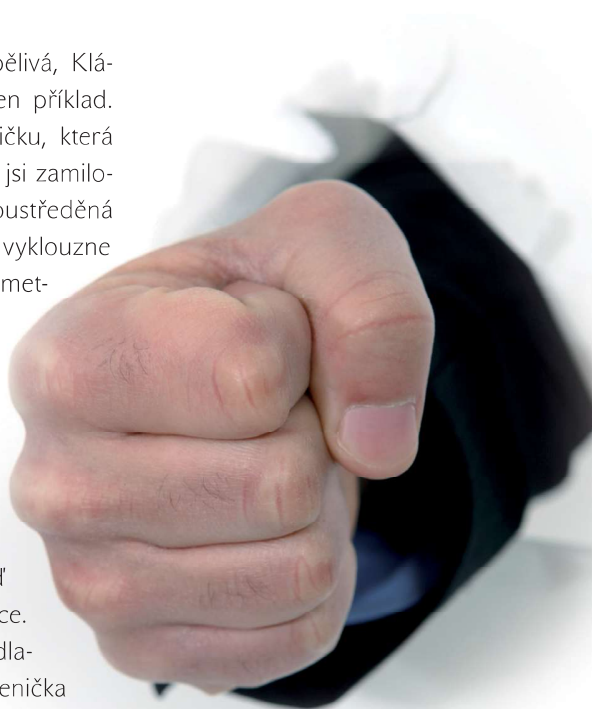


**ZDENĚK** Nebuď tak netrpělivá, Kláro. Probereme si ještě jeden příklad. Představ si, že utíráš skleničku, která váží třeba 200 g. A protože jsi zamilovaná do fyziky, a tedy nesoustředěná na svoji práci, sklenička ti vyklouzne z ruky a z výšky jednoho metru spadne na zem. Těsně před dopadem bude ta sklenička mít hybnost zhruba 0,9 kg·m/s. Když se následně zastaví o zem, bude mít hybnost nulovou. Změna její hybnosti tedy bude 0,9 kg·m/s. A teď mohou nastat dvě situace. Buď máš v kuchyni na podlaze dlaždice, a pak se ta sklenička rozbije. ❷ Anebo máš v kuchyni na zemi zrovna molitanovou matraci, protože u tebe byl určitě včera mejdan a přespávala tam kamarádka. V takovém případě se sklenička nerozbije. ❸ A teď mi vysvětlí, jak je to možné. V obou případech měla sklenička těsně před dopadem stejnou hybnost, přesto nastaly dva tak odlišné výsledky.

**KLÁRA** Jak můžeš vědět, že byl u mě včera mejdan?



**ZDENĚK** To byl jen příklad. Ale když ses prozradila...

**KLÁRA** O tom, proč se sklenička jednou rozbila a jednou ne, rozhodla asi tvrdost podložky, na kterou dopadla.

**ZDENĚK** V podstatě ano, ale měli bychom to říct fyzikálně přesněji. Tím pravým důvodem je doba, po kterou se hybnost skleničky měnila.

V prvním případě sklenička narazila na tvrdý nepružný povrch. Doba nárazu byla minimální, takže ke změně hybnosti došlo velmi rychle. To mělo za následek, že se sklenička rozbila. Ve druhém případě stejná sklenička dopadla na měkký a pružný povrch. Doba nárazu se tím rozložila do delšího časového úseku, na skleničku působila menší „rozbíjecí síla“ a sklenička zůstala celá.

**KLÁRA** Pokud nevěříte, že to takhle bylo, mám pro vás důkaz. Celý pokus jsem v televizním Rande s Fyzikou natočila na kameru. A vy si to teď můžete ověřit. Video najdete na odkazu [www.ceskatelevize.cz/rsf/24](http://www.ceskatelevize.cz/rsf/24) anebo pomocí QR kódu.

Zdeňku, znamená to, že bychom náš vztah pro změnu hybnosti měli doplnit o nějaký časový údaj?

**ZDENĚK** Ano, musíme vzít v úvahu dobu, po kterou se hybnost mění.

*Doba nárazu skleničky na tvrdou podlahu je mnohem menší než doba nárazu na měkký molitan. Protože změna hybnosti je v obou případech stejná, musí se lišit nárazová síla.*





Změna hybnosti, kterou jsme prve vyjádřili jako:

$$\Delta \vec{p} = m \cdot \Delta \vec{v}$$

je způsobena tím, že na skleničku působila po určitou dobu síla. Jde o důsledek Druhého Newtonova zákona a můžeme to zapsat takto:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Kde  $F$  je síla, která způsobuje změnu hybnosti a  $\Delta t$  je časový interval, po který tato síla působí. Součinu síly a doby jejího působení říkáme impulz síly. Impulz síly má stejnou velikost jako jím způsobená změna hybnosti.

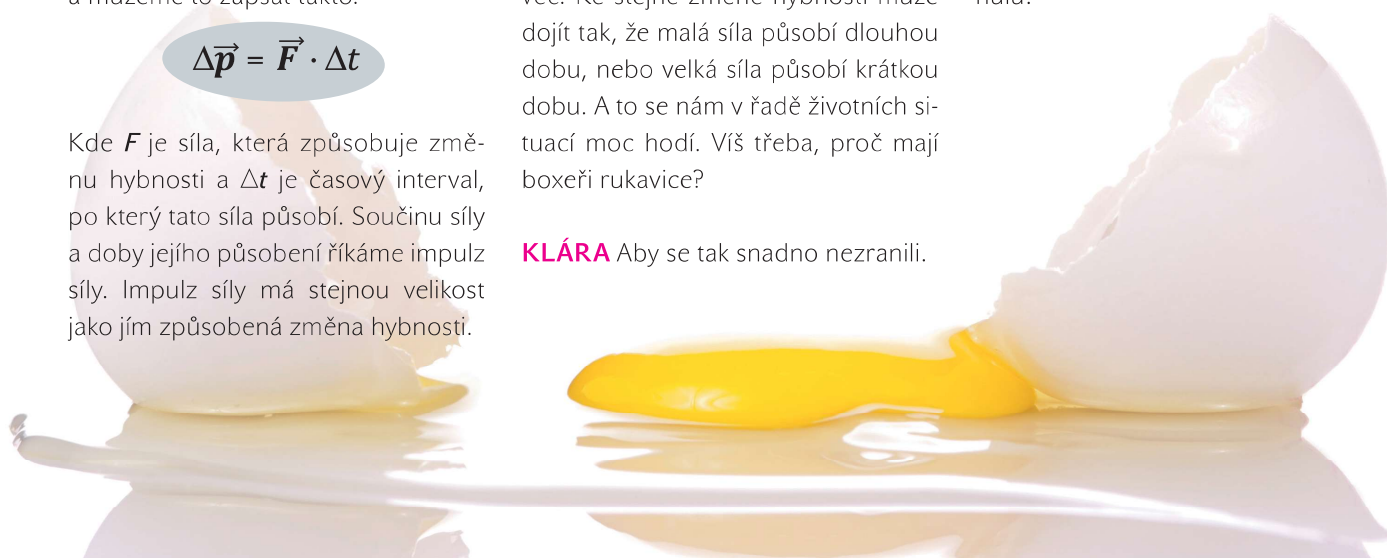
**KLÁRA** Tak už jsme si změnu hybnosti vysvětlili na dvou příkladech – jedoucím autě a padající skleničce –, ale stále jsi mi ještě nevysvětlil, k čemu je nám to vlastně dobré.

**ZDENĚK** Vztah, v němž vystupuje impulz síly, nám říká jednu důležitou věc. Ke stejné změně hybnosti může dojít tak, že malá síla působí dlouhou dobu, nebo velká síla působí krátkou dobu. A to se nám v řadě životních situací moc hodí. Víš třeba, proč mají boxeři rukavice?

**KLÁRA** Aby se tak snadno nezranili.



**ZDENĚK** Přesně tak. Kdyby boxovali holými pěstmi, doba úderu na tvář by byla tak krátká, že působící síla by skutečně devastovala obličej protivníka. Silné polstrování boxerských rukavic, rozkládá úder do mnohem delšího časového okamžiku, takže výsledná působící síla je pak výrazně menší. Sice to také bolí, ale boxerský zápas se dá přežít. Anebo jiný příklad. Havárie automobilů. I při nich dochází k obrovským změnám hybnosti. Kláro, dokázala bys spočítat, k jaké změně hybnosti dojde, když osobní automobil zabrzdí z rychlosti 15 m/s na nulu?





**KLÁRA** Dokáží to nejen spočítat, ale při natáčení jsem to i předvedla na kameru. Pro představu rychlost 15 m/s odpovídá 54 km/h. Když z této rychlosti zabrzdím na nulu, změna rychlosti je právě oněch 15 m/s. Průměrná hmotnost běžného osobního automobilu je 1 tuna, tedy 1000 kg. Dosadím-li tyto údaje do vzorečku pro změnu hybnosti, dostanu:

$$\Delta p = m \cdot \Delta v = 1000 \text{ kg} \cdot 15 \text{ m/s} = 15\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Takže změna hybnosti při zabrzdění auta z více než padesátky na nulu je 15 tisíc kg·m/s.

**ZDENĚK** A když jsme to natáčeli, pamatuješ si ještě, jak dlouho jsi při tom pokusu musela brzdit?

**KLÁRA** Samozřejmě. Byly to téměř přesně 2 sekundy. A musím říci, že to bylo docela nepříjemné, protože jsem musela podle pokynu režiséra brzdit opravdu naplno.

**ZDENĚK** A to byla suchá silnice a tvoje výchozí rychlost nebyla vůbec vysoká.

Na dálnicích se jezdí skoro třikrát rychleji. S vyšší rychlostí a kluzkým povrchem silnice se doba brzdění značně prodlužuje. Ale zpět k našemu příkladu.

Teď máš pohromadě všechny údaje, abys dokázala spočítat, jak velká byla brzdná síla při tvém brzdění.

**KLÁRA** Vztah pro impuls síly bych si upravila tak, abych z něj přímo vypočetala působící sílu.

$$\Delta p = F \cdot \Delta t \Rightarrow F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Je-li změna hybnosti 15 000 kg·m/s a doba brzdění 2 s, pak průměrná ve-

likost brzdné síly při prudkém brzdění osobního automobilu je 7500 N.

**ZDENĚK** Pro zajímavost, takovou sílu bys musela vyvinout, kdyby sis chtěla v náručí pochovat zvláště dobře urostlého koně, který se používá na práci v lese. A teď si představ, že by stejně rychle jedoucí auto narazilo do betonové zdi. Došlo by ke stejné změně hybnosti. Jen doba nárazu by byla menší než jedna desetina sekundy. To znamená, že síla, s jakou by automobil narazil do zdi, by dosahovala hodnot řádově stovky tisíc newtonů. Pro srovnání, takovou sílu bys musela mít, aby sis mohla jedním zvednutím pochovat dvě slonice i s mládětem. Není divu, že při takových silách dojde ke značnému poškození auta, nebo dokonce k vážným zraněním řidiče a pasažérů. Aby se snížila velikost nárazové síly, snaží se automobilky prodlužovat čas, po který se auto deformuje. Proto se v konstrukcích současných moderních aut objevuje řada bezpečnostních



prvků, deformačních zón a airbagů. Každé prodloužení nárazu o setinky sekundy snižuje nárazovou sílu a může zachránit spoustu lidských životů.

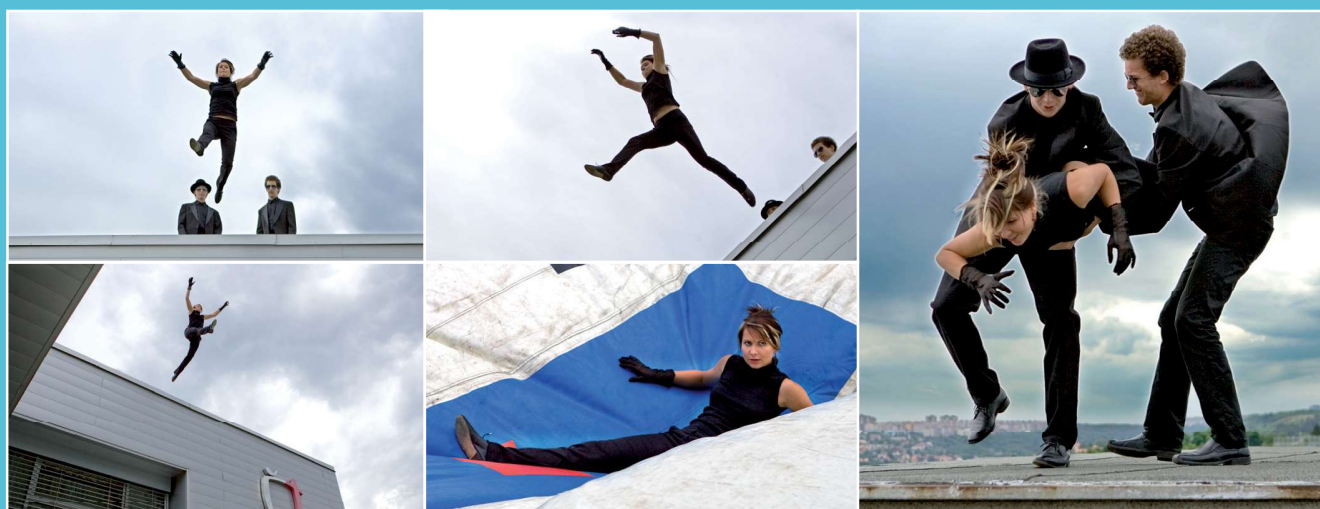
**MARTIN** Navíc jsi, Kláro, šikovnou úpravou vztahu pro impuls síly dostala užitečný vzoreček pro výpočet síly, když znáš změnu hybnosti a dobu, za kterou k této změně dojde. Je to vzoreček, který často používají například kaskadéři, když propočítávají různé pády z výšek apod. Podle spočítané síly pak určí třeba, kolik vrstev prázdných krabic potřebují pro bezpečný dopad. I oni využívají principu prodloužení doby změny hybnosti do co nejdelšího časového úseku. Tím velikost nárazové síly zmenšují.

**KLÁRA** To jsem sama měla příležitost zažít. Osmé televizní Rande s Fyzikou bylo totiž tak trochu „bondovský“ la-

děné. Střílelo se v něm, akcelerovalo a prudce brzdilo s autem a také skákal ze střechy. Režisér chtěl demonstrovat, že díky hrátkám se změnou hybnosti a s impulzem síly se dá přežít i skok ze střechy dvoupatrového domu. Celá scéna měla podle jeho představ vypadat takto. Já budu při moderování na střeše přepadena dvěma studenty v rolích nepřátelských agentů. Nejdříve se jim pokusím utéct, ale oni mě dohoní. Při následné rvačce mě padouši zvednou do vzduchu a zkusí shodit ze střechy. V poslední chvíli se jim vyprostím ze sevření a se slovy: „Já půjdu sama, pánové!“ dojdu na okraj střechy. A jako správná bondgirl, neohroženě skočím do hloubky pod sebou. Kamera už pak bude sledovat jenom můj let (či spíše pád) volným prostorem. Samozřejmě na zemi bude připraveno velké vzduchové lůžko, takový



obří airbag, který používají kaskadéři při dopadech z velkých výšek. Ten dostatečně prodlouží dobu dopadu, a tedy zmenší velikost nárazové síly. Jak se nám nakonec podařilo natočit nejakčnější scénu ze seriálu Rande s Fyzikou, se můžete podívat na video. Najdete ho na odkazu [www.ceskatelevize.cz/rsf/25](http://www.ceskatelevize.cz/rsf/25) anebo prostřednictvím QR kódu.





**MARTIN** Ale vztahu pro výpočet impulzu síly nemusíme v praxi využívat jen pro tlumení nejrůznějších nárazových sil. Můžeme ho použít i v obráceném smyslu tam, kde chceme naopak dosáhnout nějaké velké hodnoty hybnosti. V takovém případě se snažíme prodlužovat čas, po který síla působí na těleso. Maximalizujeme tak velikost jeho hybnosti. Například u historických nebo dalekonosných střelných zbraní si můžete všimnout nápadně dlouhé hlavně. Samozřejmě, že by pro manipulaci bylo snazší mít zbraně s krátkou hlavní, ale používání dlouhých hlavních má svůj čistě fyzikální důvod. Při výstřelu dojde uvnitř zbraně

k rozpínání plynů, které udělují střele hybnost. Čím delší je hlaveň, tím déle plyny tlakovou silou na střelu působí a tím větší hybnost mu předají. Jiný, velmi názorný příklad jsi natočila v bowlingové herně s jedním studentem a jednou studentkou. Popiš ho čtenářům.

**KLÁRA** Požádala jsem silného studenta, aby na začátku bowlingové dráhy do koule všil silou kopl. Kromě toho, že ho to docela bolelo, jeho kopnutí působilo na kouli silou jen velmi krátký čas, takže koule získala nápadně malou hybnost (a tedy i rychlost). Pak jsem požádala jeho tělesně mnohem křehčí spolužačku, aby předvedla standardní vrh bowlingovou koulí. Při vrhu paže působila silou na kouli po mnohem delší dobu (opsala s ní nejméně metrovou dráhu). Jak markantní rozdíl byl mezi oběma bowlingovými

pokusy, můžete vidět na našem videu. Najdete ho na odkazu [www.ceskatelevize.cz/rsf/26](http://www.ceskatelevize.cz/rsf/26) anebo ofoceníím přiloženého QR kódu.

**ZDENĚK** Kláro, když už jsme u těch zábavných sportů, hraješ kulečnick?

**KLÁRA** Párkrát jsem to zkusila, ale nedá se říct, že bych v téhle hře vynikala. Proč se ptáš?

**ZDENĚK** Protože na rande, které se zabývá hybností, bychom se měli dotknout také srážek těles. A to se právě nejlépe ilustruje na kulečnicku. Pro jednoduchost si představ, že máš na

*Při kopnutí působíte na bowlingovou kouli pouhý zlomek času oproti stylovému vrhu. Při vyvinutí srovnatelné síly tak u vrhu dodáte kouli mnohem větší hybnost.*

