



MARTIN Zkus si odpovědět, jak je to v běžném životě.

KLÁRA Do strojů musíme nalít naftu nebo benzín, případně je zapojit do elektrické zásuvky. A lidé se musí najíst a napít.

MARTIN Přesně. Fyzikálně bychom to řekli asi tak, že tělesa musí mít energii, aby mohla konat mechanickou práci. Doplnění paliva, jak jsi to vyjádřila ty, je jednou z možností, jak energii získat. energii lze také nashromážďovat konáním práce. Konáním práce můžeme totiž nějakému tělesu dodat ener-



gii. A to platí i obráceně. Vykona-li nějaké těleso mechanickou práci, jeho energie klesne. Takže, Kláro, správně by se nemělo říkat, kde se v tělese ta síla bere, ale kde se bere energie, aby člověk nebo stroj konal práci.

KLÁRA Myslím si, že to by si zasloužilo nějaký vysvětlující příklad.

MARTIN Proč ne? Vypůjčím si k tomu ten tvůj vlek s lyžařem, který jsi na začátku rande uvedla jako příklad konání mechanické práce. Vlek koná mechanickou práci tím, že tažnou silou přemísťuje lyžaře po svahu zdola nahoru. Jak se lyžař posouvá po svahu vzhůru, získává energii – v tomto případě mechanickou energii. A poté co vlek vyveze lyžaře na vrchol svahu, tak při jízdě dolů se jeho energie může stát zdrojem konání práce. Třeba tak, že narazí do kiosku s občerstvením a posune ho nebo zbourá.



Takže platí, že práce je vlastně způsob, jak nějakému tělesu předat energii. Ale platí to i obráceně. Když dochází k vydávání (úbytku) energie, koná těleso práci. Energie se proto někdy definuje jako schopnost tělesa konat práci. A energie zcela oprávněně dostala svůj název podle řeckého slova *energeia*, jež znamená vůli a odhodlání k činům.





KLÁRA V běžném životě rozlišujeme různé druhy energií. Platí to i ve fyzice?

MARTIN Samozřejmě. Těch forem energie je celá řada. Světelná, tepelná, elektrická, jaderná, mechanická. A všechny se dokáží za určitých okolností přeměňovat z jedné formy na druhou. Ale protože se v této knížce zabýváme mechanikou, měli bychom se soustředit hlavně na mechanickou energii. Existují dvě její základní formy. Věděla bys, které to jsou?

KLÁRA Kinetická energie a potenciální energie?

MARTIN Přece jen si ze školy něco pamatuješ. Kinetickou energii (česky se jí říká též pohybová energie) mají všechna tělesa, která se pohybují vzhledem k dané vztažné soustavě.

A potenciální energií zpravidla myslíme tíhovou potenciální energii, té se česky říká též polohová energie. Tu mají tělesa, která se nacházejí v tíhovém poli Země. Tato energie, jak už název napovídá, závisí na poloze tělesa v tíhovém poli.

KLÁRA Martine, prosím opět názorný příklad.

MARTIN Zase našeho lyžaře?

KLÁRA Může být.

MARTIN Představ si lyžaře stojícího na vrcholu svahu (kam ho vyvezl vlek). Nachází se v nějaké výšce nad dnem horského údolí, a má tedy (v rámci našeho kopce) maximální tíhovou potenciální energii vůči dnu údolí. A protože stojí na místě, tak má naopak nulovou

kinetickou energii. Když se rozjede z kopce dolů, začne se jeho polohová energie měnit v pohybovou, a proto jeho kinetická energie roste. Zároveň ale ztrácí výšku nad rovinou údolí, takže jeho potenciální energie naopak klesá. Když dorazí do údolí, jeho rychlost





je nejvyšší, stejně jako jeho pohybová energie. Ale protože už nemá žádnou výšku vzhledem ke dnu údolí, jeho tíhová potenciální energie je najednou nulová. Tím jsem vlastně popsal princip přeměňování mechanické energie z jedné formy na druhou. Pro pořádek ale řekněme, že jsme některé vlivy zanedbali, například působení vzduchu na jedoucího lyžaře.

KLÁRA Přeměna polohové energie na pohybovou je celkem pochopitelná. Ale může to být i obráceně? Z pohybové na polohovou?

MARTIN Samozřejmě. Představ si, že by lyžař, jak by byl rozjetý, pokračoval v jízdě do protisvahu. Stoupání by ho začalo zpomalovat, tedy jeho kinetická energie by postupně klesala ze své maximální hodnoty. Současně by se ale zvyšovala lyžařova poloha nad údolím, takže by zase rostla jeho tíhová potenciální energie. V okamžiku, kdy by se lyžař zastavil (a dále nestoupal), byla by jeho kinetická energie opět nulová, zatímco tíhová potenciální energie by nabyla nové maximální hodnoty, dané výškou jeho nové polohy nad údolím.

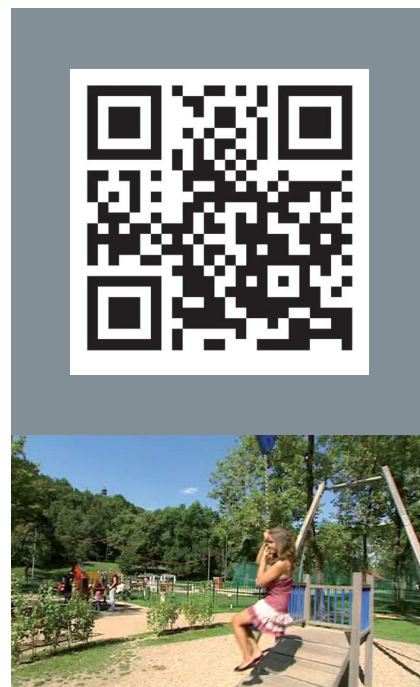
KLÁRA Když jsme natáčeli televizní Rande s Fyzikou, demonstrovali jsme způsob přeměny mechanické energie na dětské kladkové lanovce. Odvážným tělesem, které jízdy opakovaně podstupovalo, byla studentka Anička. Video můžete zhlédnout na webových stránkách České televize zadáním odkazu www.ceskatelevize.cz/rsf/32 anebo nasazením přiloženého QR kódu.

Zdeňku, máme pro mechanickou energii nějaký vztah, podle kterého bychom mohli spočítat její hodnotu?

ZDENĚK Ano. Dokonce pro každou z obou forem mechanické energie máme zvláštní vztah. Tíhová potenciální energie, jak už jsme si řekli, závisí na výšce h nad nějakou stanovenou rovinou. Vzoreček pak vypadá takto:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Kde m je hmotnost tělesa a g tíhové zrychlení. Je nutné si ale uvědomit, že podle tohoto vzorečku spočítáme potenciální energii pouze vzhledem k určité dopředu zvolené rovině. Ten samý lyžař, který bude stát na vrcholu svahu, bude mít jinou tíhovou poten-



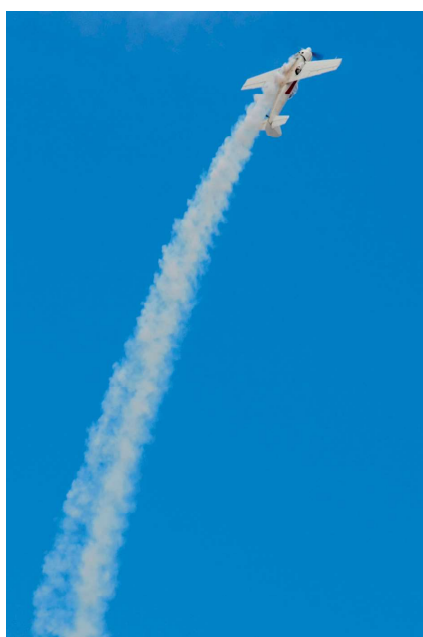
ciální energii vzhledem ke dnu údolí pod svahem a jinou vzhledem k hladině třeba Jaderského moře (i když to by náš vlek nesměl být od Jaderského moře moc daleko, pak by do toho ještě vstupovalo zakřivení Země a už by to vše bylo zase složitější). Pro zjednodušení proto za základní (tzv. nulovou) hladinu polohové energie volíme zemský povrch v tom místě, kde dochází k pohybu, který chceme rozebírat. To je v případě našeho lyžaře nějaká rovina zvolená v údolí pod svahem. Ale občas je praktické vybrat jinou základní rovinu. Sledujeme-li pohyb nějakého míčku v pokoji ve 48. patře mrakodrapu, je praktičtější jeho potenciální energii vztáhnout k podlaze pokoje, než k zemskému povrchu pod mrakodrapem. Ale čistě teoreticky jde obojí.

KLÁRA A jak vypadá vzoreček pro výpočet kinetické energie?

ZDENĚK

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Kde v je okamžitá rychlost tělesa. Je potřeba si uvědomit, že nenulovou kinetickou (pohybovou) energii má pouze pohybující se těleso. A protože kinetická energie závisí na rychlosti (dokonce na její druhé mocnině), která se u většiny pohybů nepravidelně proměňuje (ani náš lyžař nejede stále stejnou rychlostí), je i hodnota kinetické energie pohybujícího se tělesa proměnlivá. Podle výše uvedeného vzorce vypočteme okamžitou hodnotu kinetické energie. A to samé platí i u polohové energie. Jakmile se změní výška, změní se i hodnota polohové energie. Takže podle předešlého vzorečku pro polohovou energii také spočítáme jen její okamžitou hodnotu.



KLÁRA Jakou jednotku používáme pro energii?

ZDENĚK Joule.

KLÁRA Počkej, to je přece jednotka mechanické práce...

ZDENĚK Martin ti už vysvětlil, že tyto dvě veličiny jsou si velmi blízké. Konáním mechanické práce měníš energii. Obě veličiny mají stejný fyzikální rozměr ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$), a proto mají stejnou jednotku.

KLÁRA A existuje nějaký vztah mezi kinetickou a tíhovou potenciální energií pro jejich vzájemné přeměny?

ZDENĚK Existuje. Ale platí pouze v izolovaných soustavách. Tedy v soustavách, na které nepůsobí žádné síly zvenčí. V takovém případě součet okamžité kinetické a okamžité tíhové potenciální energie musí být v každém okamžiku pohybu stejný. Toto tvrzení je vyjádřením důležitého zákona, a to zákona zachování mechanické energie. Ten zní takto: Při mechanických dějích v izolované soustavě se mění potenciální energie v kinetickou energii a naopak, přičemž celková mechanická energie je konstantní.

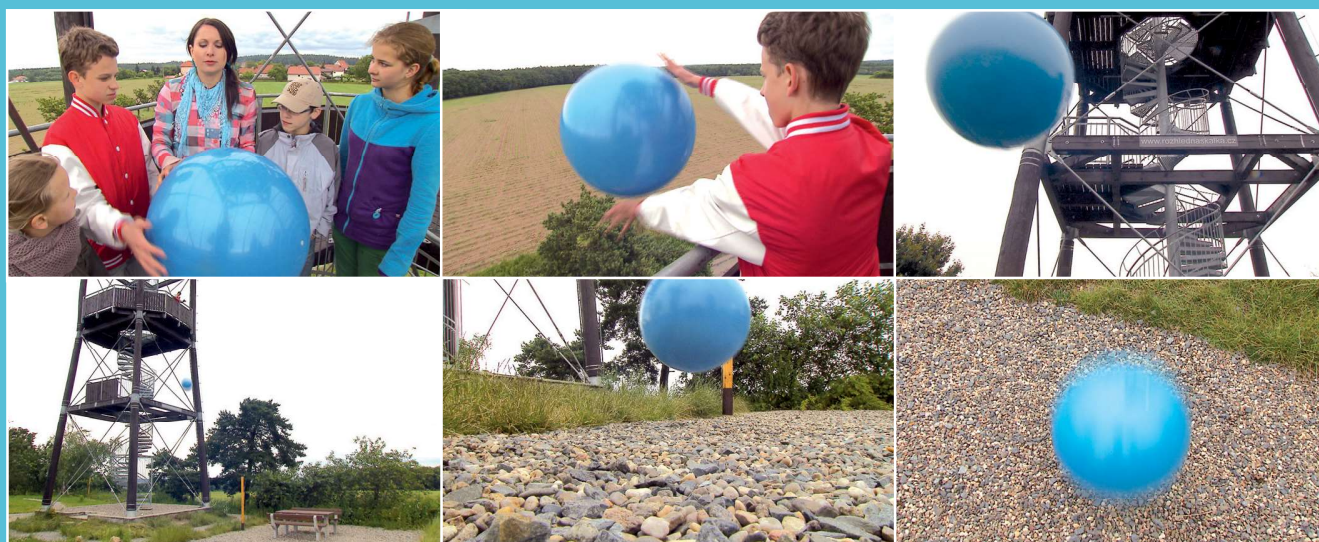
MARTIN Je ovšem velmi těžké najít nějakou důsledně izolovanou soustavu, kde by zákon zachování mechanické energie beze zbytku platil. Navíc když by se tělesa v této soustavě

srážela, musela by být každá srážka dokonale pružná. Jinak by se mechanická energie nezachovávala ani v izolované soustavě. Do pohybových dějů se nám většinou přimíchává nějaké tření nebo odpor vzduchu. V případě našeho lyžaře se jeho mechanická energie snižuje nejen působením vzduchu, ale i vlivem tření lyží o sněhovou pokrývku. A to rozhodně není zanedbatelné tření.

KLÁRA Kdyby ovšem teoreticky nějaká izolovaná soustava existovala a tělesa v ní by se srážela pružně, jak by se tedy zákon zachování mechanické energie v praxi projevoval?

MARTIN Představ si, že bys z nějaké rozhledny pustila míč k Zemi. V okamžiku těsně před vypuštěním by se celková mechanická energie míče rovnala jeho potenciální energii. Kinetickou energii by měl nulovou, protože by byl ještě v klidu. Jakmile by letěl míč směrem k Zemi, jeho potenciální energie by se snižovala, ale kinetická naopak zvyšovala a jejich součet by byl v každém okamžiku stejný. A až by se míč dokonale pružně odrazil od Země, musel by doletět do úplně stejné výšky, z jaké jsi ho pustila. Jen tak by bylo dodrženo to, že součet obou energií je stále stejný. A teď mi řekni. Myslíš, že by to tak mohlo dopadnout i ve skutečnosti?

KLÁRA Těžko. Podle mě by ten míč tak vysoko nedoletěl a zastavil by se o něco níž.



MARTIN Máš naprostou pravdu.

KLÁRA Ale kam se tedy ta část mechanické energie míče ztratila?

MARTIN Ona se neztratila. Jenom se přeměnila na jiné formy. Zákon zachování mechanické energie je ve skutečnosti takovým (ideálním) případem mnohem obecnějšího zákona zachování energie. Ten říká: Při dějích v soustavě těles se mění jedna energie v jinou, nebo přechází energie z jednoho tělesa na druhé, přičemž celková energie soustavy se nemění. Jinými slovy žádnou energii nelze ani vyrobit, ani zničit, jen předat anebo přeměnit na jiné formy. A k tomu došlo v případě míče puštěného z rozhledny.

KLÁRA Martine, a mohl bys mi popsat, na jaké formy se přeměnila část jeho mechanické energie?

MARTIN S radostí. Ale připrav se na to, že to bude docela dlouhý výčet. Už když míč letěl dolů, část své energie ztrácel tím, že rozháněl vzduch, který ho obklopoval. Při dopadu se pak nějaká mechanická energie spotřebovala na vnitřní tření v materiálu při jeho deformaci. Míč je sice víceméně pružný a po nárazu se zformoval do svého původního tvaru, ale máš tu při jeho deformaci další ztrátu energie. Ani terén pod rozhlednou není dokonale pružný, takže i u něj dochází k deformaci, ačkoliv je okem téměř nepostřehnutelná. Míč tedy vykonal práci při deformaci terénu a předal mu nějakou energii. To je další ztráta. A slyšela jsi ránu? Zvuk je rozkmitání vzduchu a na to je také potřeba energie. V neposlední řadě došlo k rozvřívení různých drobných prachových částek při zemi. To znamená, že jim míč předal nějaký další kus energie. Při ná-

Míč shozený z vysoké rozhledny po svém odrazu od země nikdy nevystoupal do původní výšky. S každým dalším odskokem se dosažená výška snižovala, až zůstal ležet na zemi. Kam se poděla jeho mechanická energie?

razu se míč také lehce ohřál. Zase ztráta mechanické energie. Ostatně jeho povrch se ohříval i při letu dolů a nahoru. A cestou nahoru musel opět překonávat odpor vzduchu. Ačkoliv je většina těchto ztrát mechanické energie velmi malá, v součtu je to poměrně významná hodnota, která způsobila, že míč už neměl dostatečnou mechanickou energii na to, aby doletěl zpátky do výšky, ze které byl puštěn. Ale ten obecnější zákon zachování energie byl dodržen. Žádná energie se neztratila, jen byla přeměněna na jiné formy energie, případně přešla na jiná tělesa jako například na ty prachové částičky.

KLÁRA To ale znamená, že při pohybových dějích se nám ta energie tříští na takové malé a dále nevyužitelné drobky.

MARTIN Je to tak. V reálných situacích se část energie přeměňuje do forem, které nedokážeme dále využít.

ZDENĚK A to je také důvod, proč nejde sestavit perpetuum mobile, tedy zařízení, které by se do nekonečna pohybovalo bez jakéhokoliv přidávání energie nebo konání mechanické práce jen na základě přeměn vlastní mecha-

všechna naše energie rozdrobí na ty nevyužitelné drobky a nebudeme mít dost mechanické energie třeba na různé pohyby?

ZDENĚK Toho se, Kláro, nemusíš bát. Pro náš život a pro všechny pozemské děje máme totiž jeden velký zdroj energie. Je jím naše nejbližší hvězda – Slunce. Slunce dodává energii rostlinám i živočichům, díky němu máme na Zemi teplotu příznivou pro život, vodu v kapalném stavu a také naše dnešní hlavní zdroje energie – ropa a uhlí jsou zakonzervovanou sluneční energií. Ve



nické energie. Vždy se totiž objeví nějaké tření součástí zařízení nebo nějaká tepelná ztráta, které část mechanické energie odčerpají.

KLÁRA A když nejde žádná nová energie vyrobit, nemůže se stát, že se

svitu pradávného Slunce rostly stromy a rostliny, z nichž je dnes uhlí a ropa. No a Slunce, to tady bude ještě miliardy let, takže žádné strachy.

KLÁRA Tak to je velmi optimistický závěr devátého rande s Fyzikou. Tohle

rande jsme trochu přetáhli. I to se někdy na rande může stát. Když je lidem spolu dobře, často se zapomenou dívat na hodinky. A to se tentokrát stalo mně s Martinem a Zdeňkem. Tak honem ještě zrekapitulovat nejpodstatnější poznatky z dnešního rande.