

FYZIKA

K tzv. stavové rovnici pro jeden mol ideálního plynu

KAREL BARTUŠKA

Gymnázium, Praha – Nad Štolou

Ve fyzikální literatuře se běžně setkáváme s tvrzením, že stavová rovnice $pV_m = RT$ platí jen pro plyn o látkovém množství 1 mol (viz např. [1], s. 43, [2], s. 374, [3], s. 118, [4], s. 148 aj.). Úkolem tohoto článku je vysvětlit, jak toto tvrzení vzniklo a ukázat, že je nesprávné.

Důkaz nesprávnosti výše uvedeného tvrzení je snadný. Ze stavové rovnice pro ideální plyn

$$pV = nRT \quad (1)$$

vyplývá

$$p \frac{V}{n} = RT \quad (2)$$

a odtud po dosazení molárního objemu $V_m = V/n$

$$pV_m = RT. \quad (3)$$

Poněvadž rovnice (1) a (2) platí pro libovolné látkové množství n ideálního plynu (veličina n se v obou rovnicích explicitně vyskytuje), musí také pro libovolné látkové množství n ideálního plynu o tlaku p , teplotě T a molárním objemu V_m platit z nich odvozená rovnice (3) (rovnici (3) dostaneme z rovnice (2) pouhým dosazením $V_m = V/n$). Tvrzení, že tato rovnice platí jen pro plyn o látkovém množství 1 mol, je tedy nesprávné. Studenti si při této interpretaci rovnice (3) nesprávně představují, že ji lze použít jen v případě, jestliže v nádobě je ideální plyn o látkovém množství 1 mol.

Pro lepší pochopení fyzikální interpretace rovnice (3) se zabývejme podobným problémem, který by mohl vzniknout při odvození stavové rovnice ideálního plynu s hustotou ϱ . Ze stavové rovnice pro ideální plyn

$$pV = \frac{m}{M_m}RT \quad (4)$$

vyplývá

$$pM_m = \frac{m}{V}RT \quad (5)$$

a odtud po dosazení hustoty $\varrho = m/V$ dostáváme

$$pM_m = \varrho RT. \quad (6)$$

Poněvadž rovnice (4) a (5) platí pro plyn o libovolném objemu V , musí pro plyn o libovolném objemu V , tlaku p a hustotě ϱ platit také z nich odvozená rovnice (6). Tvrzení, že tato rovnice platí jen pro plyn o objemu 1 m^3 by bylo nesprávné. Zatímco se toto tvrzení v praxi nevyskytuje, o rovnici (3) se běžně říká, že platí jen pro plyn o látkovém množství 1 mol .

Podobných příkladů si čtenář může sestavit více. Tak např. z rovnice (4) vyplývá stavová rovnice ve tvaru

$$p\nu = \frac{R}{M_m}T \quad (7)$$

kde $\nu = V/m = 1/\varrho$ je měrný objem plynu. Rovnici

$$pV = NkT \quad (8)$$

můžeme zapsat také ve tvaru

$$p = N_V kT \quad (9)$$

kde $N_V = N/V$ je hustota molekul. O rovnicích (7) a (9) však nikdo neříká, že platí jen pro 1 kg , resp. pro 1 m^3 ideálního plynu. Obě tato tvrzení by byla opět nadbytečná, nesprávná a zavádějící.

O nesprávnosti tvrzení, podle kterého rovnice (3) platí pouze pro 1 mol ideálního plynu, se můžeme také přesvědčit numerickým řešením příkladů.

Příklad 1

Ideální plyn uzavřený v nádobě má tlak $p = 10^5 \text{ Pa}$ a termodynamickou teplotu $T = 300 \text{ K}$. Jaký je jeho molární objem?

Řešení:

Hledaný molární objem vypočteme ze vztahu (3), ze kterého vyplývá

$$V_m = \frac{RT}{p} = \frac{8,31 \cdot 300}{10^5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \approx 0,025 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Příklad 2

Ideální plyn uzavřený v nádobě má molární objem $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ a termodynamickou teplotu 360 K. Jaký je jeho tlak?

Řešení:

Ze vztahu (3) vyplývá

$$p = \frac{RT}{V_m} = \frac{8,31 \cdot 360}{0,3} \text{ Pa} \approx 10^4 \text{ Pa}.$$

Z řešení obou příkladů je patrné, že rovnici (3) jsme použili pro libovolné látkové množství n ideálního plynu a nikoliv jen pro jednotkové látkové množství (tento předpoklad jsme nikde nepoužili).

Rovnice (3) je tak jednoduchým důsledkem rovnice (1), že jí ani není nutné dávat zvláštní název. Tak postupuje Výkladový slovník pro základní vysokoškolský kurs [5], který obě rovnice (1) a (3) nazývá stejným názvem „stavová rovnice ideálního plynu“ ([5], s. 205). Pro snazší vyjadřování můžeme však rovnici (3) nazvat „stavovou rovnici ideálního plynu s molárním objemem“ a rovnici (1) „stavovou rovnici ideálního plynu s látkovým množstvím“.

Název rovnice (1) „stavová rovnice ideálního plynu pro n molů“ je rovněž nevhodný, neboť vznikl jako protiklad k nesprávnému názvu rovnice (3), která platí údajně jen pro 1 mol. Rozdíl mezi těmito rovnicemi však není v tom, že první platí pro n molů ideálního plynu a druhá pro 1 mol, ale v tom, že se v nich vyskytují různé stavové veličiny. Podobně je třeba také chápat rozdíly mezi rovnicemi (4) – (6), (4) – (7) a (8) – (9). I tyto rovnice se liší jen stavovými veličinami, které v nich vystupují. Připomeňme, že stavovou rovnici (4) rovněž nenazýváme „stavovou rovnicí ideálního plynu pro m kilogramů“.

Příčiny vzniku výše uvedené chybné interpretace rovnice (3) je třeba hledat především v historii fyziky. Starší čtenáři se jistě pamatují, že pojem látkového množství a molárních veličin je poměrně mladý. Před tím se

používaly veličiny, které se dnes vyskytují již jen ve starších učebnicích (např. množství látky se udávalo v grammolekulách).

Ve starších učebnicích se většinou uváděly současně vedle sebe rovnice $pV = RT$ a $pV = nRT$ (viz např. [6], s. 621, [7] s. 389, [8], s. 120 aj.). Např. v učebnici [8] se na s. 120 uvádí „... stavovou rovnici pro jeden mol ideálního plynu můžeme napsat ve tvaru

$$pV = RT$$

a pro n molů plynu ve tvaru

$$pV = nRT.$$

Poněvadž pojem molárního objemu nebyl v této době ještě používán, bylo označení první rovnice jako rovnice platné pro jeden mol nutné (z dnešního hlediska je tato rovnice ovšem jednotkově nesprávná). Bez použití pojmu molárního objemu nemohl být vztah mezi těmito rovnicemi, jejich zápis a výklad jejich fyzikálního významu řešen tak, jak je to uvedeno v úvodu tohoto článku (viz rovnice (1) až (3)). V dnešní době je název „stavová rovnice pro jeden mol ideálního plynu“ již jen zastaralým a věcně nesprávným historickým reliktem.

Proti těmto argumentům lze namítnout, že při odvození stavové rovnice ideálního plynu s molárním objemem (3) z rovnice

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \quad (10)$$

musíme použít předpoklad, že uvažujeme plyn o látkovém množství 1 mol, a to i tehdy, použijeme-li současnou terminologii. Sledujme proto obvyklé odvození tohoto vztahu trochu podrobněji. Toto odvození, které lze nalézt v řadě učebnic (viz např. [1], s. 42), lze zapsat přibližně takto:

„Rovnici (10) napíšeme ve tvaru

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \quad (11)$$

kde veličiny p_0 , V_0 a T_0 jsou veličiny charakterizující počáteční stav plynu. Je-li ideální plyn v počátečním stavu v normálních podmínkách ($p_n = 101\,325 \text{ Pa}$, $T_n = 273,15 \text{ K}$) a jeho látkové množství je 1 mol, pak objem plynu $V_{mn} = 22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ je podle Avogadrova zákona pro

všechny ideální plyny stejný. Pro 1 mol ideálního plynu pak podle rovnice (11) platí

$$\frac{pV_m}{T} = \frac{p_n V_{mn}}{T_n} = R$$

a odtud $pV_m = RT$. Konstanta $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (molární plynová konstanta) je pro všechny ideální plyny stejná“.

Z tohoto odvození rovnice $pV_m = RT$ se zdá, že musíme použít předpoklad, podle kterého uvažujeme jen jeden mol ideálního plynu. Při trošce pozornosti však zjistíme, že tomu tak není, neboť se v tomto odvození vyskytují některé nepřesnosti a logické chyby.

Základní chyba spočívá v tom, že se na některých místech tohoto odvození nerozlišuje mezi dvěma různými veličinami: objemem plynu V (jednotka m^3) a molárním objemem plynu V_m (jednotka $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$). Veličina $V_{mn} = 22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ není objem plynu (viz text předcházejícího odvození), ale molární objem (normální molární objem). V rovnici (11) je zase veličina V_0 objem plynu a proto do ní nelze dosazovat normální molární objem plynu V_{mn} . Analogicky do levé strany rovnice (11) nelze dosazovat za objem plynu V molární objem V_m ani v případě, že látkové množství plynu je 1 mol. Aby bylo toto dosazení možné, musíme nejprve rovnici (11) upravit tak, aby se v ní vyskytovaly molární objemy.

K tomuto účelu vypočteme nejprve ze vztahů pro molární objemy

$$V_m = \frac{V}{n} \text{ a } V_{0m} = \frac{V_0}{n}$$

objemy plynu $V = V_m n$ a $V_0 = V_{0m} n$. Po dosazení do rovnice (11) a po vykrácení látkového množství n dostaneme

$$\frac{pV_m}{T} = \frac{p_0 V_{0m}}{T_0} \quad (12)$$

Je-li plyn na počátku v normálním stavu, pak p_0 je normální tlak p_n , T_0 normální teplota T_n a V_{0m} molární objem plynu při normálních podmínkách, tj. normální molární objem V_{mn} . Po dosazení do pravé strany rovnice (12) pak dostáváme

$$\frac{pV_m}{T} = \frac{p_n V_{mn}}{T_n} = R \quad \text{a odtud} \quad pV_m = RT.$$

Poněvadž je podle Avogadrova zákona normální molární objem V_{mn} pro všechny ideální plyny stejný, je veličina R konstanta (molární plynová konstanta).

Porovnáme-li toto odvození s předcházejícím, zjistíme, že jsme nikde nepředpokládali, že uvažovaný plyn má látkové množství 1 mol. Rovnice (3) platí proto pro libovolné látkové množství.

Avogadrův zákon jsme formulovali větou „všechny ideální plyny mají stejný normální molární objem $V_{\text{mn}} = 22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ “. Z definice molárního objemu vyplývá, že v literatuře se často vyskytující formulace „jeden mol libovolného ideálního plynu má stejný normální molární objem $V_{\text{mn}} = 22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ “ je nevhodná, neboť údaj „jeden mol“ je v této větě nadbytečný. Pro srovnání je možné uvést, že stejně nevhodné by bylo např. tvrzení, podle kterého „jeden krychlový metr vody má hustotu $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ “. I zde z definice hustoty vyplývá, že údaj „jeden krychlový metr“ je v této větě nadbytečný a matoucí.

Pokud bychom chtěli z rovnice (11) přímo odvodit rovnici (1), stačí do pravé strany rovnice (11) dosadit vztah $V_0 = nV_{0\text{m}}$ vyplývající z definice molárního objemu plynu $V_{0\text{m}}$. Je-li plyn na začátku v normálním stavu, po dosazení dostaneme

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 n V_{0\text{m}}}{T_0} = n \frac{p_n V_{\text{mn}}}{T_n} = nR$$

a odtud

$$pV = nRT.$$

Pro názor, že stavová rovnice (3) platí pouze pro 1 mol ideálního plynu, hovoří zdánlivě ještě jedno odvození této rovnice, které se často vyskytuje v učebnicích. Toto odvození lze formulovat takto: „Dosadíme-li do stavové rovnice (1)

$$pV = nRT$$

za látkové množství $n = 1$ mol, pak v této rovnici je V objem plynu o jednotkovém látkovém množství, tedy molární objem V_{m} . Pro jeden mol ideálního plynu proto platí

$$pV_{\text{m}} = RT."$$

Nedostatky tohoto odvození však nalezneme opět snadno. Veličina V v rovnici (1) je objem, a proto za ní nelze dosadit molární objem V_{m} ani

v případě, že látkové množství plynu je jeden mol. Jinými slovy objem plynu o látkovém množství 1 mol je zase objem (s jednotkou m^3), nikoliv však molární objem (s jednotkou $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$). Z formálního hlediska je také nevhodné, že do veličinové rovnice (1) dosazujeme jen jednu fyzikální veličinu s danou číselnou hodnotou ($n = 1 \text{ mol}$). Navíc látkové množství n by z této rovnice vymizelo jen při dosazení nesprávného vztahu $n = 1$.

Správné odvození vztahu (3) ze vztahu (1) je uvedeno v úvodu tohoto článku (viz rovnice (1) až (3)). Rovnice (3) platí tedy pro libovolné látkové množství n ideálního plynu o molárním objemu V_m .

Pro větší názornost porovnejme předcházející nesprávné odvození rovnice (3) s analogicky nesprávným odvozením stavové rovnice ideálního plynu (6) s hustotou ϱ . Analogické odvození rovnice (6) lze zapsat takto: „Dosadíme-li do stavové rovnice

$$pV = \frac{m}{M_m}RT$$

za objem $V = 1 \text{ m}^3$, pak v této rovnici je m hmotnost plynu o jednotkovém objemu, tedy hustota plynu ϱ . Pro plyn o objemu 1 m^3 proto platí

$$p = \frac{\varrho}{M_m}RT$$

a tedy

$$pM_m = \varrho RT.$$

Nevhodnost tohoto postupu, ze kterého zdánlivě vyplývá, že rovnice (6) platí jen pro plyn o objemu 1 m^3 , je opět zřejmá. Veličina m v rovnici (4) je hmotnost, a proto za ní nelze dosadit hustotu ϱ , ani v případě, že objem plynu je 1 m^3 . Hmotnost plynu o objemu 1 m^3 je opět hmotnost (s jednotkou kg), nikoliv však hustota (s jednotkou $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Je opět nesprávné, že do rovnice (4) dosazujeme jen jednu fyzikální veličinu s danou číselnou hodnotou ($V = 1 \text{ m}^3$).

Správné odvození vztahu (6) ze vztahu (4) je uvedeno v úvodu tohoto článku (viz rovnice (4) až (6)). Rovnice (6) platí tedy pro libovolný objem ideálního plynu o hustotě ϱ . Analogicky rovnice (7) platí pro libovolnou hmotnost ideálního plynu o měrném objemu v a rovnice (8) pro libovolný objem ideálního plynu o hustotě molekul N_V .

Závěr

V článku jsou uvedeny některé formální nepřesnosti a chyby, které se často vyskytují při odvození a fyzikální interpretaci tzv. stavové rovnice pro jeden mol ideálního plynu. Čtenář by se neměl domnívat, že jde jen o přehnanou snahu o přesné a pojmově čisté vyjadřování, popř. jen o hru se slovy. Tvrdíme-li totiž, že stavová rovnice ideálního plynu s molárním objemem $pV_m = RT$ platí jen pro jeden mol ideálního plynu, pak vlastně říkáme, že tuto rovnici můžeme použít jen tehdy, jestliže v nádobě je ideální plyn o látkovém množství 1 mol. Toto tvrzení je již chybné, neboť ve skutečnosti může být látkové množství plynu o molárním objemu V_m libovolné. Nepřesná, popř. zastaralá jsou také některá odvození stavové rovnice (3) uváděná ve fyzikální literatuře.

Odvození fyzikálních vztahů a jejich správná interpretace uvedené v tomto článku nejsou pro žáky obtížné. Přitom odstraňují dnes již překonaný historický nános, který se mechanicky přepisuje z učebnice do učebnice.

Poněvadž stavová rovnice ideálního plynu s molární hmotností (3) platí pro libovolné látkové množství ideálního plynu, můžeme ji ve fyzice nebo v chemii použít i v případech, ve kterých uvažujeme plyn o jednotkovém látkovém množství oprávněně.

Literatura

- [1] Svoboda, E. – Bakule, R.: Molekulová fyzika. Academia, Praha 1992.
- [2] Horák, Z. – Krupka, F.: Fyzika. Příručka pro vysoké školy technického směru, svazek 1. SNTL, Praha 1976.
- [3] Javorskij, B. M. – Selezněv, Ju. A.: Přehled elementární fyziky. SNTL, Praha 1989.
- [4] Svoboda, E. a kol.: Přehled středoškolské fyziky. Prometheus, Praha 1996.
- [5] Mechlová, E. – Košťál, K. a kol.: Výkladový slovník pro základní vysokoškolský kurs. Prometheus, Praha 1999.
- [6] Horák, Z. – Krupka, F. – Šindelář, V.: Technická fyzika. SNTL, Praha 1960.
- [7] Ilkovič, D.: Fyzika. SVTL, Bratislava 1957.
- [8] Hajko, V. – Daniel – Szabo, J.: Základy fyziky. Veda, Bratislava 1983.

Intuitivní představy o pohyb a síle I

DANA MANDÍKOVÁ

MFF UK Praha

Člověk si od raného dětství vytváří na základě bezprostředního vnímání okolního světa a aktivního styku s ním řadu představ o tom, jak se tento svět chová a jak funguje. Takové intuitivní představy (prekoncepty) si do výuky fyziky (a nejen ji) přináší každý žák. Výzkumy ukazují, že tyto představy jsou často v rozporu s vědeckými poznatky, jsou také velmi trvalé a pro mnohé žáky tvoří vážnou bariéru, přes níž se při učení těžko dostávají. Pro učitele je důležité, aby zjistil, s jakými představami jeho žáci do výuky přicházejí. Pro žáky zase, aby je dokázali sami zformulovat a uvědomili si je. Mnohdy totiž zůstanou tyto představy skryty, žáci se formálně naučí školní látku, kterou záhy zapomenou, a vrátí se zpět ke svým intuitivním představám. Žáci potřebují poznat rozpor mezi jejich představou a tím, co považují za správné fyzici. Pokud se nám, jako učitelům, podaří přesvědčit žáky o tom, že vědecké poznatky fungují lépe než jejich intuitivní představy a že pomocí nich dokážeme vysvětlit situace, kdy prvotní představy selhávají, jsme na dobré cestě.

Svět, s nímž se žák nejbezprostředněji stýká, je svět pohybujících se těles. Intuitivní představy o pohybu těles patří snad právě proto k těm nejvýraznějším. Ukažme si dále nejčastější chybné představy spojené se vztahem pohybu a síly. Nejprve uvádíme jejich přehled a pak úlohy, na kterých můžete otestovat své žáky i sebe. U jednotlivých úloh jsou vždy také typické žakovské odpovědi.

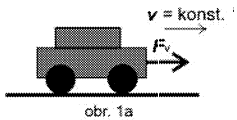
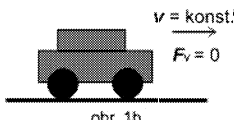
Přehled:

- Při každém pohybu (i rovnoměrném přímočarém) je nezbytné, aby na těleso působila síla ve směru tohoto pohybu.
- Síla působí ve směru pohybu, u křivočarých pohybů má síla směr tečny k trajektorii.
- Síla musí působit tak dlouho, dokud trvá pohyb.
- Na těleso, které se pohybuje rychleji, působí větší síla.
- Na těleso, které je v klidu, nepůsobí žádná síla.
- Při uvádění tělesa do pohybu se na ně přenáší síla.

- Pohybující se tělesa mají tendenci zachovávat původní tvar trajektorie i poté, co přestanou působit vazbové síly.

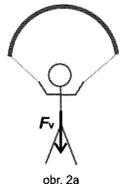
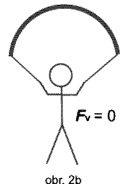
Úlohy:

1. Jaká výsledná síla působí na auto, které jede stálou rychlostí po vodorovné silnici?

<i>Typická odpověď:</i>  obr. 1a Na auto působí výsledná síla ve směru pohybu, jinak by nejelo dopředu.	<i>Správná odpověď:</i>  obr. 1b Rychlost se nemění. Zrychlení auta je nulové a tedy i výsledná síla je nulová.
---	---

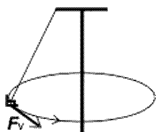
Můžete se také zkusit zeptat, jaká výsledná síla působí na auto, které couvá stálou rychlostí po vodorovné cestě nebo jede stálou rychlostí do kopce.

2. Jaká výsledná síla působí na parašutistu, který se snáší stálou rychlostí k zemi?

<i>Typická odpověď:</i>  obr. 2a Výsledná síla působí směrem dolů k zemi.	<i>Správná odpověď:</i>  obr. 2b Parašutista se snáší stálou rychlostí, výsledná síla je nulová.
---	--

3. Jaká je výsledná síla působící na sedačku řetízkového kolotoče, který se rovnoměrně otáčí? Řešte z pohledu člověka stojícího vedle kolotoče.

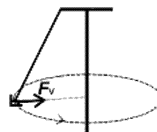
Typická odpověď:



obr. 3a

Výsledná síla míří ve směru tečny ke kružnici.

Správná odpověď:

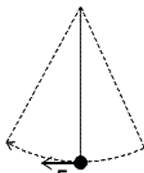


obr. 3b

Výsledná síla míří do středu otáčení. Je výslednicí gravitační síly a tahu závěsu.

4. Jaká výsledná síla působí na kuličku kývající na provázku při průchodu nejnižším bodem? Odpor vzduchu neuvažujte. Řešte z pohledu pozorovatele, který drží provázek.

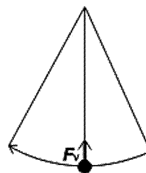
Typická odpověď:



obr. 4a

Výsledná síla směřuje doleva ve směru pohybu.

Správná odpověď:



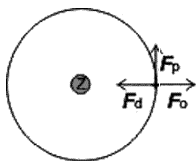
obr. 4b

Výsledná síla směřuje vzhůru ve směru závěsu (výslednice gravitační síly a tahu závěsu), zakřivuje pohyb. Tečné zrychlení kuličky je v tomto bodě nulové, dostředivé zrychlení je maximální.

U této úlohy je dobré rozebrat i jaký je směr výsledné síly v bodech obratu (tečný k trajektorii - tečné zrychlení kuličky je v těchto bodech maximální, dostředivé zrychlení je nulové) a v bodech "mezi" (výsledná síla má nenulovou tečnou i dostředivou složku a není tedy tečnou k trajektorii).

5. Jaké síly působí na družici obíhající rovnoměrně kolem Země? Působení ostatních těles neuvažujte. Řešte z pohledu inerciálního pozorovatele mimo družici.

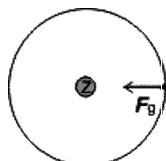
Typická odpověď:



obr. 5a

Na družici působí dostředivá a odstředivá síla, které se vyruší a síla ve směru pohybu.

Správná odpověď:

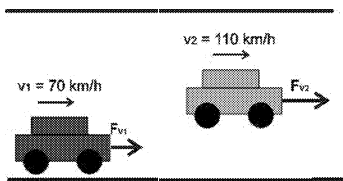


obr. 5b

Na družici působí jen Země gravitační silou.

6. Jaká výsledná síla působí na auta na obrázku? Jedno jede stálou rychlostí 70 km/h, druhé stálou rychlostí 110 km/h.

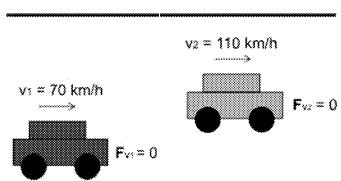
Typická odpověď:



obr. 6a

Na auto, které jede větší rychlostí, musí působit větší výsledná síla.

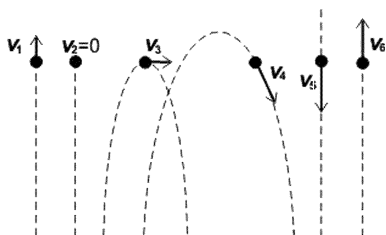
Správná odpověď:



obr. 6b

Obě auta jedou stálou rychlostí, takže výsledná síla, která na ně působí, je v obou případech rovna nule.

7. Žonglér vyhodí do vzduchu 6 míčků. Na obrázku jsou míčky zachyceny v okamžiku, kdy jsou ve stejné výšce. Jsou zde vyznačeny rychlosti míčků v daném okamžiku a jejich trajektorie. Působí na míčky v dané situaci stejné nebo rozdílné síly? Odpor vzduchu neuvažujte.



obr. 7

Typická odpověď:

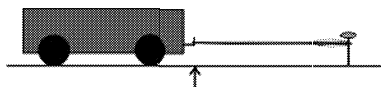
Míčky mají různou rychlost, takže na ně musí působit různé síly.

Správná odpověď:

Na všechny míčky působí v dané situaci jen gravitační síla.

8. Vozík uvádí do pohybu napnutá guma. Vyznačte do obrázku, kde bude mít vozík maximální rychlost.

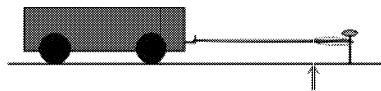
Typická odpověď:



obr. 8a

Maximální rychlosti dosáhne vozík okamžitě po uvolnění, když je guma nejvíce napnutá.

Správná odpověď:

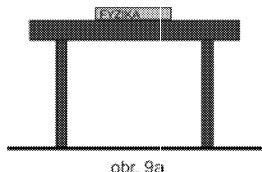


obr. 8b

Vozík dosáhne maximální rychlosti v okamžiku, kdy přestane guma táhnout.

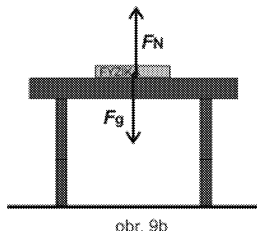
9. Jaké síly působí na knihu ležící na stole?

Typická odpověď:



Na knihu nepůsobí žádná síla, leží v klidu.

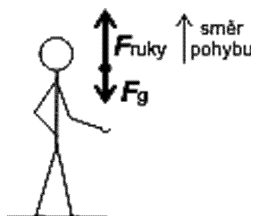
Správná odpověď:



Knihu přitahuje Země gravitační silou F_g a tlačí na ni stůl silou F_N . Výslednice těchto dvou sil je nulová.

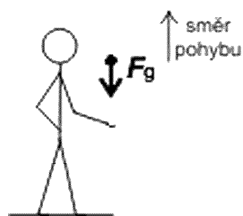
10. Jaké síly působí na míček vyhozený svisle vzhůru? Působení vzduchu neuvažujte.

Typická odpověď:



Kromě gravitační síly působí na míček „síla ruky“ ve směru vzhůru, jinak by neletěl nahoru.

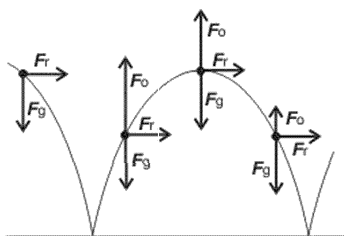
Správná odpověď:



Působí jen gravitační síla.

11. Jaké síly působí na míček hozený šikmo na stůl ve vyznačených bodech? Působení vzduchu neuvažujte.

Typická odpověď 1:



obr. 11a

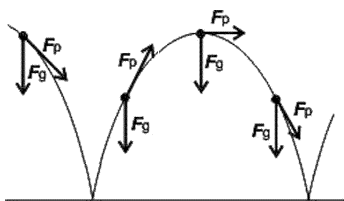
Na míček působí:

F_g – gravitační síla

F_r – „síla ruky“

F_o – „síla odrazu“

Typická odpověď 2:



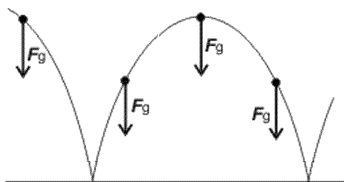
obr. 11b

Na míček působí:

F_g – gravitační síla

F_p – „pohybová síla“

Správná odpověď:



obr. 11c

Na míček působí:

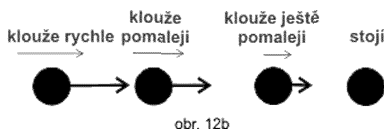
F_g – gravitační síla

12. Puk klouže po úderu hokejkou po zamrzlém rybníku. Jeho rychlost se postupně zmenšuje až do zastavení. Jaká výsledná síla působí na puk v jednotlivých polohách na obrázku?



obr. 12a

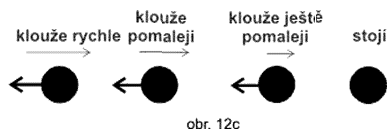
Typická odpověď:



obr. 12b

V prvních třech polohách působí na puk síla od hokejky (jinak by nejel dopředu), ale ta se zmenšuje spolu s rychlostí. Když puk stojí, nepůsobí na něj žádná síla.

Správná odpověď:

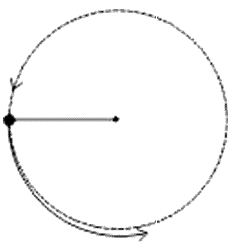


obr. 12c

V prvních třech polohách působí na puk výsledná síla proti směru pohybu (tření, odpor vzduchu), která ho zpomaluje. Když puk stojí, je výsledná síla, která na něj působí, nulová.

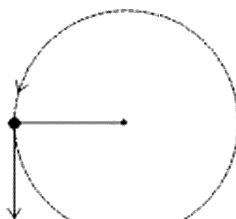
13. Nakreslete, jak se bude pohybovat míček, který máme uvázaný na provázku a točíme s ním na stole, poté, co se provázek přetrhne.

Typická odpověď:



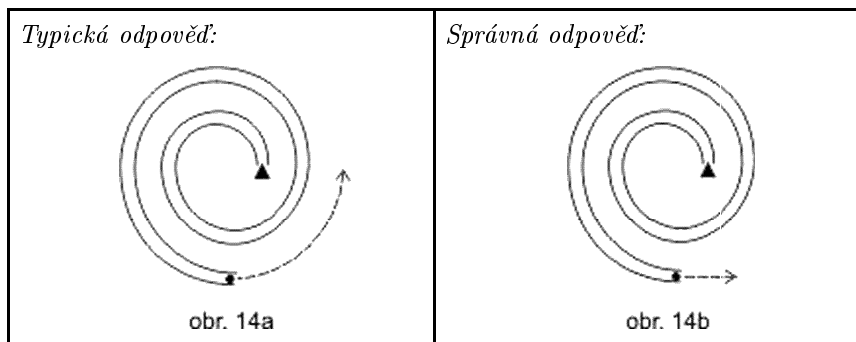
obr. 13a

Správná odpověď:



obr. 13b

14. Nakreslete, jak se bude pohybovat kulička poté, co opustí konec trubice ležící na stole.



Poznámka: Ve všech úlohách je Země považovaná za inerciální vztažnou soustavu a úlohy jsou řešeny z pohledu inerciálních pozorovatelů. V řešení úloh mluvíme jen o gravitační síle a ne o tíhové síle.

Literatura

- [1] Mandíková, D.: Intuitivní představy o pohybu a síle. Disertační práce. Praha, MFF UK 1990.
- [2] Mandíková, D.: Intuitivní představy ve fyzice. MFI 3, 1993, č. 2.
- [3] Nachtigall, D.: Vorstellungen im Bereich der Mechanik. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie, 34, 1986, č. 13.

Fyzikální pedagogická sekce JČMF ve spolupráci s Katedrou experimentální fyziky PřF UP v Olomouci připravují tradiční setkání učitelů fyziky všech typů škol

11. VELETRH NÁPADŮ UČITELŮ FYZIKY.

Konference se uskuteční ve dnech 28. až 30. srpna 2006 v Olomouci v aule Právnické fakulty UP na tř. 17. listopadu. Ubytování účastníků je zajištěno v kolejích UP. Vložené konference je 600 Kč.

Podrobnější informace jsou na adrese: <http://vnuf.upol.cz/>

Pozvánku k účasti na konferenci si lze vyžádat také na adrese: renata.holubova@upol.cz
