## Laboratorní práce 2 – dolet z nakloněné roviny

**Cíl práce:** Cílem této laboratorní práce je zjistit, jak závisí dolet mince spuštěné z nakloněné roviny končící na hraně stolu na úhlu náklonu, stanovit úhel pro maximální dolet a porovnat naměřené hodnoty s teorií.

**Teorie:** Pohyb mince zahrnuje dvě části. První z nich je klouzání po nakloněné rovině, kde je možné stanovit rychlost na jejím konci (a její složky) užitím zákona zachování mechanické energie stejným způsobem jako u předchozí úlohy. Platí tedy:



Zde *v* je rychlost pohybu mince na konci nakloněné roviny, *vx* souřadnice *x* a *vy* souřadnice *y* vektoru rychlosti, *l* délka nájezdu na nakloněné rovině, *f* koeficient tření mince na ní, *m* hmotnost mince, *g* tíhové zrychlení a  úhel náklonu. Užitím vztahů pro následný šikmý vrh pod hloubkovým úhlem  z výšky *H* nad dopadovou rovinou poté dostáváme pro dobu letu *t* a dolet *L* vztahy:



Hodnoty složek rychlosti *v*x a *v*y jsou přitom dány vztahy uvedenými výše. Funkční závislost doletu na úhlu náklonu je složitá, její znázornění např. v Excelu však dokazuje existenci lokálního maxima[[1]](#footnote-1), jehož poloha závisí na koeficientu tření. Příklad této závislosti je uveden v Grafu.



*Graf – závislost doletu z nakloněné roviny na úhlu náklonu*

**Pomůcky a provedení úlohy:** K realizaci úlohy je třeba mít minci, úhloměr, delší pravítko či metr, nakloněnou rovinu (tenkou desku, v případě potřeby lze využít třeba i tenčí sešit). Na začátku je třeba obdobně jako u minulé úlohy zjistit koeficient tření pro minci v případě nakloněné roviny. Dále je třeba změřit délku nájezdu *L* na nakloněné rovině (jeho hodnota se nemění) a rovněž výšku *H* nad dopadovou rovinou. V dalším kroku budou žáci postupně měnit úhel náklonu roviny, spouštět minci vždy ze stejného místa, a následně proměřovat dolet určovaný od hrany dopadové roviny. Měření délky nájezdu i doletu je prováděno pro střed mince. Nakloněnou rovinu je třeba ukončit na hraně stolu tak, aby po jejím opuštění mince plynule pokračovala v letu a nezasekla se na přechodu. Opět je vhodné pro každý úhel provést větší množství měření a díky tomu zjistit, do jaké míry je proces reprodukovatelný. Do tabulky poté žáci zapisují úhel náklonu, dolet mince (průměr z jednotlivých měření realizovaných pro tento úhel) a očekávaný dolet dle vztahu odvozeného v teoretické části. Schematické uspořádání experimentu je patrné z Obrázku.

*l*



*L*

**

*f*

*H*

*Obrázek – schematické uspořádání pro laboratorní práci Dolet z nakloněné roviny*

**Zpracování a interpretace měření, kontrolní otázky:** Výstupem z měření by mělo být jednak určení úhlu pro maximální dojezd, jednak poté srovnání teoretické závislosti   
s reálně naměřeným průběhem. Žáci by tedy měli vytvořit graf, kde je v jednom obrázku znázorněn jak modelový, tak i naměřený průběh závislosti. Je třeba zodpovědět následující otázky:

* Pomocí modelu v Excelu prozkoumejte, jak závisí úhel náklonu vedoucí k maximálnímu doletu na koeficientu tření nakloněné roviny.
* Najděte na internetu, co je tzv. **Magnusův jev** a uvažte, do jaké míry mohl tento efekt ovlivnit Vaše měření. Jaký by byl jeho vliv, kdybychom místo mince užili kuličku?
* Porovnejte rozdíly mezi hodnotami zjištěnými experimentálně   
  a odvozenými z teorie a vysvětlete jejich příčiny. Které významné faktory ovlivňující výsledky jsme v teoretickém modelu zanedbali?
* Jaká byla reprodukovatelnost experimentů pro daný úhel náklonu? Pokud docházelo k odchylkám mezi jednotlivými měřeními, čím mohly být tyto odchylky způsobeny?
* Zhodnoťte kvalitativně přesnost měření a příslušné chyby.

1. Hledání maxima pomocí derivace by zde vedlo k extrémně složitým goniometrickým rovnicím, je tak nutný numerický postup. [↑](#footnote-ref-1)