MARTIN Správně. To jsi popsala rovnoměrný pohyb po kružnici, který je asi stěžejním případem pohybu rovnoměrného křivočarého. Toho si výrazněji všimneme na čtvrtém rande. Ale teď se soustředíme na pohyby nerovnoměrné, tedy na takové, u kterých se v průběhu času mění jejich rychlost. Pokud rychlost pohybu roste, říkáme, že jde o pohyb zrychlený. A pokud jeho rychlost klesá, jde logicky o pohyb zpomalený. Míru toho, jak se nějaké těleso zrychluje nebo zpomaluje, vyjadřuje fyzikální veličina zrychlení, která se obvykle značí písmenkem *a* (podle slova akcelerace). Stejně jako v případě rychlosti můžeme i u zrychlení hovořit o zrychlení okamžitém a zrychlení průměrném.

KLÁRA Můžeš mi vysvětlit, jaký je mezi nimi rozdíl?

MARTIN Asi znáš důležitý technický parametr u závodních aut, kterým je zrychlení „z nuly na sto". Jde o časový údaj, za který se měřené auto rozjede z klidu na rychlost 100 km/h. Ovšem žádné auto se neumí rozjíždět úplně rovnoměrně. Řidič musí například řadit na vyšší převodové stupně. V tu chvíli má sešlápnutou spojku a nemá nohu na plynu. Hodnota okamžitého zrychlení citelně poklesne oproti okamžikům, kdy jede naplno. A i při jízdě na plný plyn se může zrychlení lišit podle toho, v jakých otáčkách se motor zrovna nachází. Z hlediska fyziky je takové rozjíždění závodního auta pohyb sice zrychlený, ovšem nerovnoměrně. Sestává z mnoha odlišných hodnot okamžitého zrychlení. Naproti tomu průměrné zrychlení je taková hodnota zrychlení, kterou bychom řadu mnoha okamžitých zrychlení mohli nahradit, a auto by se „z nuly na sto" rozjelo za stejný čas.

KLÁRA A dá se zrychlení nějak vypočítat? Existuje pro ně nějaký vzorec jako pro rychlost?

MARTIN Jasně. Fyzikální veličina zrychlení vyjadřuje změnu rychlosti za jednu sekundu. Je to vlastně rychlost, jakou se mění rychlost. Čím je měřený časový úsek kratší, tím přesněji se vypočtená hodnota blíží hodnotě skutečného okamžitého zrychlení. Pro velikost zrychlení platí vzorec:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Symboly delta (Δ) ve vzorci znamenají, že se jedná o změnu rychlosti dělenou odpovídající změnou času. Změnu rychlosti získáme tak, že od koncové rychlosti v daném časovém úseku odečteme rychlost na jeho začátku. Délka tohoto časového úseku je ve vzorečku označena jako Δt. To, co vzorečkem vypočítáme, je průměrné zrychlení, které mělo těleso v časovém intervalu *t*. A víš co, Kláro? Můžeš to rovnou zkusit na příkladu závodního auta, se kterým jsme natáčeli televizní Rande s Fyzikou. Pamatuješ si ještě dosažené časy a rychlosti?

KLÁRA Aby ne. Na to se nedá jen tak zapomenout. Závodník Václav Pech si mě posadil na místo navigátora. Na startu, tedy v čase 0 s, jsme stáli. To znamená, že naše rychlost byla nulová. V desáté sekundě po startu jsme dosáhli rychlosti 160 km/h. To je přibližně 44,4 m/s. Teď už stačí údaje jen dosadit do vzorce.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{44{,}4\ \mathrm{m/s}}{10\ \mathrm{s}} = 4{,}44\ \mathrm{m/s^2}$$

Sledované auto tedy dosáhlo průměrného zrychlení zhruba 4,44 m/s². Musím se přiznat, že jsem měla docela nahnáno. I takovéto zrychlení v řádu pouhých jednotek na mě působilo docela hrozivě.

Rande s fyzikou: ŠOFR, Radomír, Martin VLACH a Zdeněk DROZD. Rande s fyzikou. Praha: Česká televize, 2015. Edice České televize. ISBN 978-80-7404-150-1.

MARTIN Ty říkáš, Kláro, zrychlení v řádu pouhých jednotek. Ale ono to vůbec není malé zrychlení. Víš, co ten údaj ve své podstatě znamená? Znamená to, že rychlost auta při takovém zrychlení vzroste za každou sekundu o 4,44 m/s. Takže kdyby se auto rozjíždělo s tímto zrychlením celou minutu, dosáhlo by rychlosti 266,4 m/s, tedy asi 960 km/h. A to je samozřejmě nesmysl. Takové zrychlení nejde udržet dlouhodobě, ale právě jen pár prvních sekund. Pak hodnoty zrychlení začnou klesat. A když auto dosáhne své maximální rychlosti, ustálí se velikost zrychlení na nule.

KLÁRA Nicméně, pokud byste se na můj výkon navigátora chtěli podívat, tak příslušné video najdete na webu České televize na odkazu *www.ceska-televize.cz/rsf/04*. Anebo si jen ofoťte tento QR kód.

MARTIN Kláro, v předchozím příkladu ti vyšla kladná hodnota zrychlení. Myslíš ale, že by ti mohlo vyjít také záporné zrychlení?

Závodní auto s Klárou v kabině dosáhlo při maximální akceleraci za 10 s rychlosti 160 km/h. Taková akcelerace odpovídá průměrnému zrychlení 4,44 m/s². Test byl proveden na uzavřené testovací dráze s vyloučením ostatního provozu a za volantem seděl zkušený závodník Václav Pech.

Rande s fyzikou: ŠOFR, Radomír, Martin VLACH a Zdeněk DROZD. Rande s fyzikou. Praha: Česká televize, 2015. Edice České televize. ISBN 978-80-7404-150-1.

KLÁRA Kdyby konečná rychlost v_2 byla nižší než počáteční rychlost v_1, pak by rozdíl v čitateli byl záporný. A protože ve jmenovateli mi záporné číslo vyjít nemůže (nelze, aby nějaký děj probíhal proti plynutí času), tak mi záporné zrychlení klidně může vyjít.

MARTIN A co by to pak znamenalo ve skutečnosti?

KLÁRA Že se auto nerozjíždí, ale naopak zpomaluje, tedy brzdí.

ZDENĚK Opusťme svět aut. Ve fyzice máme totiž jeden zrychlený pohyb, který se nachází běžně všude kolem nás a který se úplně ideálně hodí ke zkoumání, protože jde o pohyb rovnoměrně zrychlený. Napadlo by tě, který to je?

KLÁRA Volný pád?

ZDENĚK Přesně tak. Volným pádem se kolem roku 1600 intenzivně zabýval italský fyzik Galileo Galilei. Údajně shazoval různě těžké koule ze šikmé věže v Pise a měřil čas jejich pádu. Tahle legenda ovšem není historicky potvrzená a dnes je tento příběh považován spíše za vymyšlený. Co ale pravda je, že si Galileo ke svému bádání sestrojil tak zvaný padostroj.

KLÁRA Padostroj? Nemám vůbec představu, jak by takový padostroj mohl vypadat.

ZDENĚK V podstatě je to taková široká a tlustá dřevěná deska s vydlabanými žlábky, které fungují jako dráhy pro koule. Galileo zjišťoval, jaké vzdálenosti koule urazí za jeden, dva, tři a více stejně dlouhých časových úseků. Vycházelo mu, že uražená vzdálenost má pro každé jednotlivé naklonění padostroje stejnou závislost na čase jako volný pád. Sledování valících se kuliček na mírně nakloněném padostroji mělo ovšem tu výhodu, že dosažené časy byly delší, takže je dokázal lépe změřit.

KLÁRA A jak vůbec měřil čas? Předpokládám, že v roce 1600 neměl žádné hodinky ani stopky.

ZDENĚK Galileo si ke svým pokusům údajně nechával od místní kapely hrát hudbu s pravidelným rytmem, a právě podle toho rytmu měřil čas. Jeho stěžejní pokus probíhal tak, že v jeden okamžik pustil v padostroji několik stejných koulí. Koule nechal postupně narážet na posuvné zarážky. Dráhy jednotlivých koulí pak různě prodlužoval nebo zkracoval, až nárazy vyladil přesně do stejného rytmu, v jakém hrála kapela. Když potom proměřil délky takto nastavených drah, objevil jednu velmi důležitou věc. Dráhy se prodlužovaly v poměru 1 : 4 : 9 : 16 atd. Galileo si uvědomil, že čísla 1, 4, 9, 16, atd. jsou čísla, která může zapsat jako 1^2, 2^2, 3^2, 4^2, atd. Snadno tedy zformuloval správnou hypotézu, že uražená dráha zrychleného pohybu s je závislá na druhé mocnině času t, po který zrychlený pohyb probíhá. To si můžeme zapsat jako:

$$s \sim t^2$$

A tento poznatek se mu potvrzoval, i když nechával v padostroji valit různě těžké koule. Dokázal tak nezávislost tohoto pohybu na hmotnosti.

S napodobeninou Galileiho padostroje se mohou seznámit na Matfyzu nejenom vysokoškolští studenti. Délka jednotlivých drah lze proměňovat volně nastavitelnými zarážkami.

Rande s fyzikou: ŠOFR, Radomír, Martin VLACH a Zdeněk DROZD. Rande s fyzikou. Praha: Česká televize, 2015. Edice České televize. ISBN 978-80-7404-150-1.