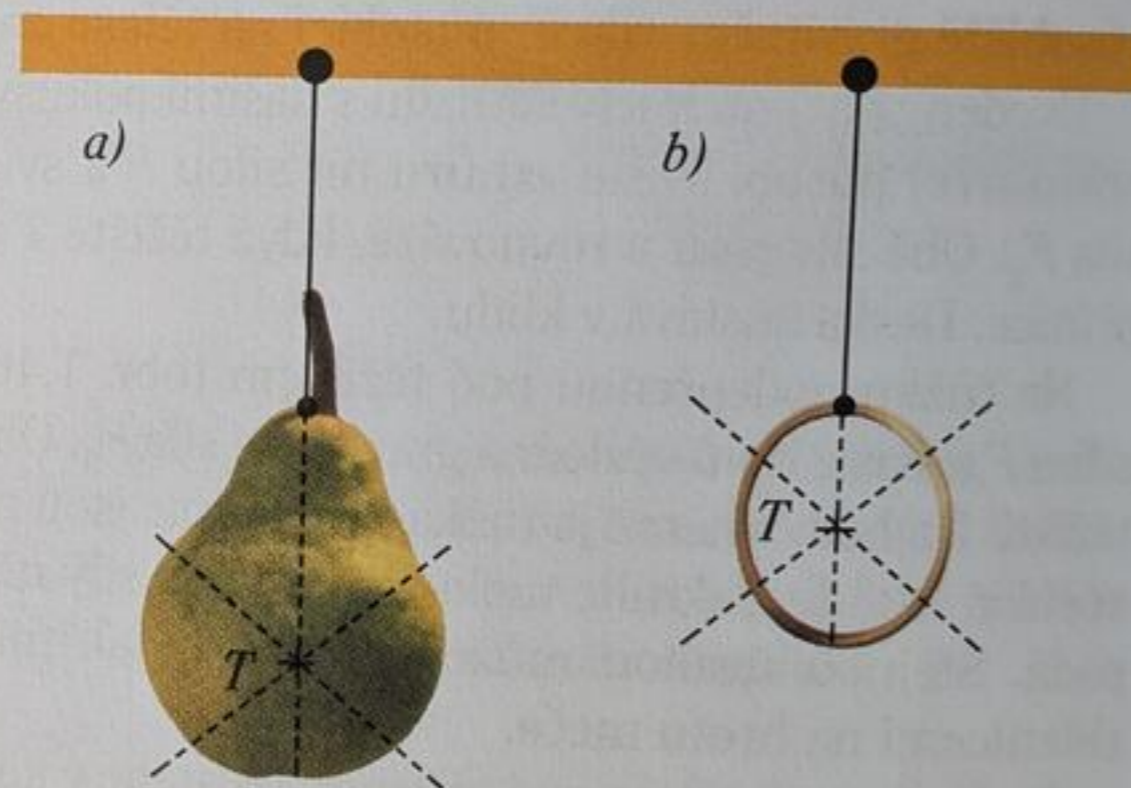
49

Obr. 1.50 Určení polohy těžiště tenké čtvercové stejnorodé desky, koule, kvádrů, válce



Pokusně lze zjistit těžiště u různých těles (obr. 1.50). Například těžiště stejnorodé tenké čtvercové desky je v průsečíku úhlopříček. Těžiště tenké kruhové desky je ve středu kruhu. Stejnorodá koule má těžiště ve svém středu. Obdobným postupem lze najít přibližnou polohu těžiště i u nepravidelných těles. Těžiště  $T$  může být v některém bodě tělesa (obr. 1.51a) nebo také mimo těleso (obr. 1.51b).

Obr. 1.51 Určení polohy těžiště hrušky a kroužku

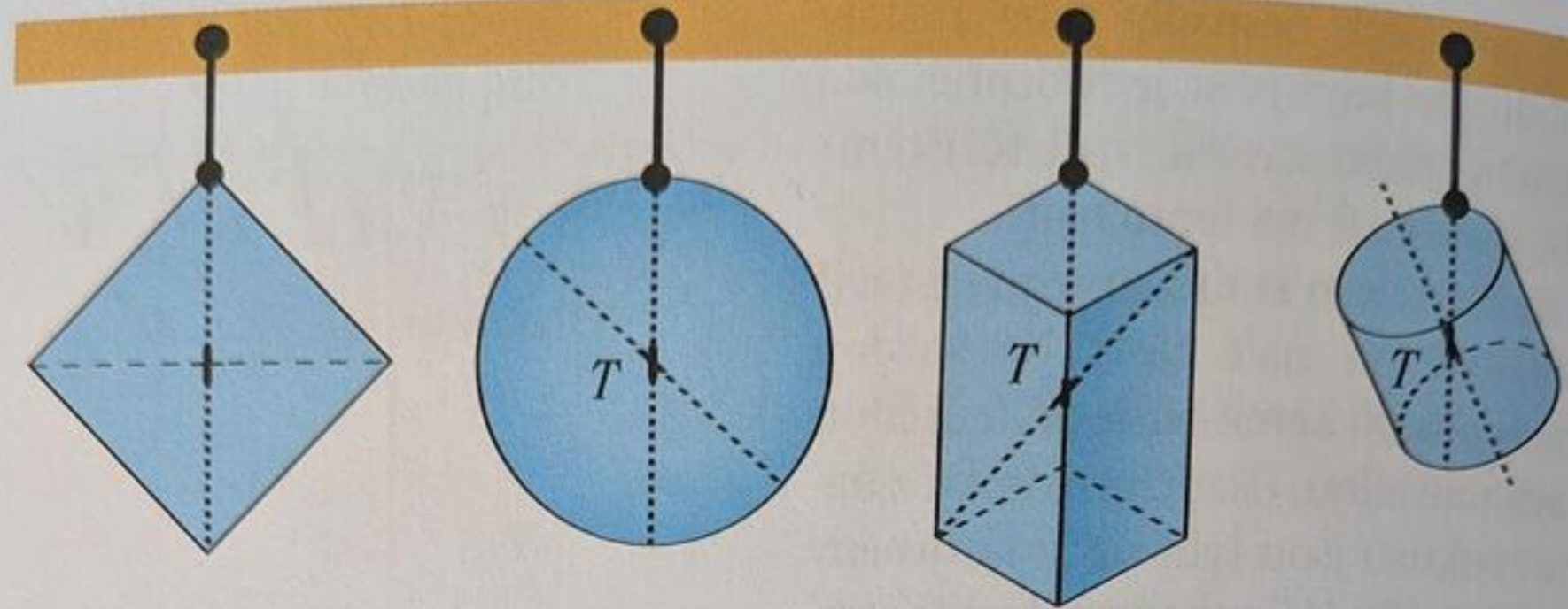


**Každé těleso má jen jedno těžiště. Do těžiště umísťujeme působíště výsledné gravitační síly  $F_g$ , kterou Země působí na těleso. Poloha těžiště závisí na rozložení látky v tělese. Tělesa zavěšená nad těžištěm nebo v těžišti zůstávají v klidu. Rovněž tělesa podepřená přesně pod těžištěm nebo v těžišti zůstávají v klidu.**

### Otázky a úlohy

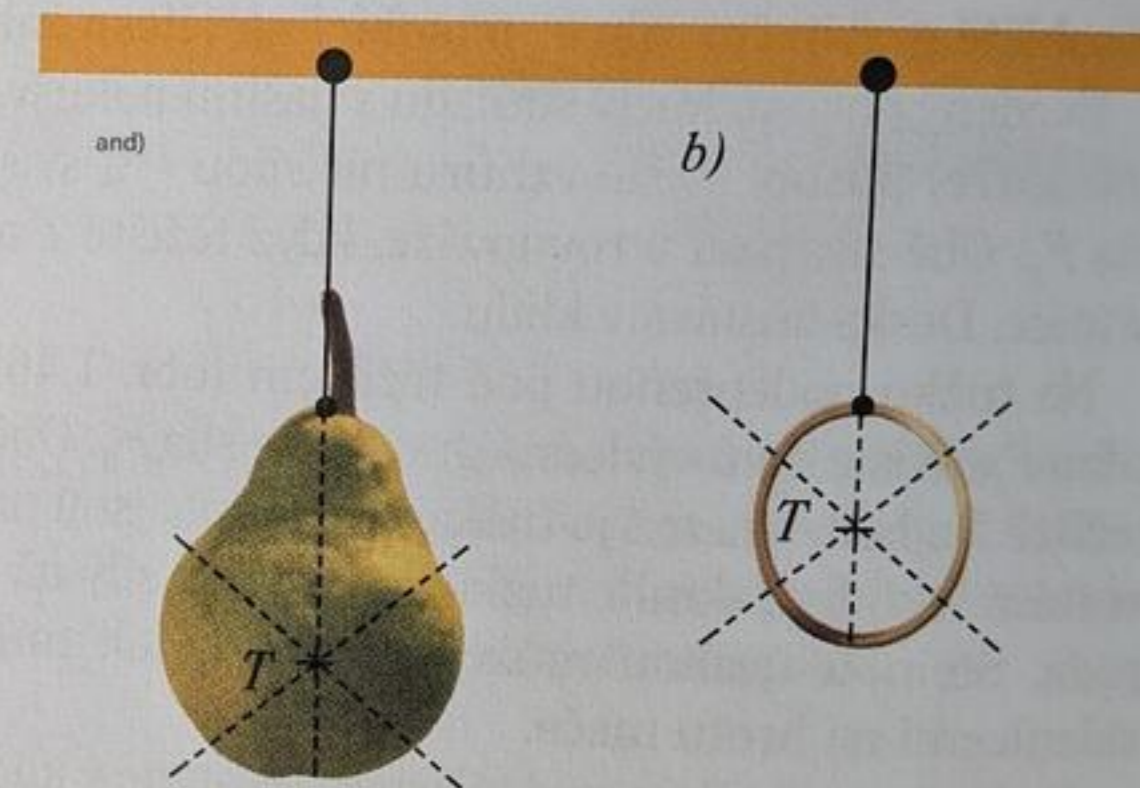
1. Najdi zkusmo polohu těžiště pravítka. Jaké vlastnosti těžiště při tom využiješ?
2. Vysvětli, proč zakreslujeme působíště výsledné gravitační síly  $F_g$ , kterou Země působí na těleso, do těžiště tělesa.
3. Na čem závisí poloha těžiště v daném tělese? Uved' příklad.

Fig. 1.50 Determining the position of the center of gravity of a thin square uniform plate, sphere, cuboid, cylinder



The center of gravity of various bodies can be determined experimentally (Fig. 1.50). For example, the center of gravity of a uniform thin square plate is at the intersection of the diagonals. The center of gravity of a thin circular plate is at the center of the circle. A uniform sphere has its center of gravity at its center. By a similar procedure, the approximate position of the center of gravity can be found for irregular bodies. The center of gravity  $T$  can be at some point of the body (Fig. 1.51a) or outside the body (Fig. 1.51b).

Fig. 1.51 Determining the position of the center of gravity of the pear and the ring



Every body has only one center of gravity. At the center of gravity we place the point of action of the resultant gravitational force  $F_g$  that the Earth exerts on the body. The position of the center of gravity depends on the distribution of matter in the body.

Bodies suspended above or in the center of gravity remain at rest. Bodies supported exactly below or in the center of gravity also remain at rest.

### Questions and tasks

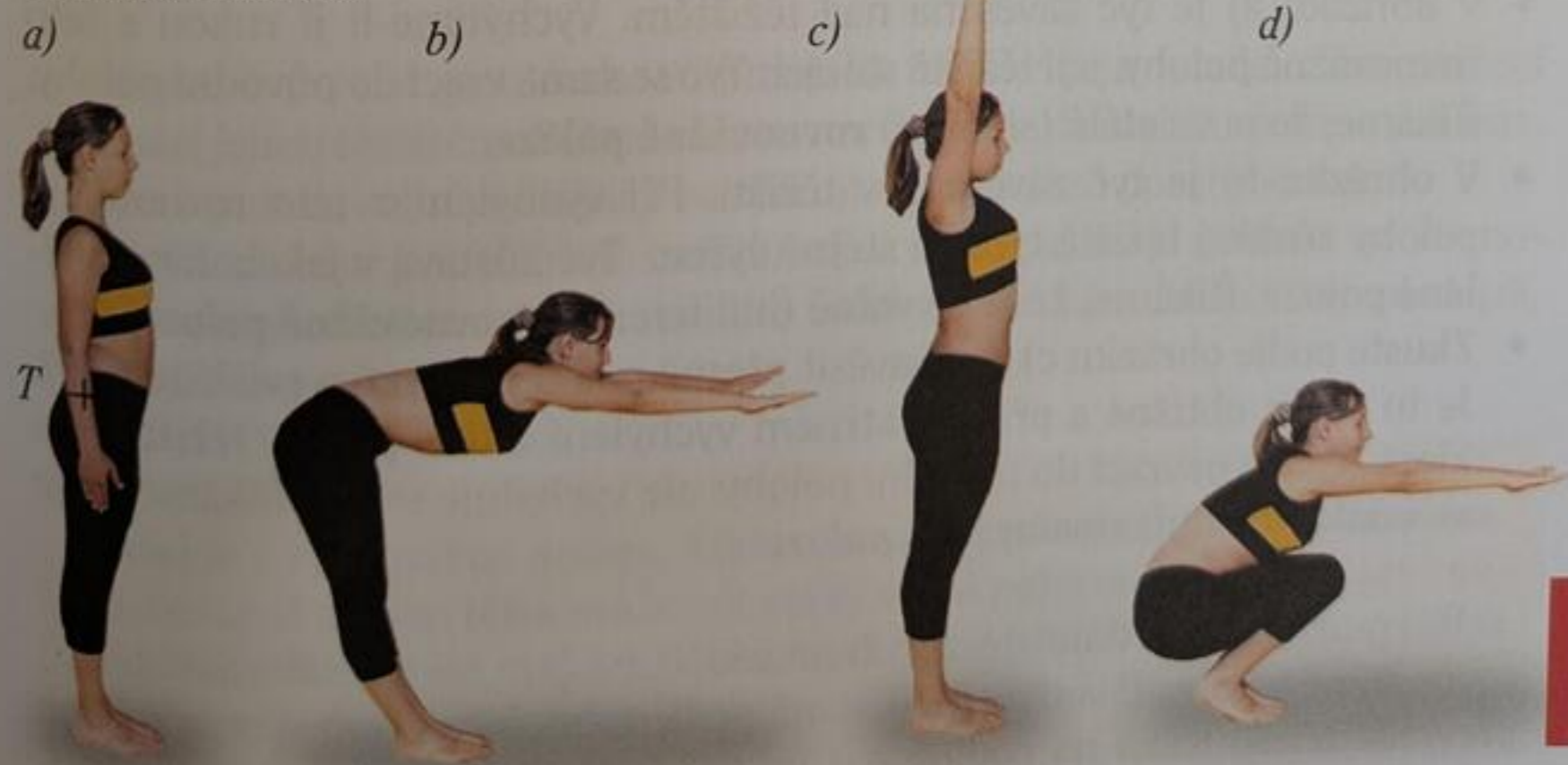
1. Try to find the position of the ruler's center of gravity. What properties of the center of gravity will you use?
2. Explain why we plot the locus of the resultant gravitational force  $F_g$  exerted by the Earth on a body at the center of gravity of the body.
3. What does the position of the center of gravity in a given body depend on? Give an example.

4. Vysvětli, proč tyčka podepřená v těžišti zůstává v klidu. Předveď prakticky.
- a) Pokusem urči polohu těžiště desky tvaru kruhu, kosočtverce a trojúhelníku.

b) Tentýž pokus opakuj se šablonou pro kreslení křivek.

c) V úloze 1a určíme těžiště  $T_1$  kosočtvercové desky na jedné její straně. Pak desku obrátíme a určíme těžiště  $T_2$ . Je-li deska velmi tenká, body  $T_1$  a  $T_2$  leží velmi blízko sebe. Kde však skutečně leží těžiště desky, chceme-li ho určit zcela přesně?
  - Na obr. 1.52a je znázorněna postava dívky a přibližná poloha těžiště  $T$  jejího těla. Změní se poloha těžiště dívky v případech podle obrázků 1.52b, c, d? Vysvětli.
  - Máš tři stejné rovné dráty o délce 20 cm.
    - Pokusem urči polohu těžiště jednoho drátu. Vyznač ji na náčrtku.
    - Druhý drát ohni uprostřed do pravého úhlu. Pokusem urči přibližnou polohu těžiště ohnutého drátu. Vyznač ji na náčrtku.
    - Třetí drát ohni do kružnice a spoj oba konce nití. Urči pokusem přibližnou polohu těžiště tělesa. Nakresli náčrtek. Porovnej náčrty a zjisti, v kterém případě je těžiště uvnitř drátu a v kterém mimo drát.
  - Pokusem urči polohu těžiště špejle o délce 30 cm a vyznač ji barevně. Z jednoho konce odřízni část o délce 10 cm. Kterým směrem a o kolik centimetrů se posune těžiště ve zbývající části špejle? Ověř správnost své úvahy pokusným určením těžiště zbývající části špejle a polohu těžiště vyznač jinou barvou.
  - Na plošině nákladního automobilu jsou srovnány cihly o celkové hmotnosti 1 t. Změní se těžiště nákladu, jestliže místo cihel poveze automobil písek o téže hmotnosti? Svou odpověď zdůvodni.

Obr. 1.52 K úloze 2

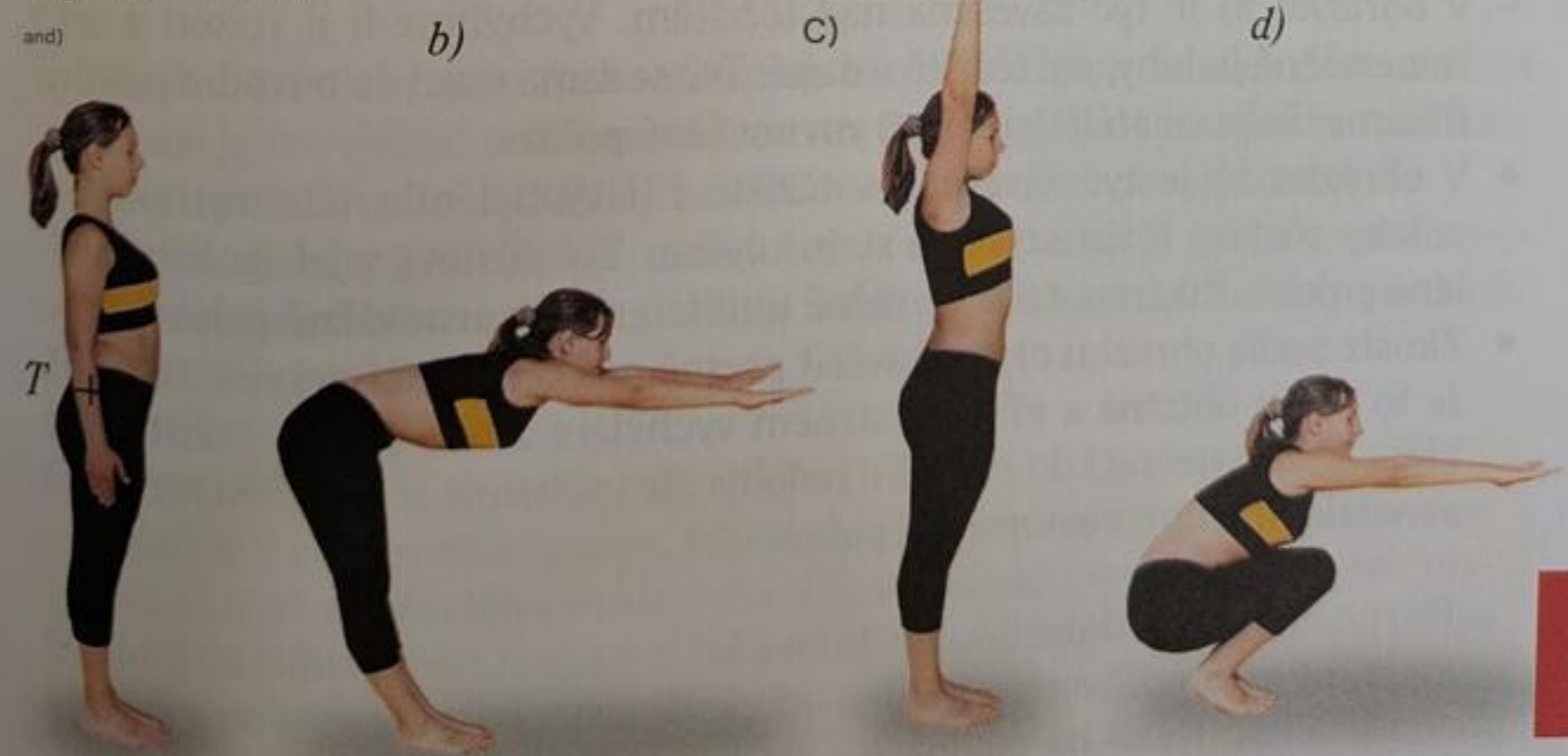


4. Explain why a rod supported at the center of gravity remains at rest. Demonstrate practically.
- a) Determine the position of the center of gravity of a plate shaped like a circle, a rhombus, and a triangle by experiment.

b) Repeat the same experiment with a template for drawing curves.

c) In problem 1a, we determine the center of gravity  $T_1$  of the rhombic plate on one of its sides. Then we turn the plate over and determine the center of gravity  $T_2$ . If the plate is very thin, the points  $T_1$  and  $T_2$  lie very close to each other. But where does the center of gravity of the plate actually lie if we want to determine it with complete accuracy?
  - Fig. 1.52a shows the figure of a girl and the approximate position of the center of gravity  $T$  of her body. Will the position of the girl's center of gravity change in the cases according to Fig. 1.52b, c, d? Explain.
  - You have three identical straight wires, each 20 cm long.
    - Determine the position of the center of gravity of one wire by experiment. Mark it on the sketch.
    - Bend the second wire in the middle to a right angle. Determine the approximate position of the center of gravity of the bent wire by experiment. Mark it on the sketch.
    - Bend the third wire into a circle and connect the two ends of the threads. Determine the approximate position of the center of gravity of the body by experiment. Draw a sketch. Compare the sketches and find out in which case the center of gravity is inside the wire and in which case outside the wire.
  - Determine the position of the center of gravity of a 30 cm long skewer by experiment and mark it in color. Cut off a 10 cm long section from one end. In which direction and by how many centimeters will the center of gravity shift in the remaining part of the skewer? Verify the correctness of your reasoning by experimentally determining the center of gravity of the remaining part of the skewer and mark the position of the center of gravity in a different color.
  - Bricks with a total weight of 1 t are stacked on the platform of a truck. Will the center of gravity of the load change if the truck carries sand with the same weight instead of bricks? Justify your answer.

Fig. 1.52 For task 2

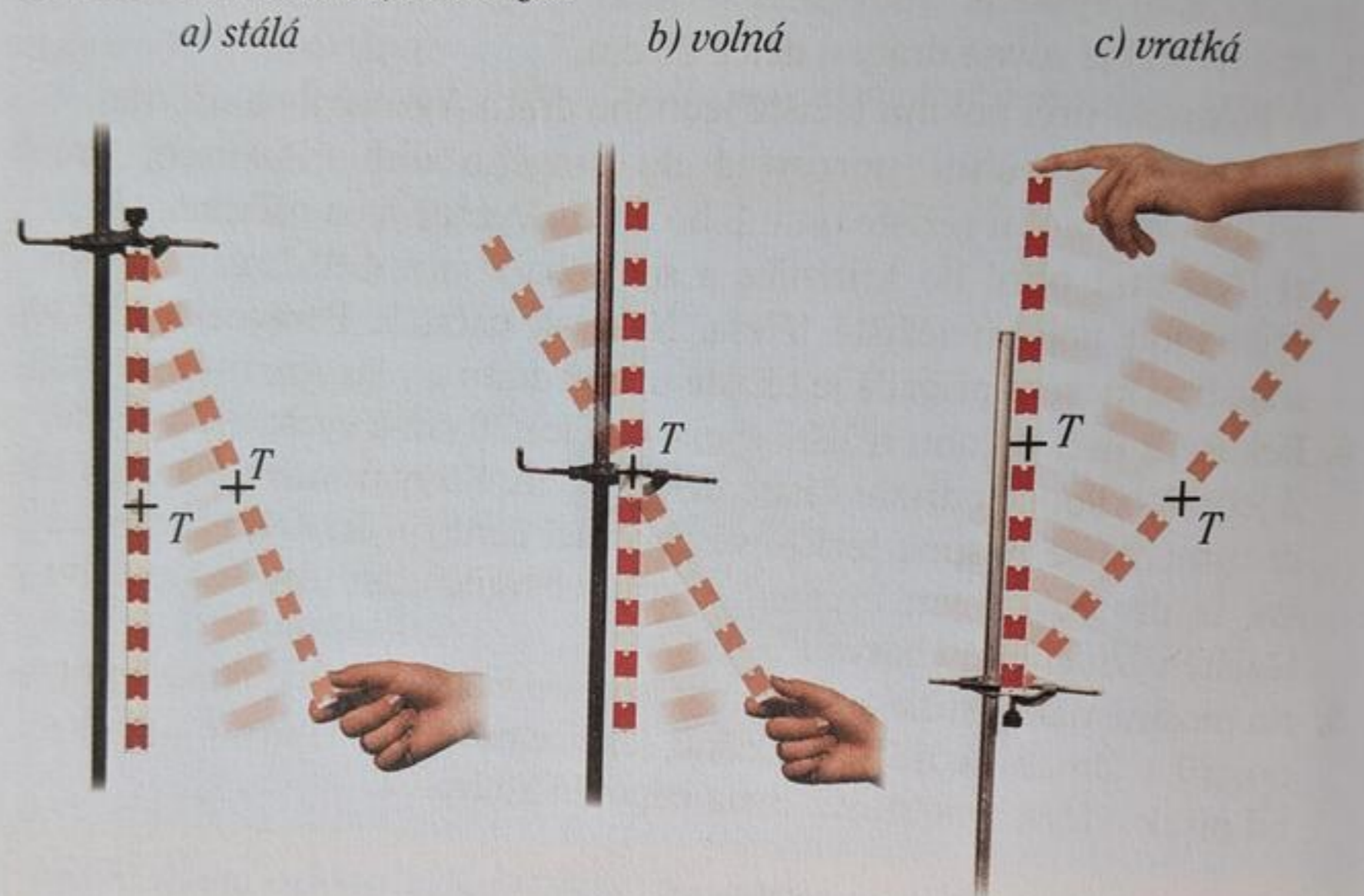


## 1.14 Rovnovážná poloha tělesa

Zjistili jsme, že když podepřeme těleso pod těžištěm nebo v těžišti, zůstane v klidu. Zavěsíme-li těleso, ustálí se vždy tak, že těžiště je pod bodem závěsu. V obou případech jsou síly působící na těleso (gravitační síla a tahová síla závěsu nebo tlaková síla podložky) v rovnováze. Říkáme, že těleso je v **rovnovážné poloze**.

→ Prozkoumáme, na čem závisí stálost (stabilita) rovnovážné polohy. Na obr. 1.53 jsou tři různé možnosti rovnovážné polohy tyče.

Obr. 1.53 Rovnovážná poloha tyče



- V obrázku a) je tyč zavěšena nad těžištěm. Vychýlíme-li ji rukou z této rovnovážné polohy, její těžiště stoupá. Tyč se sama vrací do původní polohy. Říkáme, že je ve **stálé** (stabilní) **rovnovážné poloze**.
- V obrázku b) je tyč zavěšena v těžišti. Při vychýlení z této rovnovážné polohy zůstává těžiště tyče ve stejné výšce. Tyč zůstává v jakékoliv vychýlené poloze. Říkáme, že je ve **volné** (indiferentní) **rovnovážné poloze**.
- Zkuste podle obrázku c) tyč zavěsit přesně pod těžištěm (na svislé těžnici). Je to velmi obtížné a při nepatrném vychýlení z této polohy těžiště tyče klesá. Tyč se nevrací do původní polohy, ale vychyluje se dál. Říkáme, že je ve **vratké** (labilní) **rovnovážné poloze**.

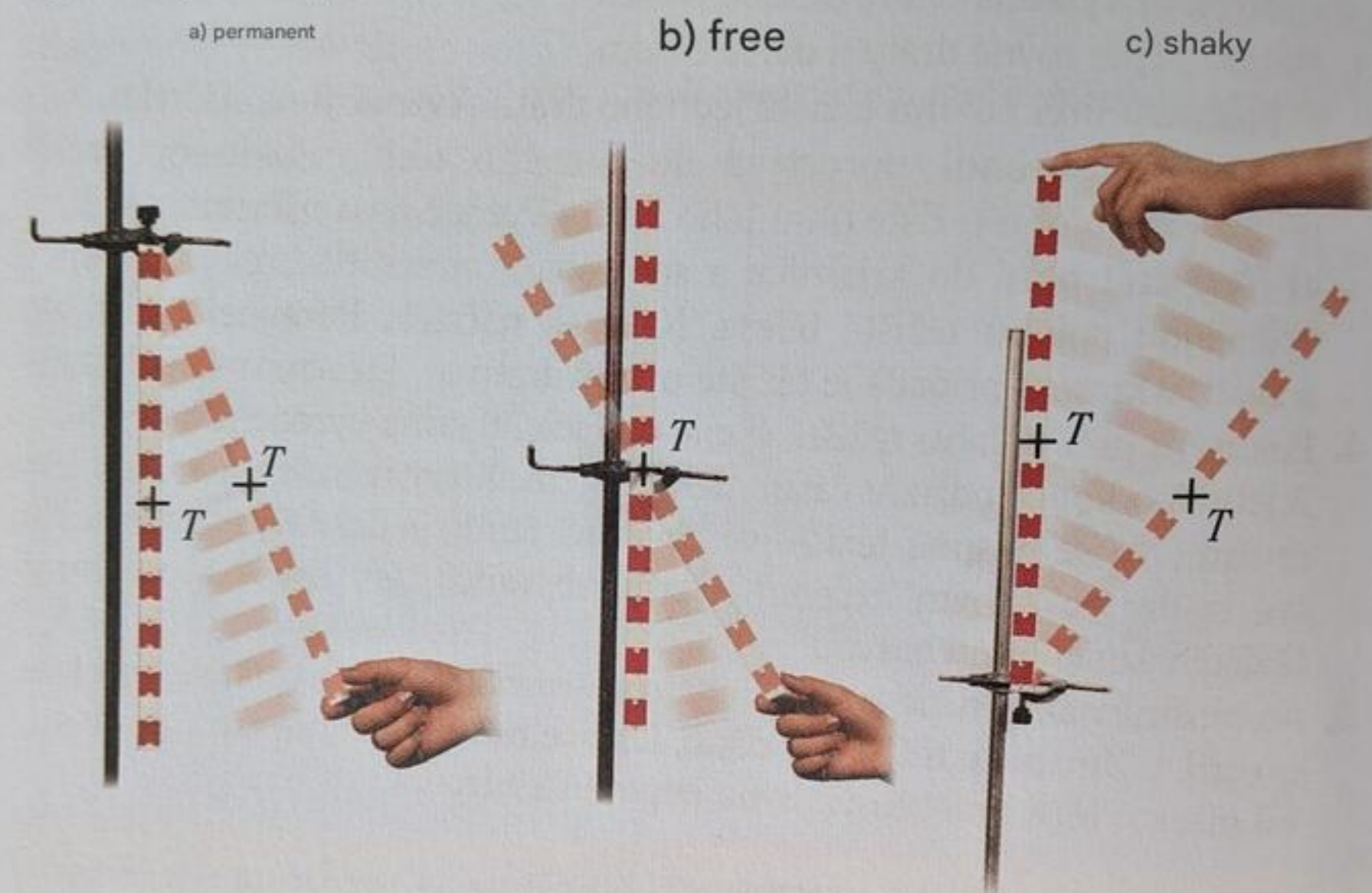
Pro praxi je velmi důležité, abychom věděli, na čem závisí stálost (stabilita) rovnovážné polohy. Posuzujeme ji např. podle toho, jak velkou silou můžeme převrátit těleso ležící na podložce. Čím níž je těžiště tělesa nad podložkou,

## 1.14 Equilibrium position of a body

We have found that if we support a body under or at the center of gravity, it will remain at rest. If we suspend a body, it will always stabilize so that the center of gravity is below the suspension point. In both cases, the forces acting on the body (gravity and the tension of the suspension or the pressure of the support) are in equilibrium. We say that the body is in an equilibrium position.

→ We will investigate what the stability of the equilibrium position depends on. In Fig. 1.53 there are three different possibilities for the equilibrium position of the rod.

Fig. 1.53 Equilibrium position of the rod



- In figure a) the rod is suspended above the center of gravity. If we deflect it from this equilibrium position with our hand, its center of gravity rises. The rod returns to its original position by itself. We say that it is in a permanent (stable) equilibrium position.
- In figure b) the rod is suspended at the center of gravity. When deflected from this equilibrium position, the center of gravity of the rod remains at the same height. The rod remains in any deflected position. We say that it is in a free (indifferent) equilibrium position.
- Try to hang the rod exactly below the center of gravity (on a vertical line of gravity) as shown in figure c). This is very difficult and with a slight deflection from this position, the center of gravity of the rod drops. The rod does not return to its original position, but deflects further. We say that it is in a shaky (labile) equilibrium position.

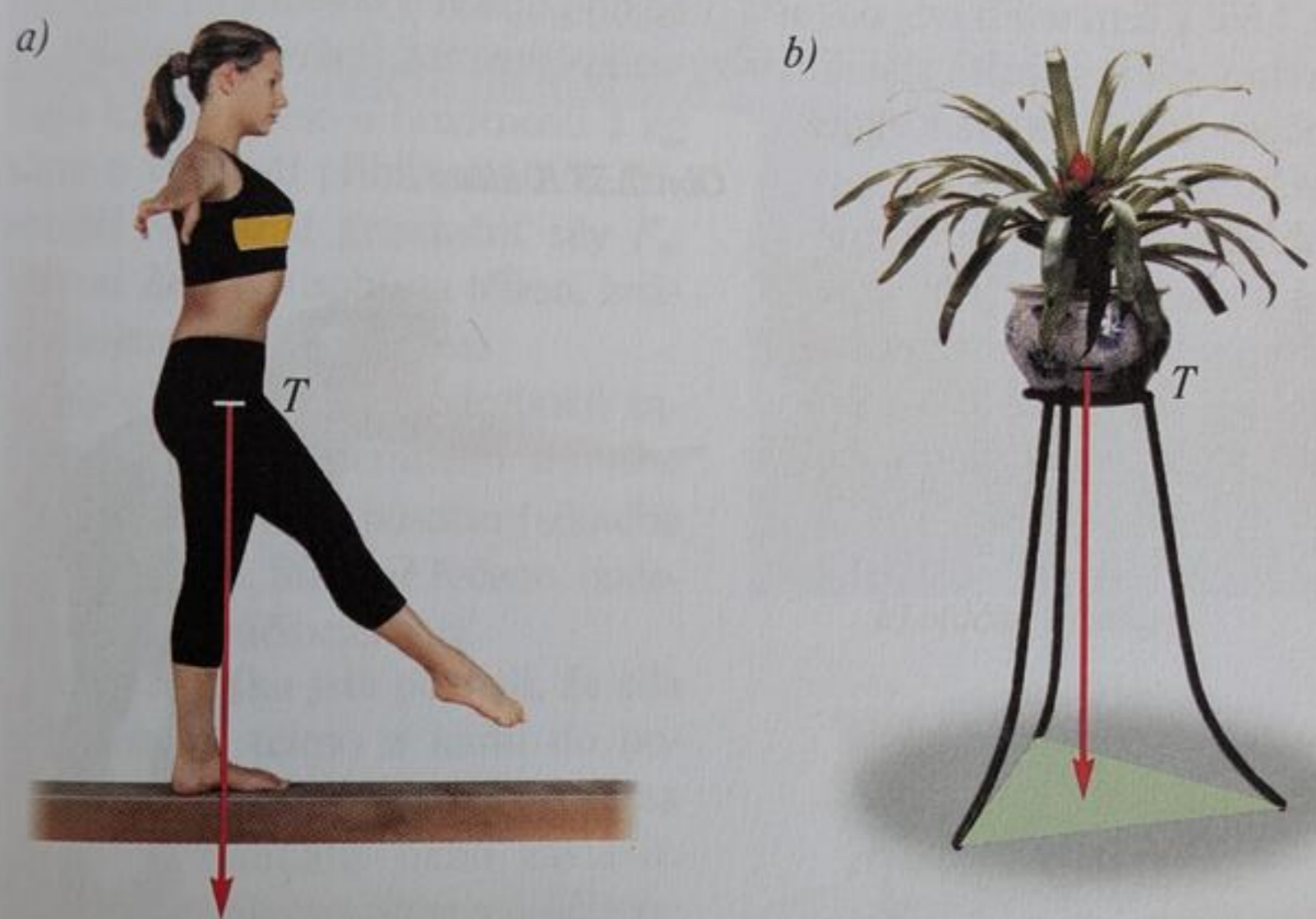
For practice, it is very important to know what the stability of an equilibrium position depends on. We judge it, for example, by how much force we can use to overturn a body lying on a support. The lower the center of gravity of the body above the support,

čím větší je obsah jeho podstavy a čím větší je jeho hmotnost, tím větší sílu k převrácení tělesa potřebujeme. Tím je jeho stabilita větší. Např. stabilita závodních automobilů se zvyšuje tím, že jsou nízké a mají široké pneumatiky; při rovnání nákladu na automobil nebo vagon se snažíme, aby byl rozložen co nejvíce do plochy a byl co nejnižší.

1.14

? Může být ve stabilní poloze i těleso, které je podepřeno pod těžištěm? To je např. stůl nebo stojící člověk, cvičenka na kladině, kniha ležící na stole. V těchto případech je těleso v rovnovážné poloze stálé, když jeho svislá těžnice prochází podstavou tělesa (obr. 1.54a) nebo plochou vytvořenou spojením bodů, v nichž je podepřeno (obr. 1.54b).

Obr. 1.54 Stabilní poloha cvičenky na kladině a stolku s květinou



Ve volné poloze jsou kola automobilu nebo vrtule letadel. Osa otáčení prochází jejich těžištěm. Pokud nejsou např. kola automobilu dobře vyvážená, nejsou v poloze volné, obtížněji se otáčejí a rychleji se opotřebovávají.

Vratká poloha je většinou nežádoucí a snažíme se ji změnit na rovnovážnou polohu stálou. Např. stabilita úzké vysoké vázy na květiny se zlepší, když má masivní širší dno.

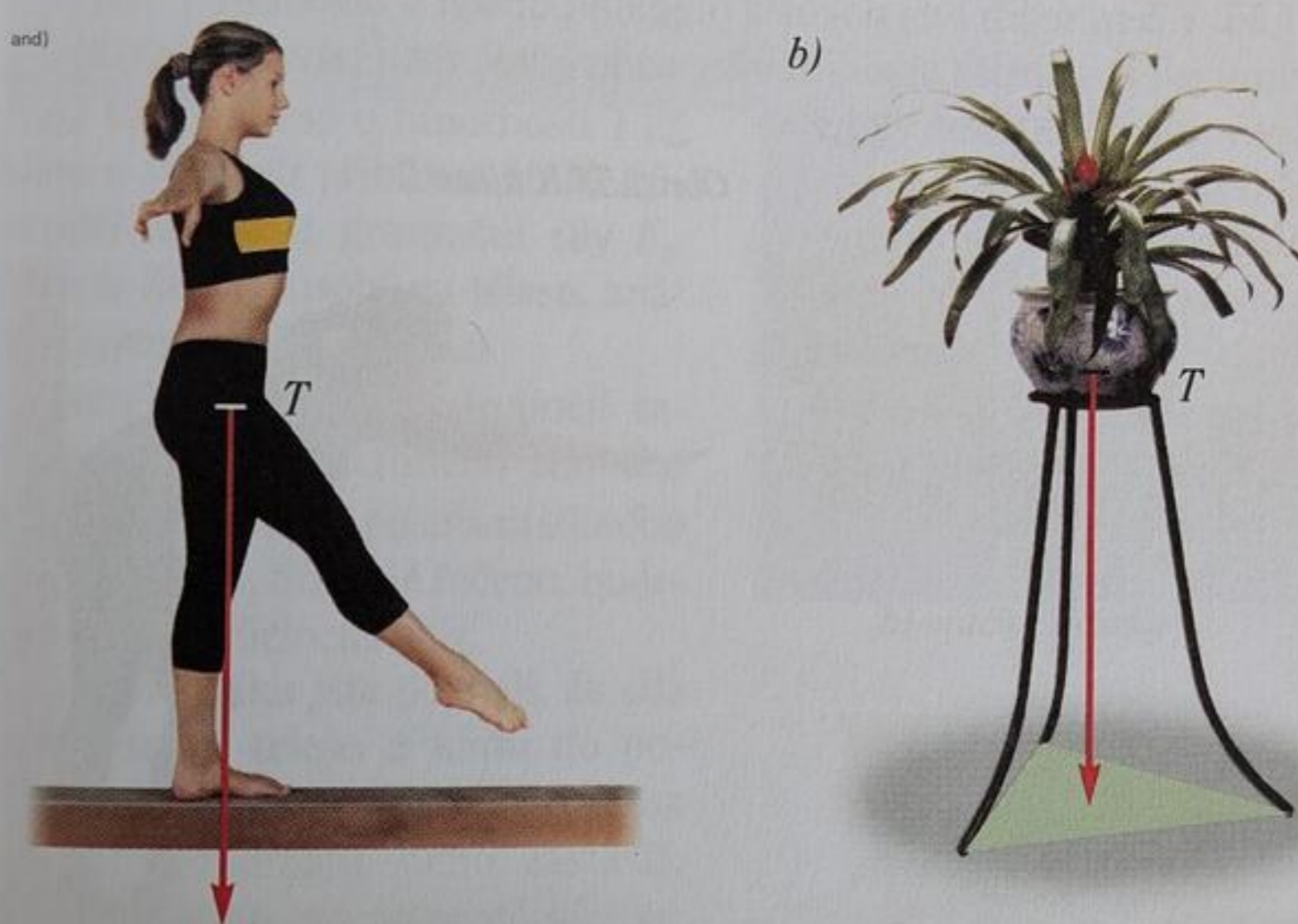
**Těleso je v rovnovážné poloze, když síly na něj působící jsou v rovnováze. Rovnovážná poloha těles může být stálá, volná nebo vratká. Těleso je v rovnovážné poloze stálé, když jeho svislá těžnice prochází podstavou tělesa nebo plochou vytvořenou spojením bodů, v nichž je těleso podepřeno.**

the larger the volume of its base and the greater its weight, the greater the force required to overturn the body. The greater its stability. For example, the stability of racing cars is increased by their low height and wide tires; when loading a car or wagon, we try to spread the load as much as possible over the surface and to be as low as possible.

1.14

? Can a body that is supported under the center of gravity also be in a stable position? This is, for example, a table or a standing person, an exercise book on a balance beam, a book lying on a table. In these cases, a body is in a stable position when its vertical center of gravity passes through the base of the body (Fig. 1.54a) or the surface formed by connecting the points at which it is supported (Fig. 1.54b).

Fig. 1.54 Stable position of the exercise book on the balance beam and the table with a flower



The wheels of a car or the propellers of an aircraft are in a free position. The axis of rotation passes through their center of gravity. If, for example, the wheels of a car are not well balanced, they are not in a free position, they turn more difficultly and wear out more quickly.

A tilted position is usually undesirable and we try to change it to a stable, balanced position. For example, the stability of a narrow, tall flower vase will be improved if it has a massive, wider bottom.

A body is in equilibrium when the forces acting on it are in equilibrium. The equilibrium position of bodies can be stable, free or unstable. A body is in stable equilibrium when its vertical center of gravity passes through the base of the body or the surface formed by the connection of the points at which the body is supported.

## Otázky a úlohy



1. Uveď příklad tělesa, které je v rovnovážné poloze. Co pro něj platí?
2. Jaké jsou různé rovnovážné polohy? Uveď příklady.



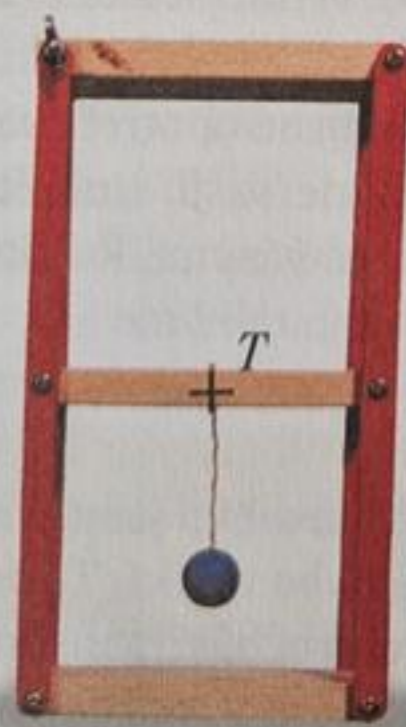
3. Za jaké podmínky je těleso v rovnovážné poloze stálé? Uveď příklad.
1. Postav plastovou láhev na stůl a zkus ji převrhnout. Totéž opakuj s lahví naplněnou nejprve do poloviny vodou, pak úplně plnou vody. Kdy bylo nejobtížnější láhev převrhnout? Výsledek pokusu zdůvodni.
2. Přitiskni se zády těsně ke zdi tak, aby ses patami dotýkal(a) zdi. Zkus se nyní rovně předklonit jako dívka na obr. 1.55, ale zůstaň oběma patami přitisknutý(á) ke zdi. Povedlo se ti to? Prohlédni si ještě jednou pečlivě obr. 1.55. V čem se liší tvůj pokus a předklon dívky? Vysvětli.
3. Navrhni, jak bys zlepšil stabilitu vázy na květiny. Svůj návrh zdůvodni.
4. Proč se nakláníš na stranu, když neseš těžký kufr?
5. Prohlédni si model „překotného hranolu“ na obr. 1.56. Rozhodni, zda a v jaké rovnovážné poloze je v případě a) a v případě b). Zdůvodni svou odpověď.

Obr. 1.55 K úloze 2

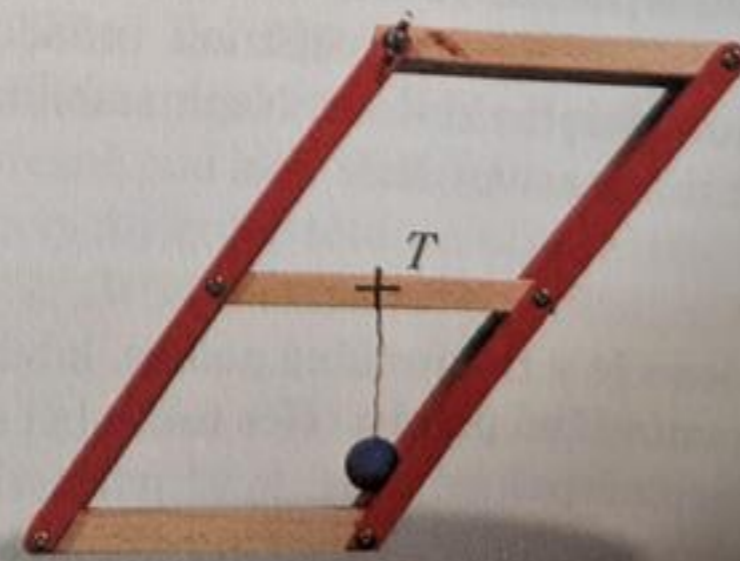


Obr. 1.56 K úloze 5

a)



b)



## Questions and tasks



1. Give an example of a body that is in equilibrium. What is true for it?
2. What are the different equilibrium positions? Give examples.
3. Under what conditions is a body stable in equilibrium? Give an example.

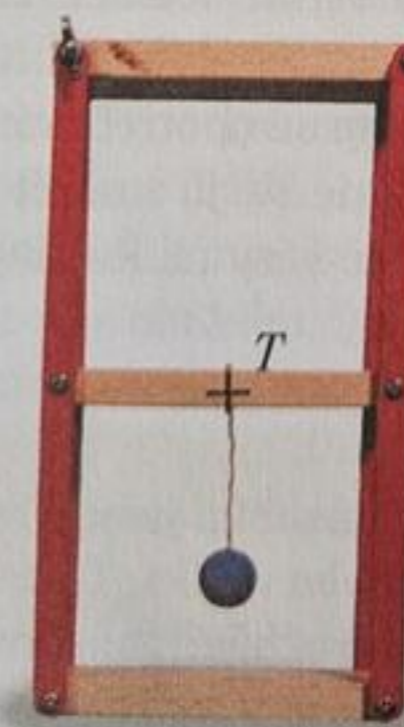
01. Place a plastic bottle on a table and try to tip it over. Repeat the same with the bottle filled first halfway with water, then completely full of water. When was it most difficult to tip the bottle over? Justify the result of the experiment.
2. Press your back close to the wall so that your heels touch the wall. Now try to lean forward straight like the girl in Fig. 1.55, but keep both heels pressed against the wall. Did you succeed? Look carefully at Fig. 1.55 again. What is the difference between your attempt and the girl's lean forward? Explain.
3. Suggest how you would improve the stability of the flower vase. Justify your suggestion.
4. Why do you lean to the side when carrying a heavy suitcase?
5. Examine the model of the "rectangular prism" in Fig. 1.56. Decide whether and in what equilibrium position it is in case a) and in case b). Justify your answer.

Fig. 1.55 For task 2

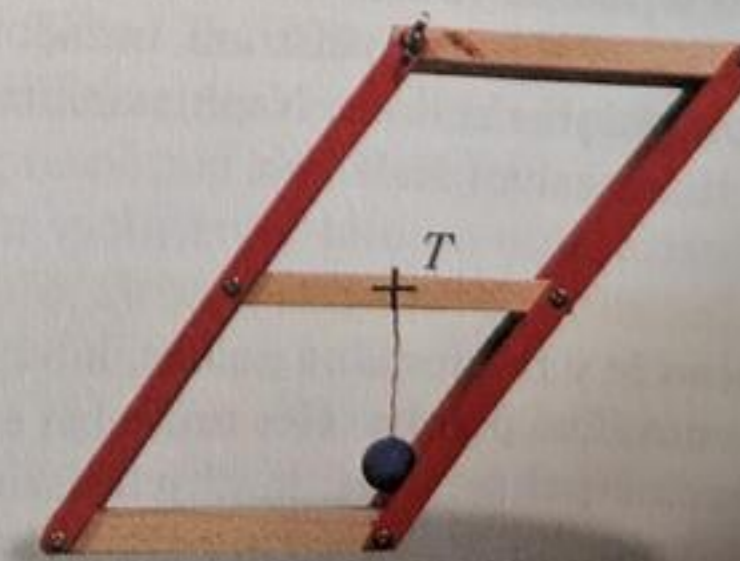


Fig. 1.56 For task 5

and)



b)



## POSUVNÉ ÚČINKY SÍLY. POHYBOVÉ ZÁKONY

1.15

Silou popisujeme **vzájemné působení těles**, která se dotýkají, nebo působení silového pole na těleso. Naučili jsme se **měřit velikost síly** pružinovým siloměrem. Poznali jsme, jak je jednotka síly newton přibližně velká. Umíme **skládat dvě síly**, které působí současně na jedno těleso.

Podrobněji jsme se zabývali gravitační silou  $F_g$ , kterou Země působí na těleso. Tato síla má pro nás mimořádný význam, protože žijeme v gravitačním poli Země. Jistě dovedete uvést příklady mnoha jevů, které tato síla způsobuje nebo ovlivňuje. **Velikost síly  $F_g$  je přímo úměrná hmotnosti tělesa  $m$** , na které působí ( $F_g = mg$ ). Veličina  $g = 10 \text{ N/kg}$  udává, že Země přitahuje každé těleso o hmotnosti 1 kg silou o velikosti přibližně 10 N. Působí výsledná gravitační síla  $F_g$ , kterou Země působí na těleso, znázorníme v těžišti tělesa.

Nyní se budeme podrobněji zabývat účinky vzájemného silového působení těles nebo působení silového pole na těleso. Stručně řečeno, budeme mluvit o účincích síly.

V 6. ročníku jste poznali, že síla může uvést těleso z klidu do posuvného pohybu, může pohyb tělesa urychlit, zpomalit nebo zastavit. Říkáme, že síla má **posuvné účinky**.

Síla může těleso roztočit, zrychlit nebo zbrzdit či zastavit jeho otáčivý pohyb. Říkáme, že síla má **otáčivé účinky**.

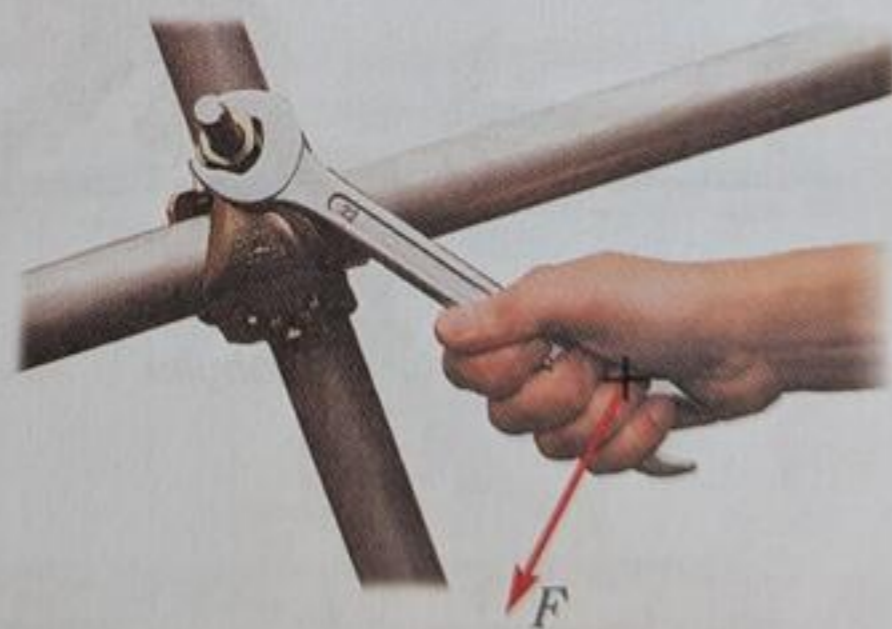
Síla také může změnit tvar tělesa. Říkáme, že síla má **deformační účinky**.

Na obr. 1.57 jsou příklady různých účinků síly, kterou ruka působí na tělesa. Uveďte ze své zkušenosti další příklady posuvných, otáčivých a deformačních účinků síly.

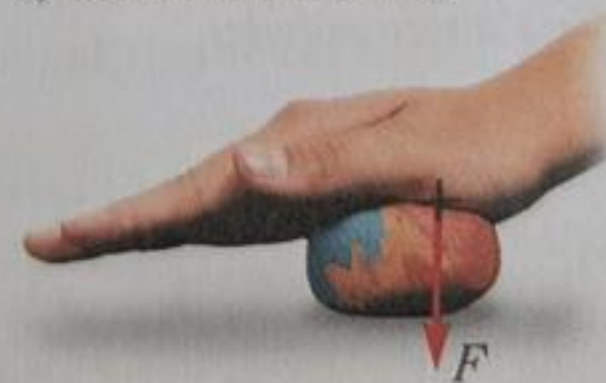
Obr. 1.57 Různé účinky síly:  
a) posuvné účinky



b) otáčivé účinky



c) deformační účinky



55

## SLIDING EFFECTS OF FORCE. LAWS OF MOTION

1.15

Force describes the interaction of bodies that are in contact, or the effect of a force field on a body. We learned how to measure the magnitude of a force with a spring force gauge. We learned how large the unit of force, the newton, is approximately. We can combine two forces that act simultaneously on one body.

We have discussed in more detail the gravitational force  $F_g$  that the Earth exerts on a body. This force is of particular importance to us because we live in the Earth's gravitational field. You can probably give examples of many phenomena that this force causes or influences. The magnitude of the force  $F_g$  is directly proportional to the mass of the body  $m$  on which it acts ( $F = mg$ ). This  $g = 10 \text{ N/kg}$  indicates that the Earth attracts every body weighing 1 kg. The locus of action of the resulting gravitational force  $F_g$  that the Earth exerts on a body is shown at the center of gravity of the body.

We will now discuss in more detail the effects of mutual force interaction between bodies or the effect of a force field on a body. In short, we will talk about the effects of force.

In 6th grade, you learned that a force can bring a body from rest into translational motion, it can accelerate, slow down, or stop the motion of a body. We say that a force has translational effects.

A force can make a body spin, accelerate, slow down, or stop its rotational motion. We say that a force has rotational effects.

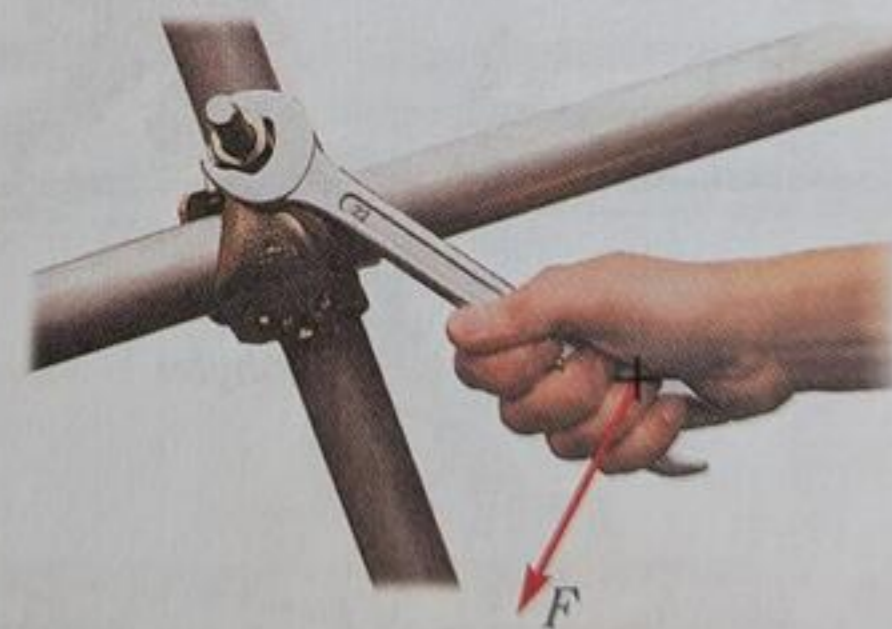
A force can also change the shape of a body. We say that a force has deforming effects.

Fig. 1.57 shows examples of various effects of force exerted by the hand on objects. Give further examples of sliding, rotating and deforming effects of force from your experience.

Fig. 1.57 Different effects of force: a) sliding effects



b) rotational effects



c) deformation effects



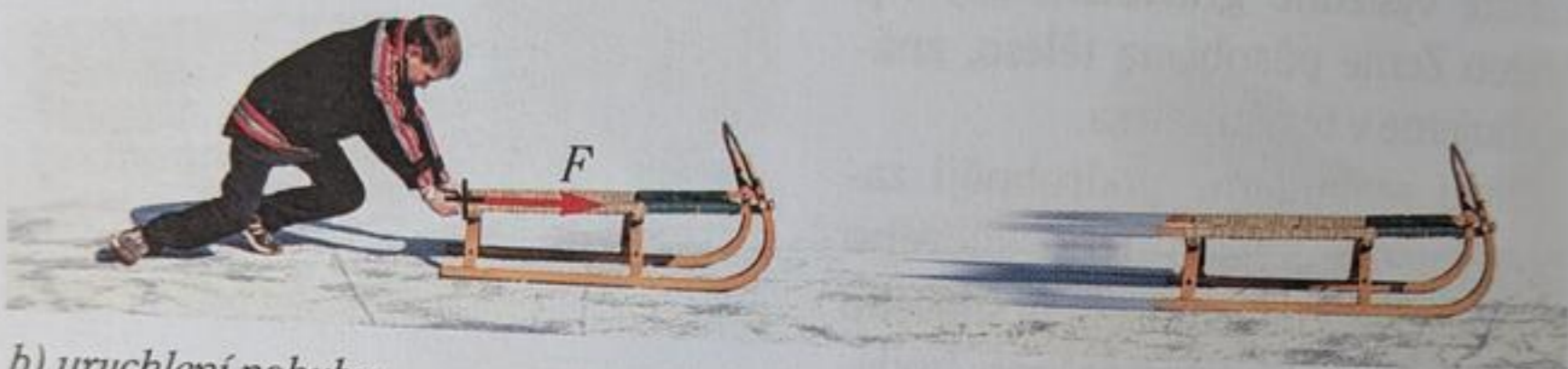
55

## Urychlující a brzdící účinky síly na těleso

Prozkoumáme podrobněji, jaké mohou být posuvné účinky síly na těleso. Každý z vás se jistě někdy pokoušel roztlačit sáňky. Představte si sáňky, které jsou v klidu na ledové ploše. Zatlačíte-li na ně silou  $F$ , můžete je uvést do pohybu (obr. 1.58a). Uvedl-li sáňky do pohybu kamarád, můžete silou  $F$  urychlit jejich pohyb (obr. 1.58b), zpomalit je nebo zastavit (obr. 1.58c). Popřípadě můžete změnit silou  $F$  směr pohybu sáňek (obr. 1.58d). (Nesmíte ovšem zatlačit z boku příliš velkou silou  $F$ , sáňky by se převrhly. To už by síla  $F$  měla na ně otáčivý účinek.) Co je společné všem těmto případům? **Působením síly  $F$  se mění velikost nebo směr rychlosti pohybu sáňek vzhledem k ledové ploše.**

Obr. 1.58 Posuvné účinky síly:

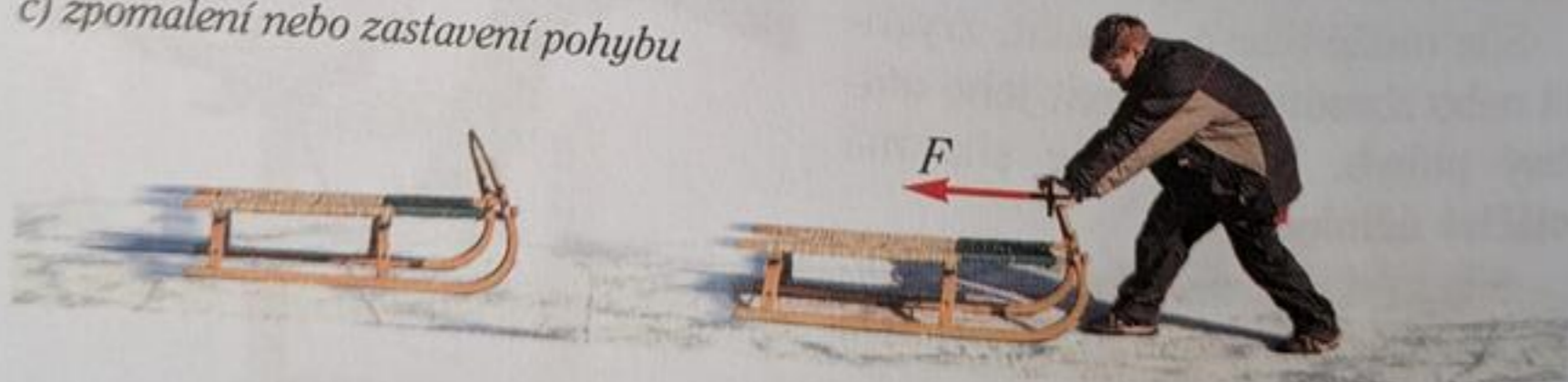
a) uvedení do pohybu



b) urychlení pohybu



c) zpomalení nebo zastavení pohybu



d) změna směru pohybu



## Accelerating and braking effects of force on a body

Let us examine in more detail the sliding effects of a force on a body. Each of you has certainly tried to push a sled apart at some point. Imagine a sled that is at rest on an ice surface. If you push on it with a force  $F$ , you can set it in motion (Fig. 1.58a). If a friend has set the sled in motion, you can use the force  $F$  to accelerate its movement (Fig. 1.58b), slow it down, or stop it (Fig. 1.58c). Alternatively, you can use the force  $F$  to change the direction of the sled's movement (Fig. 1.58d). (However, you must not push from the side with too much force  $F$ , otherwise the sled will tip over. The force  $F$  would already have a rotating effect on it.) What do all these cases have in common? The force  $F$  changed the magnitude or direction of the speed of the sled relative to the ice surface.

Fig. 1.58 Shearing effects of force:

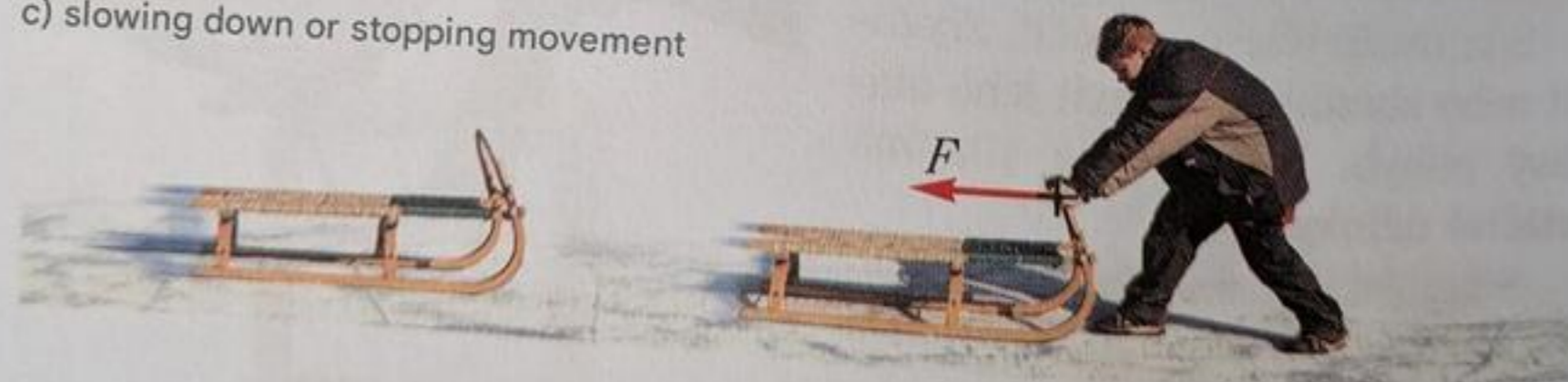
a) putting into motion



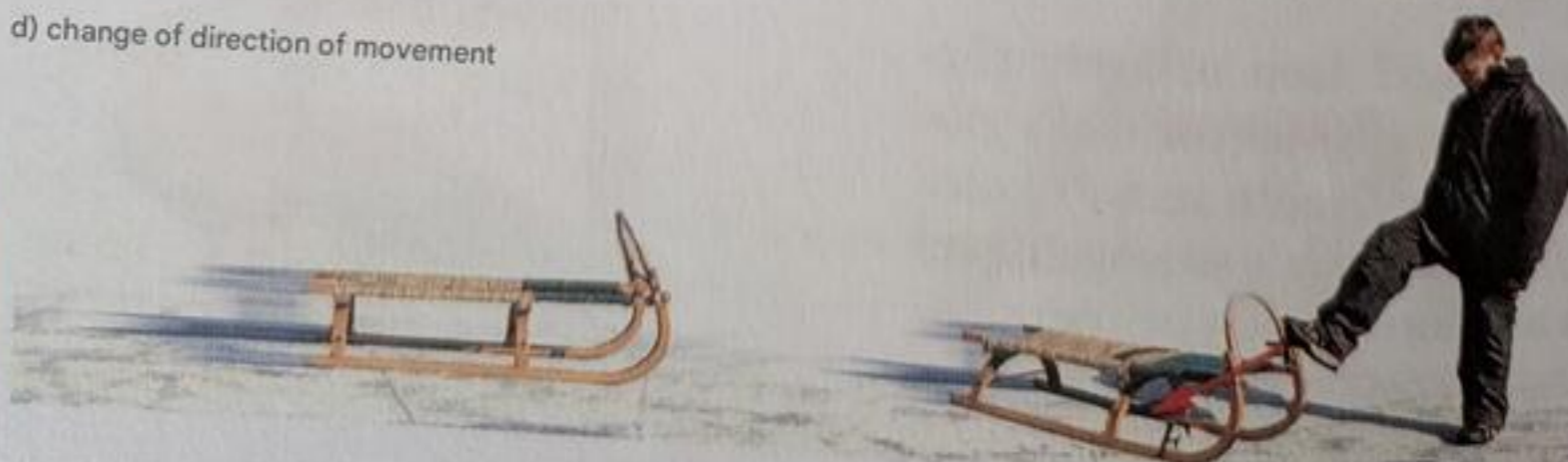
b) acceleration of movement



c) slowing down or stopping movement

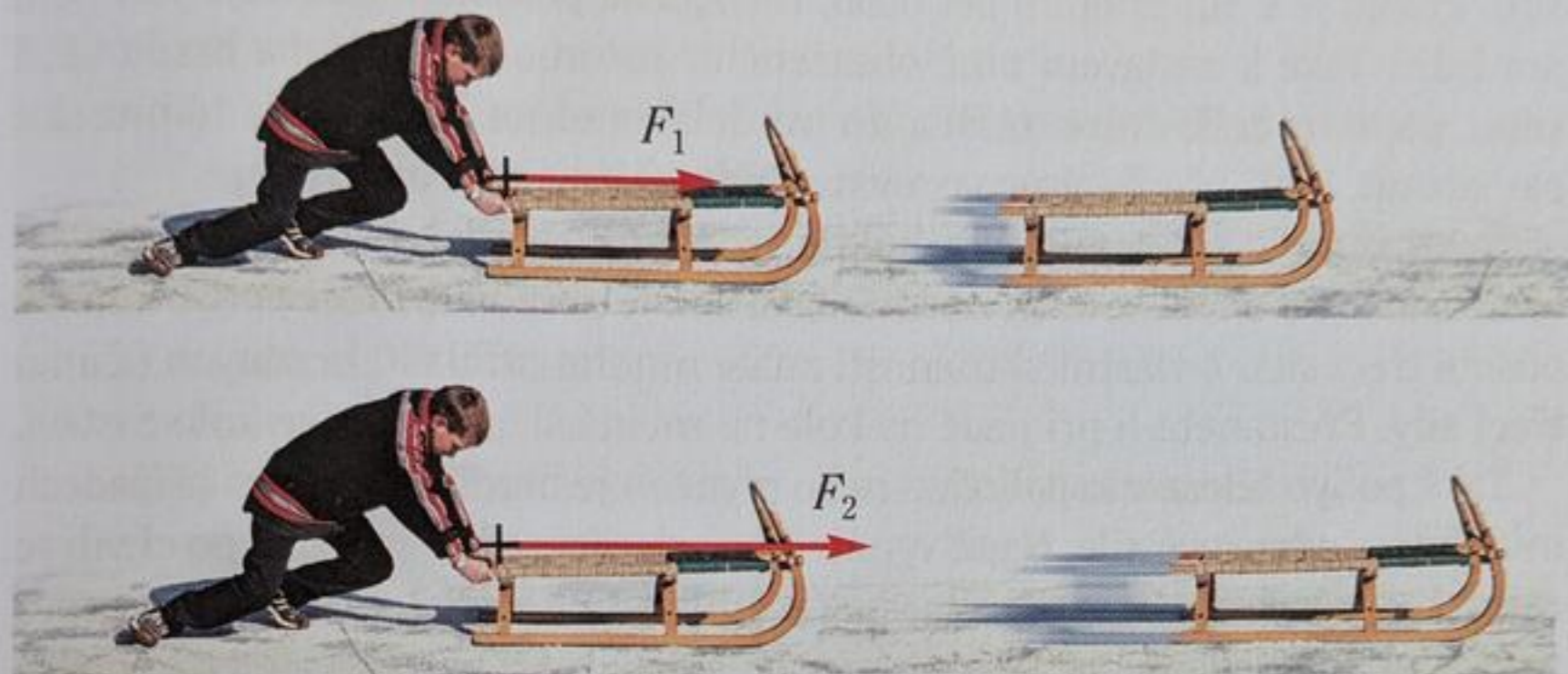


d) change of direction of movement

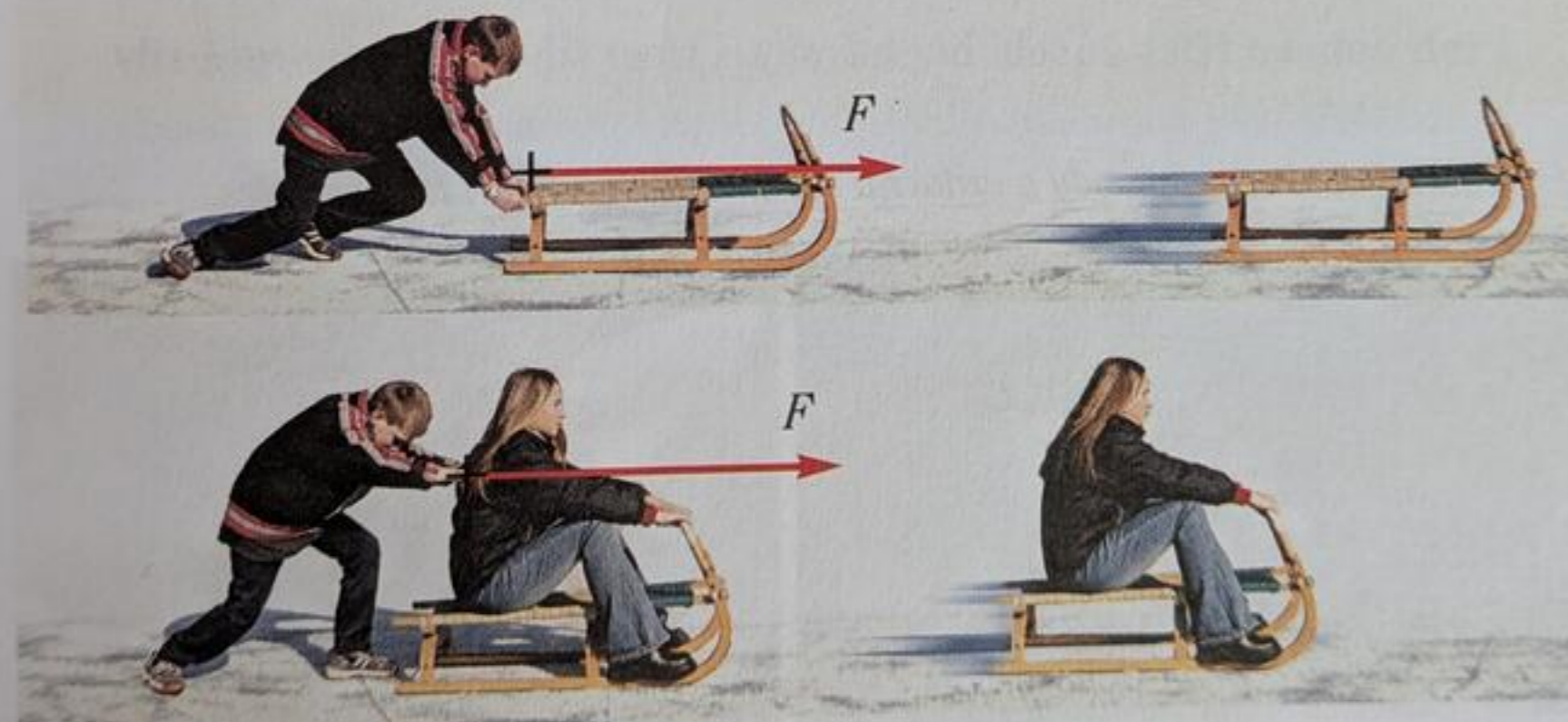


Prohlédněte si obr. 1.59. Kdy bude změna rychlosti pohybu sáněk větší? Čím větší silou budete po stejnou dobu sánky tlačit (obr. 1.59a), tím více se jejich pohyb zrychlí. Budete-li tlačit stejnou silou jednou prázdné sánky a podruhé sánky s kamarádkou (obr. 1.59b), zrychlí se v druhém případě pohyb sáněk méně. Při větší hmotnosti tělesa byl tedy pohybový účinek síly menší. Ke stejnému výsledku dospějeme pokusy provedenými podle obr. 1.61 a obr. 1.62 při řešení úloh 1 a 2.

Obr. 1.59 Závislost pohybových účinků  
a) na velikosti působící síly



b) na hmotnosti tělesa



Pohybové účinky sil na tělesa zkoumal Isaac Newton, který formuloval **tři pohybové zákony**. Pokusy, které jsme si uvedli, potvrzují platnost jednoho z těchto zákonů, který se nazývá **zákon síly**. Vyjadřujeme ho takto:

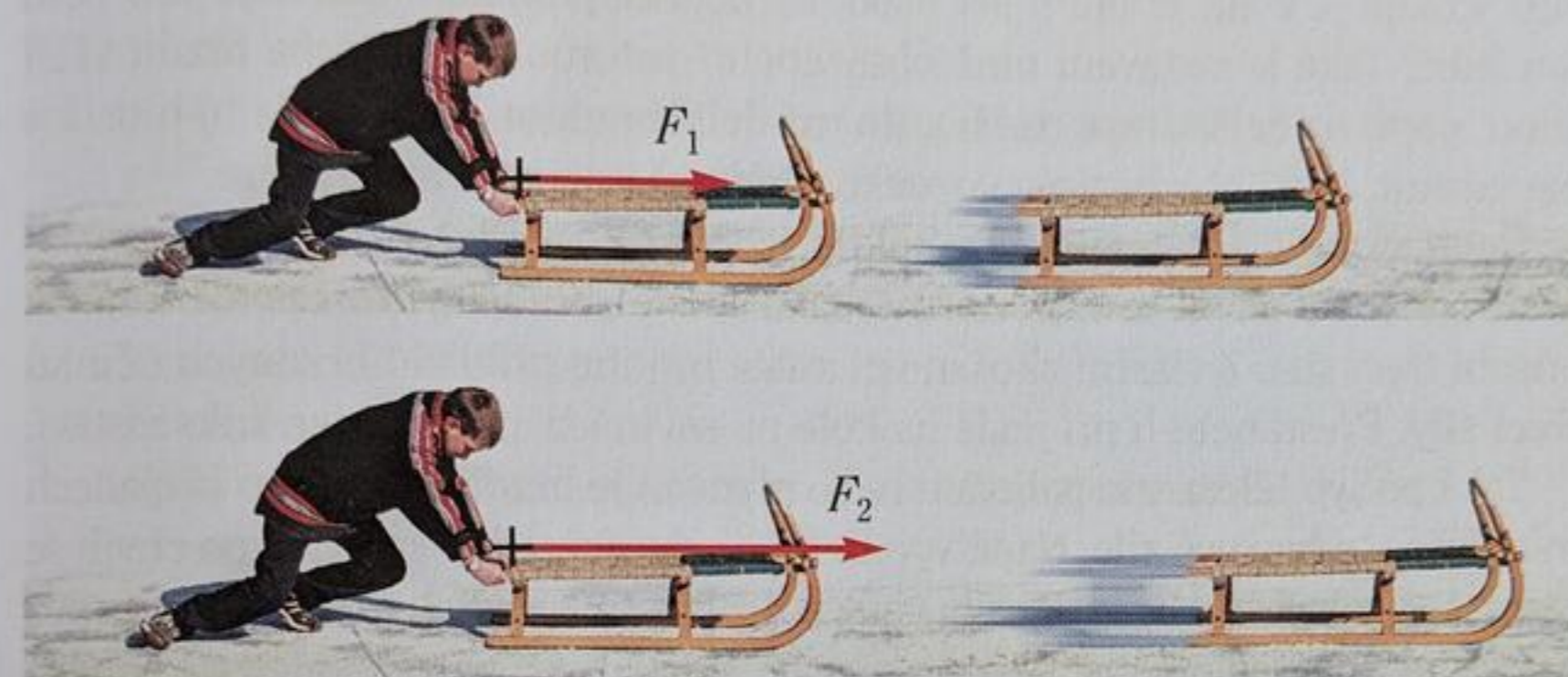
**Působí-li na těleso síla, mění se jeho rychlost.** To znamená, že síla uvede těleso z klidu do pohybu, pohyb tělesa se urychlí, zpomalí, zastaví nebo se změní jeho směr.

1.15

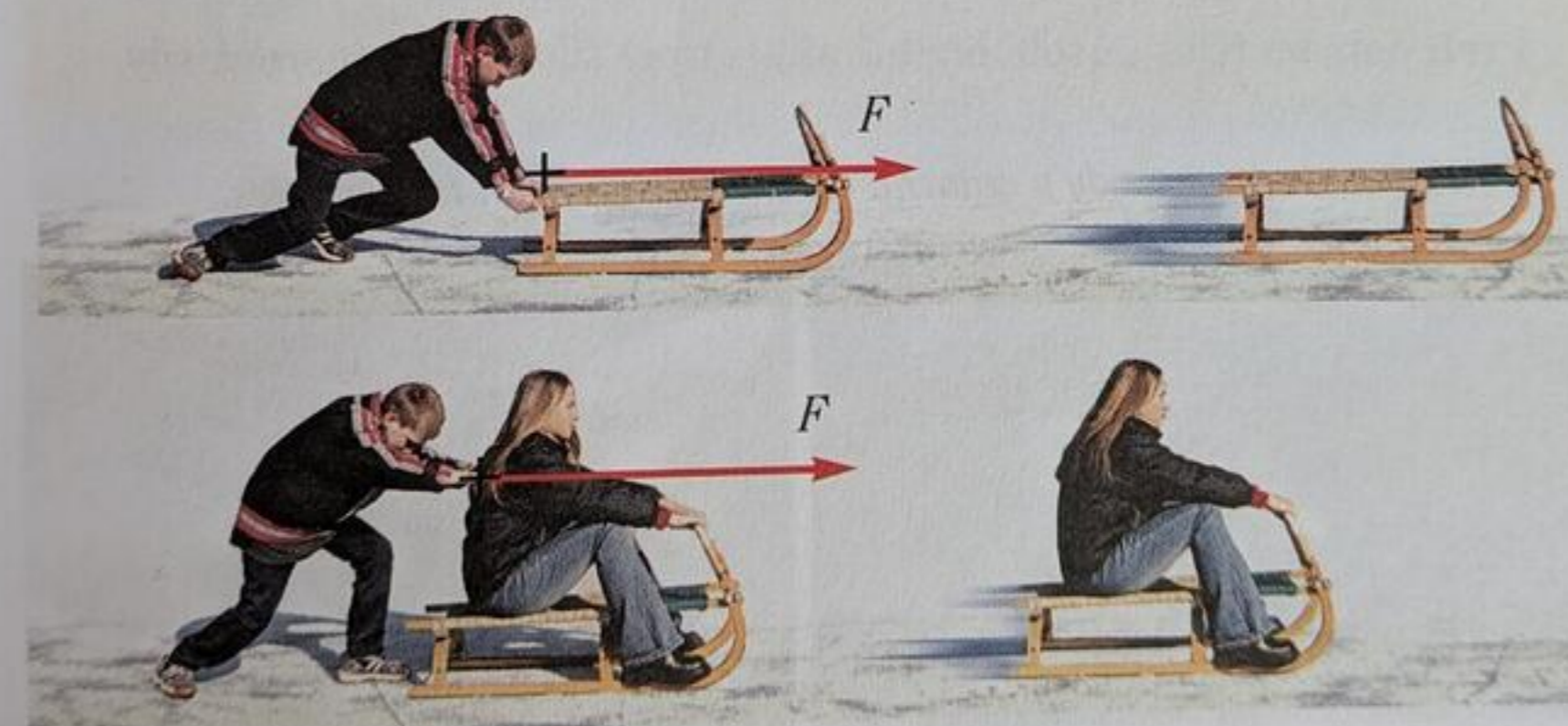
Look at Fig. 1.59. When will the change in the speed of the sled be greater? The greater the force with which you push the sled for the same amount of time (Fig. 1.59a), the more its movement will accelerate. If you push the empty sled with the same force once and the sled with a friend the second time (Fig. 1.59b), the movement of the sled will accelerate less in the second case. Therefore, with a greater mass of the body, the kinetic effect of the force was smaller. We will reach the same result by performing experiments according to Fig. 1.61 and Fig. 1.62 when solving problems 1 and 2.

Fig. 1.59 Dependence of motion effects

a) on the magnitude of the acting force



b) on the weight of the body



The kinetic effects of forces on bodies were studied by Isaac Newton, who formulated three laws of motion. The experiments we have mentioned confirm the validity of one of these laws, which is called the law of force. We express it as follows:

**When a force acts on a body, its velocity changes.** This means that the force causes the body to move from rest, the body's motion accelerates, slows down, stops, or changes direction.

1.15

1.15

Čím větší síla po určitou dobu na těleso působí, tím je změna jeho rychlosti větší.  
Čím větší má těleso hmotnost, tím je změna jeho rychlosti působením síly po určitou dobu menší.

Sami můžete uvést příklady z praxe potvrzující tento zákon. Např. k rozjetí prázdného vozíku určitou rychlostí stačí menší síla než při vozíku plně naloženém. Má-li se automobil rozjet rychleji, musí motor vyvinout větší tažnou sílu. Pokud je v automobilu pět osob, rozjíždí se pomaleji, než když je v něm jen řidič. Také k zastavení plně obsazeného automobilu je třeba brzdít větší silou, popř. na delší dráze (těžší auto má delší brzdovou dráhu). Na to musíme pamatovat, když přecházíme vozovku před přijíždějícím autem.

Roztlačíme-li sánky na ledové ploše, pohybují se, i když už na ně nepůsobíme silou. Po chvíli se však zastaví. Jaká síla je zbrzdila? Proti pohybu sáněk působí třecí síla. Z vlastní zkušenosti znáte mnoho příkladů brzdících účinků **třecí síly**. Přestanete-li při jízdě na kole na rovině šlapat, brzy se kolo zastaví.

Také pohyb tělesa v kapalinách nebo plynech je brzděn. V těchto případech mluvíme o **odporové síle**. Např. vypne-li pohybující se loď motory, po chvíli se zastaví působením odporové síly vody a vzhledem k vodě je v klidu. Odporová síla vzduchu působí na jedoucí automobil či běžce při závodu, ale i na chodce při běžné chůzi.

**Proti pohybu těles působí brzdící síly – třecí síly nebo odporové síly.**

Obr. 1.60 Odporové síly vody a vzduchu lze změnit vhodným tvarem těles.



58

1.15

force acting on a body for a certain period of time, the greater the change in its velocity.  
The greater the  
mass of a body, the greater the change in its velocity due to the action of a force  
for a certain time smaller. The greater the

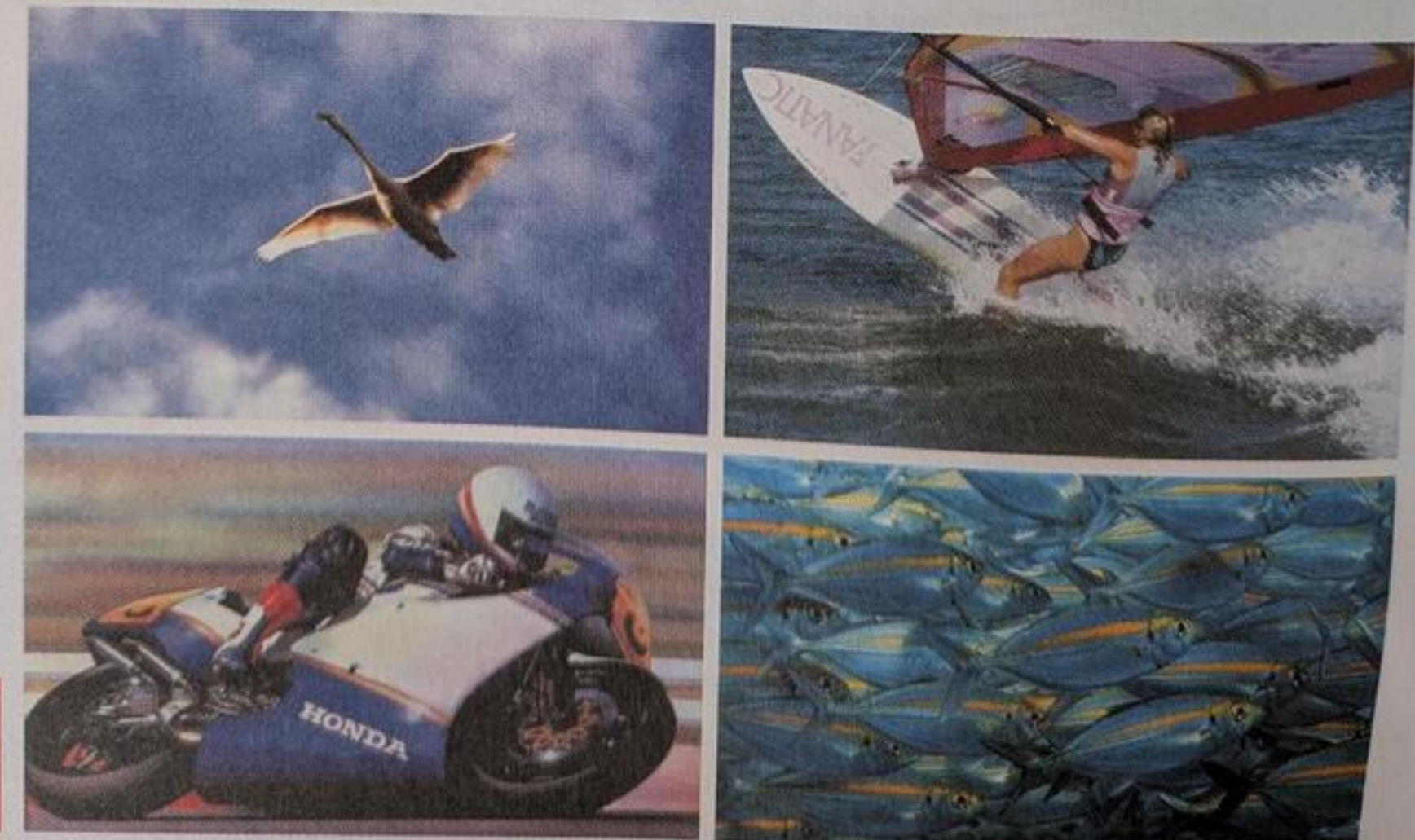
You can give examples from practice confirming this law. For example, to start an empty truck at a certain speed, less force is needed than for a fully loaded truck. If a car is to start faster, the engine must develop more traction. If there are five people in the car, it starts slower than if there is only the driver. Also, to stop a fully occupied car, it is necessary to brake with more force, or over a longer distance (a heavier car has a longer braking distance). We must remember this when crossing the road in front of an oncoming car.

If we push the sledge on an icy surface, it moves even though we no longer apply force to it. However, after a while it stops. What force stopped it? The force of friction acts against the sledge's movement. You know from your own experience many examples of the braking effects of friction. If you stop pedaling while riding a bicycle on a flat surface, the bicycle will soon stop.

The movement of a body in liquids or gases is also slowed down. In these cases we speak of a resistance force. For example, if a moving ship turns off its engines, after a while it stops due to the resistance force of the water and is at rest relative to the water. The resistance force of the air acts on a moving car or a runner during a race, but also on a pedestrian during normal walking.

**Braking forces – frictional forces or resistance forces – act against the movement of bodies.**

Fig. 1.60 The resistance forces of water and air can be changed by the appropriate shape of the bodies.



58

Brzdné síly v kapalinách a plynech lze zmenšit nebo zvětšit vhodným tvarem tělesa, např. motocyklu nebo surfu. Ryby a ptáci mají tvar těla, který přispívá k zmenšení odporových sil (obr. 1.60).

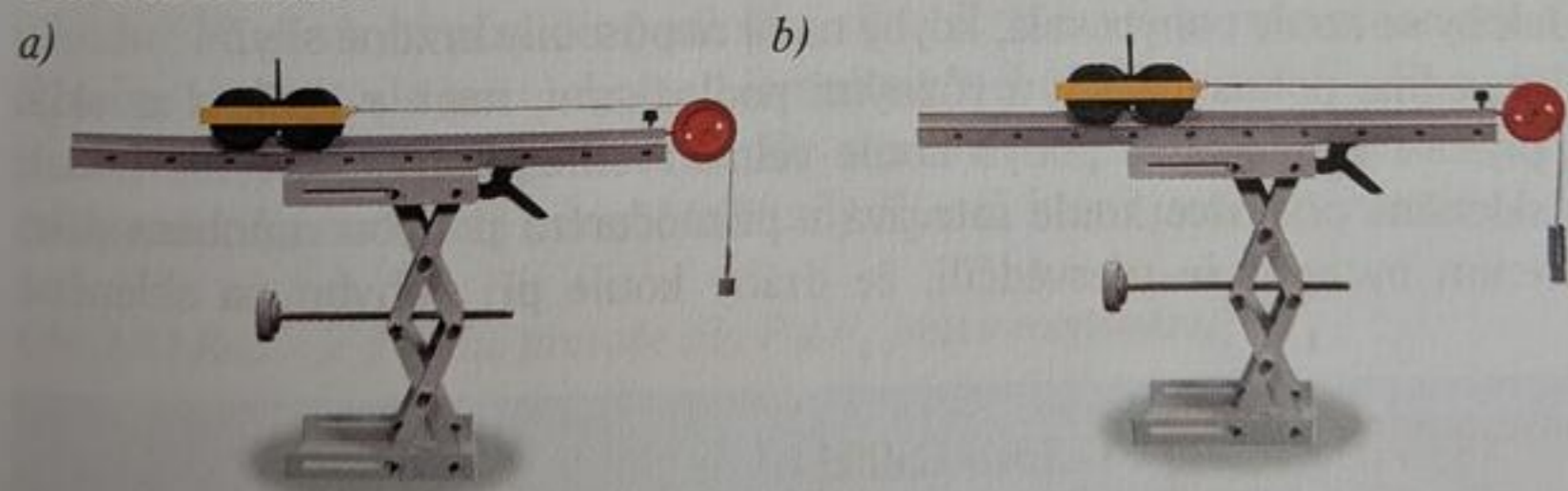
Brzdné síly v kapalinách a v plynech jsou menší než třecí síly mezi pevnými tělesy. Proto se brzdné síly např. při pohybu součástí strojů po sobě zmenšují mazáním povrchu součástí olejem. Zmenšení brzdné síly mezi automobilem a silnicí při dešti může způsobit smyk automobilu.

1.15

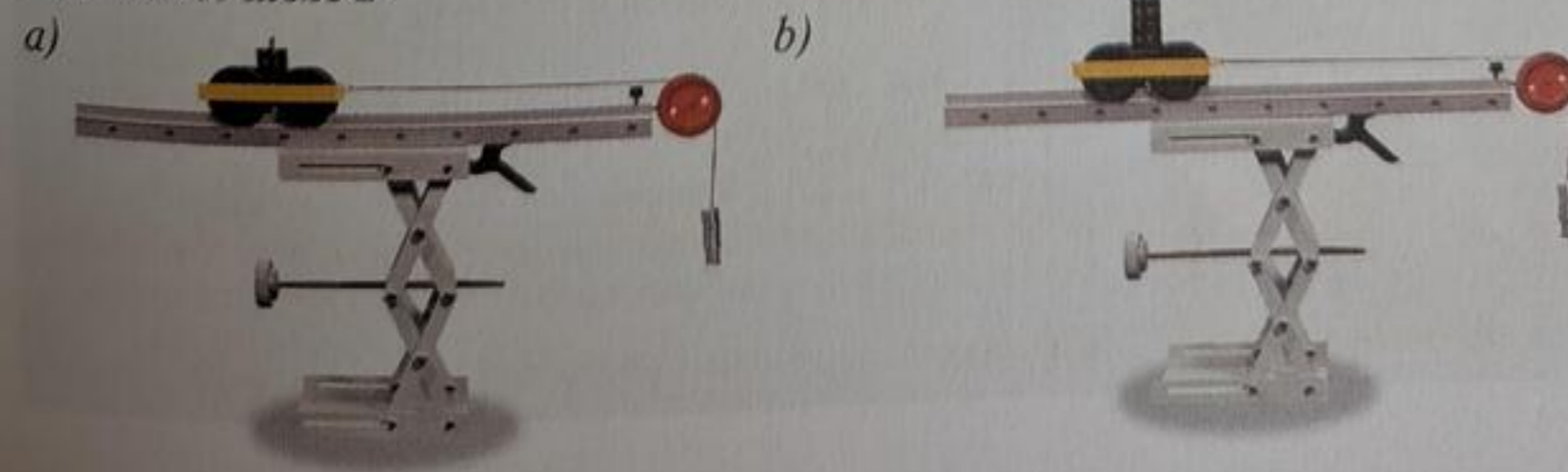
## Otázky a úlohy

- Vyjmenuj různé posuvné účinky síly a uveď konkrétní příklady.
  - Co je pro všechny posuvné účinky síly společné?
- Vysvětli na příkladech, jak závisí změna rychlosti daného tělesa
  - na velikosti působící síly,
  - na hmotnosti tělesa.
- Které brzdné síly působí
  - na lyžaře sjíždějícího ze svahu, b) na rybu plavající ve vodě, c) na parašutistu po seskoku z letadla?
- Uveď příklady, jak lze zmenšit brzdné síly působící na pohybující se tělesa.
  - Proveď pokus podle obr. 1.61. V kterém případě působí na vozík větší síla? Je vozík více urychlován v případě znázorněném na obr. 1.61a, nebo obr. 1.61b?
  - V pokusu podle obr. 1.62 působí na vozík stejná síla. Zvětšuje se rychlost vozíku v obou případech stejně? Odpověď zdůvodni a ověř pokusem.

Obr. 1.61 K úloze 1



Obr. 1.62 K úloze 2



59

Braking forces in liquids and gases can be reduced or increased by the appropriate shape of the body, e.g. a motorcycle or a surfboard. Fish and birds have a body shape that contributes to reducing drag forces (Fig. 1.60).

Braking forces in liquids and gases are smaller than frictional forces between solids. Therefore, when machine parts move past each other, the braking forces are reduced by lubricating the surfaces of the parts with oil. The reduction in braking force between a car and the road in the rain can cause the car to skid.

1.15

## Questions and tasks

- List the various sliding effects of force and give specific examples.
    - What is common to all sliding effects of force?
  - Explain with examples how the change in velocity of a given body depends
    - on the magnitude of the acting force,
    - on the mass of the body.
  - Which braking forces are acting?
    - a skier going down a slope, b) a fish swimming in water, c) on a parachutist after jumping out of an airplane?
  - Give examples of how the braking forces acting on moving bodies can be reduced.
01. Perform the experiment according to Fig. 1.61. In which case does the force acting on the cart increase? Is the cart accelerated more in the case shown in Fig. 1.61a or Fig. 1.61b?
- In the experiment shown in Fig. 1.62, the same force acts on the cart. Does the cart's speed increase by the same amount in both cases? Justify your answer and verify it experimentally.

Fig. 1.61 For task 1

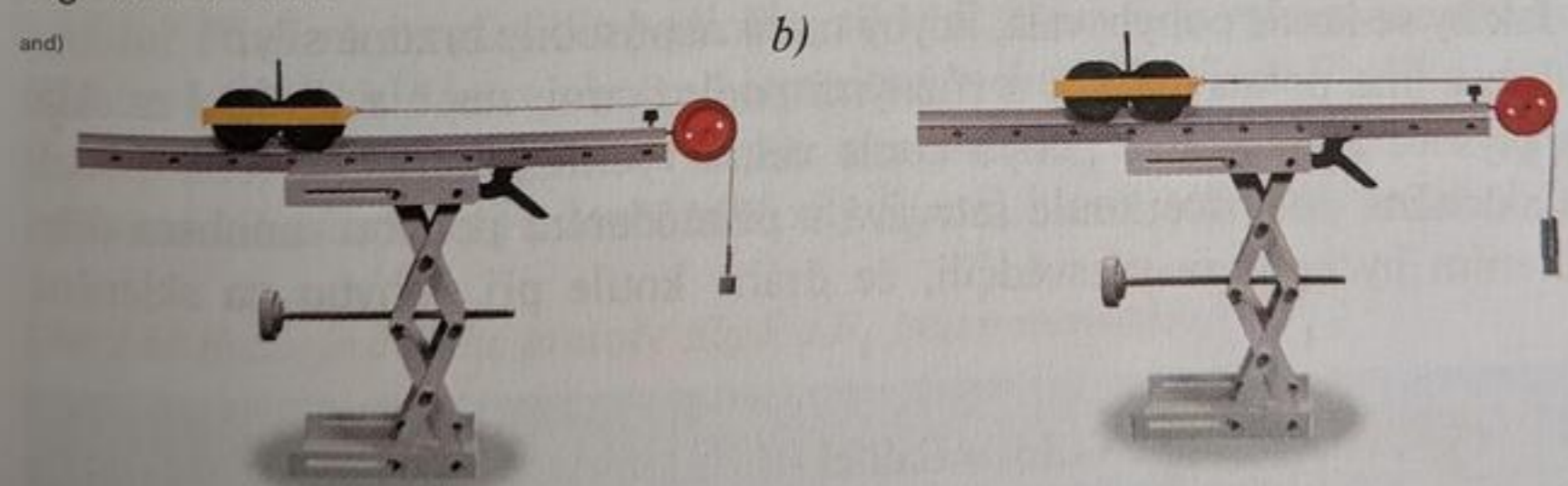
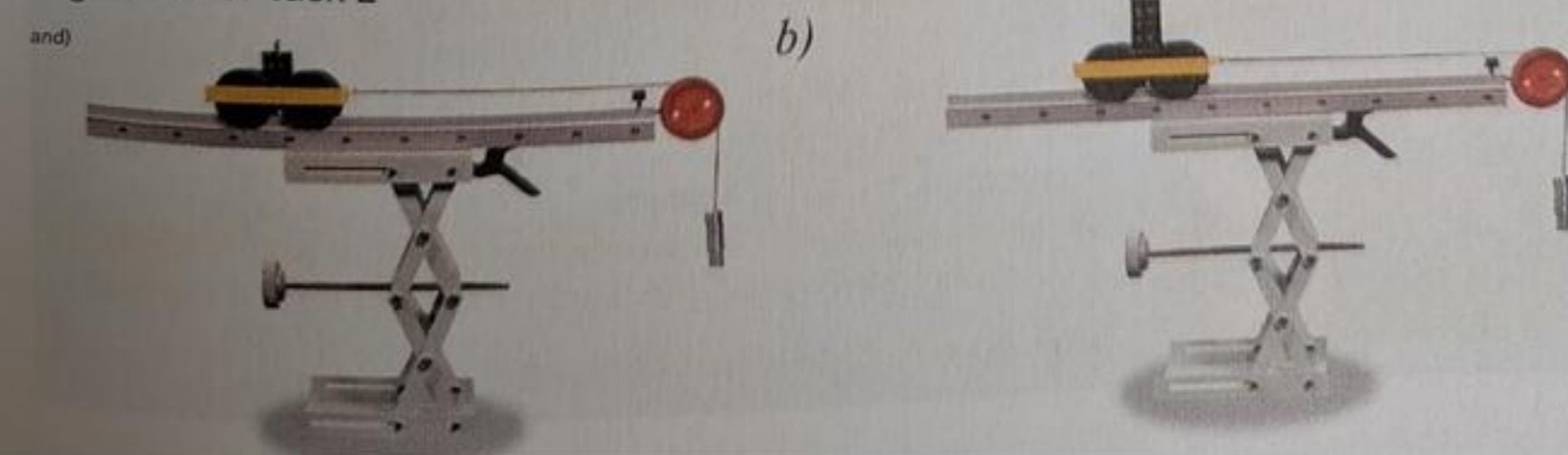


Fig. 1.62 For task 2



59

**1.16**

3. Představ si, že chceš zastavit vozík rozjetý z kopce dolů. Rozhodni, v kterém případě potřebuješ k zabrzdění vozíku větší sílu:
- k zastavení na dráze 2 m, nebo na dráze 1 m,
  - k zastavení prázdného vozíku na dráze 1 m, nebo vozíku s nákladem na dráze 1 m.
4. a) Jaké jsou tvary závodních automobilů, lodí, letadel a ponorek? Vysvětli proč.  
b) Jaké odporové síly působí na pohyb těchto těles v prostředí, v němž se pohybují?  
c) Působí vůbec nějaká síla na kosmickou loď obíhající kolem Země? Jestliže ano, vysvětli, jaké má účinky.



## 1.16 Zákon setrvačnosti

Ze zkušenosti víte, že těleso, které je vzhledem k Zemi v klidu, můžeme uvést z klidu do pohybu jen silovým působením jiného tělesa nebo silového pole. Např. míč ležící v klidu na vodorovné podložce se začne pohybovat, když do něho kopnete nebo když podložku nakloníte. Jinak setrvává míč v klidu.



Co se stane, když síla, která uvedla těleso do pohybu, přestane působit? Zastaví se těleso hned? Abychom správně odpověděli, provedme následující pokusy.



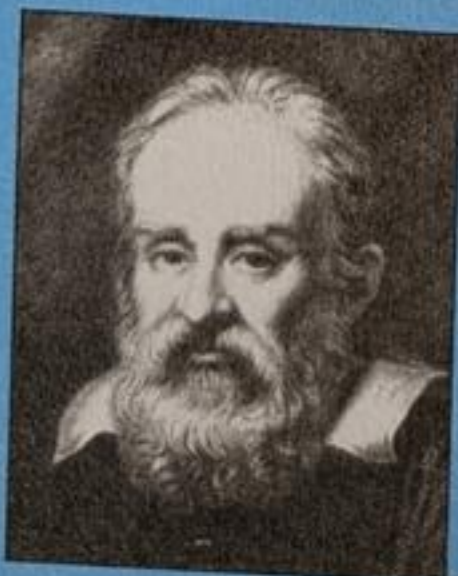
Uvedme kouli nárazem tyčky z klidu do pohybu po vodorovné desce stolu. Koule setrvává v pohybu ve směru nárazu, i když na ni už tyčka nepůsobí. Působením brzdících sil se však po chvíli zastaví.



Jak by se koule pohybovala, kdyby na ni nepůsobily brzdící síly?



Provedme pokus s koulí a různými podložkami, např. z plyše a ze skla. Na plyšové podložce se pohyb koule velmi rychle zpomaluje (obr. 1.63a). Na skleněné podložce koule setrvává v přímočarém pohybu mnohem déle. Měřením bychom se přesvědčili, že dráhy koule při pohybu na skleněné



### Galileo Galilei

(1564-1642), italský fyzik, matematik a astronom, jeden ze zakladatelů moderní přírodovědy.

Jako první cílevědomě využíval fyzikální pokusy k vědeckému bádání. Zkoumal těžiště těles a setrvačnost těles. Na výsledky jeho bádání navázal I. Newton. Galilei zkonstruoval dalekohled, kterým objevil pohoří a krátery na Měsíci, skvrny na Slunci a čtyři největší měsíce Jupitera.

<https://prometheus-data.cz/odkaz/galilei>

**1.16**

3. Imagine you want to stop a cart going downhill. Decide in which case you need more force to stop the cart:
- to stop on a 2 m track, or on a 1 m track,
  - to stop an empty trolley on a 1 m track, or a trolley with a load on a 1 m track.
4. a) What are the shapes of racing cars, boats, airplanes and submarines? Explain why.  
b) What resistance forces act on the movement of these bodies in the environment in which they move?  
c) Is there any force acting on a spacecraft orbiting the Earth? If so, explain what its effects are.



## 1.16 Law of inertia

You know from experience that a body that is at rest with respect to the Earth can only be set in motion by the force of another body or force field. For example, a ball lying at rest on a horizontal surface will start moving when you kick it or tilt the surface. Otherwise, the ball remains at rest.



What happens when the force that set the object in motion stops acting? Will the object stop immediately? To answer this correctly, let's perform the following experiments.



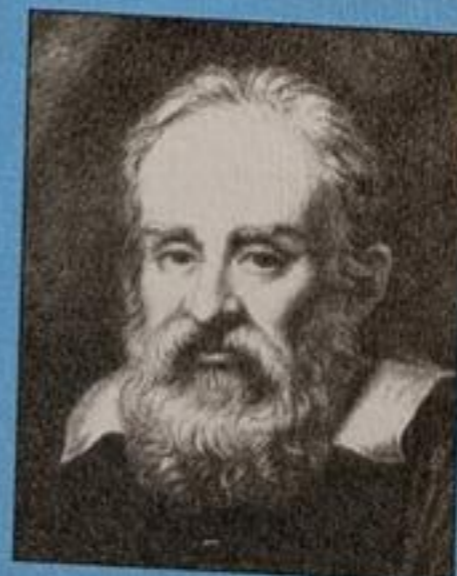
Let's start a ball from rest on a horizontal tabletop by hitting it with a stick. The ball continues to move in the direction of impact, even though the stick is no longer acting on it. However, it stops after a while due to the action of braking forces.



How would the ball move if there were no braking forces acting on it?



Let's do an experiment with a ball and different pads, e.g. made of plush and made of glass. On the plush pad, the ball's motion slows down very quickly (Fig. 1.63a). On the glass pad, the ball remains in a straight line much longer. By measuring, we would see that the paths of the ball when moving on the glass



### Galileo Galilei

(1564-1642), Italian physicist, mathematician and astronomer, one of the founders of modern natural science.

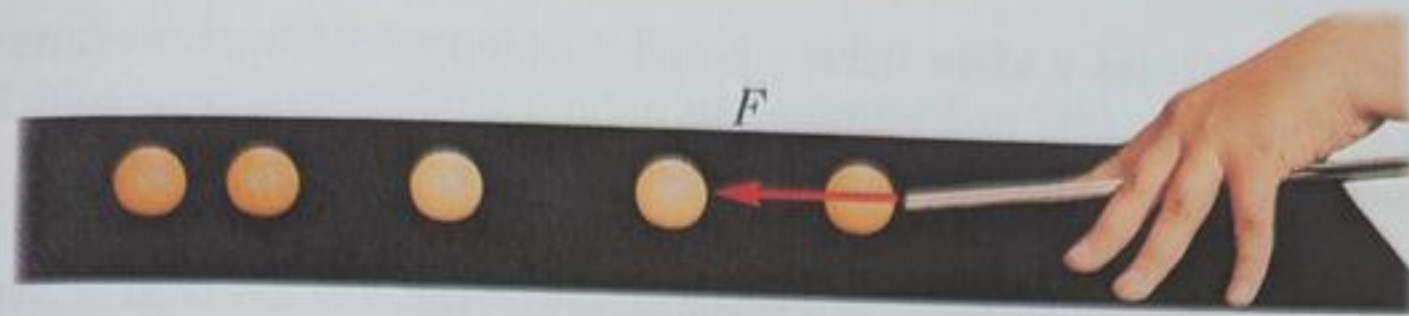
He was the first to purposefully use physical experiments for scientific research. He investigated the center of gravity and inertia of bodies. The results of his research were followed up by I. Newton.

Galileo constructed a telescope with which he discovered mountain ranges and craters on the Moon, sunspots, and the four largest moons of Jupiter.

<https://prometheus-data.cz/odkaz/galilei>

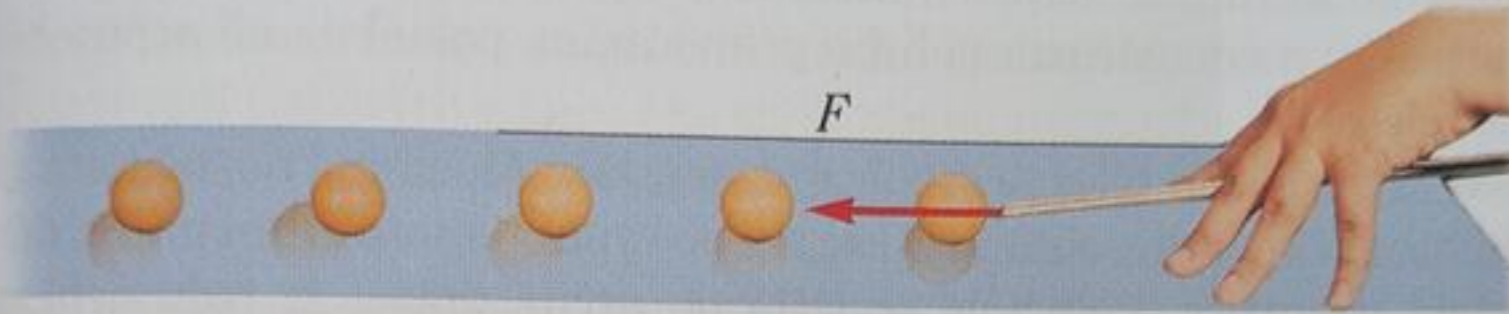
Obr. 1.63 Pohyb kuličky se zpomaluje působením třecí síly

a)



1.16

b)

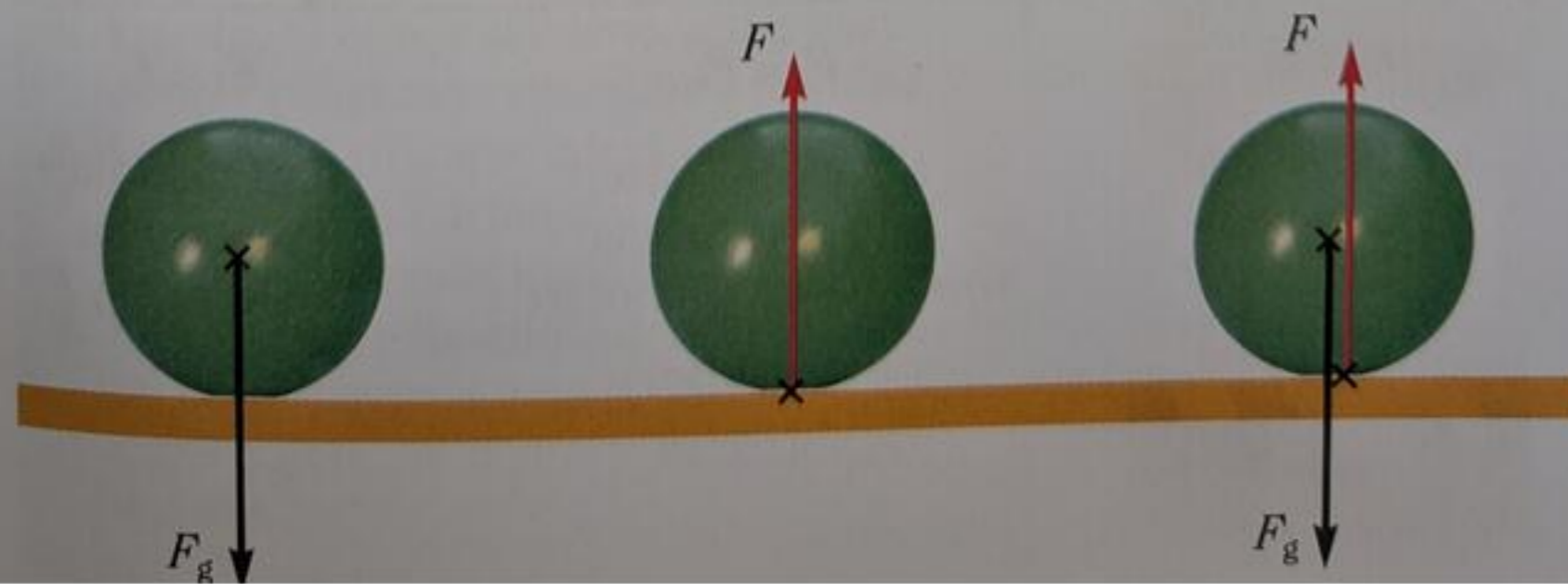


podložce jsou za stejné doby po nárazu téměř stejné (obr. 1.63b). Pohyb koule je přibližně rovnoměrný přímočarý.

Z našich pokusů se zdá, že tělesa setrvávají v klidu nebo pohybu rovnoměrném přímočarém, pokud na ně nezačnou působit jiná tělesa silou. K potvrzení této domněnky by samozřejmě nestačily naše, ne příliš přesné pokusy. Její správnost byla potvrzena pokusy mnohem dokonalejšími. Poprvé tuto domněnku ve fyzice vyslovil Galileo Galilei. Přesně ji na základě Galileiho pokusů později zformuloval Isaac Newton jako **zákon setrvačnosti**.

Dříve, než si uvedeme znění zákona setrvačnosti, zpřesníme závěr našeho pokusu. Víme, že na všechna tělesa na Zemi působí Země gravitační silou  $F_g$  svisle dolů. Jak si tedy vysvětlíme, že koule na vodorovné podložce zůstává v klidu? Musí na ni působit podložka silou  $F$ , která je v rovnováze se silou  $F_g$  (obr. 1.64). Výslednice obou sil je nulová, neboť účinek sil  $F$  a  $F_g$  na kouli je stejný, jako by na ni žádná síla nepůsobila. Na kouli pohybující se rovnoměrně přímočaře působí také síly  $F_g$  a  $F$ , které jsou v rovnováze.

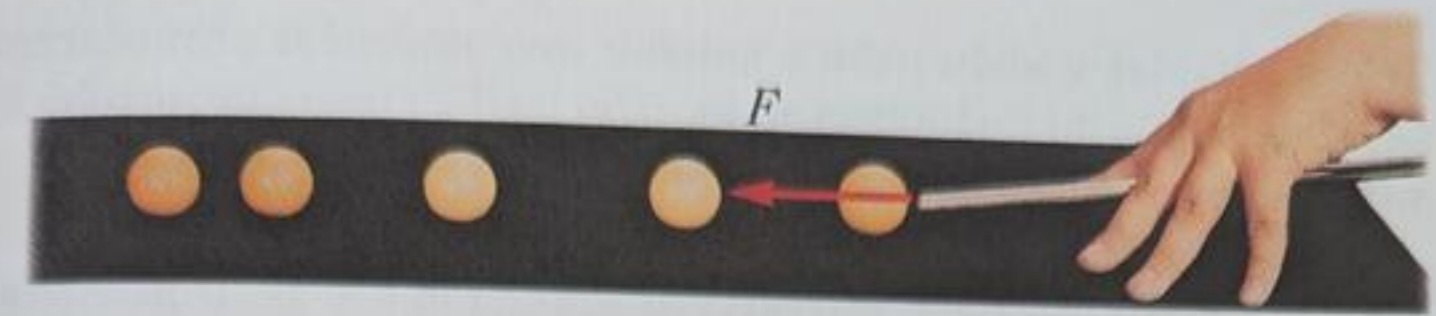
Obr. 1.64 Koule je v klidu, protože síly  $F$  a  $F_g$  jsou v rovnováze.



61

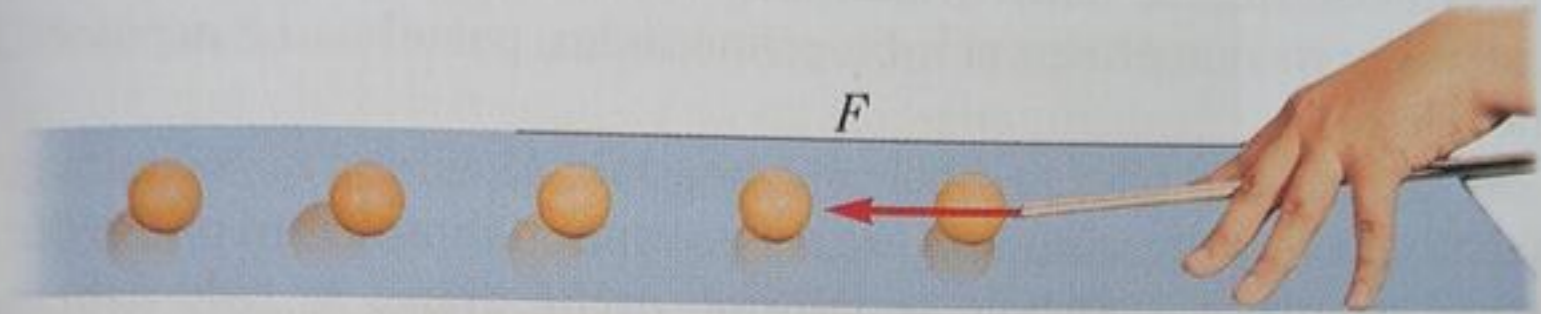
Fig. 1.63 The motion of the ball is slowed down by the action of frictional force

and)



1.16

b)

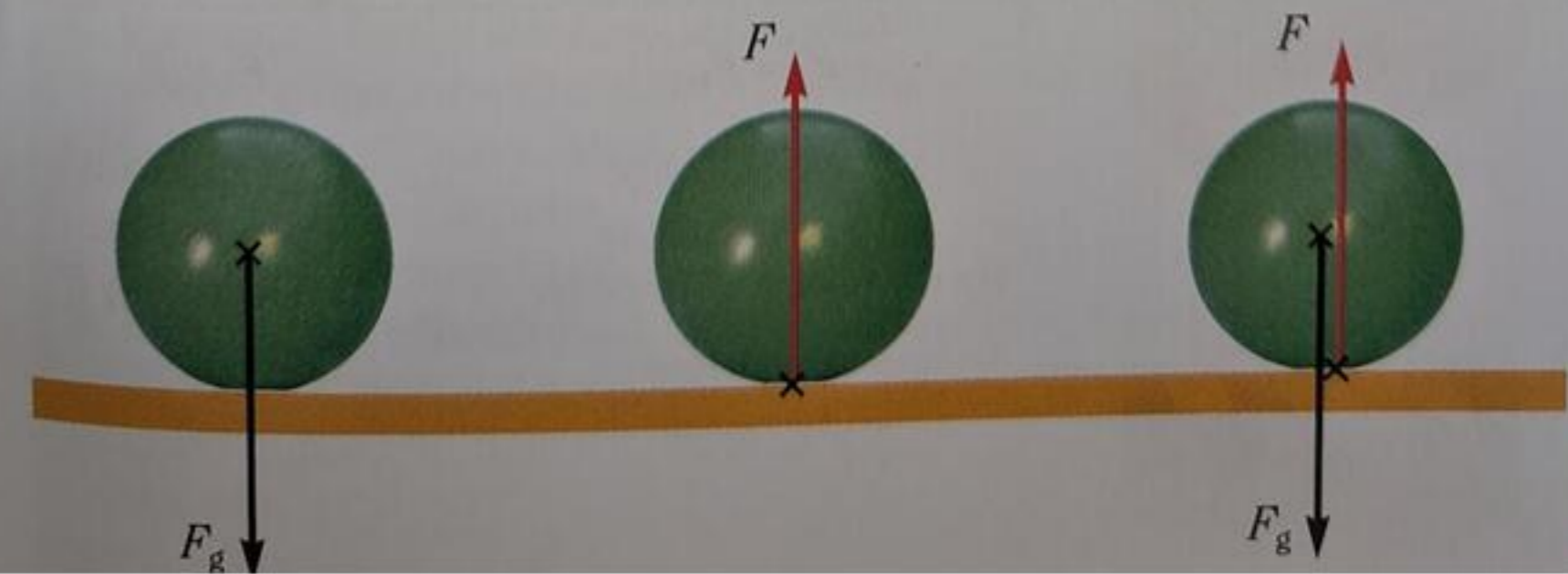


The forces on the pad are almost the same at the same time after impact (Fig. 1.63b). The ball's motion is approximately uniform and rectilinear.

From our experiments it seems that bodies remain at rest or in uniform rectilinear motion unless other bodies act on them with a force. Of course, our not very precise experiments would not be enough to confirm this assumption. Its correctness was confirmed by much more perfect experiments. This assumption was first expressed in physics by Galileo Galilei. It was precisely on the basis of Galileo's experiments that Isaac Newton later formulated it as the law of inertia.

Before we state the law of inertia, let us clarify the conclusion of our experiment. We know that the Earth exerts a gravitational force  $F$  vertically downwards on all bodies on the Earth. So how do we explain that a ball on a horizontal surface remains at rest? The surface must exert a force  $F$  on it, which is in equilibrium with the force  $F_g$  (Fig. 1.64). The resultant of the two forces is zero, since the effect of the forces  $F$  and  $F_g$  on the ball is the same as if no force were acting on it. A ball moving uniformly in a straight line is also acted upon by the forces  $F$  and  $F_g$ , which are in equilibrium.

Fig. 1.64 The sphere is at rest because the forces  $F$  and  $F_g$  are in equilibrium.



61

## 1.16

Takže obecně lze vyslovit zákon setrvačnosti takto:

**Těleso setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém, jestliže na ně nepůsobí jiná tělesa silou nebo jestliže jsou síly působící na těleso v rovnováze.**

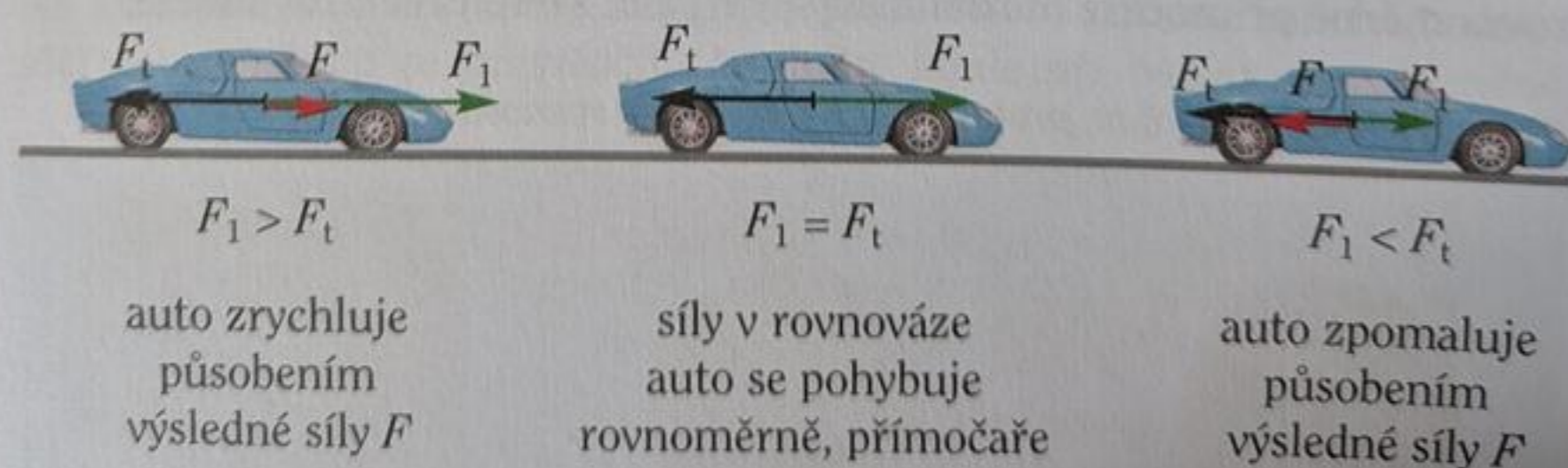
Obecná vlastnost těles setrvávat v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém, nepůsobí-li na ně jiná tělesa silou, se nazývá **setrvačnost těles**. Projevuje se tím, že tělesa v klidu zůstávají nehybná a pohybující se tělesa zůstávají v rovnoměrném pohybu přímočarém, pokud na ně nepůsobí silou jiné těleso.

Se setrvačností těles se setkáváme neustále. Musíme s ní počítat např. při přecházení vozovky: automobil se ani po vypnutí motoru ani při brzdění nezastaví okamžitě. Pohybuje se ještě po určité dráze. Je tedy nebezpečné přecházet vozovku před jedoucím vozidlem.

Setrvačností těles také využíváme v denním životě i v technice. Např. při vyklepávání prachu z šatů, při nasazování držadla sekery, při vyndávání obsahu masové konzervy. Ve všech těchto případech prudce zabrzdíme jednu část tělesa (šaty, držadlo, konzervu) a druhá část setrvává v pohybu (prach, sekera, maso). Setrvačnost využíváme také při posunování železničních vagonů nebo při bruslení na ledě.

Naše denní zkušenost je zdánlivě v rozporu s tvrzením zákona setrvačnosti pro tělesa rovnoměrně se pohybující po přímce. K tomu, aby se těleso pohybovalo rovnoměrně přímočaře, musíme téměř vždy působit na těleso určitou silou. Ale to je důsledek toho, že musíme přemáhat brzdící síly, hlavně tření. Posuvný účinek závisí na výsledné síle působící na těleso (obr. 1.65).

Obr. 1.65 Pohybový účinek závisí na výsledné síle působící na těleso.



## 1.16

So, in general, the law of inertia can be stated as follows:

**A body remains at rest or in uniform rectilinear motion unless other bodies act on it with a force or if the forces acting on the body are in equilibrium.**

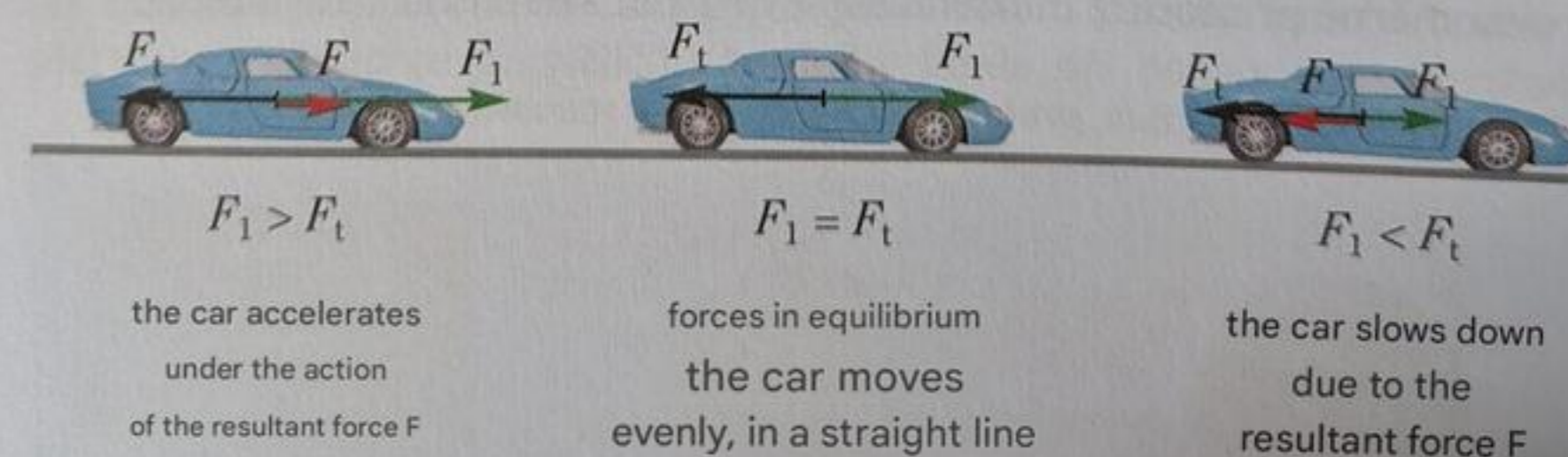
The general property of bodies to remain at rest or in uniform rectilinear motion unless other bodies act on them with a force is called inertia of bodies. It is manifested in the fact that bodies at rest remain motionless and moving bodies remain in uniform rectilinear motion unless another body acts on them with a force.

We encounter inertia of bodies all the time. We have to take it into account, for example, when crossing the road: a car does not stop immediately, even after turning off the engine or when braking. It still moves along a certain path. It is therefore dangerous to cross the road in front of a moving vehicle.

We also use the inertia of bodies in everyday life and in technology. For example, when shaking dust off clothes, when putting on an axe handle, when taking out the contents of a can of meat. In all these cases, we sharply brake one part of the body (clothes, handle, can) and the other part remains in motion (dust, axe, meat). We also use inertia when pushing railway cars or when skating on ice.

Our daily experience seems to contradict the statement of the law of inertia for bodies moving uniformly in a straight line. In order for a body to move uniformly in a straight line, we must almost always exert a force on the body. But this is a consequence of the fact that we must overcome the braking forces, mainly friction. The sliding effect depends on the resultant force acting on the body (Fig. 1.65).

Fig. 1.65 The motion effect depends on the resultant force acting on the body.

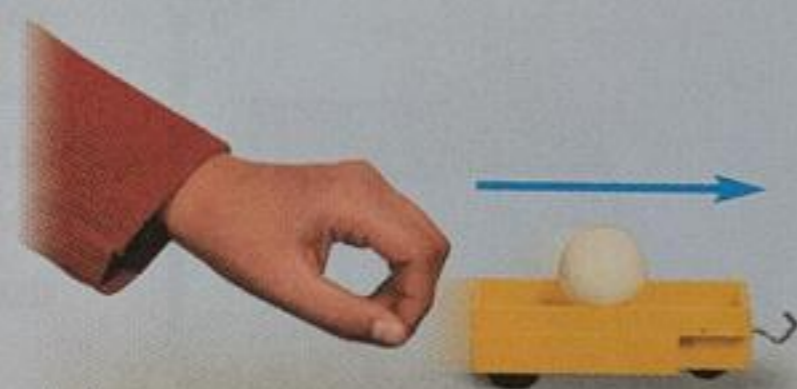


## Otázky a úlohy

1.16

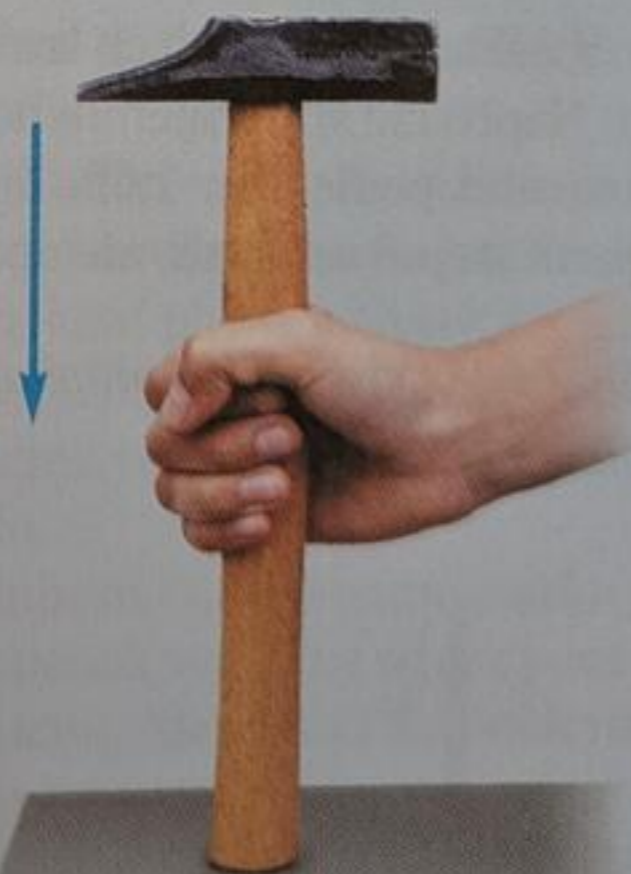
- 1. Uveď příklady, jak se projevuje setrvačnost těles.
- 2. Vyslov tvrzení, které obsahuje zákon setrvačnosti
  - a) pro tělesa, která jsou v klidu,
  - b) pro tělesa, která se pohybují.
- U
  - 1. Vysvětli, proč se závodník po proběhnutí cílem nemůže ihned zastavit.
  - 2. Proč je nebezpečné přebíhat silnici před blížícím se vozidlem?
  - 3. Jak se využívá setrvačnosti při posouvání železničních vozů nebo při sestavování vlakových souprav na seřazovacím nádraží?
  - 4. a) Doprstřed na dno snadno pohyblivého vozíčku polož lehký míček. Vozíček uveď rukou do pohybu (obr. 1.66) a míček přitom pozoruj. Jak se projevuje v tomto okamžiku setrvačnost míčku?  
b) Uveď rukou vozíček s míčkem do pohybu a poté ho zastav nárazem na překážku. Jak se v okamžiku zastavení projevuje setrvačnost míčku?

Obr. 1.66 K úloze 4



- 5. Setrvačnost svého těla si můžeš uvědomit při jízdě tramvají, vlakem nebo autobusem.
  - a) Tělo se naklání ve směru jízdy.
  - b) Tělo se naklání proti směru jízdy.
 Rozhodni v případech a, b, zda se tramvaj, vlak nebo autobus prudce rozjíždí, nebo prudce brzdí. Zdůvodni.
- 6. Vysvětli, proč z mokrých šatů při prudkém zatřepání odlétají kapky vody.
- 7. Vysvětli, na čem je založeno „sklepávání“ sloupce galinstanu v lékařském teploměru.
- 8. Podle obr. 1.67 popiš, jak můžeme upevnit kladívko na držadlo. Jak se při tom uplatní setrvačnost kladívka?
- 9. Při prudkém odbočení automobilu cítíš, že jsi vtlačován doleva. Odbočuje v tu chvíli automobil doprava, nebo doleva? Vysvětli.

Obr. 1.67 K úloze 8



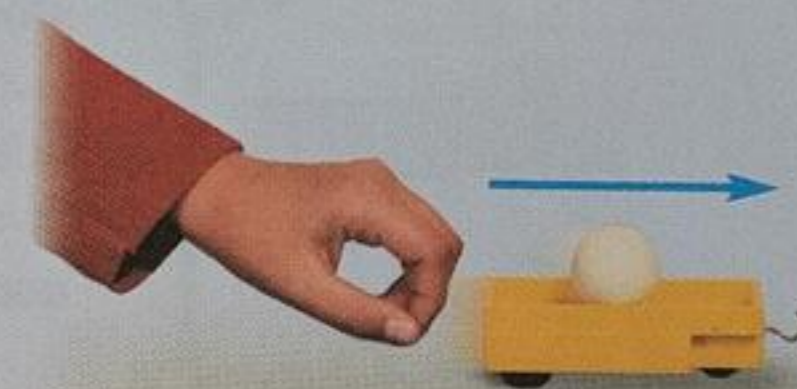
63

## Questions and tasks

1.16

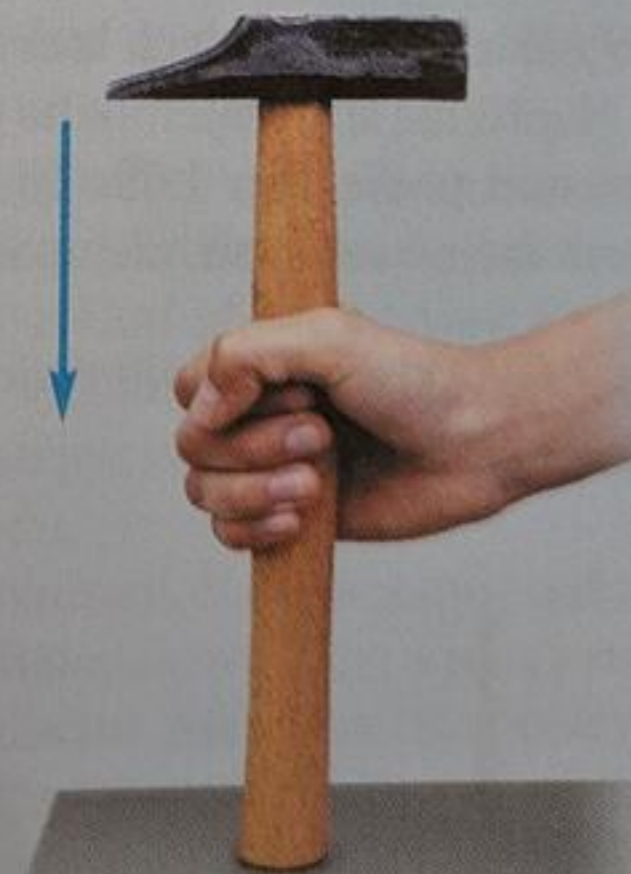
- 1. Give examples of how inertia of bodies manifests itself.
- 2. State the statement that contains the law of inertia
  - a) for bodies that are at rest,
  - b) for bodies that are moving.
- 01. Explain why a runner cannot stop immediately after crossing the finish line.
- 2. Why is it dangerous to cross the road in front of an approaching vehicle?
- 3. How is inertia used when shunting railway cars or assembling train sets at a marshalling yard?
- 4. a) Place a light ball in the middle of the bottom of an easily movable cart. Move the cart with your hand (Fig. 1.66) and observe the ball as you do so. How does the ball's inertia manifest itself at this moment?  
b) Use your hand to move the cart with the ball and then stop it by hitting an obstacle. How does the inertia of the ball manifest itself at the moment of stopping?

Fig. 1.66 For task 4



- 5. You can become aware of your body's inertia while riding a tram, train, or bus.
  - a) The body leans in the direction of travel.
  - b) The body leans against the direction of travel.
 Decide in cases a, b whether the tram, train or bus is accelerating or braking sharply. Give reasons.
- 6. Explain why water droplets fly off wet clothes when shaken vigorously.
- 7. Explain what the "tapping" of the galinstan column in a medical thermometer is based on.
- 8. Using Fig. 1.67, describe how we can attach a hammer to a handle. How does the hammer's inertia come into play?
- 9. When a car makes a sharp turn, you feel like you are being pushed to the left. Is the car turning right or left at that moment? Explain.

Fig. 1.67 For task 8

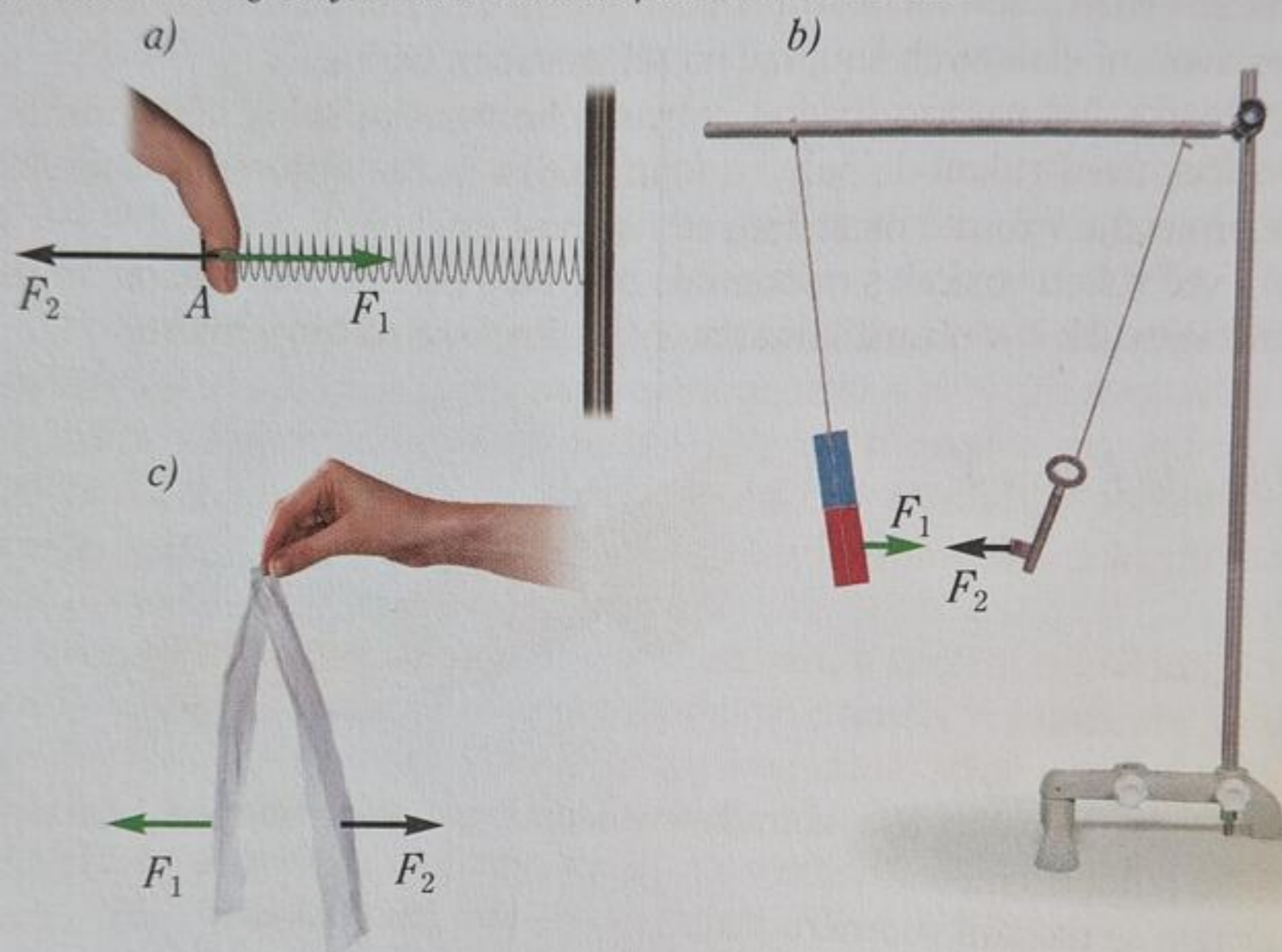


63

## 1.17 Zákon vzájemného působení dvou těles

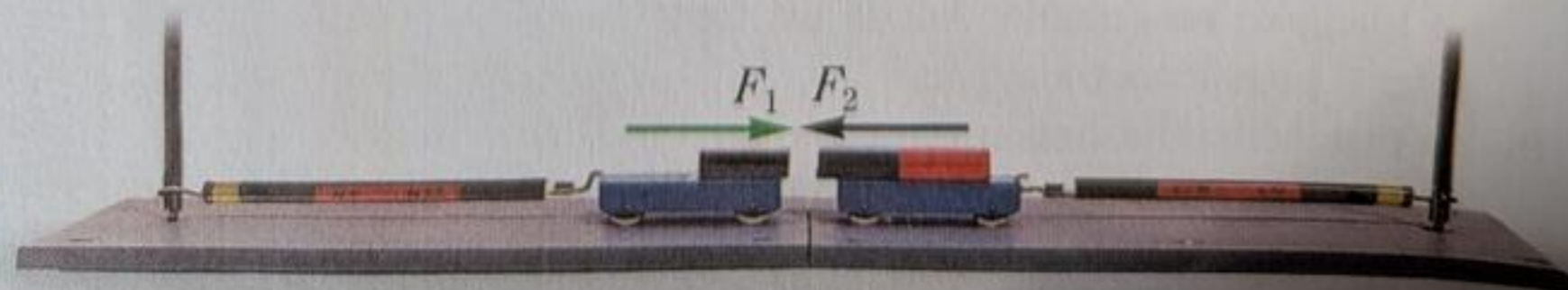
→ Mnohokrát jsme se přesvědčili, že silové působení dvou těles je vzájemné. Působení je vzájemné nejen u dvou těles, která se bezprostředně dotýkají, např. prst a pružina (obr. 1.68a). Je vzájemné i u těles, která na sebe působí prostřednictvím silových polí (např. magnet a železný klíč v obr. 1.68b nebo dva souhlasně zelektrované polyethylenové proužky v obr. 1.68c).

Obr. 1.68 Příklady vzájemného silového působení dvou těles



→ V některých případech lze velikosti sil vzájemného působení dvou těles měřit. Například síly vzájemného přitahování magnetu a ocelové tyčky lze změřit pokusem podle obr. 1.69. Zjistíme, že magnet a ocelová tyčka se přitahují silami stejné velikosti, ale opačného směru.

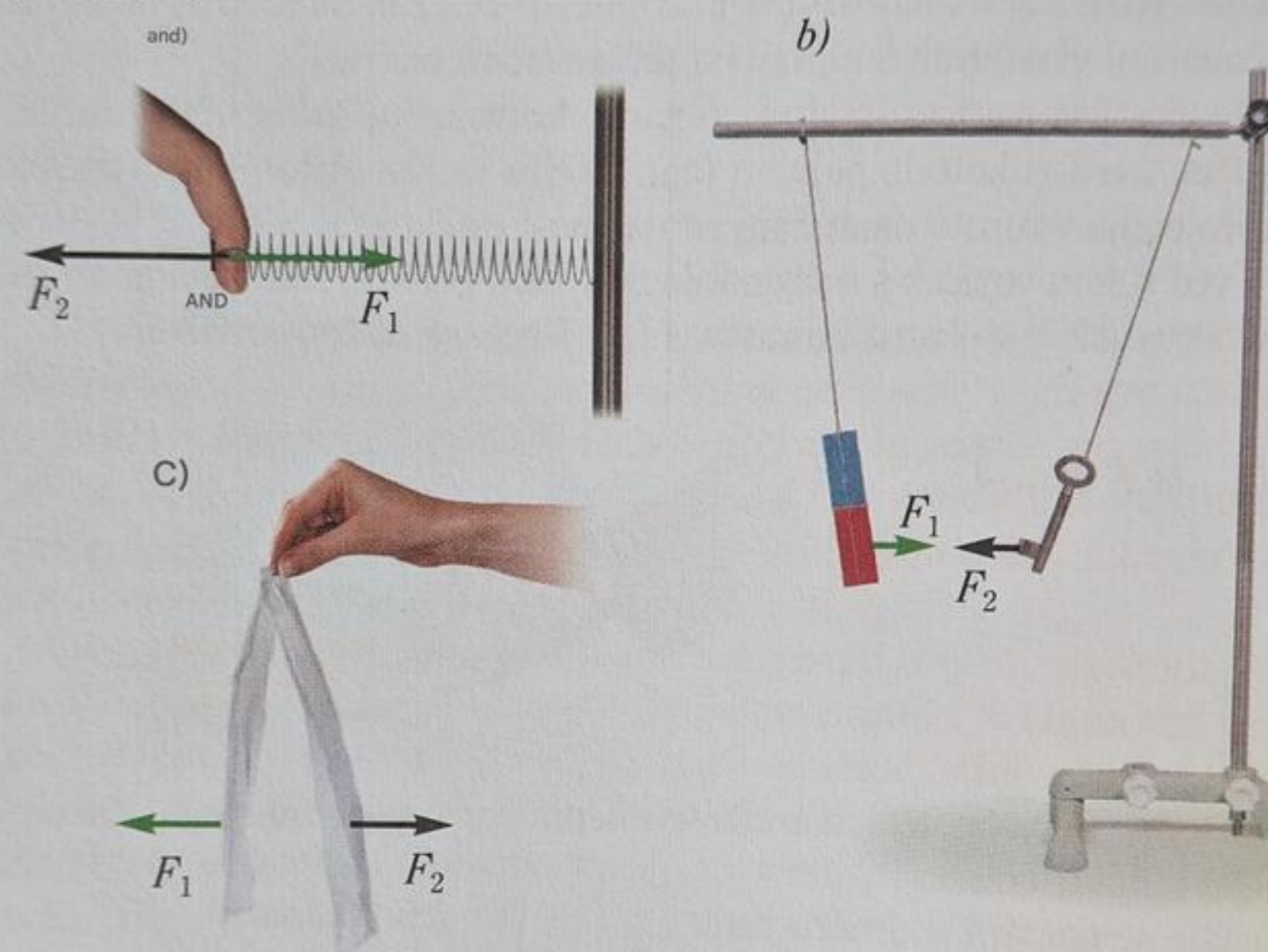
Obr. 1.69 Ocelová tyčka přitahuje magnet silou  $F_2$  a současně magnet přitahuje tyčku silou  $F_1$ .



## 1.17 Law of interaction between two bodies

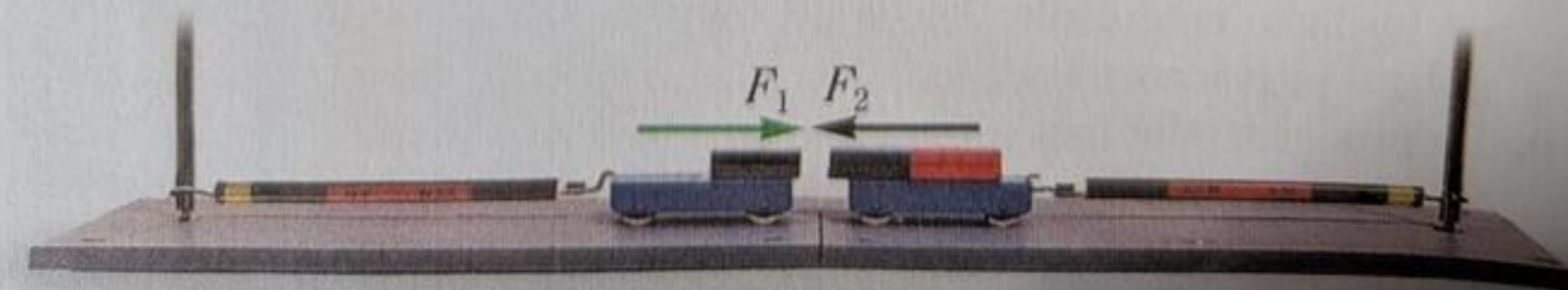
→ We have seen many times that the force acting on two bodies is mutual. The action is mutual not only for two bodies that are in direct contact, e.g. a finger and a spring (Fig. 1.68a). It is also mutual for bodies that act on each other through force fields (e.g. a magnet and an iron key in Fig. 1.68b or two uniformly charged polyethylene strips in Fig. 1.68c).

Fig. 1.68 Examples of mutual force interaction between two bodies



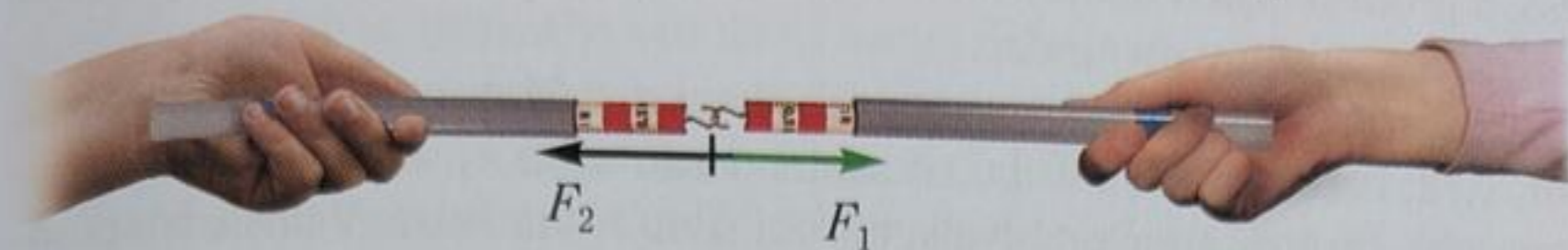
→ In some cases, the magnitude of the forces acting on two bodies can be measured. For example, the forces of mutual attraction between a magnet and a steel rod can be measured by the experiment shown in Fig. 1.69. We find that the magnet and the steel rod attract each other with forces of equal magnitude but opposite direction.

Fig. 1.69 A steel rod attracts a magnet with a force  $F_2$  and at the same time the magnet attracts the rod with a force  $F_1$ .



→ Velikosti sil, kterými na sebe navzájem působí dva žáci, určíme pokusem  
 Obr. 1.70 Určení velikosti sil vzájemného působení mezi dvěma žáky

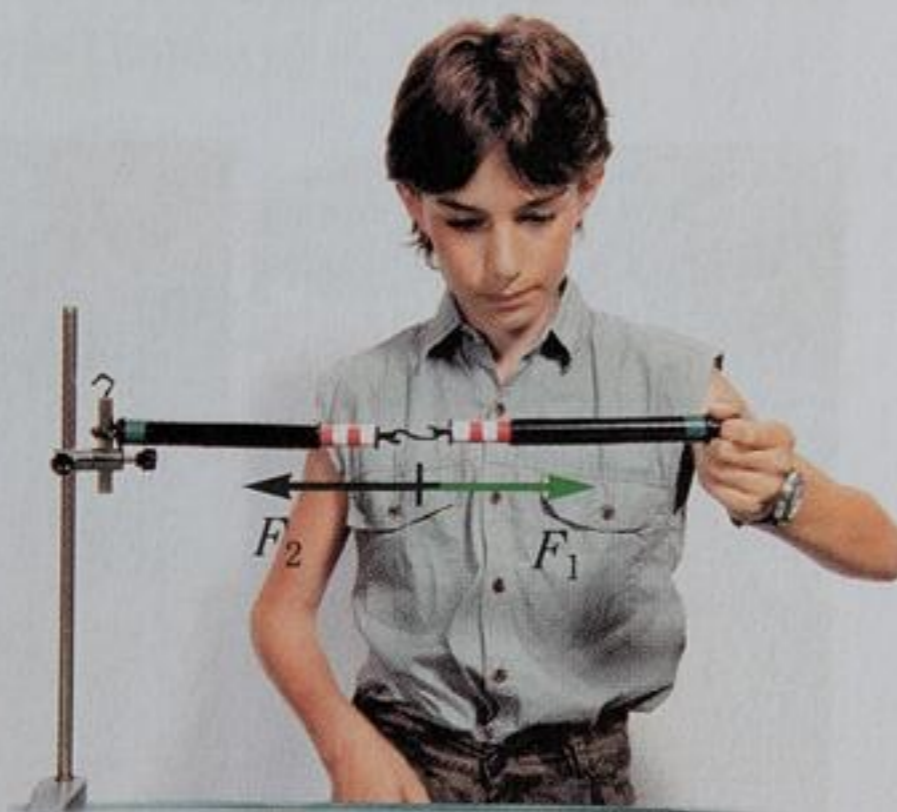
1.17



podle obr. 1.70. Oba žáci působí na sebe navzájem stejně velkými silami opačného směru.

Obr. 1.71 Síly vzájemného působení žáka a nehybné tyčky

→ Jaký bude výsledek pokusu, bude-li jeden žák táhnout rukou za upevněnou tyčku? Z pokusu můžeme dojít k závěru: Žák a tyčka na sebe navzájem působí silami stejné velikosti opačného směru (obr. 1.71). Přestane-li žák táhnout, okamžitě zanikne i síla, kterou tyčka působila na žáka.



Výsledky našich pokusů potvrzují platnost zákona, který zformuloval I. Newton. Budeme ho nazývat **zákon vzájemného působení dvou těles**:

**Působí-li jedno těleso na druhé silou, působí i druhé těleso na první silou stejně velkou opačného směru. Síly vzájemného působení současně vznikají a současně zanikají. Každá z nich působí na jiné těleso.**

Tento zákon se někdy také nazývá **zákon akce a reakce**, protože jedna z těchto sil se nazývá akce a druhá síla reakce.

Takové označení sil vzájemného působení je užito v názvu reaktivních motorů, které se používají u proudových letadel nebo raket. Jsou založeny na využití síly reakce, která vzniká při prudkém vytékání plynů z trysek letadla nebo rakety dozadu. Akcí je síla, kterou motory vytlačují plyny z trysek. Podle zákona akce a reakce působí plyny na motory stejně velkou silou v opačném směru. Tím pohánějí letadlo nebo raketu dopředu.

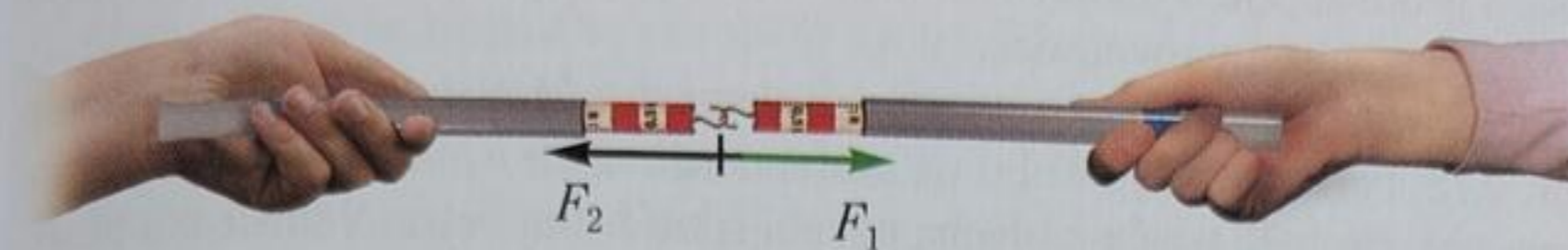
→ Můžeme se o tom přesvědčit jednoduchým pokusem. Nafoukneme pouťový balonek, přidržíme ho rukou a pak ho pustíme. Balonek vytlačuje silami pružnosti vzduch ven. Reakcí je síla proudícího vzduchu, která tlačí balonek na opačnou stranu.

? Mohou být síly vzájemného působení v rovnováze? Například v obr. 1.68a prst natahuje pružinu silou  $F_2$ . Stejně velkou silou  $F_1$  opačného směru tlačí pružina na prst a deformuje ho. Působíště obou sil jsou v místě dotyku prstu

65

→ The magnitudes of the forces exerted by two students on each other will be determined experimentally  
 Fig. 1.70 Determining the magnitudes of the forces of interaction between two students

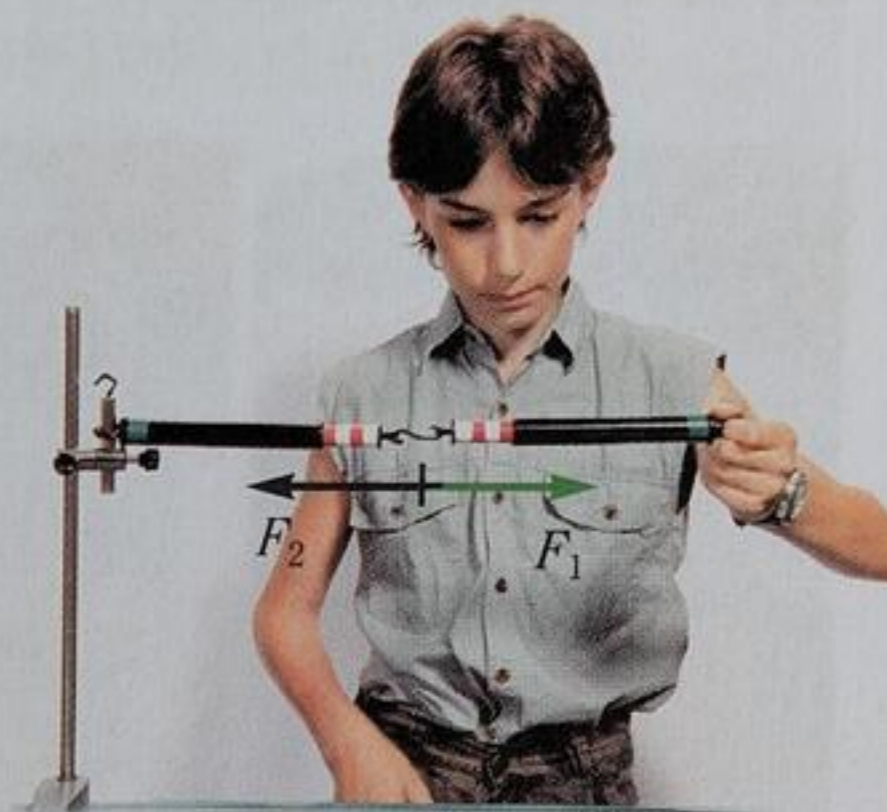
1.17



according to Fig. 1.70. Both students exert equal forces on each other in opposite directions.

Fig. 1.71 The forces of interaction between the pupil and the stationary rod

→ What will be the result of the experiment if one student pulls the fixed rod with his hand? From the experiment we can conclude: The student and the rod exert forces on each other of equal magnitude and opposite direction (Fig. 1.71). If the student stops pulling, the force that the rod exerted on the student will immediately disappear.



The results of our experiments confirm the validity of the law formulated by I. Newton. We will call it the law of the interaction of two bodies:

**If one body exerts a force on another, the second body exerts an equal and opposite force on the first. The forces of mutual interaction arise and disappear simultaneously. Each of them acts on a different body.**

This law is sometimes also called the law of action and reaction, because one of these forces is called the action and the other the reaction force.

This term for the forces of interaction is used in the name of jet engines, which are used in jet aircraft or rockets. They are based on the use of the reaction force that arises when gases flow out of the jets of an aircraft or rocket backwards. The action is the force with which the engines push the gases out of the jets. According to the law of action and reaction, the gases exert an equal force on the engines in the opposite direction. This propels the aircraft or rocket forward.

→ We can see this with a simple experiment. We inflate a fairground balloon, hold it with our hand and then let it go. The balloon pushes the air out using elastic forces. The reaction is the force of the flowing air, which pushes the balloon in the opposite direction.

? Can the forces of interaction be in equilibrium? For example, in Fig. 1.68a, the finger stretches the spring with a force  $F_2$ . The spring presses on the finger with an equal force  $F_1$  in the opposite direction, deforming it. The points of action of both forces are at the point of contact of the finger

65

# 1.17

a pružiny. Proto je často znázorňujeme v jednom bodě (A). Ve skutečnosti je působiště síly  $F_2$  v pružině a působiště síly  $F_1$  v prstu. Síly působí na různá tělesa, a proto se jejich účinky nemohou rušit. Síly jsou stejně velké, opačného směru, ale nejsou v rovnováze.

→ Pohybové účinky sil vzájemného působení si můžete ověřit pokusem podle obr. 1.72. Petr odstrkuje Kubu na skateboardu silou  $F_1$ . Ale pohybovat se začnou oba, protože současně Kuba působí silou  $F_2$  na Petra. V důsledku působení síly  $F_2$  se uvede do pohybu i Petr se svým skateboardem. Síly  $F_1$  a  $F_2$  jsou stejně velké, ale nejsou v rovnováze, protože každá působí na jiné těleso.

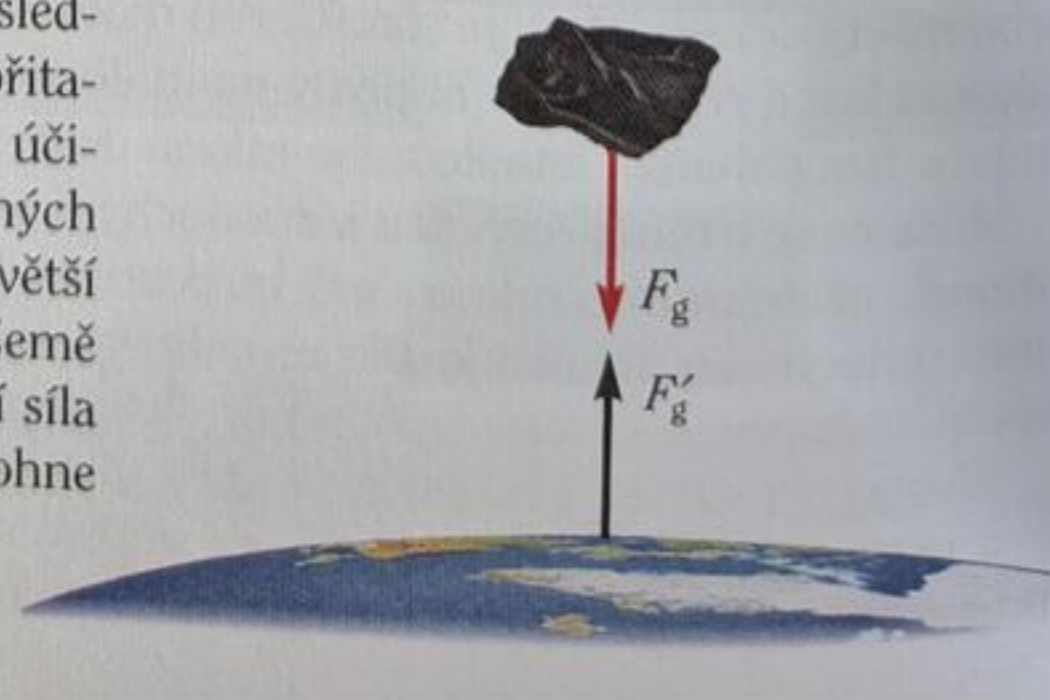
Obr. 1.72 a) Petr odstrčí skateboard s Kubou silou  $F_1$ .  
b) Současně Kuba odstrčí Petra stejně velkou silou  $F_2$  na druhou stranu.



**Síly vzájemného působení dvou těles působí vždy na dvě různá tělesa, proto se nemohou ve svých účincích rušit – nejsou v rovnováze.**

? Je opravdu působení dvou těles vždy vzájemné? Kámen padá k Zemi, protože Země ho přitahuje gravitační silou  $F_g$ . Podle zákona akce a reakce musí kámen přitahovat stejně velkou silou  $F'_g$  Zemi. Proč ale nepozorujeme, že by Země v důsledku působení této síly byla přitahována ke kameni? Pohybový účinek síly je při jinak stejných podmínkách tím menší, čím větší je hmotnost tělesa. Protože Země má velkou hmotnost, tak s ní síla o velikosti  $F'_g$ , prakticky nepohne (obr. 1.73).

Obr. 1.73 Kámen přitahuje Zemi stejně velkou silou  $F'_g$  jako Země přitahuje kámen.



of the force  $F_2$  is in the spring and the point of application of the force  $F_1$  is in the finger. The forces act on different bodies, and therefore their effects cannot cancel each other. The forces are equal in magnitude, opposite in direction, but not in equilibrium.

→ You can verify the motion effects of interacting forces by performing an experiment according to Fig. 1.72. Peter pushes Kuba away from his skateboard with a force  $F_1$ . But both of them start to move because Kuba simultaneously exerts a force  $F_2$  on Peter. As a result of the action of the force  $F_2$ , Peter and his skateboard also start to move. The forces  $F_1$  and  $F_2$  are equal in size, but they are not in equilibrium because each acts on a different body.

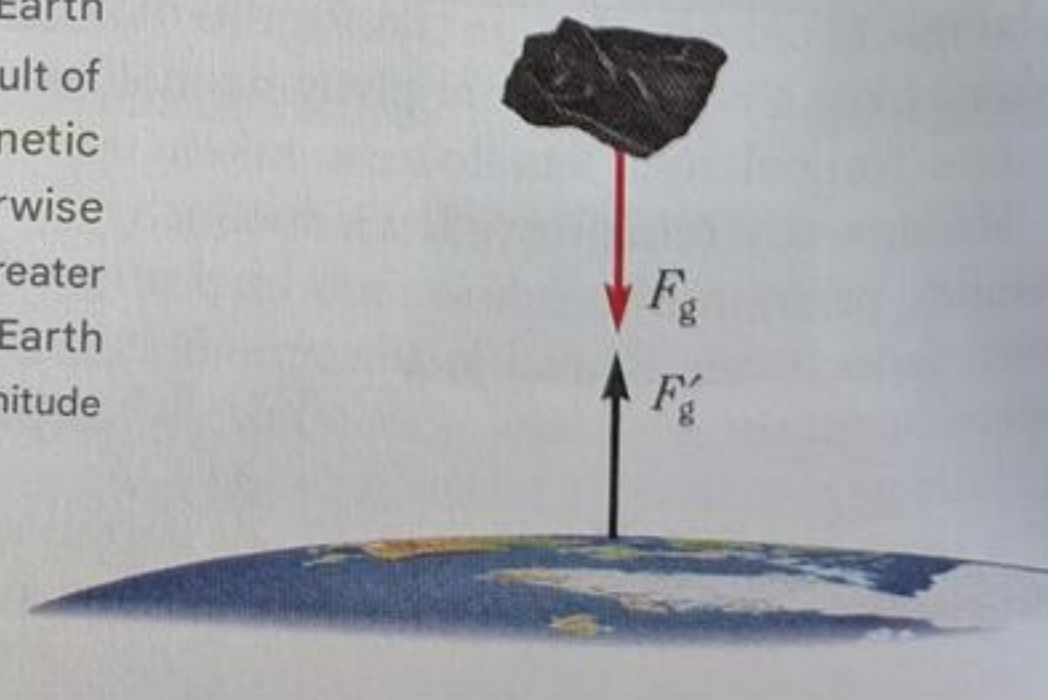
Fig. 1.72 a) Peter pushes the skateboard with Kuba away with a force of  $F_1$ .  
b) At the same time, Kuba pushes Peter with the same force  $F_2$  to the other side.



The forces of interaction between two bodies always act on two different bodies, therefore they cannot cancel each other out in their effects – they are not in equilibrium.

? Is the action of two bodies always mutual? A stone falls to the Earth because the Earth attracts it with a gravitational force  $F$ . According to the law of action and reaction, the stone must attract the Earth with an equally large force  $F$ . But why do we not observe that the Earth is attracted to the stone as a result of the action of this force? The kinetic effect of the force, under otherwise equal conditions, is smaller, the greater the mass of the body. Since the Earth has a large mass, a force of the magnitude  $\Phi$  (1.73).

Fig. 1.73 The stone attracts the Earth equally with a large force  $F$  like the Earth attracts stone.



## Otázky a úlohy

1. Vyslov zákon vzájemného působení dvou těles.
2. Mohou být síly vzájemného působení dvou těles v rovnováze? Zdůvodni svou odpověď. Uveď příklady.
3. Tlačíš-li rukou na stěnu silou  $F_1$ , působí stěna na ruku silou  $F_2$ .
  - a) Co platí pro velikost, směr a působiště těchto sil? Nakresli obrázek.
  - b) Jestliže přestane působit síla  $F_1$ , jak dlouho bude ještě působit síla  $F_2$ ?

- U**
1. Na jeden lehce pohyblivý vozík upevni magnet a na druhý ocelovou tyčku. Ke každému vozíku připevni jeden siloměr (obr. 1.69).
    - a) Nastav vozíky do vzdálenosti asi 2 cm od sebe. Zjisti na siloměrech, jak velkými silami se tyčka a magnet přitahují.
    - b) Pokus opakuj pro různé vzdálenosti vozíků, včetně dotyku magnetu a tyčky.
    - c) Vyslov závěr pro velikost a směr sil vzájemného působení tyčky a magnetu v jednotlivých případech.
  2. a) Dívka v modrém tričku na kolečkových bruslích odstrčí svou kamarádku silou  $F_1$  (obr. 1.74). Popiš, jak se změní poloha dívek vzhledem k čáře na zemi. Zdůvodni své tvrzení. Máš-li možnost, ověř si správnost pokusu na hřišti.

Obr. 1.74 K úloze 2



3. Prohlédni si znovu obr. 1.26. V každém z obrázků a), b), c) popiš síly vzájemného působení.

U každé síly uveď, na co nebo na koho působí a jaký má účinek.

4. Na vodorovné desce stolu leží v klidu koule o hmotnosti 0,3 kg.
  - a) Znázorni všechny síly působící na kouli. Jsou tyto síly v rovnováze?
  - b) Znázorni síly vzájemného působení koule a desky stolu. Jsou tyto síly v rovnováze? Zdůvodni.

## Questions and tasks

1. State the law of mutual interaction between two bodies.
2. Can the forces acting on two bodies be in equilibrium? Justify your answer. Give examples.
3. If you push your hand against a wall with a force  $F_1$ , the wall exerts a force  $F_2$  on your hand.
  - a) What is true about the magnitude, direction, and location of these forces? Draw a picture.
  - b) If force  $F_1$  ceases to act, how long will force  $F_2$  continue to act?

**AT**

1. Attach a magnet to one easily movable cart and a steel rod to the other. Attach a force gauge to each cart (Fig. 1.69).
  - a) Set the carts about 2 cm apart. Use the force gauges to determine how strongly the rod and magnet attract each other.
  - b) Repeat the experiment for different distances between the carts, including touching the magnet and the rod.
  - c) State a conclusion for the magnitude and direction of the forces of interaction between the rod and the magnet in each case.
2. a) A girl in a blue T-shirt on roller skates pushes her friend away with a force  $F_1$  (Fig. 1.74). Describe how the girls' positions change with respect to the line on the ground. Justify your statement. If possible, verify the correctness of your statement by experimenting on the playground.

Fig. 1.74 For task 2



3. Look again at Fig. 1.26. In each of the figures a), b), c) describe the forces of mutual action.

For each force, state what or whom it acts on and what effect it has.

4. A ball weighing 0.3 kg is at rest on a horizontal tabletop.
  - a) Show all the forces acting on the sphere. Are these forces in equilibrium?
  - b) Illustrate the forces acting on the ball and the tabletop. Are these forces in equilibrium? Give reasons.

1.17

5. Na vodorovnou desku polož čer-  
vený a modrý míč tak, aby se  
navzájem dotýkaly. Přitlač je  
hodně k sobě (obr. 1.75). Potom  
je uvolni.

a) Vysvětli vzájemné silové půso-  
bení k sobě přitlačených míčů.

b) Překresli obrázek do sešitu,  
červeně znázorni sílu  $F_1$ , kterou  
působí červený míč na modrý,  
a modře znázorni sílu  $F_2$ , kterou  
působí modrý míč na červený.

c) Porovnej velikosti a směry sil  
 $F_1$  a  $F_2$ .

d) Jsou síly  $F_1$  a  $F_2$  v rovnováze?

6. a) Dívka drží psa na napnutém  
vodítku (obr. 1.76). Znázorni síly  
vzájemného působení psa a dívky.  
Mohou být tyto síly v rovnováze?  
Zdůvodni.

b) Zkus vysvětlit, proč působením stejně velké síly přitáhne dívka k sobě  
psa, ale pes dívku nepřitáhne.

7. Vysvětli, proč když z hadice se sprchou (obr. 1.77) prudce vytéká voda,  
odkloní se hadice v opačném směru než vytékající voda. Vysvětli a uveď  
příklad využití tohoto jevu.

Obr. 1.75 K úloze 5



Fig. 1.75 For task 5



1.17

5. Place the red and blue balls on a  
horizontal board so that they touch  
each other. Press them very close  
together (Fig. 1.75). Then release  
them.

a) Explain the mutual force acting  
on the balls pressed together.

b) Redraw the picture in your notebook,  
**showing in red the force  $F_1$**   
exerted by the red ball on the blue  
one, and in blue the force  $F_2$  exerted  
by the blue ball on the red one.

c) Compare the magnitudes and directions of the forces  
 $F_1$  and  $F_2$ .

d) Are the forces  $F_1$  and  $F_2$  in equilibrium?

6. a) A girl is holding a dog on a tight leash  
(Fig. 1.76). Illustrate the forces acting  
on each other between the dog and the  
girl. Can these forces be in equilibrium?  
Give reasons.

b) Try to explain why, with the same force, the girl will pull the dog towards her,  
but the dog will not pull the girl.

7. Explain why, when water flows rapidly from a shower hose (Fig. 1.77), the hose  
deflects in the opposite direction to the flowing water. Explain and give an example of  
how this phenomenon can be used.

Obr. 1.76 K úloze 6



Obr. 1.77 K úloze 7



Fig. 1.76 For task 6



Fig. 1.77 For task 7

## Úlohy k opakování a shrnutí učiva článků 1.7 až 1.17

1.17

1. Mohou být v rovnováze tři síly působící v témže bodě tělesa v jedné přímce? Znázorni takový případ.

2. Na obr. 1.78 je stejnorodá koule o hmotnosti 200 g zavěšena na nehybné niti vzhledem k Zemi.

a) Jakou silou  $F_g$  působí Země na kouli? Znázorni ji do obrázku ve vhodném měřítku.

b) Na kouli působí síla  $F_g$  a současně tahová síla nitě  $F_1$ . Jsou tyto síly v rovnováze? Zdůvodni.

c) Koule působí na nit tahovou silou  $F_2$ . Síly  $F_2$  a  $F_1$  jsou stejně velké, opačného směru. Jsou tyto síly v rovnováze? Zdůvodni.

d) Co by se stalo s koulí, kdybychom přepálili nit? Jaké síly by pak na kouli působily?

3. Uveď nárazem ruky do pohybu kuličku po desce stolu tak, aby kulička přepadla přes okraj desky. Jakou čáru opisuje kulička? Pokus se ji nakreslit. Jak se přitom uplatní setrvačnost kuličky a jak gravitační síla  $F_g$ , kterou Země působí na kuličku?

4. Na základě úlohy 3 vysvětli, proč musí výsadkář seskočit z letadla dřív, než se dostane nad místo stanovené k přistání. Proč po opuštění letadla nepadá výsadkář svisle dolů?

5. Kosmická loď se pohybuje po oběžné trajektorii kolem Země stálou rychlostí. Jestliže kosmonaut oblečený do speciálního skafandru vystoupí z lodi do vnějšího prostoru, loď se od něho nevzdaluje. Vysvětli, jak se při tom uplatní setrvačnost kosmonauta a jak setrvačnost lodi.

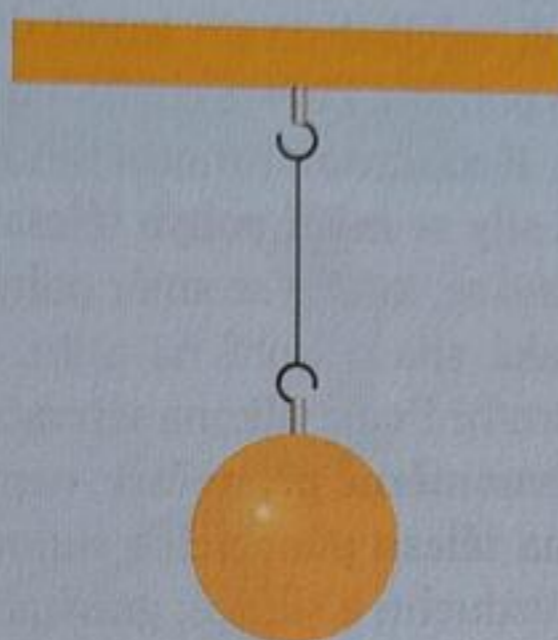
6. Objasni význam bezpečnostních pásů v automobilu při autonehodě.

7. Ve školní jídelně si žáci přenášejí v talířích polévku k jídelním stolům. Proč se polévka vylije přes okraj talíře, když se žák prudce zastaví?

8. Vysvětli, proč se umělá družice uvedená nosnou raketou na oběžnou trajektorii kolem Země nezastaví, když palivo motoru shoří. Jak se při tom uplatní setrvačnost umělé družice? Která síla zakřivuje trajektorii družice?

9. Vyskočíš z neupoutané loďky na břeh jezera. Co se děje s loďkou ve vodě? Popiš vzájemné působení svého těla a loďky v okamžiku skoku.

Obr. 1.78 K úloze 2



## Tasks for reviewing and summarizing the content of articles 1.7 to 1.17

1.17

1. Can three forces acting at the same point on a body in one straight line be in equilibrium? Illustrate such a case.

2. In Fig. 1.78, a uniform sphere of mass 200 g is suspended from a fixed thread relative to the Earth.

a) What force  $F_g$  does the Earth exert on the sphere? Show it in the figure to an appropriate scale.

b) The ball is acted upon by a force  $F_1$  and at the same time by the tensile force of the thread  $F_1$ . Are these forces in equilibrium? Justify.

c) The ball exerts a tensile force  $F_2$  on the thread. The forces  $F_2$  and  $F_1$  are equal in magnitude and opposite in direction. Are these forces in equilibrium? Justify.

d) What would happen to the ball if we burned the thread? What forces would then act on the ball?

3. Use your hand to set the ball in motion on the tabletop so that it falls over the edge of the tabletop. What line does the ball describe? Try to draw it. How does the ball's inertia come into play and how does the gravitational force  $F_g$  exerted by the Earth on the ball affect it?

4. Based on problem 3, explain why a paratrooper must jump out of the plane before reaching the designated landing spot. Why doesn't the paratrooper fall vertically after leaving the plane?

5. A spaceship is moving in an orbit around the Earth at a constant speed. If an astronaut wearing a special spacesuit steps out of the ship into outer space, the ship does not move away from him. Explain how the inertia of the astronaut and the inertia of the ship come into play.

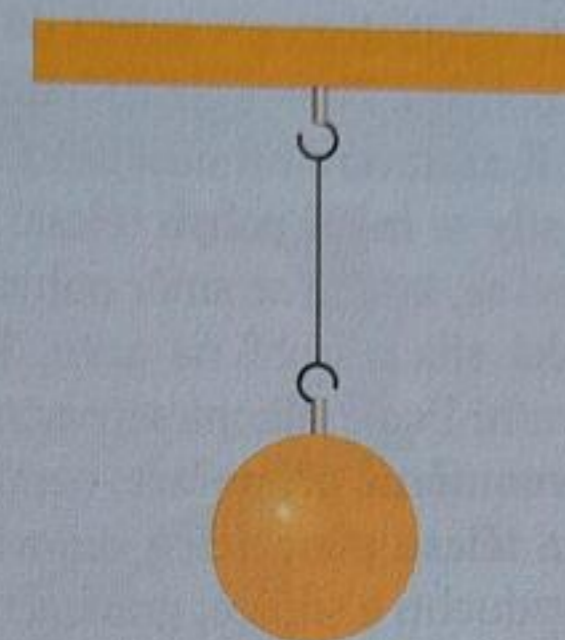
6. Explain the importance of seat belts in a car during a car accident.

7. In the school cafeteria, students are carrying soup in plates to the dining tables. Why does the soup spill over the edge of the plate when the student stops abruptly?

8. Explain why an artificial satellite launched by a launch vehicle into orbit around the Earth does not stop when the engine fuel burns out. How does the inertia of the artificial satellite come into play? What force bends the satellite's trajectory?

9. You jump from an untied boat onto the shore of a lake. What happens to the boat in the water? Describe the interaction between your body and the boat at the moment of the jump.

Fig. 1.78 For task 2



## 1.18 OTÁČIVÉ ÚČINKY SÍLY

V předcházejících článcích jsme zkoumali **posuvné účinky síly**. Zjistili jsme, že změny rychlosti nebo směru posuvného pohybu tělesa závisí na tom, jak velká síla na těleso působí, a také na hmotnosti tělesa. Čím větší silou uhodí volejbalista při smechu do míče, tím více ho urychlí a také změni směr jeho pohybu. Zkuste chytit letící tenisový míček a stejně rychle letící fotbalový míč. K zastavení hmotnějšího míče potřebujete mnohem větší sílu. Působením síly se **mění pohyb** tělesa: urychluje se, zpomaluje, začne se pohybovat, zastaví se, změni se směr pohybu.

Jaká síla působí na auto, které jede po přímé dálnici stálou rychlostí 90 km/h? Podle zákona setrvačnosti, i když se těleso pohybuje velikou rychlostí **rovnoměrně přímočaře**, nepůsobí na něj buď žádná síla, nebo je **výslednice sil na těleso působících nulová**. Na auto působí tahová síla motoru, brzděné síly vzduchu a silnice, gravitační síla, tlaková síla silnice, ale jejich výslednice musí být při stálé rychlosti nulová.

V mnoha praktických zařízeních se využívá **otáčivých účinků síly**. Stačí, když se rozhlédnete kolem sebe, a jistě uvedete mnoho příkladů. Silou svých svalů uvádíme do otáčivého pohybu např. kliku dveří, okno, držadlo nůžek, otvírač na láhve, kliku od ořezávků na tužky, ale také své předloktí.

? Na čem závisí otáčivý účinek síly?

→ Zkuste zavřít dveře tak, že budete nejdříve tlačit prstem u kliky a potom blízko pantů. Co jste zjistili? Ve větší vzdálenosti od osy otáčení dveří stačí menší síla k uvedení dveří do pohybu. Otáčivý účinek zřejmě závisí nejen na velikosti síly, ale i na tom, kde a kterým směrem síla působí. V následujících článcích prozkoumáme tyto otázky podrobněji.

### 1.18 Účinek síly na těleso otáčivé kolem pevné osy. Páka

Pokud se houpají dvě děti o stejné hmotnosti a každé z nich sedí na jednom konci prkna houpačky (obr. 1.79a), jde jim to dobře. Může se však dívka houpat se svým spolužákem, který má větší hmotnost než ona (obr. 1.79b)? Dovedli byste ze své zkušenosti poradit, kam si mají na prkno sednout?

→ Udělejte si model takové houpačky. Pravítko položte na tužku tak, aby bylo vodorovně. (Aby se tužka nekulála, můžete ji přichytit kouskem plastelíny třeba ke krabičce od zápalek.) Místo dětí dávejte na pravítko mince nebo ocelové matičky. Dáte-li na oba konce pravítka stejné mince, pravítko zůstane vodorovně (obr. 1.80a). Napravo nechte jednu minci a vlevo umístěte dvě stejné mince na sebe tak, aby pravítko bylo opět vodorovně (obr. 1.80b). Kam jste je museli umístit? Teď už jistě poradíte dětem z obr. 1.79b.

## 1.18 ROTATING FORCE EFFECTS

In previous articles, we have examined the *sliding effects* of force. We have found that changes in the speed or direction of the body, and on the mass of the body. The greater the force of its of a body's sliding motion depend on the force applied to motion. Try catching a flying tennis ball and a soccer ball flying at the same speed. You need much more force to stop a heavier ball. Applying force changes the motion of the body: it accelerates, slows down, starts moving, stops, changes direction.

What force acts on a car traveling on a straight highway at a constant speed of 90 km/h? According to the law of inertia, even if a body moves at high speed uniformly in a straight line, either no force acts on it or the resultant of the forces acting on the body is zero. The car is acted upon by the engine's thrust, the braking forces of the air and the road, the force of gravity, and the pressure force of the road, but their resultant must be zero at a constant speed.

Many practical devices use the rotational effects of force. Just look around you and you will surely come up with many examples. With the force of our muscles, we set a door handle, a window, a scissor handle, a bottle opener, a pencil sharpener handle, but also our forearms into rotational motion.

? What does the rotating effect of a force depend on?

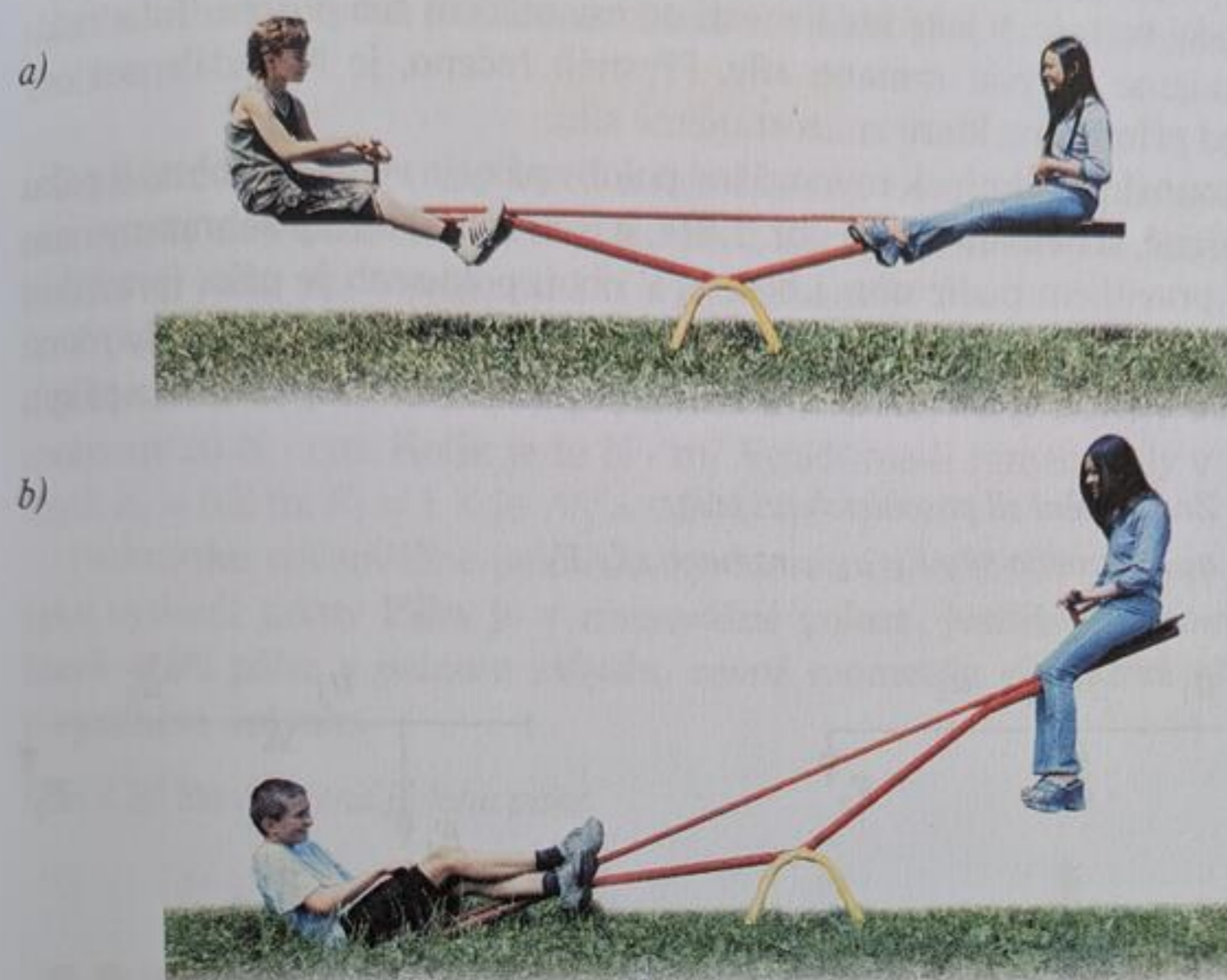
→ Try closing the door by first pressing your finger near the handle and then near the hinges. What did you find? The farther away from the door's pivot point, the less force is needed to move the door. The turning effect appears to depend not only on the magnitude of the force, but also on where and in which direction the force is applied. We will explore these issues in more detail in future articles.

### 1.18 The effect of a force on a body rotating around a fixed axis. Lever

If two children of the same weight are swinging and each of them sits at one end of the swing board (Fig. 1.79a), they are doing well. However, can a girl swing with her classmate who weighs more than her (Fig. 1.79b)? From your experience, can you advise where they should sit on the board?

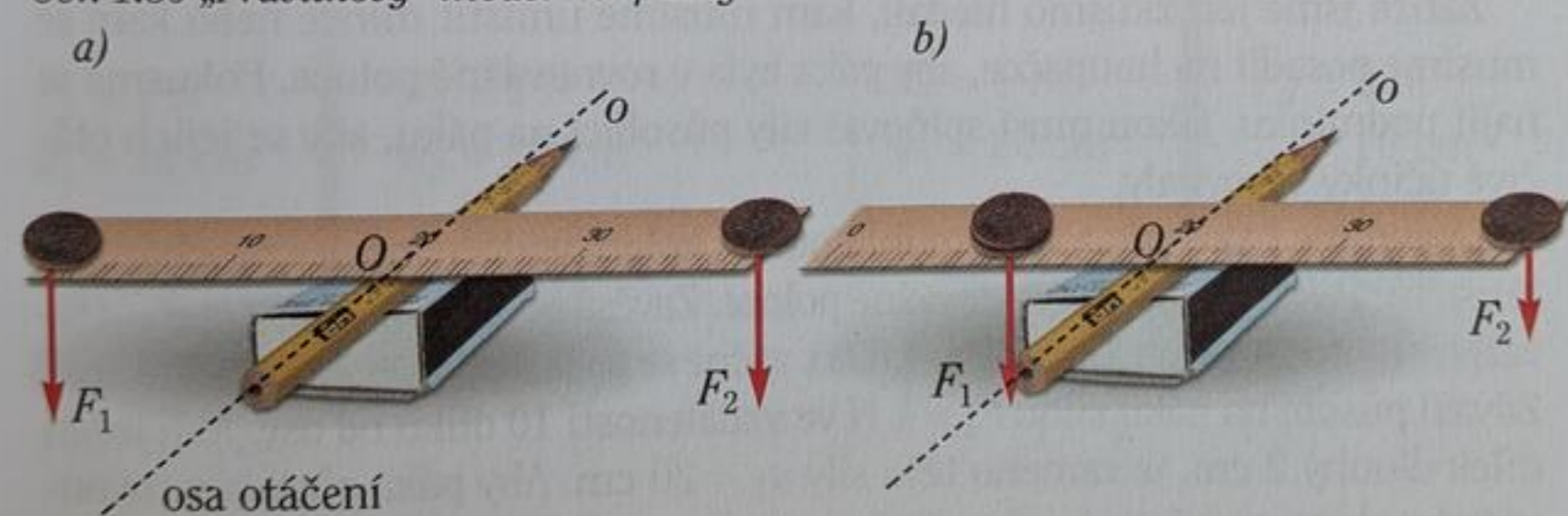
→ Make a model of such a swing. Place the ruler on a pencil so that it is horizontal. (To prevent the pencil from rolling, you can attach it to a matchbox with a piece of plasticine.) Instead of children, place coins or steel nuts on the ruler. If you put the same coins on both ends of the ruler, the ruler will remain horizontal (Fig. 1.80a). Leave one coin on the right and place two identical coins on top of each other on the left so that the ruler is horizontal again (Fig. 1.80b). Where did you have to place them? Now you can probably tell the children from Fig. 1.79b.

Obr. 1.79 Umístění dětí na houpačce



1.18

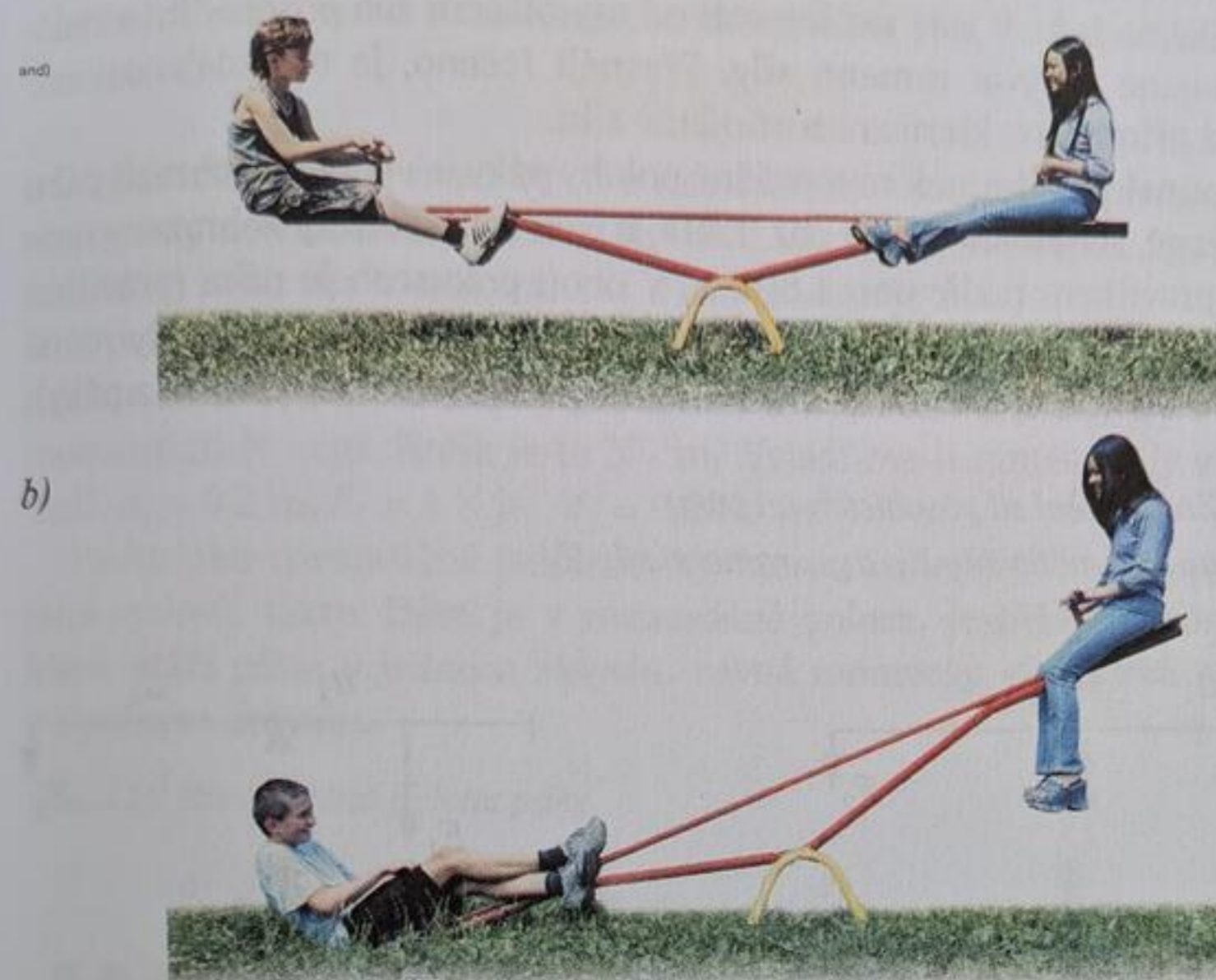
Obr. 1.80 „Pravítkový“ model houpačky



Houpačka i pravítko v našem pokusu jsou příklady zařízení, které nazýváme **páka**. Je to tyč, která je otáčivá kolem osy. V pokusu s pravítkem představuje **osu otáčení** přímka dotyku tužky s pravítkem.

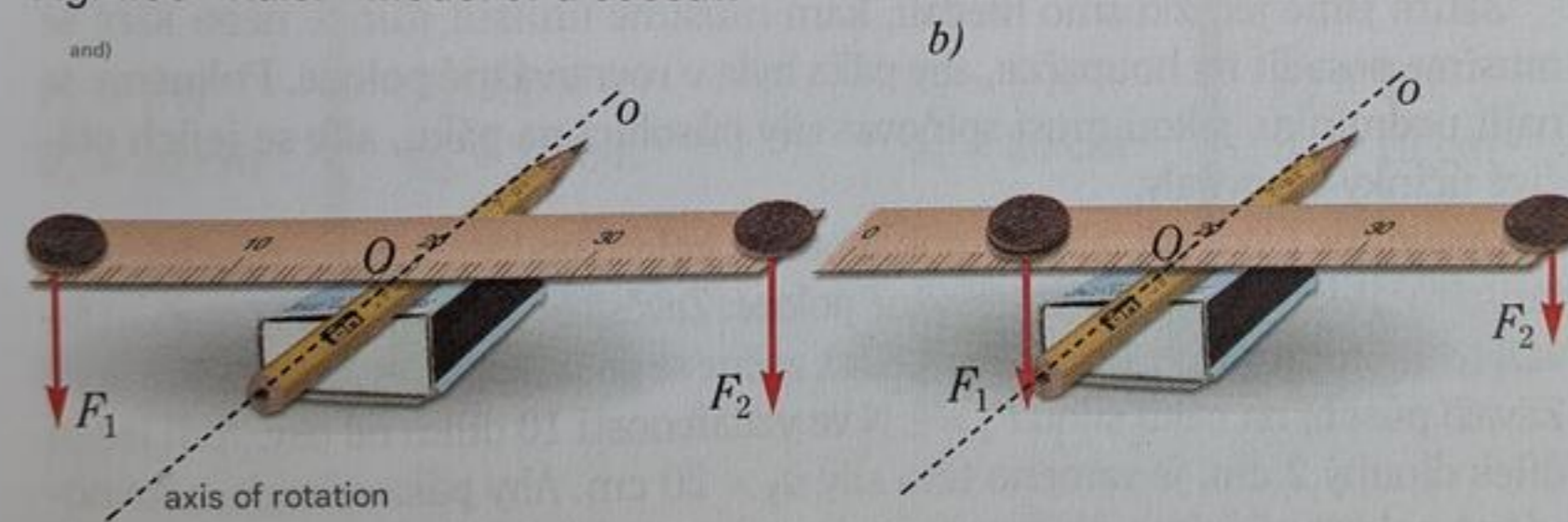
Pravítko zůstane vodorovné, když mince o dvojnásobné hmotnosti, které tlačí na pravítko dvakrát větší silou, posuneme do poloviční vzdálenosti od osy otáčení, než je jedna mince. Vyzkoušejte si, kam musíte umístit tři nebo čtyři stejné mince, aby bylo pravítko opět v rovnovážné poloze. Má-li tlaková síla jedné mince vyrovnat otáčivé účinky síly více mincí na páku, musí působit ve větší vzdálenosti od osy otáčení. Proto si hmotnější chlapec na houpačce musí sednout blíž k ose otáčení než dívka. Pak bude houpačka ve volné rovnovážné poloze, protože bude podepřena pod těžištěm. Když se jedno z dětí odrazí nohama od země, budou se houpat.

Fig. 1.79 Placing children on a swing



1.18

Fig. 1.80 "Ruler" model of a seesaw



Both the seesaw and the ruler in our experiment are examples of a device called a lever. It is a rod that rotates about an axis. In the ruler experiment, the axis of rotation is the line of contact between the pencil and the ruler.

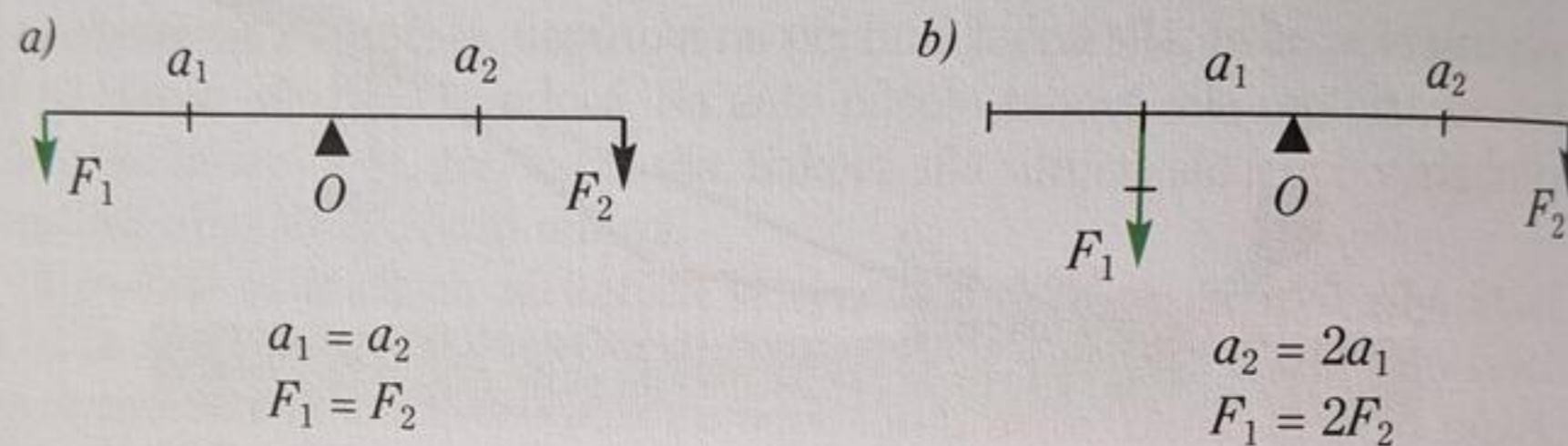
The ruler will remain horizontal if coins of twice the mass, which are pushing on the ruler with twice the force, are moved half as far from the axis of rotation as one coin. Try to find out where you need to place three or four identical coins to bring the ruler back to equilibrium. If the pressing force of one coin is to balance the rotating effects of the force of more coins on the lever, it must act at a greater distance from the axis of rotation. Therefore, the heavier boy on the swing must sit closer to the axis of rotation than the girl. Then the swing will be in free equilibrium, because it will be supported under the center of gravity. When one of the children pushes his feet off the ground, they will swing.

Z našich pokusů vyplývá, že otáčivé účinky síly závisí nejen na velikosti síly, ale také na tom, v jaké vzdálenosti od osy otáčení síla působí. Tuto vzdálenost budeme nazývat **rameno síly**. Přesněji řečeno, je to vzdálenost osy otáčení od přímky, na které znázorníme sílu.

Pro zkoumání podmínek rovnovážné polohy páky je výhodné **zobrazit páku** zjednodušeně, schematicky. Na obr. 1.81a, b jsou schematicky zobrazeny naše pokusy s pravítkem podle obr. 1.80a, b. V obou pokusech je páka (pravítko) ve vodorovné poloze a síly působí svisle. V tom případě se rameno síly rovná vzdálenosti bodu  $O$  od působíště síly (bod  $O$  je průsečíkem osy otáčení a páky).

Obr. 1.81 Znázornění sil působících na páku

$a_1$  ... rameno síly  $F_1$ ,  $a_2$  ... rameno síly  $F_2$



☐ Zatím jsme jen zkusmo hledali, kam musíme umístit mince nebo kam se musíme posadit na houpačce, aby páka byla v rovnovážné poloze. Pokusme se najít podmínku, jakou musí splňovat síly působící na páku, aby se jejich otáčivé účinky vyrovnaly.

→ Upevníme páku tak, aby se mohla otáčet kolem vodorovné osy procházející těžištěm. Páka je ve volné rovnovážné poloze. Zavěsíme-li vlevo od osy otáčení závaží o hmotnosti např. 100 g (obr. 1.82a), začne se páka otáčet levým koncem dolů. Závaží působí na páku silou  $F_1 = 1$  N ve vzdálenosti 10 dílků od osy. Je-li jeden dílek dlouhý 2 cm, je rameno této síly  $a_1 = 20$  cm. Aby páka zůstala v rovnovážné poloze, musíme současně vpravo od osy otáčení na konec páky zavěsit stejné závaží. Pokusme se otáčivý účinek síly  $F_1$  vyrovnat postupně pomocí dvou (obr. 1.82b) a pak pěti stejných závaží (obr. 1.82c). Můžeme zkoušet další možnosti, např. zavěsíme závaží vlevo od osy otáčení do vzdálenosti 6 dílků, takže rameno síly  $F_1$  bude  $a_1 = 12$  cm. Otáčivý účinek této síly můžeme vyrovnat např. zavěšením tří stejných závaží vpravo do vzdálenosti dvou dílků od osy otáčení (obr. 1.82d). Prohlédněte si na obr. 1.82 výsledky našich pokusů. Ve všech čtyřech případech je páka v rovnovážné poloze, když platí:

**síla působící vlevo · rameno síly = síla působící vpravo · rameno síly**

$$F_1 a_1 = F_2 a_2$$

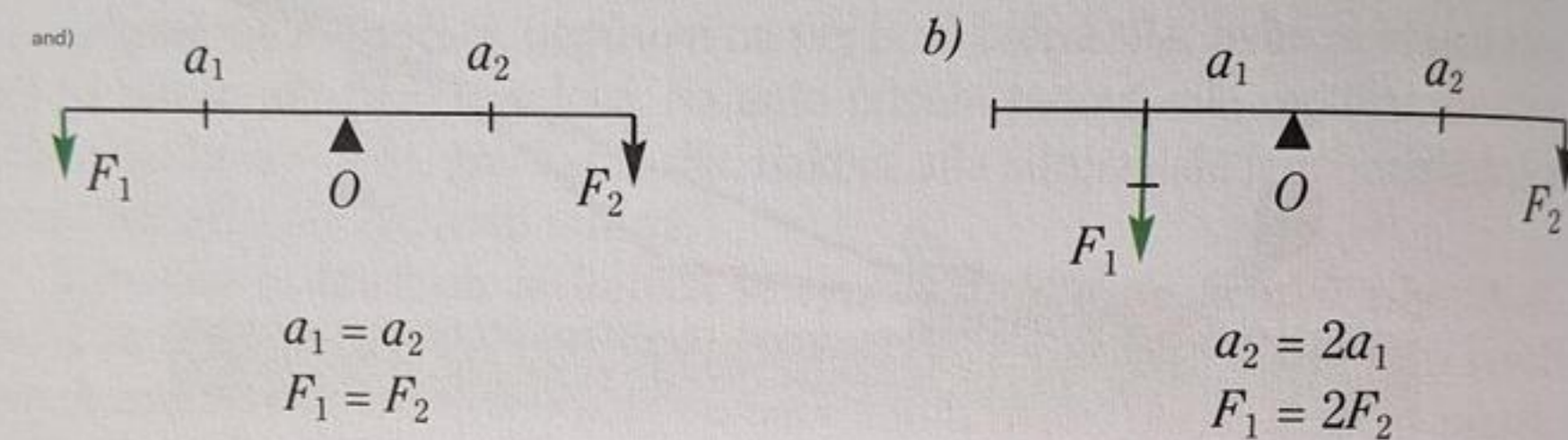
Z obr. 1.81 je vidět, že tato podmínka byla splněna i pro rovnovážnou polohu pravítka s mincemi.

Our experiments show that the rotational effects of a force depend not only on the magnitude of the force, but also on the distance from the axis of rotation that the force acts. We will call this distance the arm of the force. More precisely, it is the distance of the axis of rotation from the line on which we represent the force.

To investigate the conditions of the equilibrium position of a lever, it is advantageous to depict the lever in a simplified, schematic way. Fig. 1.81a, b schematically show our experiments with a ruler according to Fig. 1.80a, b. In both experiments, the lever (ruler) is in a horizontal position and the forces act vertically. In this case, the arm of the force is equal to the distance of point  $O$  from the point of application of the force (point  $O$  is the intersection of the axis of rotation and the lever).

Fig. 1.81 Illustration of forces acting on a lever

$a_1$  ... force arm  $F_1$ ,  $a_2$  ... force arm  $F_2$



☐ So far we have only tentatively looked for where we need to place the coins or where we need to sit on the seesaw so that the lever is in equilibrium. Let us try to find the condition that the forces acting on the lever must satisfy so that their rotational effects are balanced.

→ We fix the lever so that it can rotate around a horizontal axis passing through the center of gravity. The lever is in a free equilibrium position. If we hang a weight of, for example, 100 g to the left of the axis of rotation (Fig. 1.82a), the lever will start to rotate with its left end down. The weight acts on the lever with a force  $F_1 = 1$  N at a distance of 10 divisions from the axis. If one division is 2 cm long, the arm of this force is  $a_1 = 20$  cm. In order for the lever to remain in an equilibrium position, we must simultaneously hang the same weight to the right of the axis of rotation at the end of the lever. Let us try to balance the rotating effect of the force  $F_1$  gradually using two (Fig. 1.82b) and then five identical weights (Fig. 1.82c). We can try other options, for example, we hang a weight to the left of the axis of rotation at a distance of 6 divisions, so that the arm of the force  $F_1$  will be  $a_1 = 12$  cm. We can balance the rotating effect of this force, for example, by hanging three identical weights to the right at a distance of two divisions from the axis of rotation (Fig. 1.82d). See the results of our experiments in Fig. 1.82. In all four cases, the lever is in equilibrium when:

**force acting on the left arm of force = force acting on the right arm of force**

$$F_1 a_1 = F_2 a_2$$

From Fig. 1.81 it can be seen that this condition was also met for the equilibrium position of the ruler with coins.

Z našich pokusů vyplývá, že otáčivý účinek závisí na součinu velikosti síly a jejího ramene. Tento součin nazýváme **moment síly**. Budeme ho značit písmenem  $M$ :

$$M = Fa$$

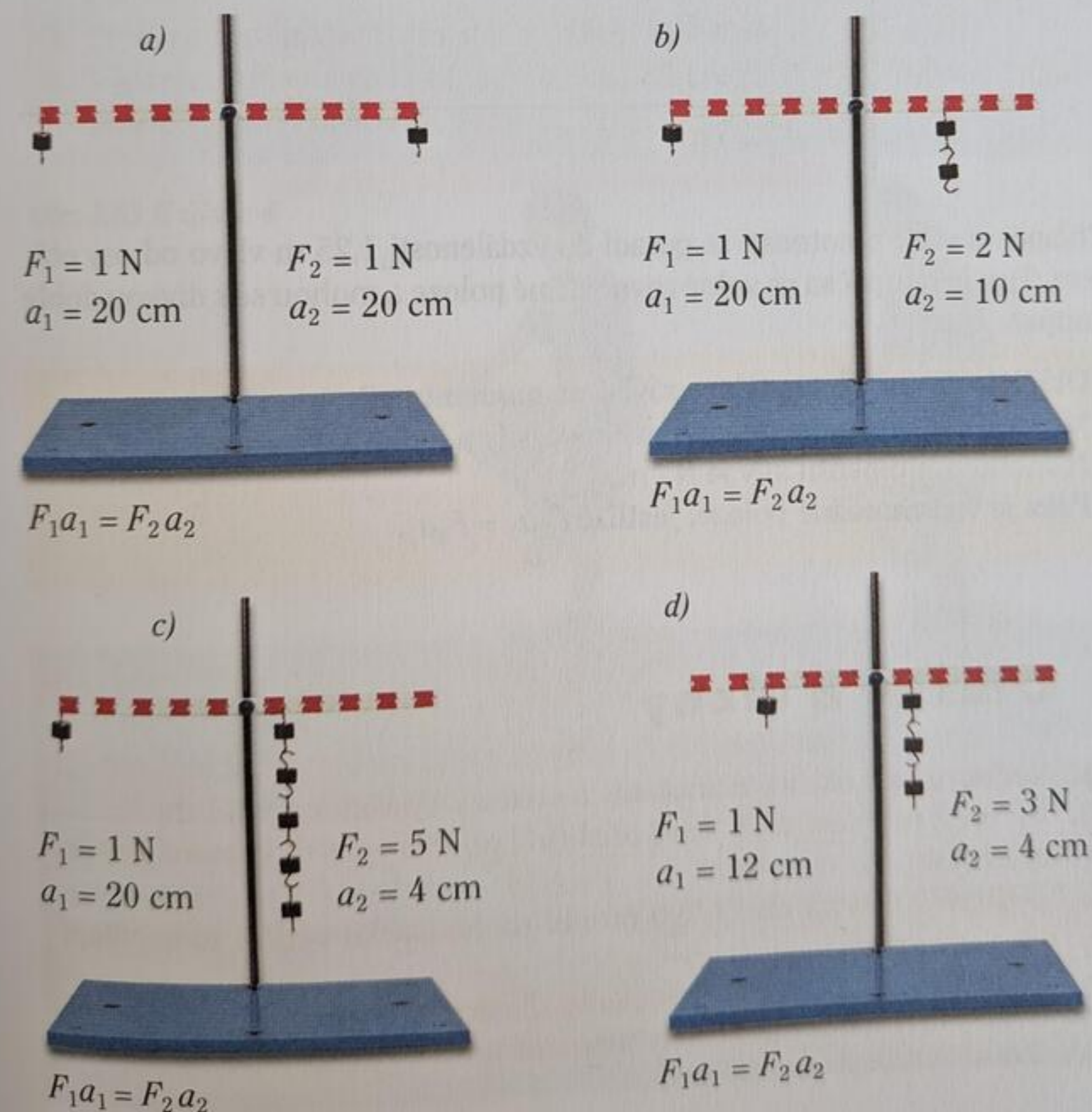
1.18

Vyjádříme-li sílu v newtonech a rameno síly v metrech, je jednotkou momentu síly **newtonmetr** ( $\text{N} \cdot \text{m}$ ). Moment síly je roven  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ , jestliže např. působí na páku síla o velikosti  $1 \text{ N}$  a její rameno je  $1 \text{ m}$ .

V pokusech podle obr. 1.82 jsme použili menší jednotku momentu síly newtoncentimetr ( $\text{N} \cdot \text{cm}$ ): v obrázcích a), b) i c) mají síly  $F_1$  a  $F_2$  stejný moment  $20 \text{ N} \cdot \text{cm}$ . Kolik je to  $\text{N} \cdot \text{m}$ ? Vyjádříme-li rameno síly v metrech, např.  $a_1 = 0,2 \text{ m}$ ,  $F_1 = 1 \text{ N}$  je  $M_1 = 0,2 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

Podmínku rovnovážné polohy páky, kterou jsme zjistili pokusy, můžeme také vyslovit takto: **Páka je v rovnovážné poloze, jestliže se moment síly, která otáčí páku v jednom smyslu, rovná momentu síly, která otáčí páku v opačném smyslu.**

Obr. 1.82 Rovnovážná poloha páky



Our experiments show that the rotating effect depends on the product of the magnitude of the force and its arm. This product is called the **moment of force**. We will denote it by the letter  $M$ :

$$M = Fa$$

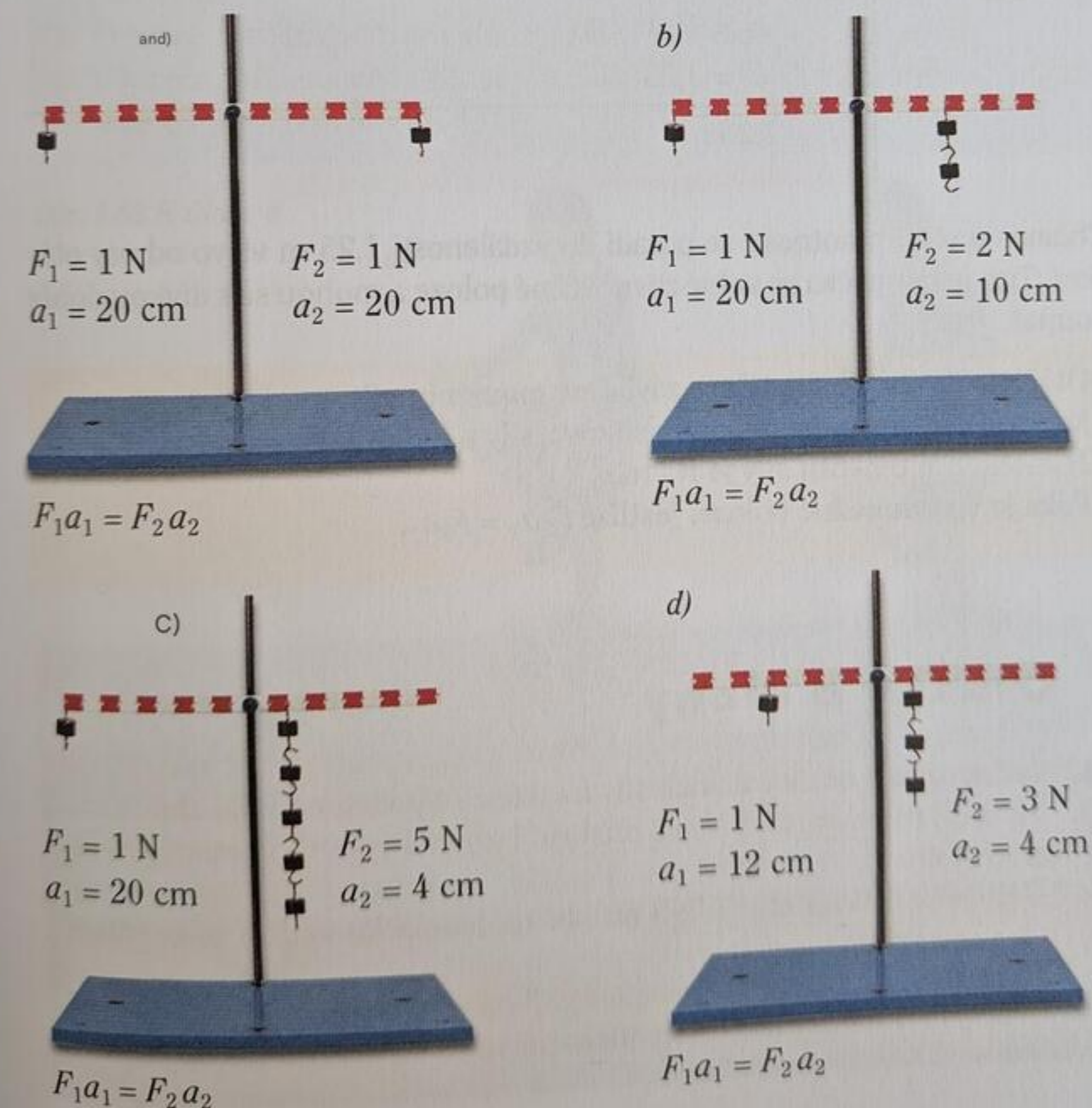
1.18

If we express the force in newtons and the lever arm in meters, the unit of moment of force is the newton meter ( $\text{Nm}$ ). The moment of force is equal to  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ , if, for example, a force of  $1 \text{ N}$  acts on a lever and its lever arm is  $1 \text{ m}$ .

In the experiments according to Fig. 1.82 we used a smaller unit of moment of force newton centimeter ( $\text{N} \cdot \text{cm}$ ): in figures a), b) and c) the forces  $F_1$  and  $F_2$  have the same moment of  $20 \text{ N} \cdot \text{cm}$ . How much is this  $\text{N} \cdot \text{m}$ ? If we express the arm of force in meters, e.g.  $a_1 = 0.2 \text{ m}$ ,  $F_1 = 1 \text{ N}$ , then  $M_1 = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

The condition for the equilibrium position of a lever, which we have determined experimentally, can also be stated as follows: The lever is in equilibrium if the moment of the force that rotates the lever in one direction is equal to the moment of the force that rotates the lever in the opposite direction.

fig. 1.82 Equilibrium position of the lever



Nyní již dovedeme určit, do jaké vzdálenosti od osy otáčení houpačky se má posadit chlapec o větší hmotnosti (obr. 1.79b), aby se mohl dobře houpat se spolužačkou o menší hmotnosti. Uvedeme příklad.



### Příklad

Dívka o hmotnosti 25 kg sedí ve vzdálenosti 2 m vpravo od osy otáčení houpačky. Kam si má sednout chlapec o hmotnosti 40 kg vlevo od osy otáčení, aby se mohli dobře houpat?

### Řešení:

$$m_1 = 40 \text{ kg}$$

$$m_2 = 25 \text{ kg}$$

$$a_2 = 2 \text{ m}$$

$$a_1 = ? \text{ m}$$

$$F_1 = ? \text{ N}$$

$$F_2 = ? \text{ N}$$

$$F_1 = m_1 g = 40 \cdot 10 \text{ N} = 400 \text{ N}$$

$$F_2 = m_2 g = 25 \cdot 10 \text{ N} = 250 \text{ N}$$

Houpačka se dobře houpe je-li ve volné rovnovážné poloze.

Musí tedy platit:  $F_1 a_1 = F_2 a_2$

Pro číselné hodnoty platí rovnice:

$$400 \cdot a_1 = 250 \cdot 2$$

$$a_1 = 500 : 400$$

$$a_1 = 1,25$$

$$a_1 = 1,25 \text{ m}$$

Chlapec o větší hmotnosti se posadí do vzdálenosti 1,25 m vlevo od osy otáčení. Tím je houpačka ve volné rovnovážné poloze a mohou se s dívkou dobře houpat.

**Otáčivý účinek síly na těleso závisí na momentu síly.**

**Moment síly je roven součinu velikosti síly a jejího ramena.**

Jednotkou momentu síly je N · m.

Páka je v rovnovážné poloze, jestliže  $F_1 a_1 = F_2 a_2$ .

## Otázky a úlohy

1. Na čem závisí otáčivý účinek síly na těleso? Vysvětli na příkladu.
2. Jak určíš moment síly? Napiš příslušný vztah a vysvětli význam jednotlivých veličin.
3. a) Které z dětí na obr. 1.79b působí na houpačku větším momentem síly? Zdůvodni.  
b) Navrhni, jak se mohou momenty sil obou dětí vyrovnat.
4. V kterých jednotkách měříme moment síly?

We can now determine how far from the axis of rotation of the swing a boy with a greater mass should sit (Fig. 1.79b) so that he can swing well with a classmate with a lesser mass. Let's give an example.



### Example

A girl weighing 25 kg sits 2 m to the right of the axis of rotation of the swing. Where should a boy weighing 40 kg sit to the left of the axis of rotation so that they can swing well?

### Solution:

$$m_1 = 40 \text{ kg}$$

$$m_2 = 25 \text{ kg}$$

$$a_2 = 2 \text{ m}$$

$$a_1 = ? \text{ m}$$

$$F_1 = ? \text{ N}$$

$$F_2 = ? \text{ N}$$

$$F_1 = m_1 g = 40 \cdot 10 \text{ N} = 400 \text{ N}$$

$$F_2 = m_2 g = 25 \cdot 10 \text{ N} = 250 \text{ N}$$

A swing swings well when it is in a free equilibrium position.

Therefore, it must hold:  $F_1 a_1 = F_2 a_2$

For numerical values, the following equation applies:

$$400 \cdot a_1 = 250 \cdot 2$$

$$a_1 = 500 : 400$$

$$a_1 = 1,25$$

$$a_1 = 1,25 \text{ m}$$

The heavier boy sits 1.25 m to the left of the axis of rotation. This puts the swing in a free equilibrium position and he and the girl can swing well.

The rotational effect of a force on a body depends on the moment of the force.

The moment of a force is equal to the product of the magnitude of the force and its arm.

The unit of moment of force is N · m.

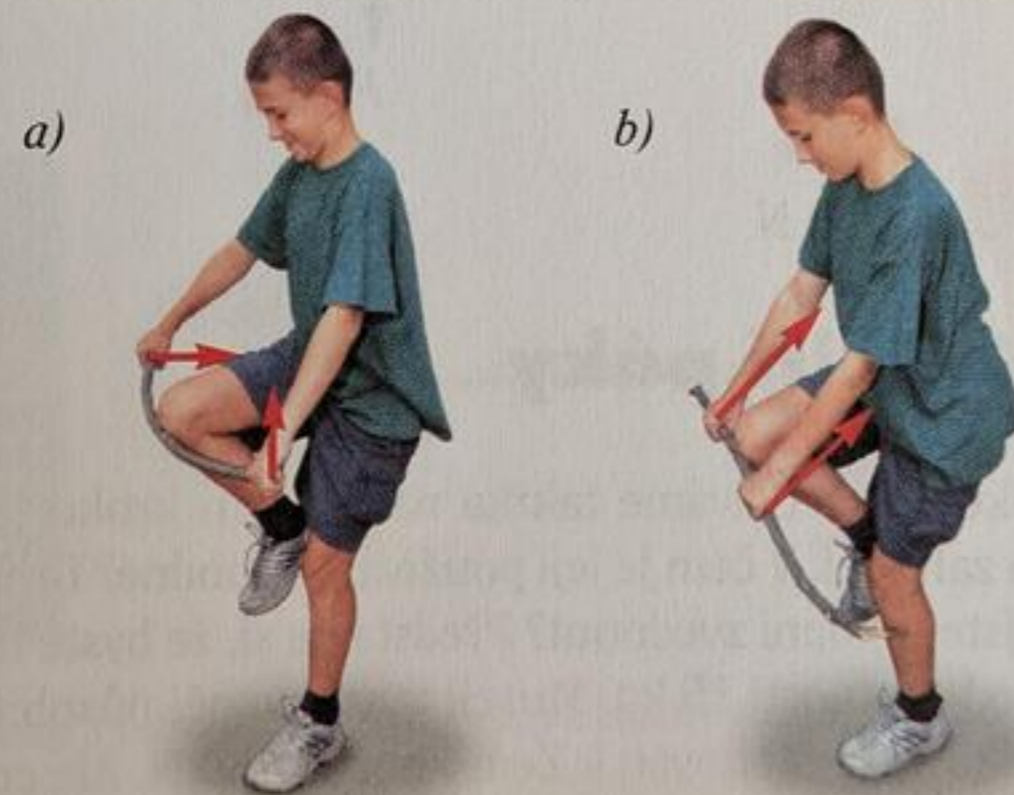
The lever is in equilibrium if  $F_1 a_1 = F_2 a_2$ .

## Questions and tasks

1. What does the rotational effect of a force on a body depend on? Explain with an example.
2. How do you determine the moment of force? Write the appropriate relationship and explain the meaning of the individual quantities.
3. a) Which of the children in Fig. 1.79b exerts a greater moment of force on the swing? Give reasons.  
b) Suggest how the moments of the forces of the two children can be balanced.
4. In what units do we measure the moment of force?

5. a) Jaké závaží bys musel(a) zavěsit na konec ramene páky v obr. 1.82, aby moment síly, kterou závaží působí na páku, byl  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ?  
 b) Jak dlouhé by muselo být rameno páky na obr. 1.82, aby moment síly  $F_1 = 1 \text{ N}$  byl  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ?
6. Kdy je páka v rovnovážné poloze?
7. a) Zakresli schematicky páku a síly na ni působící podle obr. 1.82d. Vypočti a porovnej momenty sil  $F_1$  a  $F_2$ , které působí na páku. Je páka v rovnováze? Co se stane, jestliže není v rovnováze?  
 b) Zůstane páka v rovnováze, posuneme-li závaží vlevo na konec páky? Zdůvodni.
- U** 1. Zjisti pokusem, jak musíš umístit na jednu stranu pravítka dvě mince a na druhou stranu od osy otáčení tři mince, aby pravítko (obr. 1.80) bylo v rovnováze. V pokusu použij všechny mince stejné. Znázorni výsledek svého pokusu. Má tato úloha víc řešení?
2. Lámej špejli na stále menší kousky. Proč je lámání kratších kousků obtížnější?
3. Proč bývá klika dveří umístěna co nejdále od osy otáčení dveří?
4. V kterém případě chlapec na obr. 1.83 snadněji zlomí dřevěnou tyčku? Zdůvodni svou odpověď.

Obr. 1.83 K úloze 4



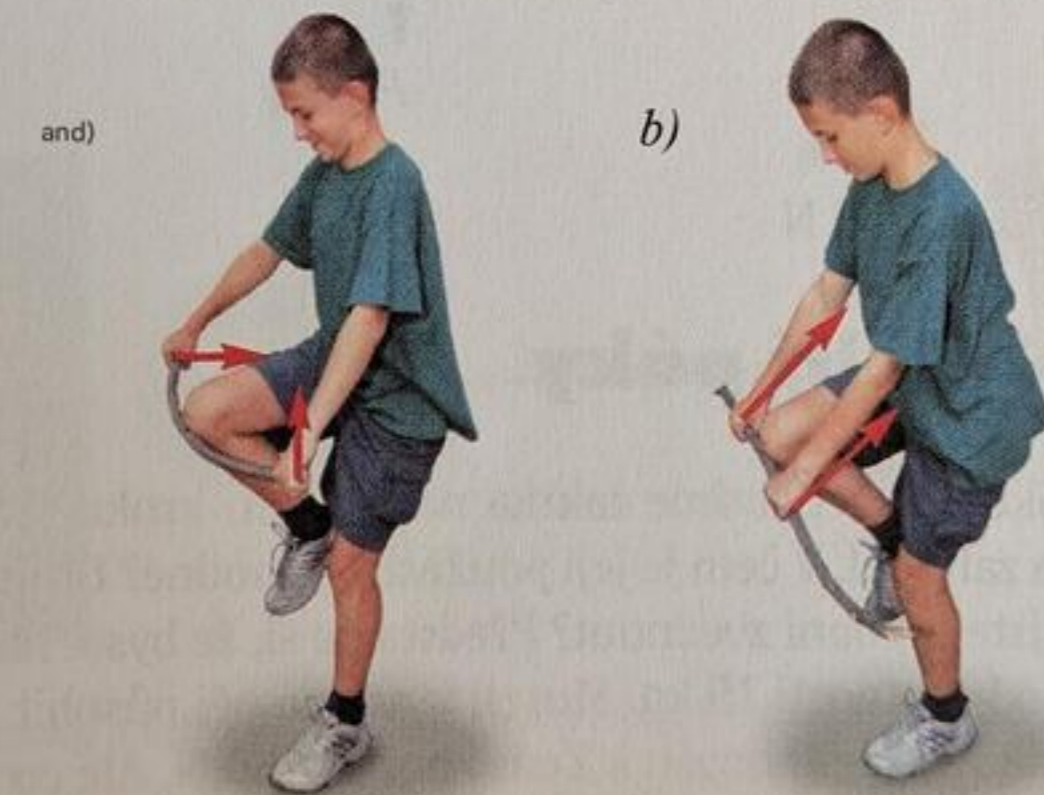
5. Nakresli tabulku do sešitu a doplň ji správnými údaji:

Síla ( $F$ )	500 N	4 N	2 N	20 N	
Rameno síly ( $a$ )	0,3 m	20 cm			2 m
Moment síly ( $Fa$ )			1 N·m	100 N·m	0,08 N·m

6. Na páku působí síla  $F_1$  a síla  $F_2$ , která je čtyřnásobkem síly  $F_1$ . Za jaké podmínky bude páka v rovnovážné poloze? Nakresli odpovídající obrázek.

5. a) What weight would you have to hang on the end of the lever arm in Fig. 1.82 so that the moment of force exerted by the weight on the lever is  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ?  
 b) How long would the lever arm in Fig. 1.82 have to be for the moment of force  $F_1 = 1 \text{ N}$  to be  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ?
6. When is the lever in equilibrium?
7. a) Draw a schematic diagram of the lever and the forces acting on it according to Fig. 1.82d. Calculate and compare the moments of the forces  $F_1$  and  $F_2$  acting on the lever. Is the lever in equilibrium? What happens if it is not in equilibrium?  
 b) Will the lever remain in equilibrium if we move the weight to the left end of the lever? Give reasons.
01. Find out by experiment how you must place two coins on one side of the ruler and three coins on the other side from the axis of rotation in order for the ruler (Fig. 1.80) to be in equilibrium. Use all the same coins in the experiment. Illustrate the result of your experiment. Does this problem have more than one solution?
2. Break the skewer into smaller and smaller pieces. Why is it more difficult to break shorter pieces?
3. Why is the door handle placed as far away from the door's axis of rotation as possible?
4. In which case will the boy in Fig. 1.83 break the wooden stick more easily? Justify your answer.

Fig. 1.83 For task 4



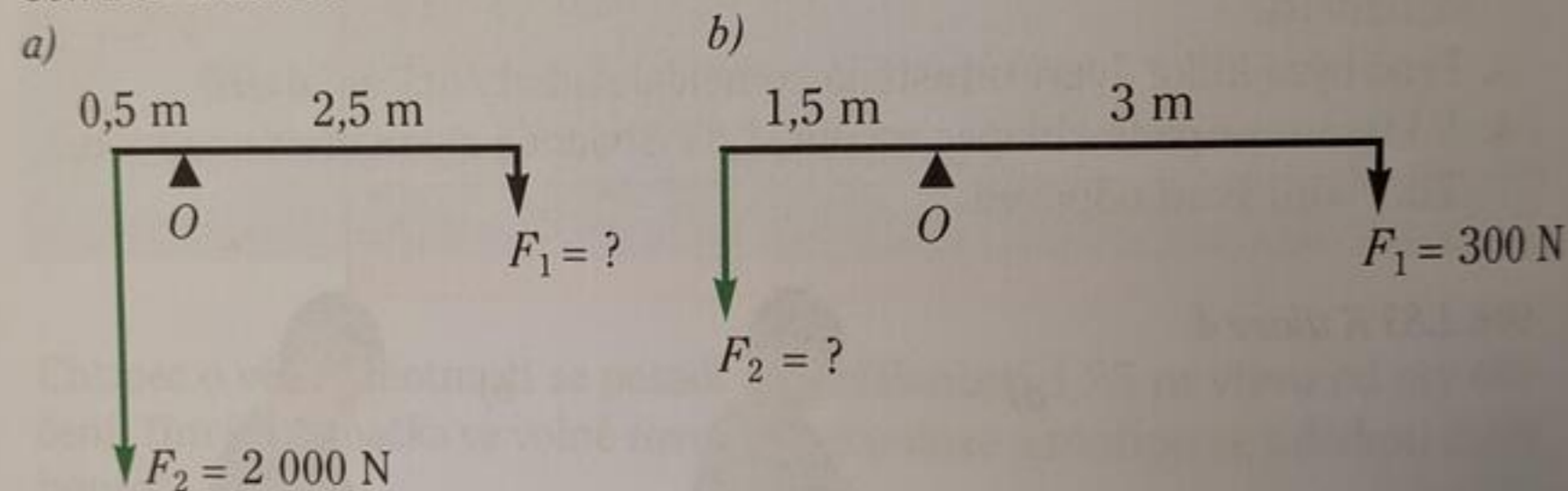
5. Draw a table in your notebook and fill it in with the correct data:

Force ( $F$ )	500 N	4 N	2 N	20 N	
Power arm ( $a$ )	0,3 m	20 cm			2 m
Moment of force ( $Fa$ )			1 N·m	100 N·m	0,08 N·m

6. A lever is acted upon by a force  $F_1$  and a force  $F_2$ , which is four times the force  $F_1$ . Under what conditions will the lever be in equilibrium? Draw the corresponding figure.

7. Doplň chybějící údaje v obr. 1.84 tak, aby páka byla v obou případech v rovnovážné poloze.
8. a) Houpačku tvoří prkno o délce 3 m, podepřené uprostřed. Na jednom konci sedí chlapec, jehož hmotnost je 20 kg. Jakou hmotnost má druhý chlapec, když se posadil 1 m od osy otáčení a houpačka je ve vodorovné rovnovážné poloze?  
b) Mohli by se chlapci houpat, kdyby si sedli každý na jeden konec houpačky?
9. Na páku o délce 1 m působí v jednom koncovém bodě síla 50 N, v druhém síla 200 N. Obě směřují svisle dolů. V kterém místě je nutno páku podepřít, aby byla při působení obou sil v rovnovážné poloze? Nakresli obrázek, v němž páku znázorníš vodorovnou úsečkou. Hmotnost páky neuvažujeme.

Obr. 1.84 K úloze 7



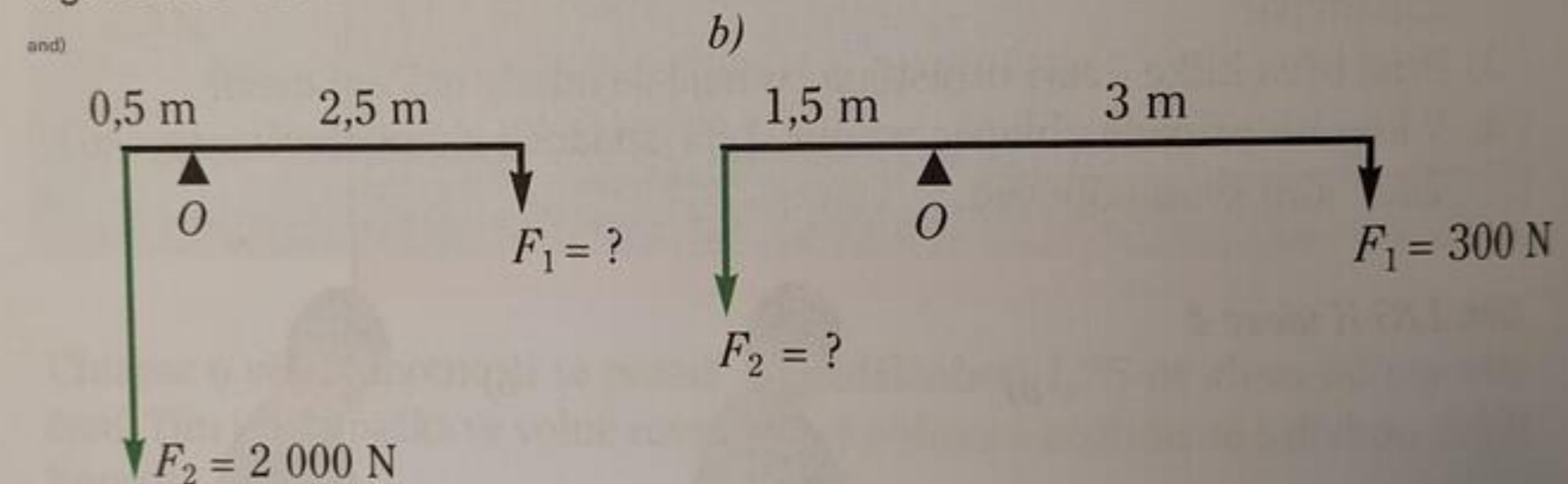
## 1.19 Užití páky

? S pákou se setkáváme takřka na každém kroku. Páka je součástí mnoha strojů a zařízení. V čem je její používání výhodné? Umíte odhadnout, jak těžký balvan jste schopni zvednout? Představte si, že byste nanejvýš uměli zvednout balvan o hmotnosti 15 kg. Museli byste na něj působit nejméně stejně velkou silou, jakou je přitahován k Zemi, neboli 150 N. Ale co když potřebujete třeba při budování skalky zvednout balvan o hmotnosti 60 kg? Stačí použít dostatečně dlouhou pevnou tyč jako páku (obr. 1.85). Určete z obrázku, jak velkou silou zdvihne pomocí páky balvan o hmotnosti 60 kg.

Pomocí páky můžeme zvedat těžké předměty menší silou než bez páky. Přitom ještě využíváme změnu směru síly. Místo abychom při zvedání působili svisle vzhůru, můžeme na páku tlačit svisle dolů. To je výhodné i v tom, že můžeme využívat i sílu, již je k Zemi přitahováno naše tělo. Pákou přemáháme i jiné síly než gravitační sílu  $F_g$ , kterou Země přitahuje těžká tělesa. Např. při stříhání plechu nůžkami, při štípání drátu kleštěmi nebo při otvírání víka u plechovky s barvou.

7. Fill in the missing data in Fig. 1.84 so that the lever is in the equilibrium position in both cases.
8. a) A swing consists of a 3 m long board supported in the middle. A boy of mass 20 kg sits at one end. What is the mass of the other boy when he sits 1 m from the axis of rotation and the swing is in horizontal equilibrium?  
b) Could the boys swing if they each sat at one end of the swing?
9. A force of 50 N acts on a lever 1 m long at one end and a force of 200 N at the other. Both are directed vertically downwards. At what point must the lever be supported so that it is in equilibrium under the action of both forces? Draw a diagram in which you represent the lever with a horizontal line. We do not consider the weight of the lever.

Fig. 1.84 For task 7



## 1.19 Leverage

? We encounter levers almost everywhere. Levers are part of many machines and devices. What is the advantage of using them? Can you estimate how heavy a boulder you are able to lift? Imagine that you could lift a boulder weighing 15 kg at most. You would have to exert at least the same force on it as it is attracted to the Earth, or 150 N. But what if you need to lift a boulder weighing 60 kg, for example, when building a rock garden? All you need to do is use a sufficiently long, solid rod as a lever (Fig. 1.85). Determine from the figure how much force we can use to lift a boulder weighing 60 kg using the lever.

Using a lever, we can lift heavy objects with less force than without a lever. In doing so, we also use the change in the direction of the force. Instead of acting vertically upwards when lifting, we can push the lever vertically downwards. This is also advantageous in that we can also use the force with which our body is attracted to the Earth. With a lever, we can also overcome forces other than the gravitational force  $F_g$ , with which the Earth attracts heavy objects. For example, when opening the lid of a can of paint.

Obr. 1.85 Zvedání těžkého balvanu pomocí páky

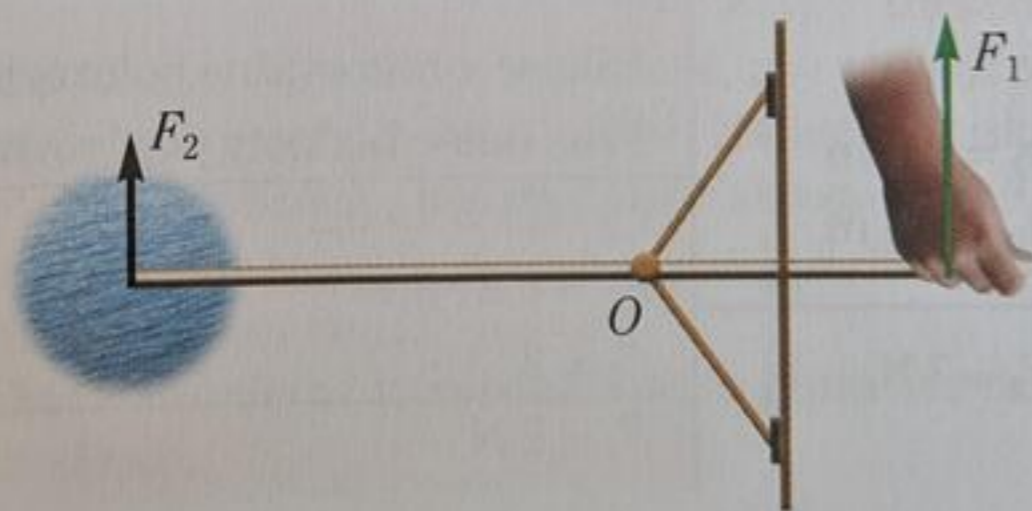


1.19

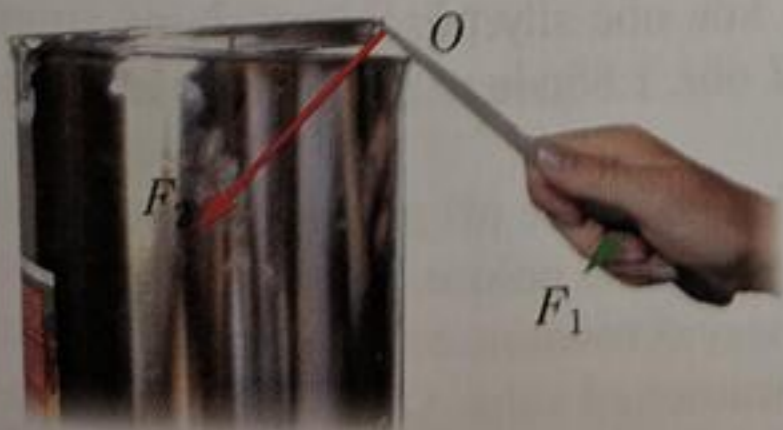
Tři příklady užití páky, na kterou působí síly na různých stranách páky od osy otáčení, jsou na obr. 1.86. Prohlédněte si obrázky a u každého popište, které síly na páku působí. Ukažte osu otáčení a ramena sil. Vysvětlete, v čem je výhoda použití páky v každém ze zobrazených příkladů.

Obr. 1.86 Užití páky:

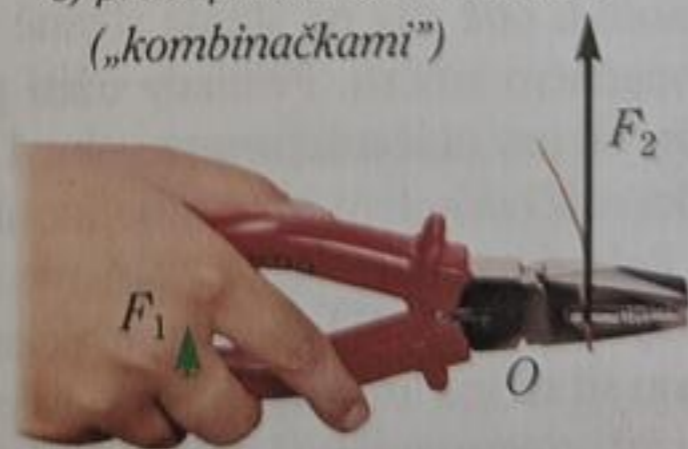
a) při veslování



b) při otvírání víka plechovky s barvou



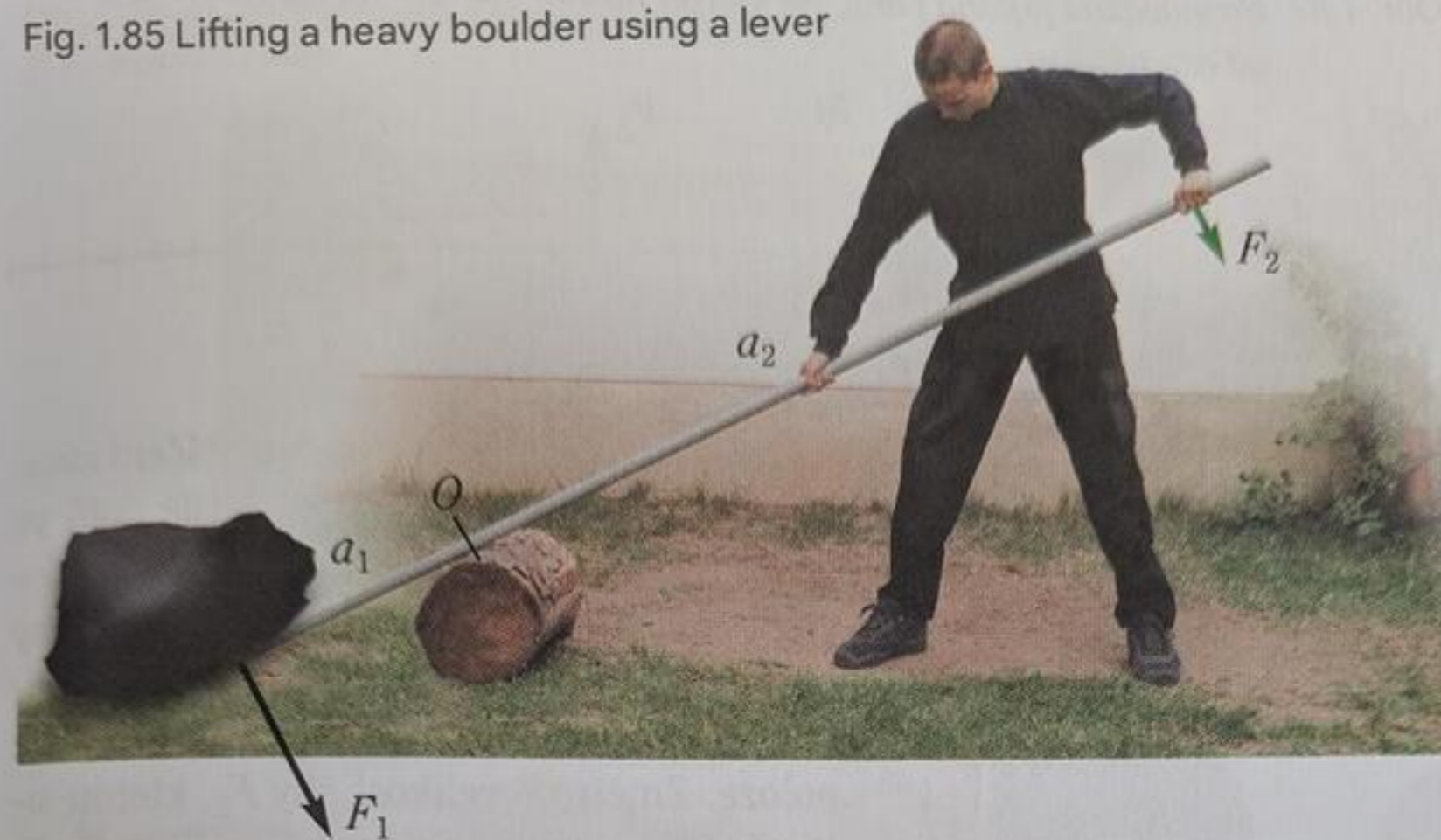
c) při štípání drátku kleštěmi („kombinačkami“)



➔ Může být páka v rovnovážné poloze i tehdy, působí-li síly  $F_1$  a  $F_2$  na stejné straně od osy otáčení? Abychom odpověděli na tuto otázku, provedeme pokus.

77

Fig. 1.85 Lifting a heavy boulder using a lever

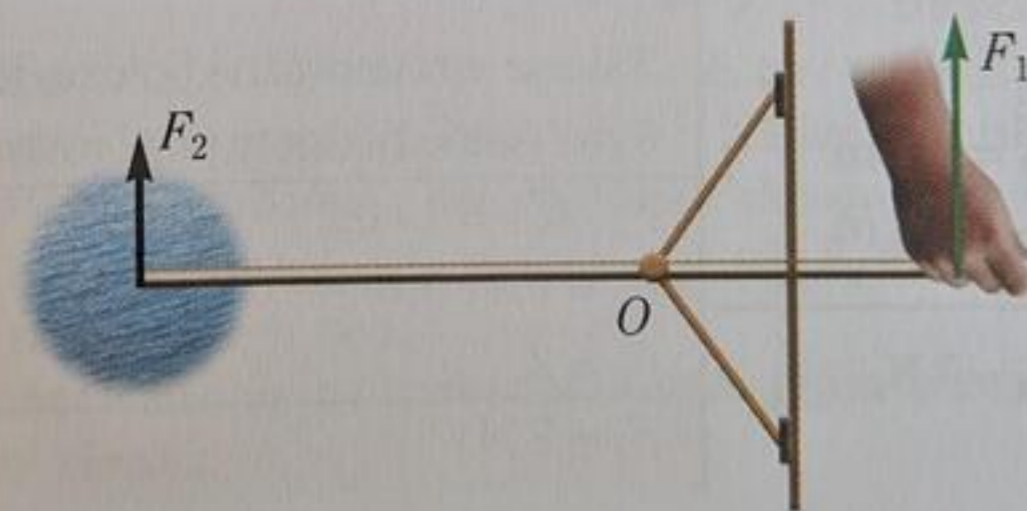


1.19

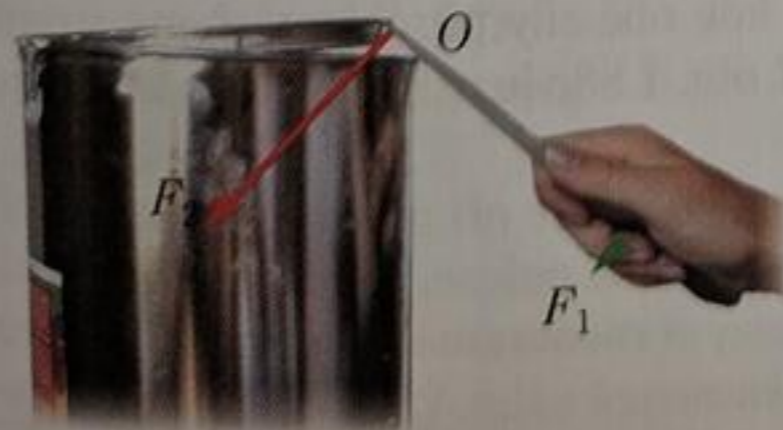
Three examples of using a lever with forces acting on different sides of the lever from the axis of rotation are shown in Fig. 1.86. Look at the pictures and describe which forces act on the lever for each. Show the axis of rotation and the arms of the forces. Explain what is the advantage of using a lever in each of the examples shown.

Fig. 1.86 Using the lever:

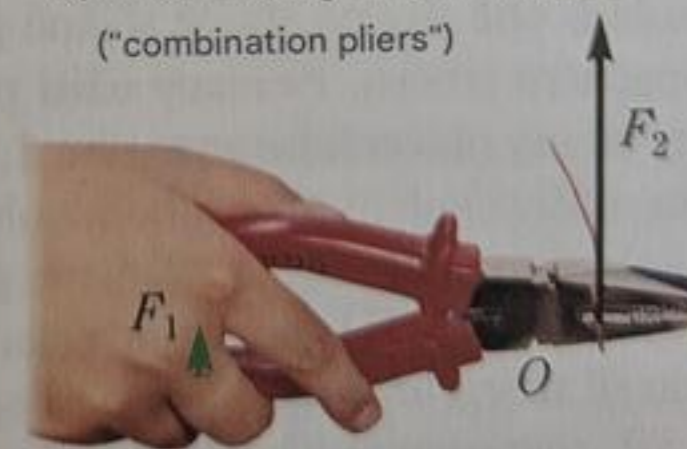
a) while rowing



b) when opening the lid of a paint can



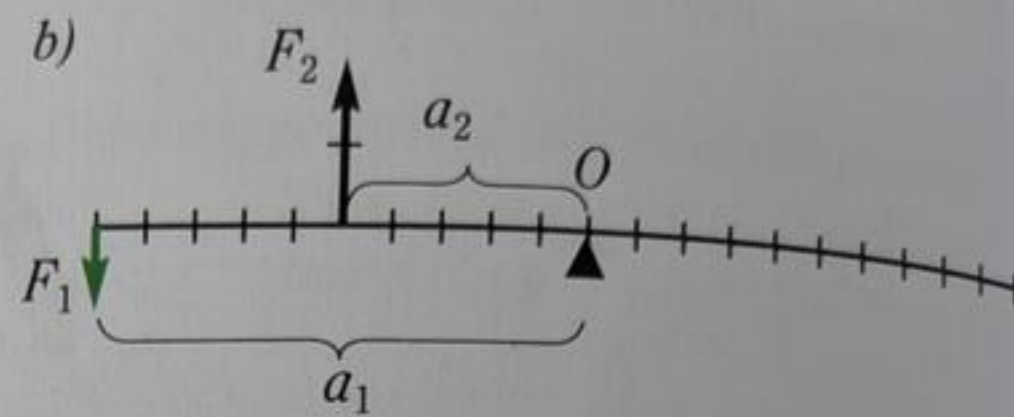
c) when cutting wire with pliers (“combination pliers”)



➔ Can a lever be in equilibrium even if the forces  $F_1$  and  $F_2$  act on the same side of the axis of rotation? To answer this question, we will conduct an experiment.

77

Obr. 1.87 Rovnovážná poloha páky, na kterou působí dvě síly na stejné straně od osy otáčení



Na páku působí vlevo od osy otáčení závaží silou o velikosti  $F_1 = 1 \text{ N}$  svisle dolů ve vzdálenosti  $a_1 = 0,2 \text{ m}$  (obr. 1.87a). V poloviční vzdálenosti  $a_2 = 0,1 \text{ m}$ , také vlevo od osy otáčení, táhneme páku siloměrem nahoru tak, aby páka byla ve vodorovné rovnovážné poloze. Změříme velikost síly  $F_2$ , kterou síloměr táhne páku svisle vzhůru. Síly  $F_1, F_2$  tedy míří opačně. Jejich působení na páku je znázorněno na obr. 1.87b. Měřením zjistíme, že  $F_2 = 2 \text{ N}$ .

**Příklad**

Ověříme výsledek pokusu výpočtem.

**Řešení:**

$$F_1 = 1 \text{ N}$$

$$a_1 = 0,2 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,1 \text{ m}$$

$$F_2 = ? \text{ N}$$

Páka je v rovnovážné poloze, jestliže platí:  $F_2 a_2 = F_1 a_1$   
Pro číselné hodnoty platí rovnice:

$$F_2 \cdot 0,1 = 1 \cdot 0,2$$

$$F_2 = 0,2 : 0,1$$

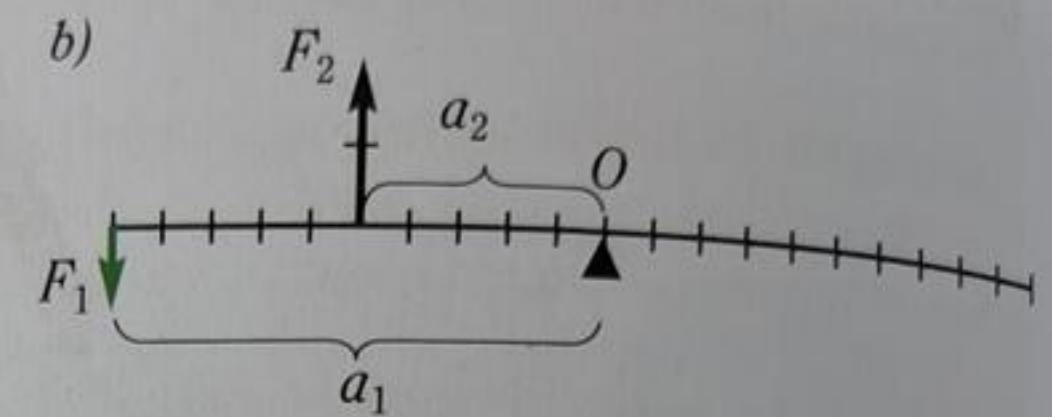
$$F_2 = 2$$

$$F_2 = 2 \text{ N}$$

Pokus i výpočet ukázaly, že páka může být v rovnovážné poloze i tehdy, působí-li obě síly na stejné straně páky od osy otáčení, ale síly musí působit v opačném směru. Příklady užití páky, kde obě síly působí na stejné straně páky od osy otáčení, jsou na obr. 1.88. Z obr. 1.88c je patrné, že i naše paže je páka otáčivá kolem loketního kloubu.

Pokusem podle obr. 1.82a jsme se přesvědčili, že při působení dvou stejně velkých sil ( $F_1 = F_2$ ) na páku je páka v rovnovážné poloze, jestliže jsou ramena obou sil stejná ( $a_1 = a_2$ ). Taková páka se nazývá **rovnoramenná páka**. Příkladem využití rovnoramenné páky jsou i **rovnoramenné váhy**. Vahadlo rovnoramenných vah je rovnoramenná páka otáčivá kolem vodorovného břitu ( $a_1 = a_2$ ). Jsou-li stejné misky prázdné, je vahadlo v rovnovážné poloze. Jazyček vahadla je na střední čáře stupnice (obr. 1.89a). Na levou misku položíme těleso o hmot-

Fig. 1.87 Equilibrium position of a lever acted upon by two forces on the same side of the axis of rotation



The lever is acted upon by a weight to the left of the axis of rotation with a force of  $F_1 = 1 \text{ N}$  vertically downwards at a distance  $a_1 = 0.2 \text{ m}$  (Fig. 1.87a). At half the distance  $a_2 = 0.1 \text{ m}$ , also to the left of the axis of rotation, we pull the lever upwards with a force gauge so that the lever is in a horizontal equilibrium position. We measure the magnitude of the force  $F_2$  with which the force gauge pulls the lever vertically upwards. The forces  $F_1, F_2$  therefore point in opposite directions. Their action on the lever is shown in Fig. 1.87b. By measuring, we find that  $F_2 = 2$

**Example**

We will verify the result of the experiment by calculation.

**Solution:**

$$F_1 = 1 \text{ N}$$

$$a_1 = 0,2 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,1 \text{ m}$$

$$F_2 = ? \text{ N}$$

The lever is in equilibrium if:  $F_2 a_2 = F_1 a_1$

For numerical values, the following equation applies:

$$F_2 \cdot 0,1 = 1 \cdot 0,2$$

$$F_2 = 0,2 : 0,1$$

$$F_2 = 2$$

$$F_2 = 2 \text{ N}$$

Experiment and calculation have shown that a lever can be in equilibrium even when both forces act on the same side of the lever from the axis of rotation, but the forces must act in opposite directions. Examples of the use of a lever where both forces act on the same side of the lever from the axis of rotation are shown in Fig. 1.88. It is evident from Fig. 1.88c that our arm is also a lever rotating about the elbow joint.

In the experiment according to Fig. 1.82a, we have seen that when two equally large forces ( $F_1 = F_2$ ) act on a lever, the lever is in equilibrium if the arms of both forces are equal ( $a_1 = a_2$ ). Such a lever is called an isosceles lever. An example of the use of an isosceles lever is an isosceles balance. The balance of an isosceles balance is an isosceles lever rotating around a horizontal edge ( $a_1 = a_2$ ). If the same pans are empty, the balance is in equilibrium. The lever tongue is on the middle line of the scale (Fig. 1.89a). We place a body of mass on the left pan

Obr. 1.88 Užití páky:  
a) ke zvedání sudu

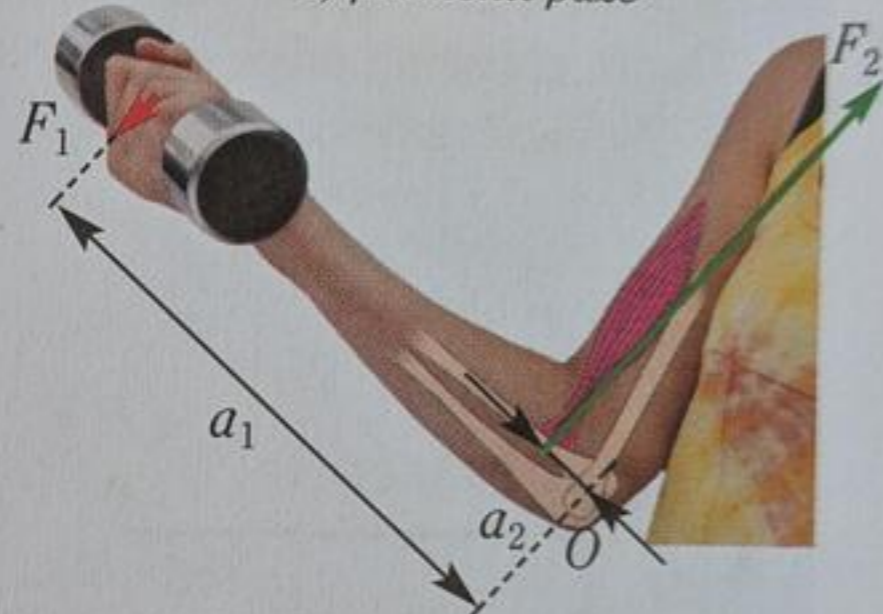


1.19

b) k louskání ořechů



c) předloktí paže



nosti  $m_1$ . Na pravou položíme závaží o hmotnosti  $m_2$  takové, aby se jazýček vahadla opět ustálil na střední čáře stupnice (obr. 1.89b). Na levou misku působí těleso tlakovou silou  $F_1$ , na pravou misku působí závaží tlakovou silou  $F_2$ .

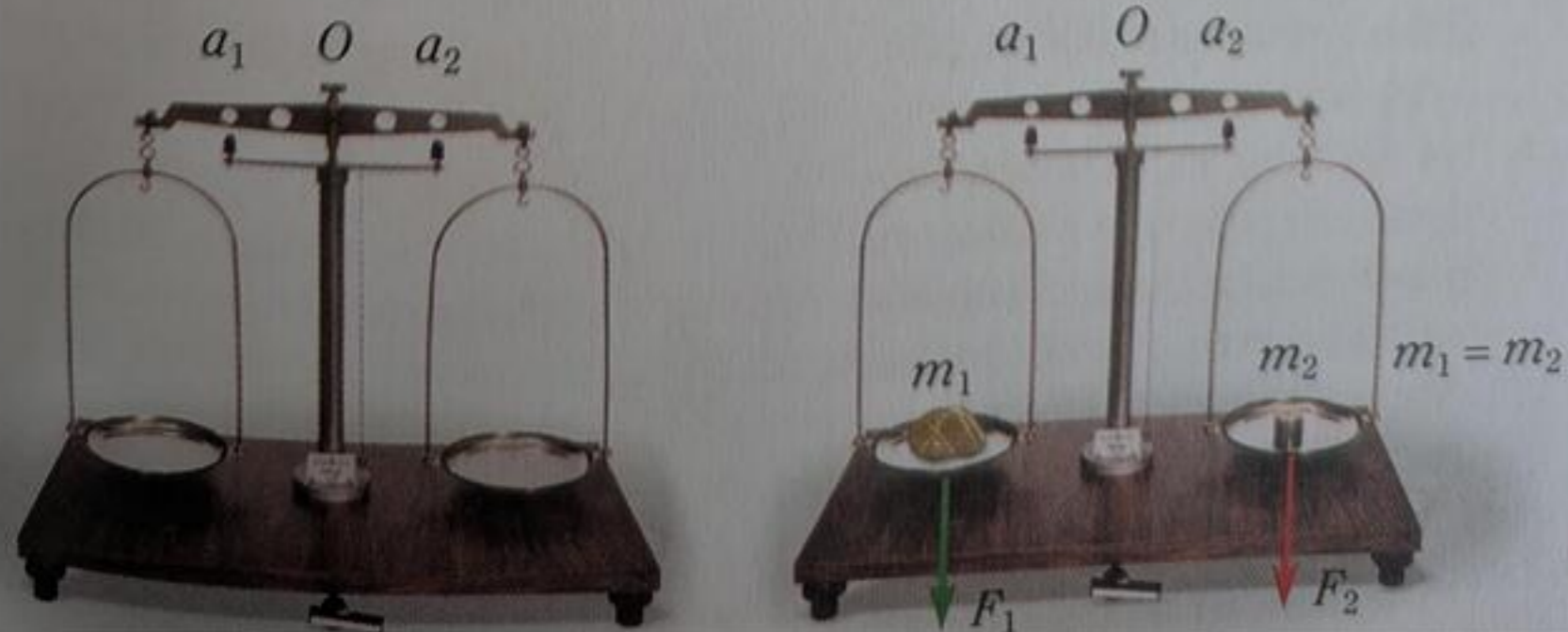
Rovnost momentů sil  $F_1 a_1 = F_2 a_2$  je splněna, rovnají-li se síly  $F_1$  a  $F_2$ . Pak se také hmotnost tělesa rovná hmotnosti závaží,  $m_1 = m_2$ .

Na rovnoramenných váhách určujeme hmotnost tělesa jejím srovnáním se známou hmotností závaží.

Obr. 1.89 Rovnovážná poloha rovnoramenných vah

a) nezatížených

b) zatížených



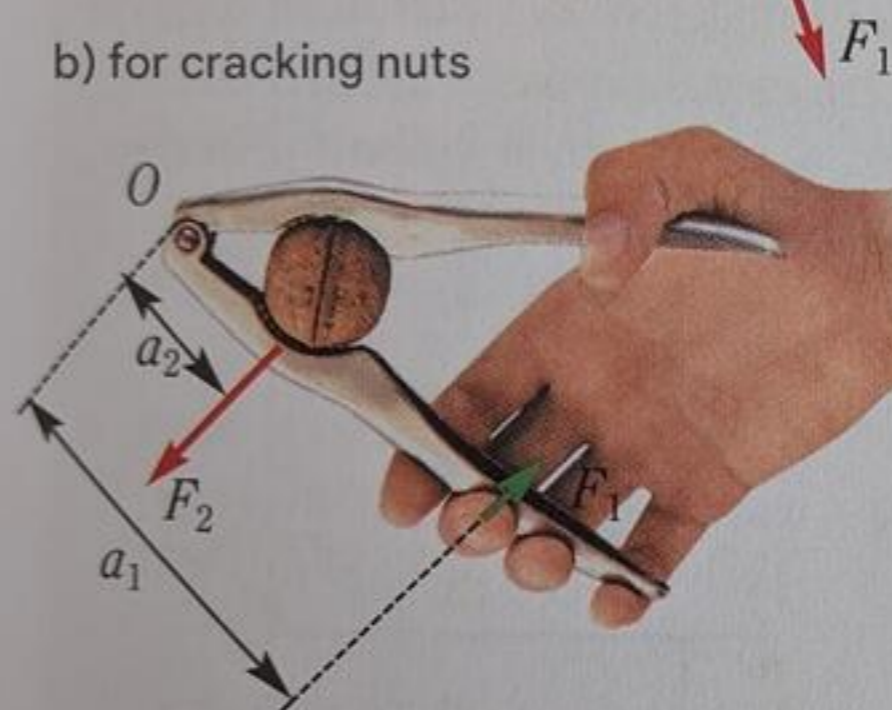
79

Fig. 1.88 Using the lever:  
a) to lift the barrel

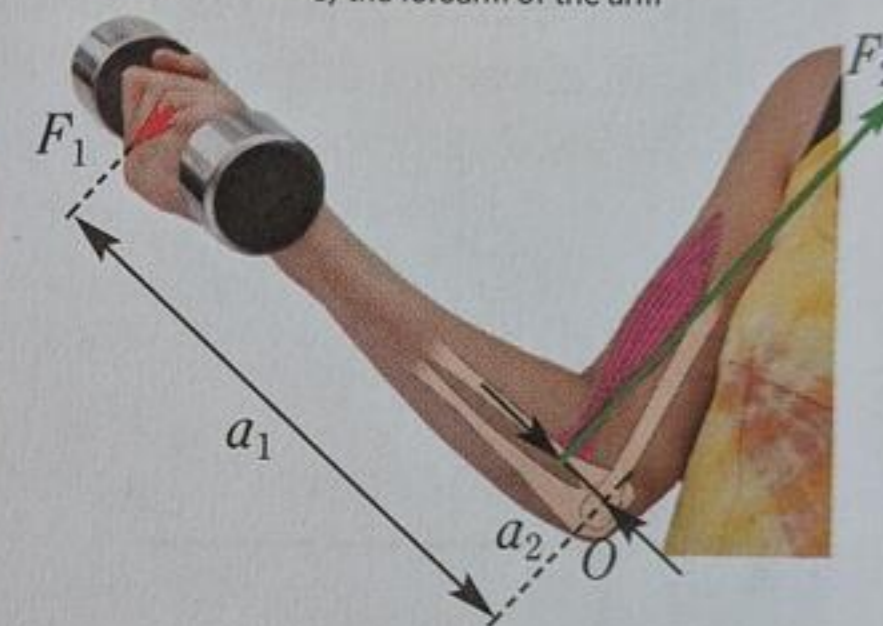


1.19

b) for cracking nuts



c) the forearm of the arm



mass  $m_1$ . We place a weight of mass  $m_2$  on the right one such that the lever tongue settles again on the middle line of the scale (Fig. 1.89b). The body exerts a compressive force  $F_1$  on the left pan, and the weight exerts a compressive force  $F_2$  on the right pan.

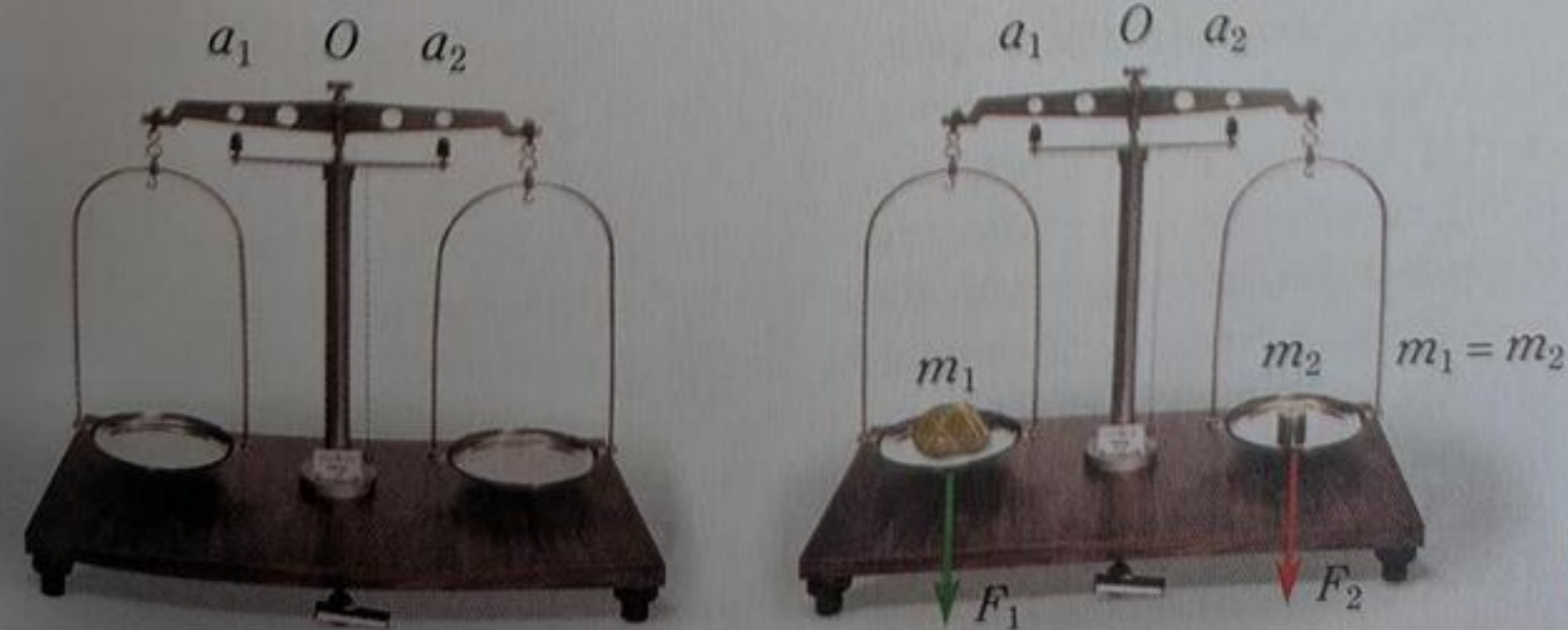
The equality of the moments of forces  $F_1 a_1 = F_2 a_2$  is satisfied if the forces  $F_1$  and  $F_2$  are equal. Then the mass of the body is also equal to the mass of the weight,  $m_1 = m_2$ .

On an isosceles balance, we determine the mass of an object by comparing it with the known mass of a weight.

fig. 1.89 Equilibrium position of isosceles scales

a) unloaded

b) loaded

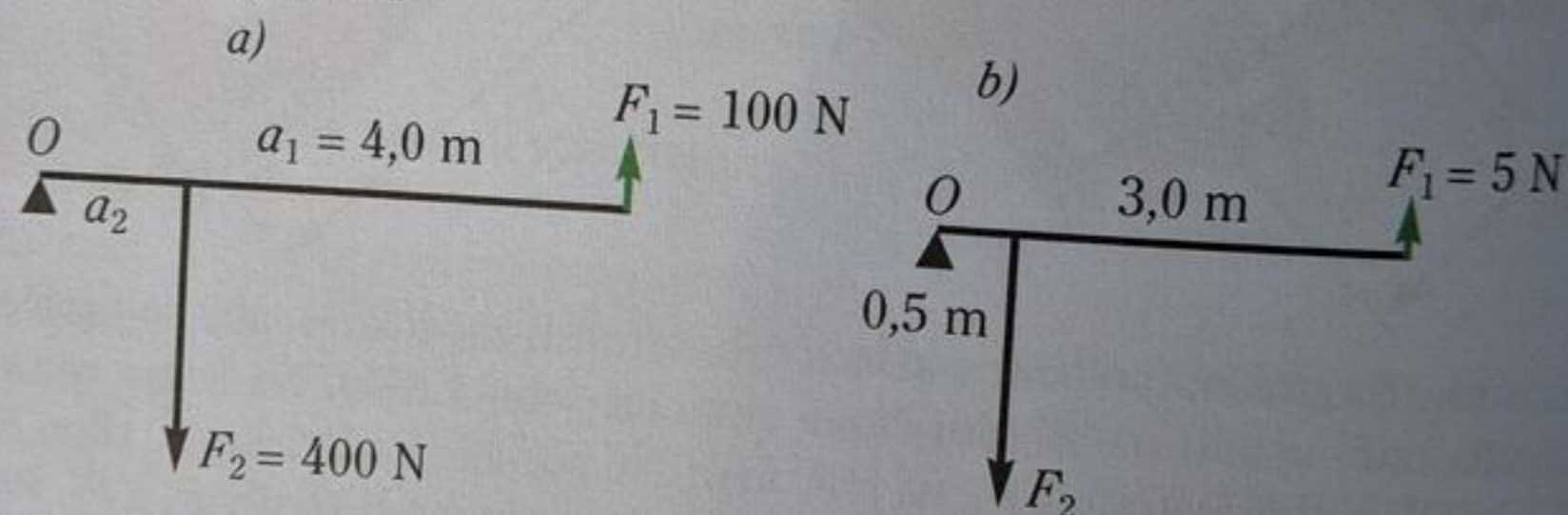


79

## Otázky a úlohy

1. Může být páka v rovnovážné poloze i tehdy, působí-li obě síly na stejné straně páky od osy otáčení? Uveď příklad a nakresli odpovídající obrázek.
2. Které nástroje a nářadí doma, na zahradě nebo v dílně jsou užitím páky? Zkus je zjednodušeně znázornit. U každé páky vyznač osu otáčení, síly působící na páku a jejich ramena.
3. Jaká páka se nazývá rovnoramenná? Nakresli obrázek.
4. a) Popiš rovnoramenné váhy jako příklad užití páky.  
b) Za jaké podmínky je hmotnost tělesa na jedné misce vah rovna hmotnosti závaží na druhé misce? Zdůvodni.
5. Které součástky na jízdním kole slouží jako páky? Pokus se alespoň u některých určit osu otáčení, síly, které na páku působí a jejich ramena.
- U 1. Doplň chybějící údaje v obr. 1.90 tak, aby páka byla v obou případech v rovnovážné poloze.

Obr. 1.90 K úloze 1



2. Mohly by být i váhy s různě dlouhými rameny? Zkus si nakreslit schéma takových vah a vysvětli, jak bychom pomocí nich mohli zjišťovat hmotnost těles.
3. Na obr. 1.91 je lis na česnek. Znázorni ho jako páku. V náčrtku vyznač osu otáčení páky a tlakové síly působící na páku.
4. Na levé misce rovnoramenných vah je ocelový válec, na pravé olověný válec. Vahadlo vah je v rovnovážné poloze. Který válec má větší objem? Odpověď zdůvodni.

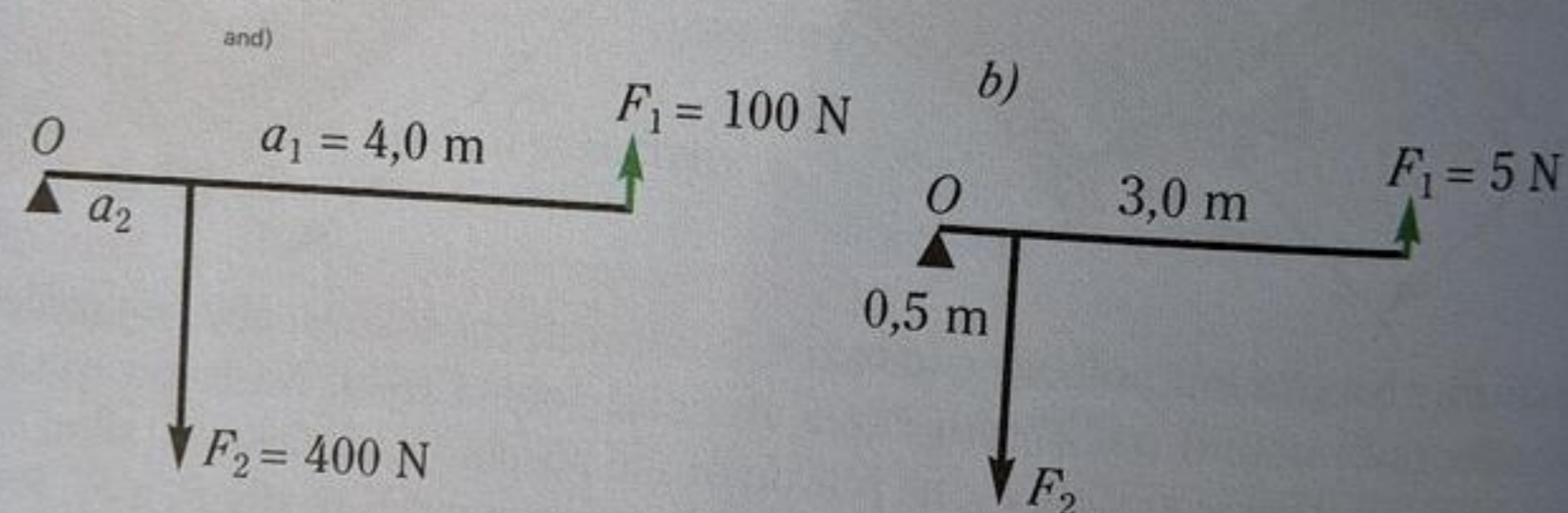
Obr. 1.91 K úloze 3



## Questions and tasks

1. Can a lever be in equilibrium even if both forces act on the same side of the lever from the axis of rotation? Give an example and draw the corresponding figure.
2. Which tools and implements at home, in the garden or in the workshop use a lever? Try to draw them in a simplified way. For each lever, indicate the axis of rotation, the forces acting on the lever and their arms.
3. What kind of lever is called an isosceles lever? Draw a picture.
4. a) Describe the isosceles balance as an example of using a lever.  
b) Under what conditions is the mass of a body on one pan of the scale equal to the mass of the weight on the other pan? Give reasons.
5. Which parts of a bicycle serve as levers? Try to determine the axis of rotation, the forces acting on the lever, and their arms for at least some of them.
01. Fill in the missing data in Fig. 1.90 so that the lever is in equilibrium in both cases.

Fig. 1.90 Sphere 1



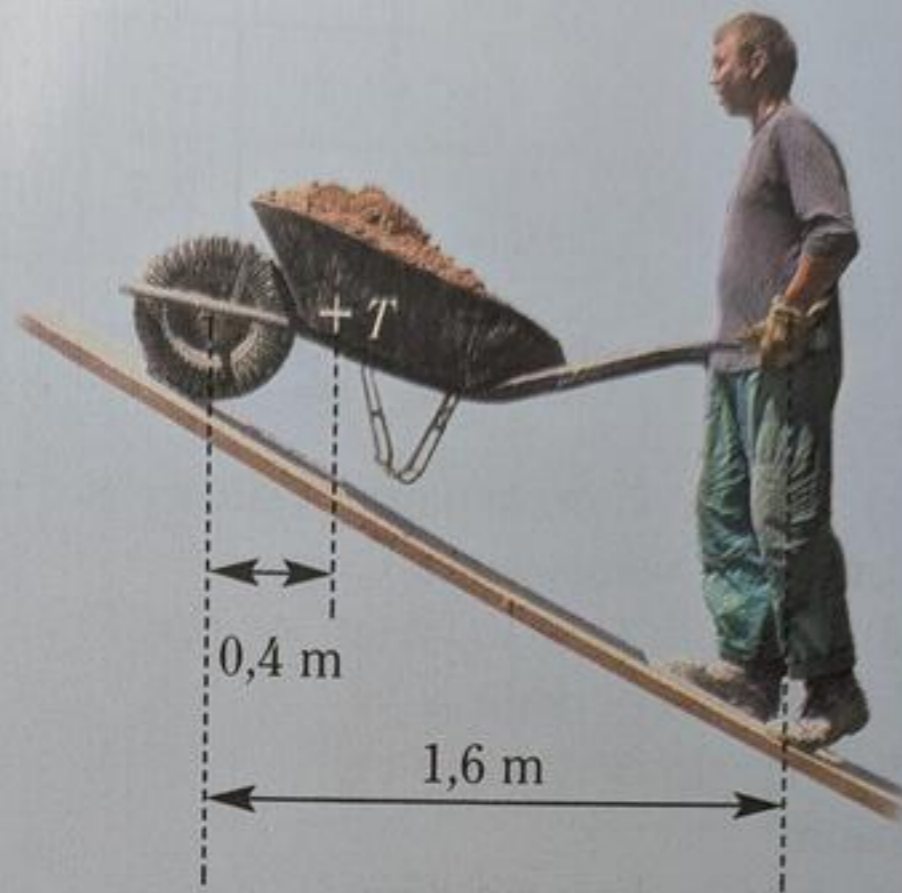
2. Could there be scales with arms of different lengths? Try to draw a diagram of such scales and explain how we could use them to determine the mass of objects.
3. Fig. 1.91 shows a garlic press. Represent it as a lever. In the sketch, mark the axis of rotation of the lever and the pressure forces acting on the lever.
4. On the left pan of an isosceles balance there is a steel cylinder, on the right a lead cylinder. The balance is in equilibrium. Which cylinder has the larger volume? Justify your answer.

Fig. 1.91 For task 3



5. Na obr. 1.92 je znázorněno kolečko k převážení materiálu, např. písku.  
 a) Nakresli do sešitu schéma páky, kterou představuje kolečko.  
 b) S využitím údajů v obrázku vypočítej, jakou silou musí člověk působit na páku, když převážený materiál i s kolečkem má hmotnost 60 kg (bod  $T$  je těžiště).

Obr. 1.92 K úloze 5



Obr. 1.93 K úloze 6



6. Proč mají nůžky na plech jiný tvar než nůžky na papír nebo nehty (obr. 1.93)? Kde se snadněji stříhá plech, blíže osy nůžek, nebo špiček nůžek? Vysvětli.
7. Nakresli si podle obr. 1.88c páku, kterou představuje naše předloktí. Urči, jakou silou je napínán tvůj sval, když držíš v ruce činku o hmotnosti 2 kg. Vzdálenost upevnění svalu od loketního kloubu je 4 cm. Co si ještě musíš změřit?
8. a) Nůžky na papír jsou vlastně dvě páky. V obr. 1.94 jsou vyznačeny jen síly působící na jednu z obou pák. Překresli obrázek do sešitu a vyznač v něm osu otáčení, sílu ruky a sílu odporu stříhaného papíru působící na páku. Vyznač ramena obou sil vzhledem k ose otáčení.  
 b) Pokusem podle obr. 1.94 byly naměřeny hodnoty síly ruky  $F_1$  při postupném přestřihávání čtvrtky. Rameno síly  $F_1$ , kterou působí ruka,

1.19

5. Fig. 1.92 shows a wheelbarrow for transporting material, e.g. sand.  
 a) Draw a diagram of a lever represented by a wheel in your notebook.  
 b) Using the data in the figure, calculate the force a person must exert on the lever if the material being transported, including the wheel, weighs 60 kg (point  $T$  is the center of gravity).

Fig. 1.92 For task 5

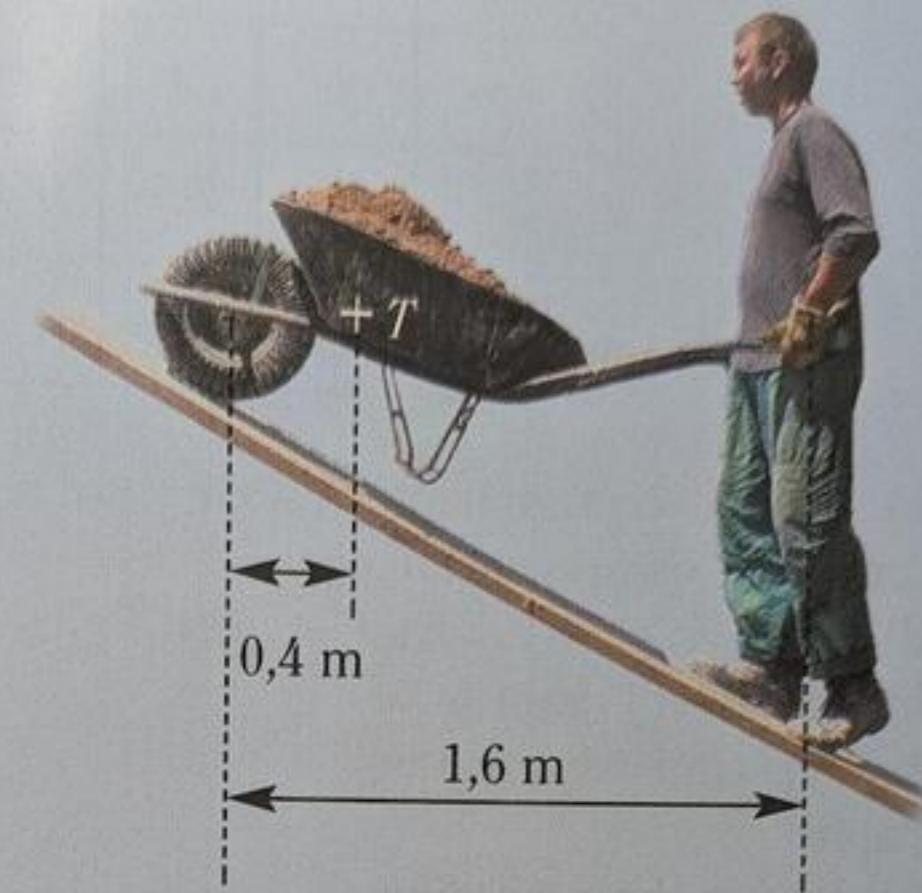


Fig. 1.93 For task 6



6. Why do sheet metal shears have a different shape than paper or nail scissors (Fig. 1.93)? Where is sheet metal easier to cut, closer to the axis of the scissors or to the tips of the scissors? Explain.
7. Draw a lever, represented by our forearm, as shown in Fig. 1.88c. Determine the force exerted by your muscle when you hold a 2 kg dumbbell in your hand. The distance from the muscle attachment to the elbow joint is 4 cm. What else do you need to measure?
8. a) Paper scissors are actually two levers. In Fig. 1.94, only the forces acting on one of the two levers are indicated. Redraw the figure in your notebook and indicate the axis of rotation, the force of the hand, and the resistance force of the paper being cut acting on the lever. Indicate the arms of both forces relative to the axis of rotation.  
 b) In the experiment according to Fig. 1.94, the values of the hand force  $F_1$  were measured while successively cutting a quarter. The arm of the force  $F_1$ , exerted by the hand,

1.19

1.20

bylo  $a_1 = 10$  cm. Doplň v tabulce, jakou silou  $F_2$  působila čtvrtka na páku nůžek při různých ramenech  $a_2$ .

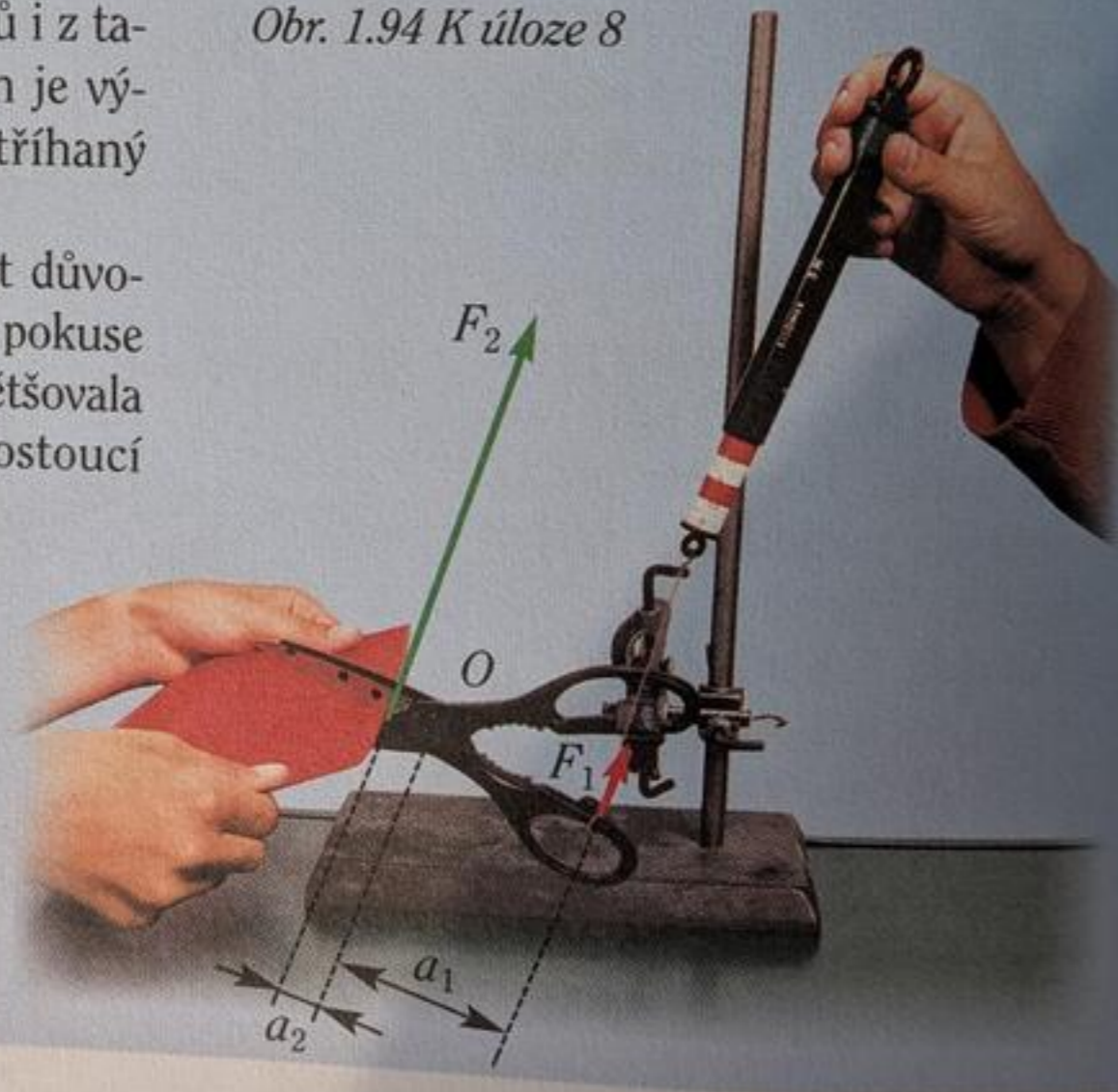
$\frac{a_1}{\text{cm}}$	10	10	10	10	10
$\frac{F_1}{\text{N}}$	2	3	4,5	6	7,5
$\frac{a_2}{\text{cm}}$	2,0	2,5	3,2	3,8	4,4
$\frac{F_2}{\text{N}}$					

c) Zkus siloměrem naměřit sílu  $F_1$  pro různě silné papíry v různých vzdálenostech od osy otáčení.

d) Ze svých pokusů i z tabulky vysvětli, kam je výhodné umístit stříhaný papír.

e) Jaké mohou být důvody, že síla  $F_1$  se v pokuse na obr. 1.93 nezvětšovala rovnoměrně s rostoucí vzdáleností  $a_2$ ?

Obr. 1.94 K úloze 8



## 1.20 Kladky

Při zvedání materiálu na stavbě do výšky se užívají kladky. **Pevná kladka** (obr. 1.95) je podobně jako páka těleso otáčivé kolem pevné, zpravidla vodorovné osy. Je to kotouč, na jehož obvodu je žlábek, do kterého se vkládá lano. Pevnou kladku používáme, když chceme změnit směr síly.

Zavěsme na levý konec lana závaží o hmotnosti 100 g (obr. 1.96a). Závaží působí na lano silou  $F_1 = 1$  N. Určeme pomocí siloměru, jakou silou  $F_2$  musíme táhnout za druhý konec lana, aby kladka byla v rovnovážné poloze. Zjistíme, že  $F_2 = F_1$ .

1.20

was  $a_1 = 10$  cm. Complete the table with the force  $F_2$  exerted by the quarter on the scissors lever for different arms  $a_2$ .

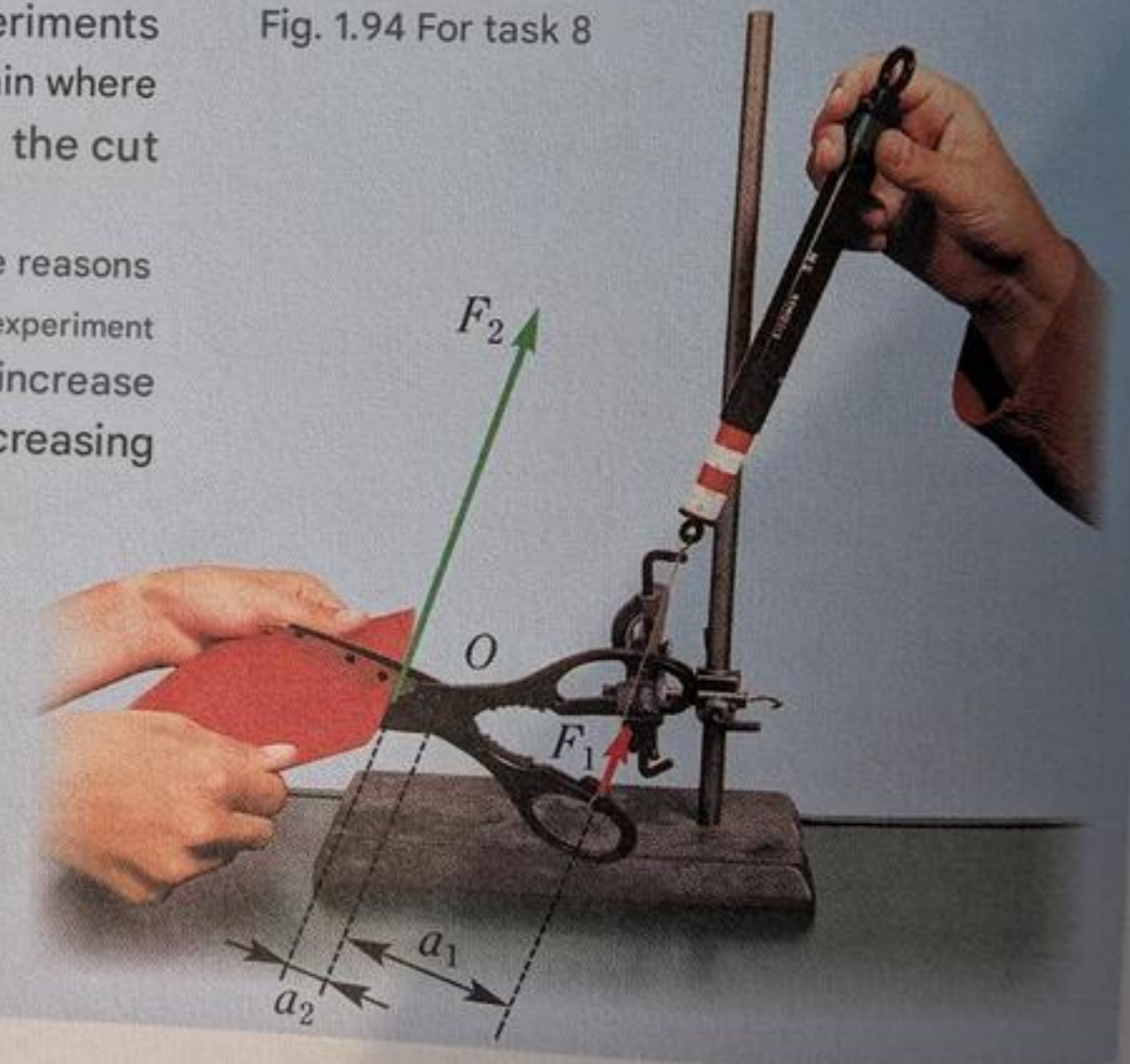
$\frac{a_1}{\text{cm}}$	10	10	10	10	10
$\frac{F_1}{\text{N}}$	2	3	4.5	6	7.5
$\frac{a_2}{\text{cm}}$	2.0	2.5	3.2	3.8	4.4
$\frac{F_2}{\text{N}}$					

c) Use a force gauge to measure the force  $F$ , for papers of different thicknesses at different distances from the axis of rotation.

d) From your experiments and the table, explain where it is best to place the cut paper.

e) What could be the reasons why the force  $F$ , in the experiment in Fig. 1.93 did not increase uniformly with increasing distance  $a_2$ ?

Fig. 1.94 For task 8



## 1.20 Pulleys

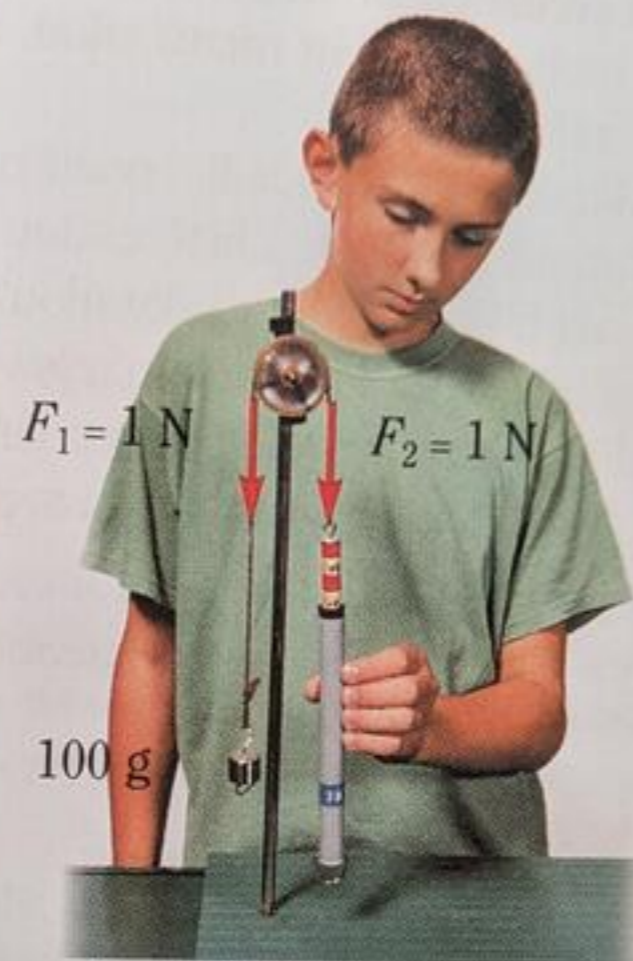
Pulleys are used to lift materials to a height on construction sites. A fixed pulley (Fig. 1.95) is, like a lever, a body that rotates around a fixed, usually horizontal axis. It is a disc with a groove on its circumference into which a rope is inserted. A fixed pulley is used when we want to change the direction of a force.

Let us hang a weight of 100 g on the left end of the rope (Fig. 1.96a). The weight exerts a force  $F_1 = 1$  N on the rope. Using a dynamometer, determine the force  $F_2$  we must use to pull the other end of the rope to bring the pulley into equilibrium. We find that  $F_2 = F_1$ .

Obr. 1.95 Užití pevné kladky

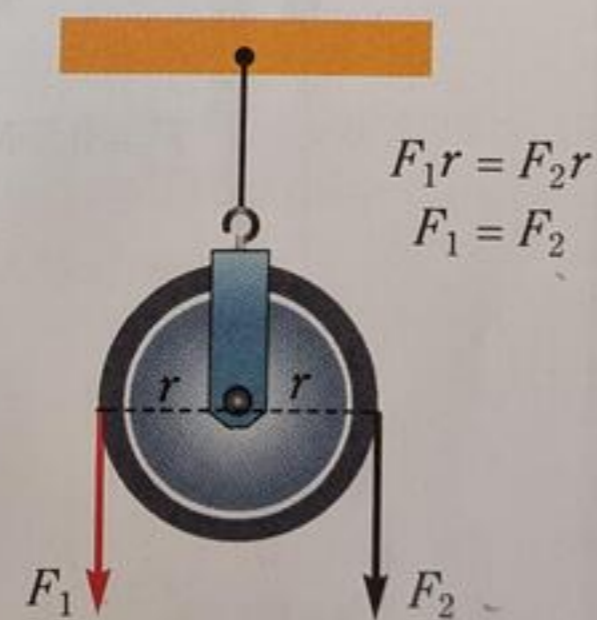


Obr. 1.96  
a) Pevná kladka



1.20

b) Pevná kladka jako rovnoramenná páka



**Poznámka:**

Podmínku pro rovnovážnou polohu pevné kladky můžeme také odvodit tak, že si kladku představíme jako rovnoramennou páku s ramenem rovným poloměru kladky  $r$ . Moment síly  $M_1 = F_1 r$  otáčí kladkou v jednom směru a druhý moment síly  $M_2 = F_2 r$  otáčí kladkou v opačném směru (obr. 1.96b). Pevná kladka je v rovnovážné poloze, jsou-li oba momenty sil, tedy také obě síly, stejně veliké,  $F_1 = F_2$ .

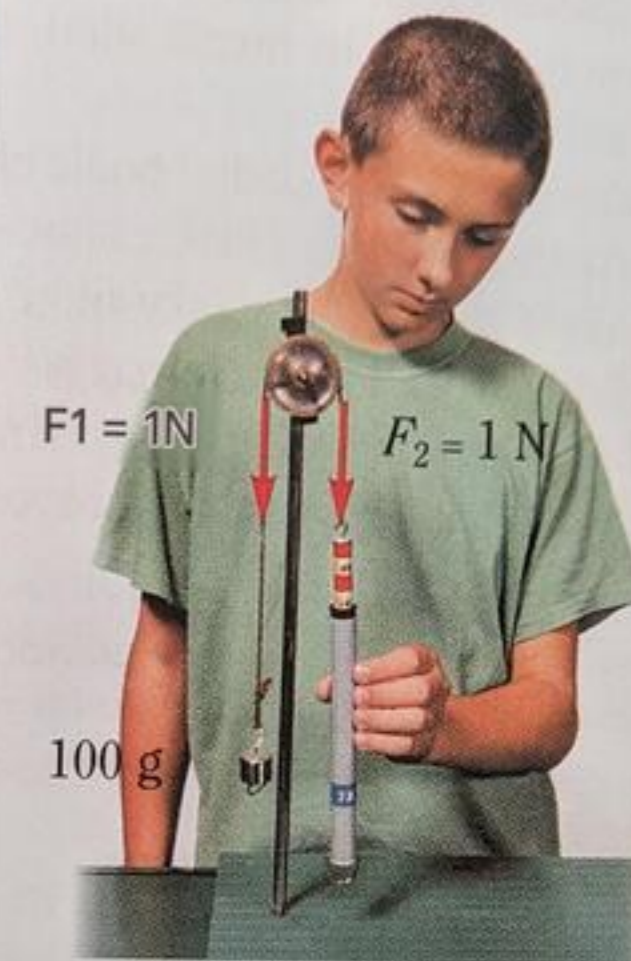
**Pevná kladka je v rovnovážné poloze, když na obou koncích lana působí stejné síly.**

? V čem je výhodné používání pevné kladky, když musíme při zvedání nákladu působit stejně velkou silou jako bez použití kladky? Pro nás je poho-

Fig. 1.95 Using a fixed pulley

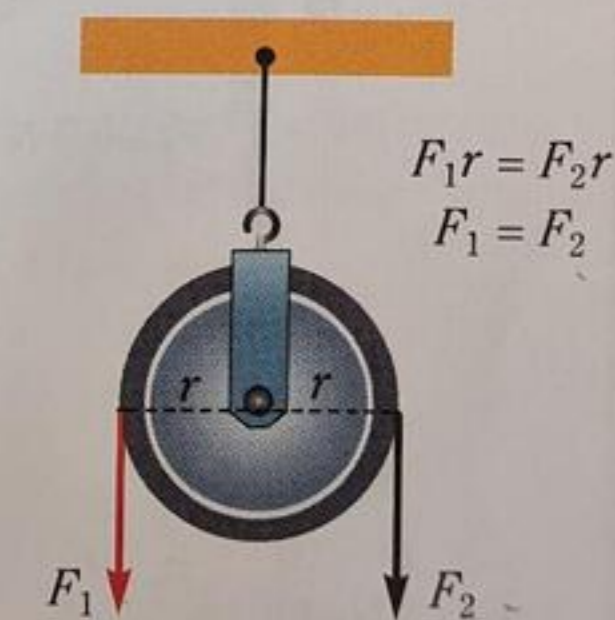


Fig. 1.96  
a) Fixed pulley



1.20

b) Fixed pulley as an isosceles lever



**Note:**

The condition for the equilibrium position of a fixed pulley can also be derived by imagining the pulley as an isosceles lever with an arm equal to the pulley radius  $r$ . The moment of force  $M_1 = F_1 r$  rotates the pulley in one direction and the second moment of force  $M_2 = F_2 r$  rotates the pulley in the opposite direction (Fig. 1.96b). The fixed pulley is in equilibrium if both moments of forces, i.e. both forces, are of equal magnitude,  $F_1 = F_2$ .

**A fixed pulley is in equilibrium when the same forces act on both ends of the rope.**

? What is the advantage of using a fixed pulley when we have to exert the same amount of force when lifting a load as without using a pulley? For us, it is convenient

dlnější působit silou směrem dolů. Můžeme přitom využít i tahovou sílu, která vzniká přitahováním našeho těla k Zemi. Říkáme, že využijeme i vlastní tíhu. Při zvedání těžkých pytlů s cementem na stavbě používají zedníci kladku tak, že mohou táhnout menší silou, než jakou je pytel přitahován k Zemi. Jak to lze zařídit?

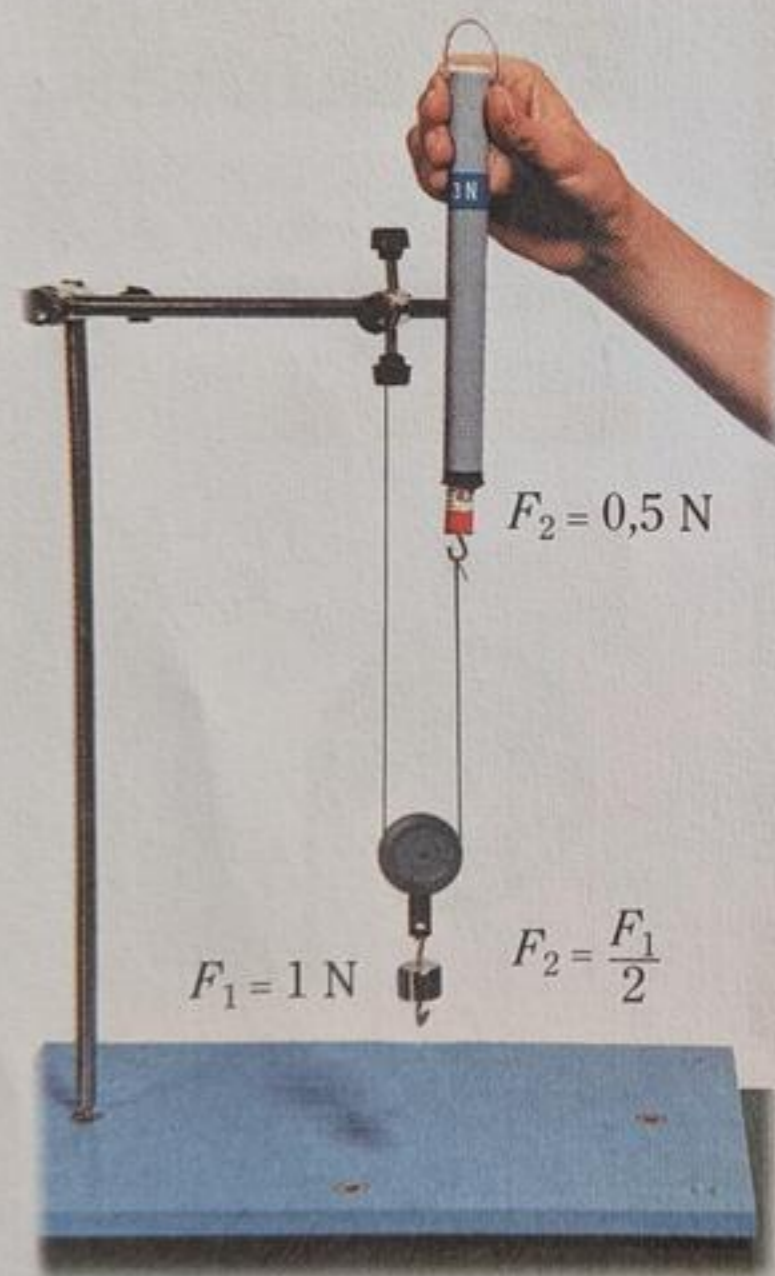
→ Zavěste lehkou kladku podle obr. 1.97 na lano. Na osu kladky zavěste závaží o hmotnosti 100 g. Zjistěte siloměrem, jakou silou je napínáno lano. Zatímco závaží táhne za osu kladky silou 1 N, lano je napínáno poloviční silou 0,5 N.

Takto užitá kladka se nazývá **volná kladka**. Volná kladka je v rovnovážné poloze, když na volný konec lana působíme silou o poloviční velikosti, než je gravitační síla působící na zvedaný náklad.

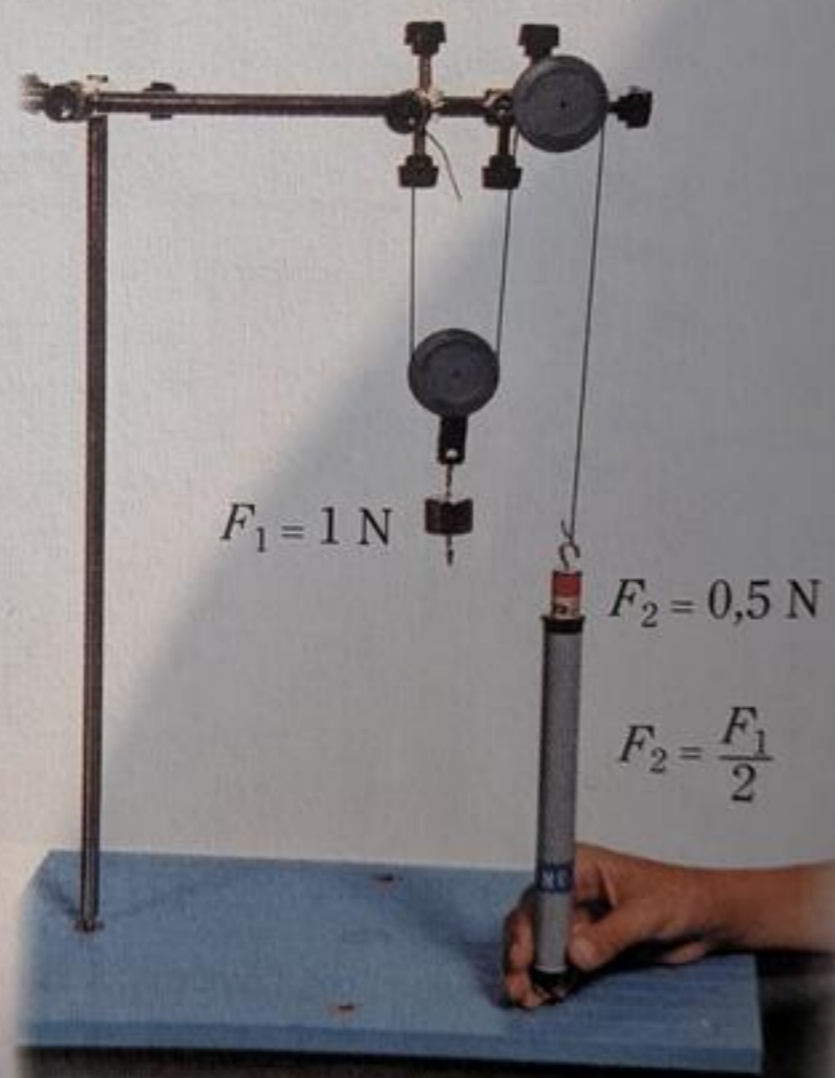
#### Poznámka:

Přesněji bychom měli započítat i gravitační sílu působící na kladku. Pokud má kladka ve srovnání se závažím malou hmotnost, projeví se na výsledku pokusu tato síla nepatrně.

Obr. 1.97 Volná kladka



Obr. 1.98 Kladkostroj



Při použití volné kladky sice táhneme menší silou než u pevné kladky, ale nevýhodné je, že táhneme směrem nahoru. Jak bychom to mohli změnit?

Ke změně směru síly můžeme přece využít pevnou kladku. Když tedy volný konec lana volné kladky povedeme přes pevnou kladku (obr. 1.98), budeme táhnout poloviční silou dolů. Takové zařízení se nazývá **kladkostroj**.

It is more efficient to exert downward force. We can also use the pulling force that is created by the attraction of our body to the Earth. We say that we will also use our own weight. When lifting heavy bags of cement on a construction site, masons use a pulley so that they can pull with less force than the bag is attracted to the Earth. How can this be arranged?



Hang a light pulley as shown in Fig. 1.97 on a rope. Hang a weight of 100 g on the pulley axis. Use a force gauge to determine the tension in the rope. While the weight pulls on the pulley axis with a force of 1 N, the rope is tensioned with half the force of 0.5 N.

A pulley used in this way is called a free pulley. A free pulley is in equilibrium when a force of half the magnitude of the gravitational force acting on the load being lifted is applied to the free end of the rope.

#### Note:

More precisely, we should also take into account the gravitational force acting on the pulley. If the pulley has a small mass compared to the weight, this force will have a negligible effect on the result of the experiment.

Fig. 1.97 Idler pulley

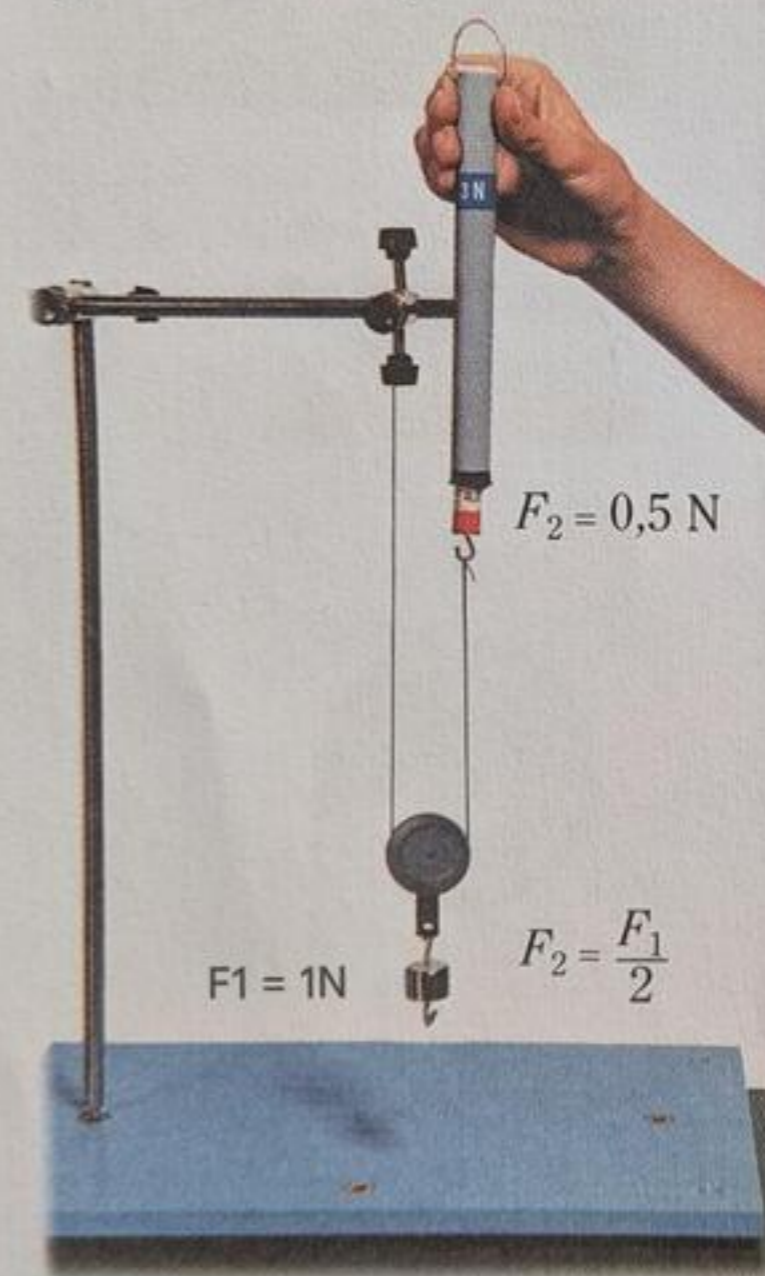
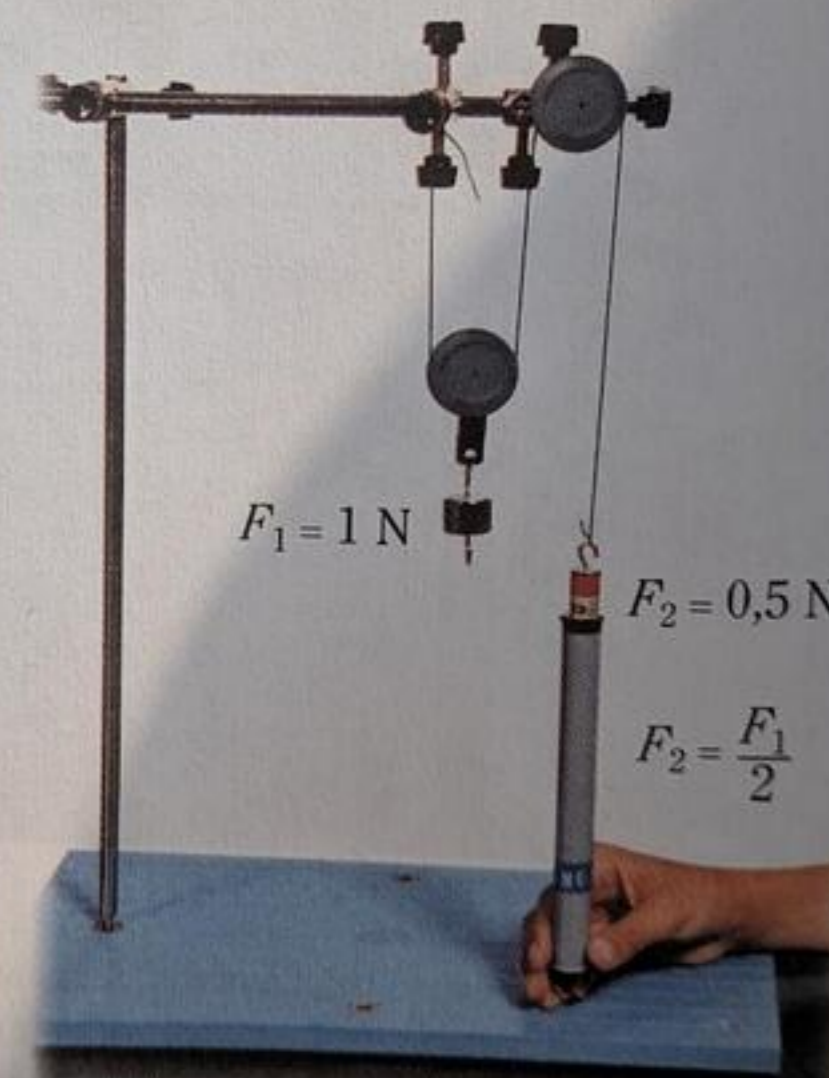


Fig. 1.98 Block and tackle



When using a free pulley, we pull with less force than with a fixed pulley, but the disadvantage is that we pull upwards. How could we change this?

We can use a fixed pulley to change the direction of the force. So if we pass the free end of the rope of the free pulley over the fixed pulley (Fig. 1.98), we will pull down with half the force. Such a device is called a block and tackle.

V praxi se používají kladkostroje složené z několika kladek pevných a volných, což umožní zvedat náklady ještě menší silou než při užití jednoduchého kladkostroje.

1.20

## Otázky a úlohy

1. Popiš pevnou kladku, nakresli jednoduchý obrázek pevné kladky.
2. Jaká je podmínka pro rovnovážnou polohu pevné kladky? Předved' pokusem.
3. Uveď výhody a nevýhody volné kladky ve srovnání s pevnou kladkou.
4. Popiš jednoduchý kladkostroj. Jaké jsou jeho výhody?

1. Při použití pevné kladky (např. obr. 1.95) se často netáhne za lano svisle dolů, ale šikmo. Navrhni pokus, kterým pomocí siloměru ukážeš, zda i při šikmém tažení lana je kladka v rovnovážné poloze, když na oba konce lana působí stejně velké síly.

2. Lano pevné kladky se přetrhne působením síly 6 000 N. Jakou největší hmotnost může mít těleso zvedané pomocí pevné kladky?

3. Těleso zavěšené na laně vedeném přes pevnou kladku udržuješ v rovnovážné poloze tím, že volný konec lana táhneš svisle dolů. Při tom stojíš na vodorovné podlaze. Jakou největší hmotnost může mít těleso, které takto udržíš v rovnovážné poloze?

Jakou tlakovou silou v tomto případě působíš na podlahu?

4. Jak velkou silou udržíš v rovnováze pytel cementu na volné kladce?

5. Pevnou kladku jsme si podle obr. 1.96b modelovali jako rovnoramennou páku. Prohlédni si obr. 1.97 a pokus se nakreslit, jaká páka může být modelem volné kladky. Vyznač v ní osu otáčení a působící síly.

Obr. 1.99 K úloze 6



85

In practice, hoists consisting of several fixed and free pulleys are used, which allows lifting loads with even less force than when using a single hoist.

1.20

## Questions and tasks

1. Describe a fixed pulley, draw a simple picture of a fixed pulley.
2. What is the condition for the equilibrium position of a fixed pulley? Demonstrate with an experiment.
3. List the advantages and disadvantages of a free pulley compared to a fixed pulley.
4. Describe a simple pulley block. What are its advantages?

01. When using a fixed pulley (e.g. Fig. 1.95), the rope is often not pulled vertically downwards, but diagonally. Design an experiment using a force gauge to show whether the pulley is in equilibrium even when the rope is pulled diagonally, when the forces acting on both ends of the rope are of equal magnitude.

2. The rope of a fixed pulley breaks under the action of a force of 6,000 N. What is the maximum mass of an object lifted by a fixed pulley?

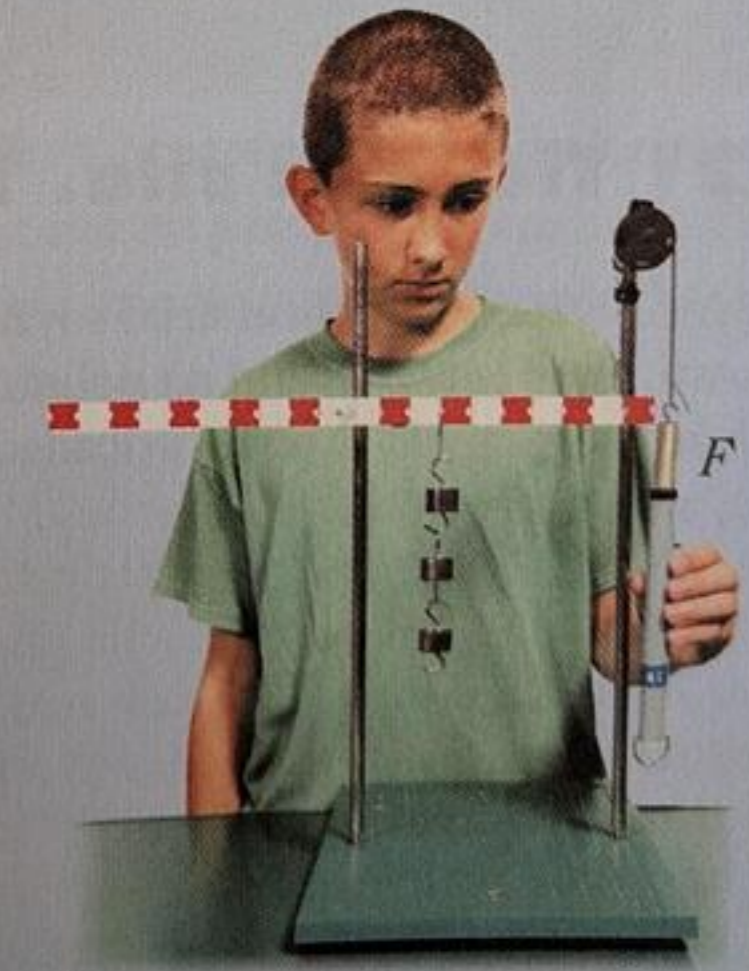
3. You keep a body suspended from a rope passing over a fixed pulley in equilibrium by pulling the free end of the rope vertically downwards. While doing so, you are standing on a horizontal floor. What is the maximum mass of the body that you can keep in equilibrium in this way?

What pressure force do you exert on the floor in this case?

4. How much force will you use to keep a bag of cement in balance on a free pulley?

5. We modeled the fixed pulley as an isosceles lever according to Fig. 1.96b. Look at Fig. 1.97 and try to draw what kind of lever could be a model of a free pulley. Mark the axis of rotation and the acting forces.

Fig. 1.99 For task 6



6. The system according to Fig. 1.99 consists of a lever and a fixed pulley. The mass of each weight in the figure is 100 g. The lever is at rest in a horizontal equilibrium position. Calculate the magnitude of the force F. Verify the calculation by experiment.

85