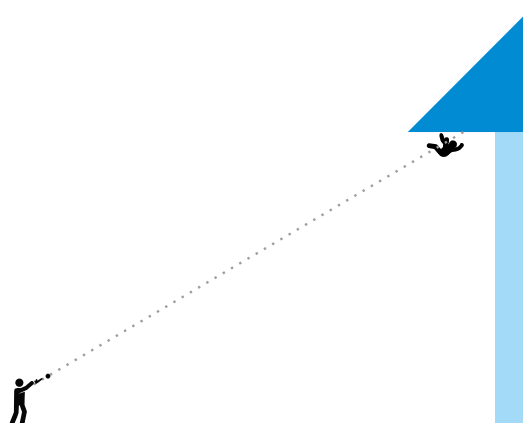


Na divokém západě

Padoucha vykrádajícího banku vyrušil šerif. Oba jsme je zastihli v okamžiku, kdy se padouch drží těsně pod střechou a šerif má svůj kolt na něj velmi přesně namířený. Padouch je na dostřel zbraně. Pak se v naprosto stejném okamžiku stanou dvě věci – šerif vystřelí a zločinec se pustí a padá k zemi. Co se stane?

- A) Kulka zasáhne padoucha bez ohledu na svoji rychlost.
- B) Pokud je kulka dostatečně rychlá, zasáhne padoucha.
- C) Kulka proletí nad padouchem.
- D) Kulka proletí pod padouchem.
- E) Jiné řešení.



Zcela neadventní kalendář. 06/2022

Začneme nejprve opravdu velmi jednoduše. Šerif má zbraň namířenou přímo na padoucha. Padouch se pustí přesně ve chvíli výstřelu a začne padat k zemi s tíhovým zrychlením. S tímto zrychlením ale padá k zemi i kulka. Pokud by bylo možné zanedbat odpor vzduchu, tak **kulka padoucha zasáhne** přesně do místa, kam jsme mířili, právě proto, že se pustil a spadl přesně o tutéž vzdálenost, o kterou se od přímého směru odchýlila i kulka.¹⁸ Dobře se vše popíše v soustavě, která také padá volným pádem (pozor, tato soustava je neinerciální), v této soustavě je padouch v klidu (tíhová síla je kompenzována zdánlivou setrvačnou silou) a kulka se pohybuje rovnoměrně přímočaře směrem k němu (výslednice sil působících na kulku je v této soustavě také nulová).

Na druhou stranu šerif asi nebude úplně sváteční střelec, takže tzv. snášení kulky (klesání kulky během letu) bude znát a bude mířit trochu výš, než je v okamžiku výstřelu padouch, neboť nepředpokládá, že se padouch pustí. Navíc některé zbraně mají mušku (mířidla) už rovnou přizpůsobeno tomu, aby střelec na snášení kulky nemusel myslet. V takovém případě šerif zasáhne místo, kde padouch byl ve chvíli výstřelu, i když on se pustil a padá dolů.

Pokud bychom odpor vzduchu zanedbat nemohli, pak odpor vzduchu bude výraznější spíše pro padoucha než kulku, zejména pokud padouch roztáhne ruce nebo bude mít volnější oblečení, které zafunguje podobně jako padák. Takže kulka by mohla prolétnout pod padouchem.

Zatím jsme uvažovali spíše kvalitativně, pojd'me se teď zamyslet nad **vzdáleností, o kterou stihne padouch spadnout**, než k němu kulka doletí. Rychlosti kulek z revolverů a jiných westernových zbraní bývají srovnatelné s rychlostí zvuku, tj. stovky metrů za sekundu,

¹⁸ Krásně je tento experiment natočen v rámci Harvard Natural Sciences Lecture Demonstrations (<https://www.youtube.com/watch?v=0jGZnMf3rPo>).

takže při vzdálenosti šerifa od budovy řádově v desítkách metrů spadne padouch i kulka dolů o pár centimetrů.¹⁹ To znamená, že ho šerif nejspíše zasáhne (i když budeme uvažovat odpor vzduchu a bez ohledu na to, zda šerif mířil přesně, nebo při míření počítal se snášením kulky), i když asi ne přesně do místa, na které mířil. Jiná situace by byla u šerifa-ostřelovače, který střílí na několik stovek metrů. Pokud by rychlost kulky byla stejná jako předtím, tak by padouch spadl dolů o několik metrů, ale je otázka, zda by kulka z takové zbraně vůbec k padouchovi dolétla, protože ji zpomaluje odpor vzduchu, který jsme zatím u kulky zcela zanedbávali. Ostřelovači ale používají zbraně, které mají ústovou rychlost (velikost rychlosti kulky při opuštění hlavně) až třikrát větší, než jsme zatím uvažovali, takže by padouch spadl zase jen o několik decimetrů.

Další drobnosti, které se objevily v řešeních zaslanych do soutěže

Řešitelé nedoporučovali padouchovi čekat s puštěním se až na okamžik, kdy uslyší výstřel, protože rychlost kulky je srovnatelná s rychlostí zvuku nebo vyšší, a to je třeba ještě uvažovat reakční dobu člověka (několik desetin sekundy).

Ovlivnila by situaci skutečnost, pokud by padouch ve vzduchu nějak výrazněji rotoval? Ovlivnilo by to rychlost jeho padání? Tady se musíme ptát na příčinu či charakter rotace. Pokud by se padouch na začátku pádu nějak odstrčil od domu, pak nebude mít nulovou počáteční rychlost, a to by situaci přirozeně změnilo (a to i bez rotace) a předchozí úvahy by neplatily. Pokud by se „odstrčil“ tak, že získá jen rotaci, ale nikoli posuvnou rychlost, pak by se v případě, že můžeme zanedbat odpor vzduchu, nic neměnilo. Padouch by při padání volným pádem jenom navíc rotoval stále stejnou úhlovou rychlostí.²⁰

Další postřehy se týkaly toho, zda by se padouch stejně nezabil při dopadu na zem, pokud padá z velké výšky, takže přemýšlet nad tím, zda ho kulka zasáhne, či ne, není potřebné.

A ještě upozorníme na jednu chybnou úvahu – nelze přirovnávat tuto situaci k tomu, když někdo na mne hází míč a já se přikrčím, aby mne míč nezasáhl. Ten zásadní rozdíl je v tom, že přikrčení udělám jen já, ale v naší situaci tíhová síla působí jak na kulku, tak na padoucha a uděluje jim stejné zrychlení.

¹⁹ Udělejme tento řádový odhad podrobněji: Kulka poletí vzdálenost k padouchovi třicet metrů rychlostí 300 m/s desetinu sekundy. Padouch, který padá volným pádem s tíhovým zrychlením asi 10 m/s^2 , za tuto dobu spadne o $\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,1^2 \text{ m} = 5 \text{ cm}$.

²⁰ Pozor, pokud vás napadlo porovnávat tuto situaci s válcem valícím se po nakloněné rovině, pak je zde jeden zásadní rozdíl – válec zvětšuje i rychlost rotace, k čemuž zde není důvod.