



Milí přátelé,

do rukou dostáváte brožurku první série druhého ročníku korespondenčního semináře z fyziky pro základy druhého stupně základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií. Celkem v šesti sériích se vám snažíme přiblížit zajímavé fyzikální problémy formou korespondenčního soutěže. V následujícím textu se dozvíte, jak taková soutěž probíhá, co můžete čekat a proč se vyplácí (začít) řešit Výfuk. Dále v této brožurce najdete zadání první série a seriálový text o fyzikálních jednotkách.

Těšíme se na vaše řešení!

Do soutěže se může zapojit kterýkoliv žák šesti až deváté třídy základní školy nebo odpovídajících ročníků víceletých gymnázií. Stačí poslat řešení aspoň jedné úlohy z některé série. Spolu s nimi nám pošlete své kontaktní údaje (jméno a příjmení, adresu, školu, třídu a e-mailovou adresu).

Průběh soutěže

Šestkrát během školního roku vám pošleme sérii úloh. Na jejich vypracování budete mít přibližně pět týdnů. Do termínu, který bude uveden u zadání, nám je můžete poslat poštou na níže uvedenou adresu nebo přes internet (termín pro zaslání přes internet je zpravidla o kousek později). Po termínu odeslání zveřejníme na internetu spávaná řešení a přibližně do dvou týdnů potom vám je pošleme i domů na udanou adresu. Spolu s nimi vám pošleme i opravené úlohy s komentáři k vašim řešením.

Co z toho budete mít

Nejlepší řešitelé získají (kromě dobrého pocitu) **zajímavé věcné ceny** (knížky, stolní hry, trička semináře a podobně), které si vyberou z předem určené množiny. Přednost ve výběru budou mít ti, kteří se umístí výše v pořadí (v rámci kategorie). Dále se můžete těšit na **tábor Výfuku** na jaře či v létě, kde se setkáte s vrstevníky s podobnými zájmy a užijete si s nimi kromě fyziky i spoustu zábavy; pravděpodobně se usku-

teční ještě nějaké kratší setkání v zimě.

Hodnocení úloh

Za řešení každé z úloh můžete dostat zpravidla tolik bodů, kolik je uvedeno v zadání úlohy. Pokud vaše řešení bude zvláště pěkné, můžete být odměněni i nějakým bodem navíc. Z celkových součtů za série se vytváří pořadí po jednotlivých ročnících zvlášť. Pořadí najdete nejdříve na internetových stránkách přibližně dva týdny po termínu odeslání série. Poštou domů vám dorazí spolu se zadáním dalších úloh.

Seriál

Seriál na pokračování je soubor vysvětlujících textů, jež by vám mohly přiblížit zatím neznámé oblasti matematiky nebo fyziky. Součástí seriálu je seriálová úloha, která je zaměřená zejména na procvičení vysvětlovaného tématu. Text aktuální kapitoly seriálu naleznete na konci této brožurky.

Jak vymyslet řešení

Jak vyřešit každou úlohu na plný počet bodů, vám asi neporadíme, ale můžeme dát několik rad, jež by vám mohly pomoci:

Přečtěte si pořádně zadání. Zní to zvláštně, ale často se stává, že čtenář přehlédne nějakou podmínku, která řešení zjednodušuje, nebo zapomene klidně i na půlku otázek.

Ujasněte si, co víte. V zadání je většinou uvedeno to, co stačí k vyřešení úlohy, ale není to samozřejmostí. Většinu hodnot, které k němu potřebujete, najdete v zadání. Občas ale budete muset něco rozumně odhadnout (třeba hmotnost člověka) nebo najít na internetu (rozchod kolejí na železnici).

Uvědomte si, co chcete vypočítat. K vyřešení úlohy nemusí stačit pouze dosadit do vzorečku, obvykle musíte provést několik mezikroků.

Kreslete si obrázky. Někdo si to umí představit, ale do druhého dne se mu to vykourí z hlavy a musí začít znova. Navíc se o nakresleném lépe přemýšlí.

Používejte tabulky a učebnice. Pokud vám chybí nějaký vztah nebo výpočet, pravděpodobně ho tam najdete. Nebojte se nahlédnout do kapitol, které jste ještě nebrali. Nerozumíte-li nějakému pojmu v zadání, zkuste si ho najít v učebnici nebo na internetu.

V letošním ročníku navíc uvádíme malou nápovědu v podobě **klíčových pojmů** uvedených před zadáním úloh. Každý z těchto pojmů se vztahuje k některé úloze v sérii. Nebudete-li si vědět s některou z úloh rady, ujistěte se, zda znáte všechny klíčové pojmy. Pokud ne, vyhledejte si daný pojem třeba na internetu a něco si o něm přečtěte, třeba vás pak již napadne, jak úlohu řešit.

Co když není úloha na počítání?

Zkuste experimentovat. Někdy je dobré vyzkoušet si, zda popsany jev vůbec nastane. A co musíme udělat, abychom se dobrali správného výsledku.

Hledejte podobné věci. Někdy se zadání úlohy může dát převyprávět jinými slovy tak, že jde o jev, který dobře znáte a umíte vysvětlit.

Jak poznat, že výsledek může být správný?

Zkontrolujte si jednotky a nevynechávejte je v žádném kroku výpočtu. Vyjde-li vám rychlost v kilogramech, bude pravděpodobně něco špatně (více o počítání s jednotkami se dozvíte v seriálovém textu na konci této brožurky).

Zamyslete se nad tím, zda má řešení smysl. Pokud se ptáme na rychlost, kterou musí běžet Tonda na nákup, aby zároveň stihl tramvaj, asi to nebude 200 km/h.

Jak řešení napsat

Každou úlohu vypracujte na zvláštní list papíru A4. Spotřebujete-li na jednu úlohu víc listů, sešijte je dohromady. Každý list na horní straně podepíšte a označte číslem série a úlohy. Pokud je řešení delší než jeden list, každý označte jeho pořadovým číslem a celkovým počtem listů.

Posílate-li řešení elektronicky, platí stejná pravidla. Zvlášť nezapomente podepsat každý list a oddělovat jednotlivé úlohy od sebe, pokud je posíláte v jednom souboru.

Ideální hlavicka řešení vypadá takto:

Viktor Jezeč, G Brno, tř. Kpt. Jaroše 14
1. série, 3. úloha (1. strana ze 3)

Pokud píšete řešení na počítači, můžete pro pohodlnější a hezčí sazení rovníc použít návod na našem webu¹, případně se poučit o svobodném softwaru v dalším textu².

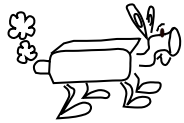
Řešení píšete tak, abychom z něj byli schopni poznat směr vašich úvah. To znamená, že nemáte šetřit komentáři a vysvětleními. Samozřejmě nemusíte komentovat každé rozasobení závorek. Povede-li se vám nějaká početní chyba, není to žádná tragédie, i když to neradí vidíme. To, co chceme, abyste tam napsali, jsou úvahy a souvislosti, které jste si při řešení uvědomili, nebo to, co podle vás vede k výsledku a proč je správný.

Snažte se při úpravách počítat co nejděle „s písmenky“. Číselné hodnoty dosazujte až nakonec. Výsledek rozumně zaokrouhlete.

Každé řešení by mělo obsahovat jasný závěr, v němž bude shrnuto, co jste vymysleli, nebo bude obsahovat výsledek výpočtu nebo experimentu.

Alé nezapomente, že plný počet bodů ze všech serií má malokdo, takže má smysl poslat i úlohu, kterou si nejste úplně jisti, nebo jste si všimli jen nekoliika věcí a zatím si je neumíte dát do souvislosti. Ve vzorovém řešení se dozvíte zbytek.

¹ <http://fyzkos.cz/ulohy/elektronicka-reseni>
² <http://vyfik.fyzkos.cz/jak-psat-reseni/elektronicka>



Zadání I. série



Termín uploadu: 16. října 2012 20.00
Termín odeslání: 15. října 2012

Klíčové pojmy: stavba atomu, nukleonové a protonové číslo, vztlaková síla.

Úloha I.1 ... Cyklistická

2 body

Vypočítejte, jakou rychlostí jede cyklista, když se jeho kolo o průměru 26 palců otočí desetkrát za sekundu. Výsledek uveďte v základních jednotkách SI.



Úloha I.2 ... Noemova krychle

4 body

Mějme krychli o hraně 10 m vyrobenou ze dřeva o hustotě $850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Krychle plove na vodě. Jaká část krychle vyčnívá nad hladinu? Jak se změní výška vyčnívající části, vstoupí-li na krychli slon o hmotnosti 1 t? Kolik nejvýše slonů může být na krychli, aniž by se celá ponořila?

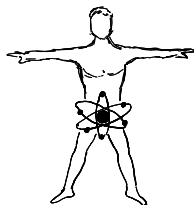
Úloha I.3 ... MHD v Olomouci

4 body

Franta si vyrazil na výlet do Olomouce. Přijel na hlavní nádraží, a protože neměl drobné, šel do města pěšky.

Po cestě si všiml, že tramvaj číslo 1 jej v protisměru míjí s intervalem $T_p = 10 \text{ min } 48 \text{ s}$ a stejná linka jedoucí ve směru chůze s intervalem $T_v = 13 \text{ min } 30 \text{ s}$.

Cestou domů spočítal interval T , ve kterém tramvaje jezdí (za předpokladu, že v obou směrech je stejný). Co mu vyjde?



Úloha I.4 ... Odhal svoje vnitřnosti!

3 body

Odhadněte počet elektronů ve svém těle.

Úloha I.E ... Pravé poledne

7 bodů

Změřte co nejpřesněji čas pravého poledne. Nezapomeňte určit chybu měření a uvést datum a další podstatné okolnosti měření.

Úloha I.C ... Le Système indispensable

6 bodů

- V jedné knize nalezl @adim tabulku, která udávala elektrický odpor, který naměříme, pokud si vezmeme libovolný čtverec daného materiálu o známé tloušťce. Tabulka tedy říká, že naměříme stejný odpor při čtverci o straně 1 cm či čtverci o straně 100 km. Odůvodněte, zda tato tabulka má, či nemá smysl. Jaká by byla jednotka uvedené veličiny?



FYKOS – Výfuk

UK v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta
Ústav teoretické fyziky
V Holešovičkách 2
180 00 Praha 8

www: <http://vyfuk.fykos.cz>
e-mail pro řešení: vyfuk-reseni@fykos.cz
e-mail: vyfuk@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

Ze zkládáních jednotek nám v síle zbyvá sekunda, ta je zde v -2 . mocnině. Jejm umocněním dostaneme veličin obsahující sekundu pouze rychlost v , a to v -1 . mocnině. Jejm umocněním dostaneme -2 . mocninu sekund, tudíž

$$F = mv^2 \text{?}$$

Doposud poskládaná část vzorce má rozměr $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$, oproti požadovanému newtonu je zde metr s vyšší mocninou. Rozměrem poslední zbyvajcí veličiny r je právě metr, tak touto vzdáleností zkusme ve vzorečku dělit

$$F = \frac{mv^2}{r} \text{?}$$

Nyní má pravá strana našeho vzorce rozměr síly $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2} = \text{N}$. Je tedy možné, že pod

otazníkem se již nic dalšího neskrývá.

A vsuktnu – nahledněme-li do fyzikálních tabulek, zjistíme, že vzorec pro odstředivou sílu

při pohybu po kružnici je opravdu $F = mv^2/r$. Uhodl jsem správně vzoreček pouze pomocí

rozměrově analýzy!

Abychom si ukázali, že rozměrová analýza není samospásná, uvedme si druhý příklad. Zkus-

me uhadnout dobu kmítu (periodu) T matematického kyvadla. Intuitivními fyzikálními úvaha-

mi bychom dospěli k tomu, že perioda by měla záviset na délce závěsu kyvadla l a na velikosti

gravitačního zrychlení g . Rozměrem periody je sekunda, délku kyvadla určíme v metrech

a jednotkou zrychlení je $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Zrychlení g obsahuje sekundu v -2 . mocnině, první mocninu sekund z T dostaneme, když

budeme dělit odmocninou z g

$$T = \frac{\sqrt{g}}{?}$$

Pravá strana má nyní ponekud prázvláštní jednotku $\text{s}/\sqrt{\text{m}}$. Odmocninu z metru se zbavíme

vyňásobením odmocninou z délky závěsu

$$T = \sqrt{\frac{l}{g}} \text{?}$$

Nyní má pravá strana správný rozměr, sekundu. Mohli bychom si myslet, že jsme jako v před-
chozím případě již dospěli ke správnému vzorci. Avšak tabulky uvádějí vzorec pro periodu
matematického kyvadla $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, lišící se od našeho dosavadního výsledku bezrozměrným
činitelem 2π .

Přítomnost takovychto bezrozměrných faktorů a veličin rozměrová analýza odhalit nedokáže,

ale často nám může pomoci uhadnout tvar fyzikální závislosti, abychom věděli, kam směřovat

při poctivém odvozování fyzikálních vztahů.

2. Mějme výraz

$$\frac{\sqrt{L \cdot C}}{1}$$

kde L je indukčnost cívky, jež se měří v jednotkách henry a C je kapacita kondenzátoru, jež se měří ve faradech. Pomocí rozměrově analýzy ukážete, jakou jednotku má veličina, které se tento výraz rovná.

Výfuctění: Triky s mirami

V tomto textu si povíme několik zajímavostí z historie měrných soustav, seznámíme se s nejpon-
žívanější měrnou soustavou SI a zdězně i s několika dalšími, doplníme si vědomosti o tom, k čemu
vlastně fyzikální jednotky jsou, a v posleádní, nejdůležitější části tohoto textu (od strany 10) se
dozvíme, jak nám mohou pomoci při kontrole výpočtu nebo dokonce při odvození fyzikálních
vzorců použitím *rozměrově analýzy*, což budete potřebovat při řešení úlohy I.S.

Stručně dějiny měr

Měrné jednotky byly jedním z prvních vynálezů lidské civilizace. I primitivní společnosti potře-
bovala (být tehdy ještě velmi nedokonalé) měrné jednotky, aby mohla stavět obydli či vyrábět
oděvy vhodného tvaru a velikosti.

Velikost měrné jednotky lze vybrat naprosto libovolně (s ohledem na účel, k němuž se
jednotka užívá; asi nemá cenu měřit měřít obvod pasu v zemských poloměrech).

Abv bylo možné řítime využívat míry napříč velkými společnostmi, bylo potřeba, aby v je-
jích rámcích byly měrné jednotky shodné. Nejstarší známé sjednocené měrné systémy pocházejí
z oblasti Egypta, Mesopotámie a porčí Indu (harapská kultura) z dob kolem 3.–4. tisící-
letí př. n. l.

Za nejstarší jednotku hmotnosti se považuje hmotnost zrna obilí. Historické jednotky délky
velmi často vycházely z délek pozorovatelných na lidském těle – tak vznikaly různé palce, stopy
či sáhy. Tyto jednotky musely být na měřidlech standardisovány – aby např. nezávíselo na
tělesných proporcích různých uživatelů měr.

Nicméně tyto standardy se v různých státech a různých dobách lišily. Známe tak například
librou římskou, francouzskou, ruskou, metrickou, moravskou, pražskou, trjjskou, dánskou či
vídeňskou (výčet ani zdaleka není úplný).

Vzhledem k současnosti byla zlomovou událostí Velká francouzská revoluce, jež kromě ji-
ného zrodila *metrickou soustavu*. Ta původní zaváděla *metr* jako jednotku délky a *gram* jako
jednotku hmotnosti, a dále sadu předpon, které označovaly násobné díly (v mocninách deseti,
což bylo novínkou oproti tradičním jednotkám). Gram byl původně (v roce 1795) uzákoněn
jako váha 1 cm^3 vody při bodu tání. Následně se namísto bodu tání zvolila teplota, kdy má
voda největší hustotu (kolem 4°C) a na tomto základě byl roku 1799 zhotoven první platimový
prototyp kilogramu a kilogram byl definován jako hmotnost tohoto prototypu.

V roce 1875 byla podepsána *Metrická konvence*, ke které se tehdy připojila většina evrop-
ských a několik amerických států. Jejím důsledkem bylo založení tři mezinárodních organizací
pečujících o metrickou soustavu: Generální konference pro váhy a míry (CGPM), Mezinárodní
úřad pro váhy a míry (BIPM) a Mezinárodní výbor pro váhy a míry (CIPM).

Tabulka 1: Základní jednotky SI.

veličina	název jednotky	značka
čas	sekunda	s
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
teplota	kelvin	K
elektrický proud	ampér	A
látkové množství	mol	mol
svítivost	kandela	cd

Metrická konvence přinesla celosvětové sjednocení měrných jednotek. A ačkoliv se všechny definice základních jednotek někdy měnily (tato rozhodnutí přijímá na svých sjezdech CGPM), současný metr a kilogram se zásadně neliší od těch z roku 1799.

Od roku 1960 je mezinárodně uznávaná metrická soustava nazývána SI (podrobněji v dalším oddíle).

V současnosti se plánuje další revize SI, podle níž by všechny základní jednotky byly definovány pomocí univerzálních přírodních konstant a jež by umožnila odpoutat se od poslední definice unikátním fyzickým prototypem, jíž je v současnosti prototyp kilogramu.

Système international d'unités

SI, tedy *Mezinárodní soustava jednotek* je moderní formou metrické soustavy a téměř ve všech zemích světa³ je SI uzákoněna jako jediná či hlavní úředně používaná měrná soustava. V České republice upravuje tuto oblast zejména zákon č.

Jádro soustavy SI tvoří sedm *základních jednotek* (tabulka 1), jež jsou určeny definicemi (uvedenými níže). Těchto sedm (nebo šest, nepočítáme-li kandelu) základních jednotek pochopitelně nestačí pro všechny myslitelné fyzikální veličiny; nicméně stačí na to, abychom z nich mohli poskládat příslušné jednotky pomocí násobení a dělení. Tak lze vytvořit *odvozené jednotky*.

Pomocí standardních předpon (tabulka 2) je možné ze základních i odvozených jednotek vytvářet *dílčí a násobné jednotky*, takže namísto *milióntina metru* můžeme říci *mikrometr*, což je méně krkolomné.

Základní jednotky

Nebudeme zde podrobně uvádět definice všech základních jednotek SI z tabulky 1, ty si může každý vyhledat například ve výše zmíněném zákoně 505/1990 Sb. nebo přímo ve standardu.

Za zmínku však stojí způsob, kterým se tyto jednotky zavádějí. V zákoně se můžeme dočíst, že „sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.“ Aniž bychom se podrobně zabývali přesným fyzikálním významem uvedené definice, lze říci, že sekunda je definována pomocí doby trvání jistého mikroskopického jevu, a tuto dobu lze nějakým opakovatelným způsobem měřit. Podobně je zavedena jednotka teploty: „kelvin je 1/273,16 díl termodynamické teploty trojného bodu vody.“ Trojný bod vody, tj. teplota a tlak, při kterých se voda může

³Výjimkami jsou Libérie, Myanmar a Spojené státy americké.

Dejme tomu, že zadaná dráha byla 300 m a rychlost $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Správný výpočet je v takovém případě

$$t = \frac{s}{v} = \frac{300 \text{ m}}{60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}} = 5 \text{ s}.$$

Zde jsme mohli metry ve zlomku bez obtíží zkrátit a dostali jsme v sekundách výsledek stejný jako v nesprávném výpočtu. Co když však zadaná rychlost nebyla $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ale $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$? Správný výpočet pak bude vypadat takto

$$t = \frac{s}{v} = \frac{300 \text{ m}}{60 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 5 \text{ h} \cdot \frac{\text{m}}{\text{km}} = 5 \text{ h} \cdot \frac{\text{m}}{1000 \text{ m}} = 0,005 \text{ h} = 0,005 \cdot 3600 \text{ s} = 18 \text{ s}.$$

Za třetím rovnítkem jsme zde nemohli rovnou zkrátit jednotky délky, ale museli jsme nejdříve vyjádřit kilometr v metrech. Tak jsme dostali výsledek v hodinách. Dosazením za hodinu nakonec dostáváme výsledek v sekundách.

Kdybychom byli ve druhém případě ignorovali jednotky, dostali bychom jako v prvním případě výsledek 5 (s?), který je zde však zjevně nesprávný. Z výpočtu by nebylo možné konkrétní chybu odhalit.

Důsledné počítání s jednotkami pomáhá odhalit i jiné chyby než špatné převody jednotek. Počítáme-li sílu a výsledek má rozměr $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, pravděpodobně jsme někde zapoměli dosadit nějakou hmotnost.

Na obou stranách každé rovnosti musí být stejný fyzikální rozměr. Pokud v nějakém kroku výpočtu na levé straně rovnosti vychází jednotka síly a na pravé straně jednotka energie, zřejmě jsme se dopustili chyby právě v tomto kroku.

Uvědomte si, že argument matematických funkcí jako sinus, kosinus nebo exponenciála je vždy bezrozměrný. Výraz $\cos(2 \text{ m})$ nedává smysl – nejspíš jsme zapoměli argument vydělit nějakou délkou.

Jak uhadnout fyzikální vzorec

Ukažme si nyní, jak nám znalost rozměrů fyzikálních veličin může pomoci při odvození fyzikálních vzorců. Mějme úlohu:

Bětko se točí na kolotoči, pohybuje se rychlostí $v = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vůči zemi. Jakou odstředivou sílu pociťuje? Víme, že Bětko váží $m = 50 \text{ kg}$ a nachází se ve vzdálenosti $r = 2 \text{ m}$ od osy kolotoče.

Neznáme-li vzorec pro výpočet odstředivé síly ani si jej neumíme poctivě odvodit, pomůžeme si rozměrovou analýzou:

Hledáme sílu (označme ji F). O té již víme, že má jednotku $\text{N} = \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Zkusíme tedy násobit či dělit veličiny ze zadání tak, aby rozměr výsledku byl newton.

Newton obsahuje kilogram v první mocnině. Jedinou zadanou veličinou obsahující kilogram je Bětkina hmotnost, která je právě v kilogramech. Výsledný vzorec tedy bude obsahovat tuto hmotnost v první mocnině:

$$F = m \cdot ? .$$

Další základní jednotkou obsaženou v newtonu je metr. Ten je však obsažen ve dvou zadaných veličinách, a tak z něj nejde rovnou určit, jak do našeho vzorce naskládat zbylé zadané veličiny r a v , nechme si jej tedy až na konec.

Přirozené jednotky

Ačkoliv je SI velmi dobrou soustavou pro všeobecné použití, jsou oblasti, kde je výhodně zvolit alespoň pro některé veličiny jednotky jiné. Nejčastěji takové, které jsou blíže spjaté s některou z důležitých fyzikálních konstant – takovým jednotkám říkáme *přirozené*.

Ve fyzice mikrosvětla se zřídka kdy používá k udávání náboje coulomb, častěji se setkáme s elementárním nábojem $e = 1,602176565(35) \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

V téměř odvětví se hojně používá jednotka energie (patříci k vedlejším jednotkám SI), která je dana součinem elementárního náboje a voltu – elektronvolt: $1 \text{ eV} = 1,602176565(35) \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Zkusť si jako cvičení s pomocí tabulky 3 ověřit, že vynásobením coulombu a voltu dostaneme skutečně joule, tudíž vynásobením elementárního náboje a voltu opravdu dostaneme jednotku energie.

V relativistické fyzice se zase používá *geometrická soustava jednotek*, kde se používá stejná jednotka pro délku a čas (které jsou spojeny rychlostí světla c , která se v geometrické soustavě považuje za bezrozměrnou jednotku, $c = 1$).

Počítání s fyzikálními veličinami a rozměrová analýza

Zatímco v rovnících, se kterými se setkáváme v čisté matematické, na místě neznámých obvykle vystupují pouhá čísla, ve fyzikálních rovnících v sobě neznáme nesou to, čemu říkáme fyzikální *rozměr* – tedy kromě čísla je nedílnou součástí této neznáme také fyzikální jednotka. Chápání fyzikálních veličin včetně jejich rozměru je nedílnou součástí „fyzikálního myšlení“.

Takže když se vás někdo zeptá, jaký je rozchod zelezničních kolejí v českých zemích, a vy mu odpovíte 1 435, odpověděte ještě španě. Přirozená reakce zní: 1 435 čeho? Světelných let? Pytlí brambor? Správa odpovéd v sobě musí zahrnovat příslušnou fyzikální jednotku, čili správnou odpověď na danou otázku je 1 435 mm.

Zbytečná formalita, mohl by si někdo říci. Ale není tomu tak – důležitost při zacházení s fyzikálními jednotkami je cenným nástrojem například při kontrole správnosti fyzikálního výpočtu, jak si ukážeme. Koneckonců, zářným příkladem, že je potřeba si jednotky hlídat, je neúspěch mise Mars Climate Orbiter – družice, jež měla zkoumat planetu Mars, shofela v její atmosféře kvůli špatně zadaným jednotkám.

Jak tedy správně zacházet s jednotkami při fyzikálních výpočtech? Především je nutné dodržovat dvě základní pravidla:

1. Při dosazování do fyzikálních vztahů dosazujeme všechny hodnoty i s jednotkami.
2. S jednotkami počítáme během celého výpočtu. Nevymecháváme je ani při zápisu mezi výpočty.

Důležitost v psaní jednotek nám umožní odhalit některé druhy chyb, jichž se můžeme při fyzikálních výpočtech dopustit.

Častým nesvarem (který někteří učitelé fyziky přehlížejí, nebo se jej bohužel sami dopouštějí) je, že se do fyzikálního vztahu dosadí hodnoty veličin bez jednotek, mezivýpočty jsou také bezrozměrné a až ke konečnému výsledku se „přilipe“ nějaká jednotka. Nesprávný výpočet pak typicky vypadá nějak takto (zde velmi jednoduchý případ výpočtu doby t rovnoměrného pohybu z dráhy s a rychlosti v)

$$t = \frac{v}{s} = \frac{60}{300} = 5 \text{ s}.$$

⁶Číslo v závorce označuje směřovanou odchylku vztahující se k poslednímu dvěma platným číslicím – tj. jis-
 tou míru nepřesnosti, se kterou bylo měření elementárního náboje provedeno.

Tabulka 2: Standardní předpony SI.

předpona	znacka	násobek	předpona	znacka	násobek
deka	da	10^1	deci	d	10^{-1}
hekto	h	10^2	centi	c	10^{-2}
kilo	k	10^3	milli	m	10^{-3}
mega	M	10^6	mikro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
tera	T	10^{12}	piko	p	10^{-12}
peťa	P	10^{15}	femto	f	10^{-15}
exa	E	10^{18}	atto	a	10^{-18}
zetta	Z	10^{21}	zepto	z	10^{-21}
yotta	Y	10^{24}	yokto	y	10^{-24}

vyskytovat ve všech třech skupenstvích současně v rovnovážném stavu, je stále stejný a labo-
 raturní podmínky pro jeho měření lze vytvořit kdekoliv.

Kilogram se od těchto objektivně definovaných jednotek výrazně odlišuje. Stejně jako ve starších metrických soustavách je určen prototypem v podobě platino-iridiového válece, ulož-
 něho na Mezinárodním úřadě pro míru a váhy v Sevres. To pochopitelně není příliš čisté řešení:

typ dokonalé stability (mj. reaguje s okolním vzduchem a opotřebává se při čístení), takže se
 skutečně hmotnost kilogramu časem mění. V plánované nové definici SI má být kilogram určen
 pomocí Planckovy konstanty.

Druhoun nepřijemnou výjiměností kilogramu je to, že ac se jedná o základní
 jednotku, už v sobě zahrnuje násobnou předponu kilo, kdežto gram je tisícina základní jednotky.

To je nutné si uvědomit především při vytváření odvozených jednotek.

Zbylé tři fyzikální základní jednotky SI—metr, mol, ampér—jsou definovány pomocí nějaké-
 ho fyzikálního jevu nebo konstanty a zároveň jiných základních jednotek. Jako příklad uvedme,
 že „metr je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu $1/299\,792\,458$ sekund“,
 takže metr je určen pomocí rychlosti světla by nám tak nepřineslo přesnější hodnotu rychlosti
 světla v metrech, nybřz přesnější určení délky metru.

A konečně poslední ze základních jednotek SI—kandela—není fyzikální jednotkou. Svítivost
 je veličina fotometrická, nikoliv fyzikální, a tak se ji nebudeme podrobněji zabývat. Vztahuje se
 totiž k vnímání lidského oka a tudíž závisí na jeho biologických vlastnostech. Tvorové s jinou
 citlivostí k různým barvám by si tak definovali standardy těchto veličin poněkud jinak než
 člověk.

Odvozené jednotky

Odvozené jednotky jsou ze základních jednotek vytvářeny jejich umocňováním a vzájemným
 násobením.⁴

⁴Umocňování přitom může být i se záporným exponentem, což znamená, že mocninou s odpovídajícím
 kladným exponentem dělíme, např.

$$s^{-3} = \frac{s^3}{1} \text{ nebo } \text{kg}^{-1} = \frac{1}{\text{kg}}.$$

Tabulka 3: Některé odvozené jednotky SI s vlastním názvem. Bez fotometrických veličin.

název jednotky	značka	veličina	v základních jednotkách
hertz	Hz	frekvence	s^{-1}
radián	rad	úhel	1
steradián	sr	prostorový úhel	1
newton	N	síla	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
pascal	Pa	tlak	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
joule	J	energie	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
watt	W	výkon	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
coulomb	C	elektrický náboj	A·s
volt	V	elektrický potenciál	$A \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
farad	F	elektrická kapacita	$A^2 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^4$
ohm	Ω	elektrický odpor	$A^{-2} \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
siemens	S	elektrická vodivost	$A^2 \cdot kg \cdot m^{-2} \cdot s^3$
weber	Wb	magnetický tok	$A^{-1} kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
tesla	T	magnetická indukce	$A^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
henry	H	indukčnost	$A^{-2} \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
becquerel	Bq	radioaktivita	s^{-1}
gray	Gy	absorbovaná dávka	$m^2 \cdot s^{-2}$
sievert	Sv	dávkový ekvivalent	$m^2 \cdot s^{-2}$

Ukažme si odvozování jednotek na dvou příkladech: Jednotkou rychlosti je $m \cdot s^{-1}$. K tomu se dá dojít poměrně jednoduše, pokud víme, co to rychlost vlastně je – dráha uražená za určitý čas. Čas i dráha (tj. *délka* trajektorie) už jsou vyjádřitelné přímo v základních jednotkách (sekunda a metr). Pokud si do vzorečku pro průměrnou rychlost v

$$v = \frac{s}{t}$$

dosadíme libovolné hodnoty pro dráhu a čas v základních jednotkách, např. $s = 300 \text{ m}$, $t = 60 \text{ s}$, dostaneme výsledek ve správné odvozené jednotce SI

$$v = \frac{300 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Všimněme si, že s jednotkami lze do určité míry zacházet jako s číselnými proměnnými – zde jsme *podělili* metr (obsažený v dráze) sekundou (obsaženou v čase).

Druhým příkladem budiž jednotka síly – newton,⁵ značená N. Název a značka na první pohled nevypadají, že by měly mít cokoliv společného s některou ze základních jednotek, ale ve skutečnosti platí

$$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}.$$

Newton je pouze zjednodušujícím názvem, abychom místo zdouhavého tvrzení, že nám někdo stoupl na nohu silou *tisíc kilogrammetrů za sekundu na druhou*, vystačili s krátkým *tisíc newtonů*.

⁵Čteme [nju:ʦɔn] (IPA), [ňúʦn] (česká fonetická transkripce). České názvy jednotek jsou v tomto ohledu bohužel dosti nekonzistentní, neboť zatímco pravopis některých jednotek jako newton, joule [džau] nebo hertz [herc] je „původní“, jiné názvy byly pravopisně „počestěny“ – píšeme ampér, nikoliv ampère.

Odvození, že jednotkou síly je $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ (tedy newton), není tak přímočaré jako v případě rychlosti. Můžeme vyjít například z Newtonova zákona síly

$$F = ma,$$

kde F je síla, m je hmotnost, a je zrychlení. O hmotnosti víme, že má již základní jednotku kilogram. Zrychlení je změna rychlosti v čase, takže jednotkou zrychlení je jednotka rychlosti podělená jednotkou času (podobně jako u odvození jednotky rychlosti výše), takže skutečně dostáváme

$$\text{jednotka síly} = \text{jednotka hmotnosti} \cdot \frac{\text{jednotka rychlosti}}{\text{jednotka času}} = kg \cdot \frac{m \cdot s^{-1}}{s} = \frac{kg \cdot m}{s^2}.$$

Přehled některých pojmenovaných odvozených jednotek uvádí tabulka 3. Z ní je patrná zvláštní věc: některé jednotky, které jsou sice formálně shodné, mají rozdílné názvy podle toho, k jaké fyzikální veličině se zrovna vztahují.

Když v elektrické zásuvce hodnota napětí kmitne padesátkrát za sekundu, řekneme, že frekvence napětí je 50 Hz, avšak rozpadne-li se nám ve vzorku padesát jader za sekundu, řekneme, že má aktivitu 50 Bq. A aby to bylo ještě složitější, v případě kruhové frekvence (kruhové rychlosti) zpravidla nepoužíváme žádnou jednotku se zvláštním názvem, nýbrž přímo s^{-1} .

Některým veličinám ale přísluší společná odvozená jednotka. Například joule je také jednotkou práce a tepla. V ohmech uvádíme nejen prostý elektrický odpor, ale též induktivní či kapacitní reaktance.

Tato zdánlivá nesystematičnost však má svou logiku. Práce a teplo jsou různé formy přenesené energie a v termodynamice dává smysl je navzájem sčítat či odčítat. Sečtením odporu a imaginární reaktance dostaneme impedanci. Vzájemným sčítáním či odčítáním frekvence a radioaktivity však stěží dostaneme cokoliv smysluplného a sečtením frekvence s úhlovou frekvencí se zcela jistě dopustíme chyby.

Pozastavme se ještě nad jednotkami rovinného a prostorového úhlu, rad a sr. Tyto „jednotky“ jsou zjevně bezrozměrné a se základními jednotkami SI nemají nic společného. Lze tedy psát například $5 \text{ rad} = 5$, kdybychom však napsali $5 \text{ kg} = 5$, dopustili bychom se chyby (o tom podrobněji níže). Na rozdíl od většiny fyzikálních veličin je velikost úhlu prostě číslo označující poměr mezi délkou oblouku kružnice a jejím poloměrem; ale aby bylo zcela zřejmé, že se jedná o úhel, někdy se číselná hodnota doplňuje označením rad.

Vedlejší jednotky

SI připouští i používání úhlových stupňů, minut a vteřin (neplést si se stejnojmennými časovými jednotkami). Plný úhel ve stupních (značíme $^\circ$) a v radiánech je $360^\circ = 2\pi$, takže jeden úhlový stupeň je

$$1^\circ = \frac{2\pi}{360} \doteq 0,01745.$$

Minuta je šedesátinou stupně a vteřina šedesátinou minuty.

Úhlové stupně, minuty a vteřiny patří mezi *vedlejší jednotky SI*. To jsou takové, které sice do soustavy SI nepatří, ale které jsou stále používány a SI jejich užití připouští „vedle“ samotných jednotek SI. Mezi ně dále patří kupříkladu časové jednotky *minuta* ($\text{min} = 60 \text{ s}$), *hodina* ($\text{h} = 3600 \text{ s}$), *den* ($\text{d} = 86400 \text{ s}$), délková *astronomická jednotka* ($u\text{a} = 1,49597870691(6) \cdot 10^{11} \text{ m}$), jednotka plochy *hektar* ($\text{ha} = 10\,000 \text{ m}^2$), jednotka objemu *litr* ($l = 0,001 \text{ m}^3 = \text{dm}^3$), *atomová hmotnostní jednotka* ($u = 1,66053886(28) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$), *tuna* ($t = 1\,000 \text{ kg} = 1 \text{ Mg}$) či jednotka energie *elektronvolt* (eV, podrobněji níže).