

Volný pád v kapalinách

Kat. číslo 113.2013



1. SLOŽENÍ

Sada s ref. č. CHUTFLU2 je dodávána s níže uvedenými prvky:

- 1 odměrný válec o výšce 550 mm a Ø 50 mm na držáku se stupnicí;
- 1 kruhové víko s 5 šrouby a o-kroužkem;
- 3 kuličky s kovovými jádry o průměru 20 mm, různých barev a hustot
- 1 neodymový magnet s magnetickým polem k přidržení vybrané kuličky.

Pomůcka je vybavena protiskluzovými podložkami na obou koncích, což jí zaručuje vysokou stabilitu na všech podkladech.

K pomůcce je třeba opatřit 1 litr viskózní kapaliny. Doporučujeme vazelínový olej o hustotě 0,87 (ref. č. 141003.1L), čímž se dosáhne poměrů hustot cca 3, 5 a 9.

2. POPIS A PRINCIP

Tato sada "Pád kuličky v kapalině" byla speciálně vyvinuta pro studium "Volného pádu v odporujícím prostředí".

Pomůcka se skládá z odměrného válce o průměru cca 50 mm a délce 550 mm připevněného k držáku, který je opatřen stupnicí v cm. Jeden z konců je opatřen přístupovým víkem určeným k plnění odměrného válce více méně viskózní kapalinou (voda, olej, glycerol rozředěný vodou, apod.) a k vložení kuličky, jejíž volný pád v odporujícím prostředí budeme studovat v uvedené kapalině.

Soubor je dodáván bez kapaliny se 3 kovovými kuličkami o průměru 20 mm a neodymovým magnetem pro přidržení vybrané kuličky.

Při otočení odměrného válce, kdy zároveň přidržíme kuličku pomocí magnetu, můžeme tedy pustit kuličku, aniž bychom jí udělili počáteční rychlost. Následně můžeme odečítat ručně nebo pomocí videa polohy kuličky během pádu v závislosti na čase. Při počítačovém zpracování údajů pak následně studujeme vývoj rychlosti v průběhu času. Výhoda této pomůcky spočívá ve skutečnosti, že parametry nejsou pevně dané: je totiž možné měnit dle libosti kapalinu anebo kuličky a studovat tak nové režimy pádu. Nicméně, pro snadnější průběh TP doporučujeme připravit odměrné válce před vlastním pokusem a nechat je uzavřené po celou dobu pokusu.

Držák s natištěnou stupnicí má následující výhody:

- Možnost provést pokus bez použití videa při odečtu času ve více bodech pomocí stopek (u kapalin, jejichž viskozita to umožní).
- Bílý podklad umožní pořídít jasný videozáznam, bez rušivé přítomnosti jakéhokoliv předmětu nebo osoby nacházející (ho) se za odměrným válcem.
- Opačné číslování z obou stran umožňuje snadné odečítání polohy kuličky nebo přesné nastavení videa (stupnicí).
- Navíc je velmi snadné skladovat pomůcku ve vodorovné poloze bez rizika rozbití.

3. PŘÍPRAVA POMŮCKY

Aby byla zajištěna naprostá těsnost a aby vyučující, pokud si to přejí, mohli vyloučit otevření odměrného válce žáky, byl jako způsob otevírání/ zavírání zvolen způsob pomocí nářadí. Je tedy nezbytné vybavit se křížovým šroubovákem k otevírání a zavírání odměrného válce.

a. Dodatečné vybavení:

- 1 křížový šroubovák
- Více či méně viskózní kapalina: doporučujeme vazelínový olej (ref. č. 141003.1L).
- 1 hadr nebo papírové utěrky pro odstranění překapů během plnění.

b. Příprava před pokusem

- Otevřete víko odšroubováním 5 šroubů;
- Vlijte pomalu kapalinu až po okraj (či dokonce o něco více); pozor, v případě příliš viskózní kapaliny jako glycerol je třeba nalívat kapalinu pomalu, aby se snížil počet vzduchových bublin na minimum.
- Vložte 3 různobarevné kuličky s odlišnými hustotami.
- Odstraňte přebytečnou tekutinu a uzavřete víko; pevně přišroubujte, aby těsnění doléhalo a zaručilo tak perfektní těsnost.
- V případě vytvoření malých vzduchových bublin nechte několikrát překutálet kuličky z jednoho konce na druhý a nechte odpočinout na několik hodin. Znovu otevřete a doplňte kapalinou.

c. Čištění

Pokud chcete vyměnit kapalinu, postupujte opačně. K vymytí použijte teplou vodu a přípravek na mytí nádobí. Nikdy nepoužívejte přípravky vyvolávající korozi nebo takové, které jsou agresivní. Mohlo by dojít k poškození plastu nebo lepidla. Před tím, než nalijete novou kapalinu, nechte válec vyschnout.

4. POPRODEJNÍ SERVIS

V případě ztráty šroubu nebo poškození těsnění se prosím obraťte na:

SORDALAB

15, Avenue des Grenots 91150

ETAMPES France

Tel.: +33 (0)1.69.92.26.72

Fax: +33 (0)1.69.92.26.74

5. TEORETICKÝ VÝKLAD**a. Poměr sil****i. Archimédův vztlak**

Na pevné těleso ponořené do kapaliny působí síla P_A kapaliny zvaná Archimédův vztlak, jejíž vlastnosti jsou následující:

- Směr: svislý,
- Smysl: směrovaný vzhůru (opačný k tíze),
- Intenzita: rovná intenzitě tíhy přemístované kapaliny (vytlačené ponořeným tělesem).

Jeho vyjádření je dáno vztahem:

$$P_A = -\rho_f \times V \times g$$

kde:

- \vec{P}_A : Archimédův vztlak vyjádřený v N, směřovaný opačně k tíže
- ρ_f : hustota kapaliny v kg.m⁻³
- V : objem ponořené části tělesa v m³
- g : tíhové zrychlení v m.s⁻²: 9,81 m.s⁻²

V tomto případě je tělesem kulička a ta je zcela ponořena. Pak : $V = V_b = \frac{4\pi}{3} R_b^3$ kde

R_b je poloměr kuličky

Z toho vyjádříme Archimédův vztlak:

$$\vec{P}_A = -\rho_f \times V_b \times g$$

ii. Hmotnost kuličky

Hmotnost kuličky je vyjádřena následovně:

$$P = -\rho_b \times V_b \times g$$

iii. Třecí síla

Kulička padající v kapalině je vystavena viskóznímu tření zvanému Stokesova síla působící opačným směrem, než je pohyb kuličky a jejíž intenzita se mění s rychlostí kuličky.

V závislosti na viskozitě dané kapaliny odpovídá intenzita této uvedené síly F_s^r jednomu ze 2 modelů, kdy oba závisejí na vektoru rychlosti \vec{V} kuličky:

- $F_s^r = k \cdot \vec{V}$ intenzita síly se vyvíjí poměrně k rychlosti kuličky;
- $F_s^r = k \cdot V^2 \cdot \frac{\vec{V}}{V}$ intenzita síly se vyvíjí poměrně k druhé mocnině rychlosti kuličky;

Faktor k je konstanta, která závisí na viskozitě η kapaliny a poloměru R_b kuličky:

$$k = -6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R_b$$

b. Vyjádření na osách a rovnice

Dále použijeme druhý Newtonův zákon, také zvaný základní princip dynamiky:

$$\sum F = m \cdot \gamma = m \cdot \frac{dV}{dt}$$

Kdy výsledkem, po vyjádření na osách – viz schéma, je:

$$\vec{P}_A = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho_f \times V_b \times g \end{pmatrix} \quad \vec{P} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho_b \times V_b \times g \end{pmatrix}$$

$$\vec{F}_s = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -k \cdot V \quad \text{ou} \quad -k \cdot V^2 \end{pmatrix} \quad m\vec{\gamma} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho_b \times V_b \times \frac{dV}{dt} \end{pmatrix}$$

Vyjádření rychlosti kuličky během jejího pádu je tedy výsledkem diferenciální rovnice. Dle použitého modelu třecí síly tedy získáme:

- Příklad Stokesových sil poměrných k rychlosti:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{k}{\rho_b \cdot V_b} V = \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_b}\right) g$$

- Příklad Stokesových sil poměrných k druhé mocnině rychlosti:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{k}{\rho_b \cdot V_b} V^2 = \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_b}\right) g$$

Pro zjednodušení vztahů, definujeme

$$\alpha = \frac{\rho_f}{\rho_b} \quad \text{a} \quad \tau = \frac{\rho_b \cdot V_b}{k}$$

ρ

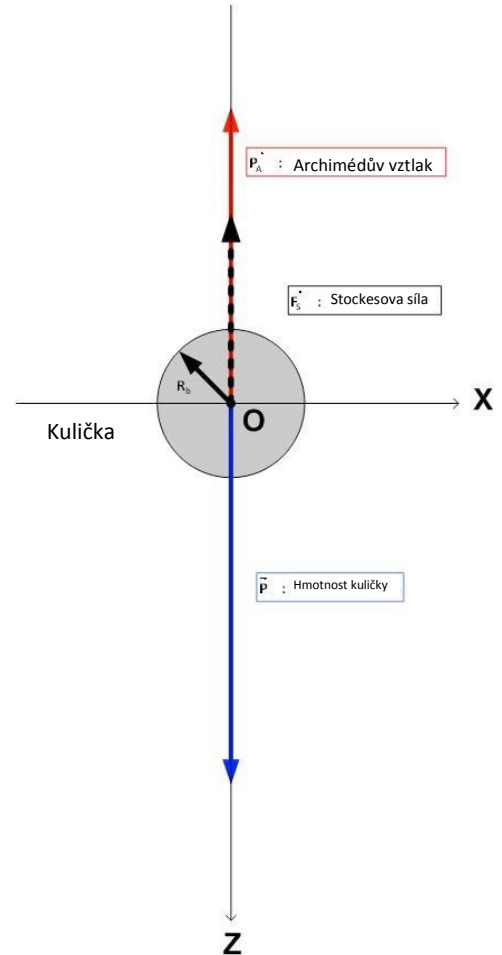
Diferenciální rovnice pak tady vyjádříme následovně:

- Příklad Stokesových sil poměrných k rychlosti:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{\tau} = g \cdot (1 - \alpha)$$

- Příklad Stokesových sil poměrných k druhé mocnině rychlosti:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V^2}{\tau} = g \cdot (1 - \alpha)$$



c. Řešení diferenciálních rovnic

i. Příklad třecích sil v závislosti na rychlosti

Nacházíme se v situaci, kde je diferenciální rovnice vyjádřena následujícím způsobem:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{\tau} = g \cdot (1 - \alpha)$$

Obecné řešení $V(t)$ je součtem řešení bez pravé strany (SSM) a partikulárního řešení s pravou stranou (SPASM).

1. Homogenní diferenciální rovnice bez pravé strany

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{\tau} = 0 \Rightarrow \frac{dV}{V} = -\frac{1}{\tau}$$

Při integrování pak snadno dostaneme (K a C jsou konstanty):

$$\ln(V) = -\frac{t}{\tau} + K \Rightarrow \boxed{V_H(t) = C e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

2. Partikulární řešení diferenciální rovnice s pravou stranou

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{\tau} = g \cdot (1 - \alpha)$$

Pravá strana je konstanta, pak tedy hledáme partikulární konstantní řešení.

Předpokládáme tedy, že

$$V_p(t) = K \Rightarrow \frac{dV}{dt} = 0$$

A ihned po dosazení do diferenciální rovnice obdržíme:

$$\frac{K}{\tau} = g \cdot (1 - \alpha) \Rightarrow K = g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha)$$

Z toho tedy vyplývá vyjádření partikulárního řešení:

$$\boxed{V_p(t) = g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha)}$$

3. Obecné řešení

Jak bylo řečeno výše, obecné řešení diferenciální rovnice se rovná součtu dvou řešení, homogenního a partikulárního, nalezených v bodě 1 a 2, tedy:

$$V(t) = C e^{-\frac{t}{\tau}} + g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha)$$

Při čase $t=0$ je rychlost kuličky nulová. Pak je tedy:

$$V(0) = C + g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha) = 0 \Rightarrow C = -g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha)$$

Na základě toho vyjádříme rychlost kuličky v čase, obecné řešení diferenciální rovnice:

$$V(t) = g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Konstatujeme tedy, když $t \rightarrow +\infty$, pak kulička dosáhne limitní rychlosti, jejíž hodnota je dána:

$$V_{lim} = g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha)$$

Z toho vyplývá vyjádření rychlosti závislé na této limitní rychlosti:

$$V(t) = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \cdot V_{lim}$$

Můžeme uvažovat, že tato limitní rychlost je dosažena v případě, kdy uplynutý čas je 5τ (99 % limitní rychlosti).

ii. Příklad třecích sil poměrných k rychlosti

Nacházíme se v situaci, kde je diferenciální rovnice vyjádřena následujícím způsobem:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V^2}{\tau} = g \cdot (1 - \alpha)$$

Řešení této diferenciální rovnice překračuje výukový program středních škol, uvedeme zde proto pouze teoretické vyjádření limitní rychlosti:

$$V_{lim} = \sqrt{g \cdot \tau \cdot (1 - \alpha)}$$

6. POŘÍZENÍ VIDEOZÁZNAMU A ANALÝZA

a. Potřebné vybavení

Pro provedení zkoušky pomocí videa je nezbytné použít webkameru umožňující nastavení parametrů natáčení jako počet obrázků za sekundu a doba expozice na snímek:

Pro provedení pokusu za správných podmínek je nezbytné mít navíc k sadě s ref. č. CHUTFLU2:

- 1 stativ s tyčí o délce 750 cm
- 1 upínací prvek
- 1 tříramenný laboratorní držák
- Sadu 3 kuliček stejného průměru, ale různé hmotnosti.
- 1 počítač
- 1 webkameru s kapacitou 30 obrázků/s min s možností nastavení času expozice (doporučujeme ref. č. HDCM)
- 1 analytický program (AVISTEP, AVIMECA nebo jiný podobný program)

b. Instalace a seřízení

- Nasaďte upínací prvek a tříramenný držák na stativ.
- Umístěte webkameru vodorovně na tříramenný držák
- Nastavte vzdálenost odměrného válce a výšku webkamery tak, aby se odměrný válec nacházel zcela v zorném poli.
- Seřídte objektiv kamery tak, aby byl obraz ostrý: stupnice musí být čitelné.

c. Pořízení videa

Postup závisí samozřejmě na použité webkameře.

Níže uvádíme postup pro webkameru s ref. č. HDCM s dodaným programem AMCAP.

• Volba kamery a mikrofonu

Obecně je možné, že zdroj videa zvolený programem je právě ta kamera, kterou chcete zrovna použít. V menu "Devices" zvolte kameru.

Ačkoliv to v našem případě není nutné, můžete rovněž zvolit zdroj audio.

• Rozlišení videa a formát videa

Pokus nevyžaduje příliš velké rozlišení videa.

Pro nastavení parametrů rozlišení a formátu komprese videa jděte do menu "Options" a vyberte "Video Capture Pin".

Pro úsporu místa na disku zabraného videem, doporučujeme zvolit rozlišení 640x480 pixelů.

Rovněž zvolíme způsob komprese YUY2, který je kompatibilní s běžně používanými programy (AVISTEP, AVIMECA).

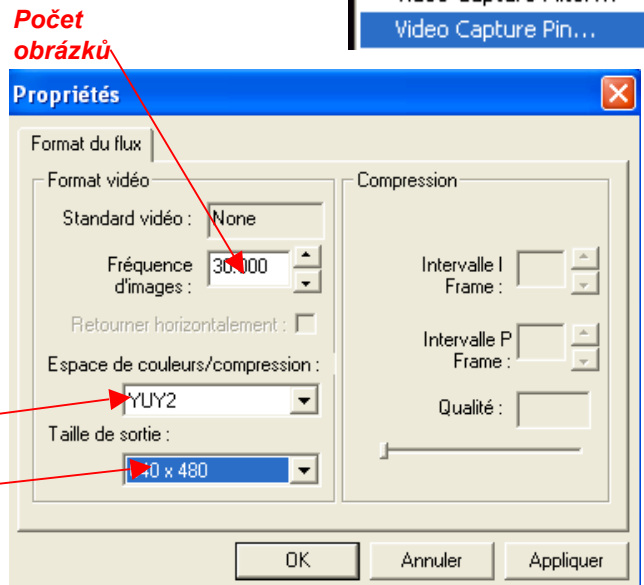
Ve všech případech jsou ale soubory videozáznamu ukládány s příponou .avi; není tudíž nezbytné používat program pro konverzi formátu!

• Počet snímků za sekundu

Je třeba přizpůsobit počet snímků za sekundu délce trvání pokusu tak, abychom obdrželi dostatečný počet bodů, ale ne příliš velký, aby hodnocení nebylo příliš dlouhé.

V případě pádu v kapalině, zvolme např. 30 snímků/s pro nejhustší kuličku a 20 snímků/s pro nejllehčí kuličky.

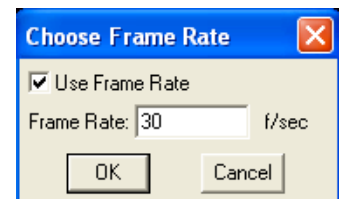
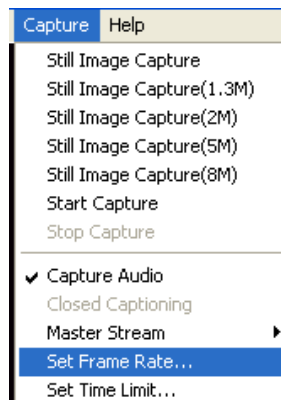
Volbou velkého rozlišení či vysoké snímkovací frekvence jen vytvoříme objemné videosoubory.



Formát komprese videa

Rozlišení

Aby program snímal vybraný počet obrázků za sekundu, zvolte v menu "Capture" řádek "Set Frame Rate". V okně, které se otevře, vložte požadovaný počet snímků za sekundu (zde 30) a zaškrtněte políčko "Use Frame Rate".

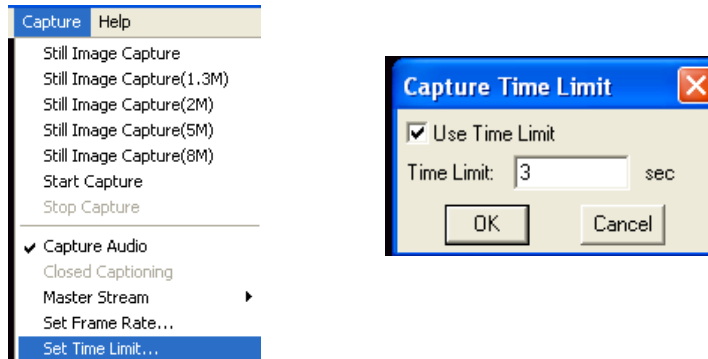


• **Délka videa**

V závislosti na trvání pokusu zvolíme vyhovující čas.

Z již uvedených důvodů týkajících se velikosti souboru, tedy počet snímků/s či rozlišení, zvolíme kratší čas.

V menu "Capture" zvolte "Set Time Limit" a vložte požadovanou dobu záznamu.



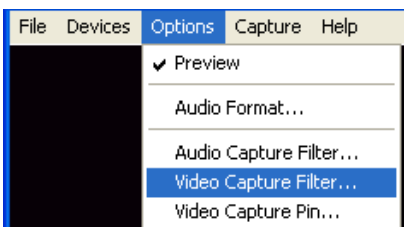
• **Doba expozice**

Tento parametr je nejdůležitější. Odpovídá době otevření čidla při pořizování snímku. Čím je doba kratší, tím bude ostřejší poloha pohybujícího se tělesa. A naopak, delší doba expozice způsobí šmouhu přes obraz odpovídající přemístování pohybujícího se tělesa v poli kamery po dobu expozice.

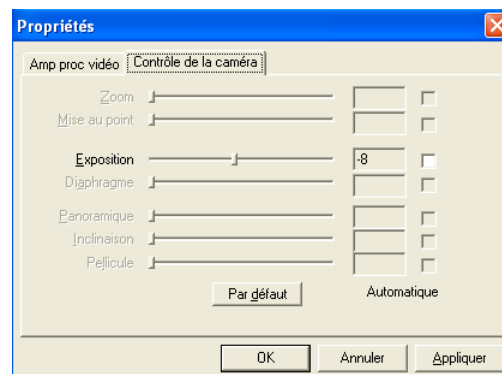
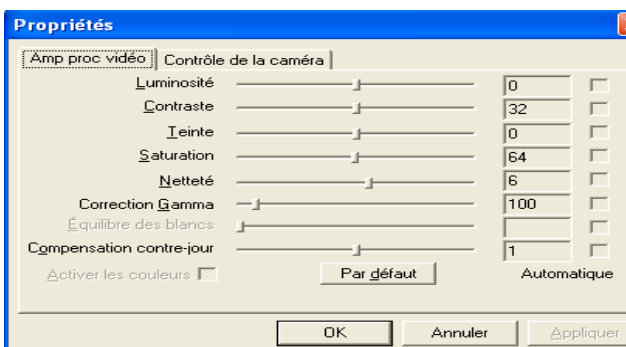
Samozřejmě příliš krátká doba expozice se odpovídá malému množství světla dopadajícího na čidlo, a způsobuje tmavší obraz.

Je tedy třeba nalézt správný kompromis mezi ostroty a množstvím vstupujícího světla. To závisí na osvětlení natáčené scény a rychlosti pohybujícího se tělesa, doba expozice se nejlépe stanoví experimentálně.

Pro nastavení doby expozice zvolte "Video Capture Filter" v menu "Options". Pokud se nejedná o výchozí nastavení, zaškrtněte první řádek "Preview", který umožní zobrazit v reálném čase vliv nastavení na výstupní video.



Pro správné nastavení se ujistíme, že původní hodnoty jsou hodnoty výchozí (automatické hodnoty). Toto uděláme tak, že klikneme na tlačítka "Par défaut" (Výchozí) ve dvou záložkách "Amp proc vidéo" a "Contrôle de la caméra" (Nastavení kamery). Takto získáme ostrý a světlý obraz.

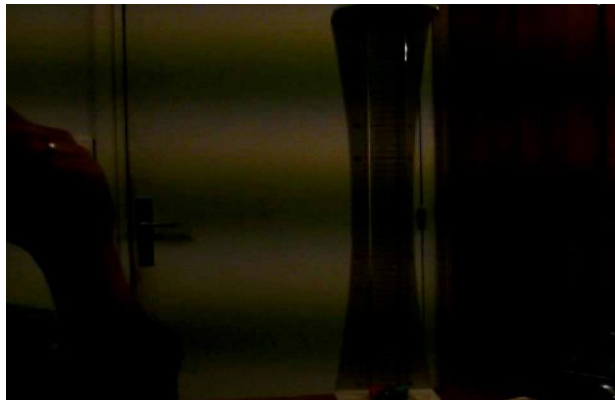


V záložce "Contrôle de la caméra" (Nastavení kamery) je uživateli přístupný jeden jediný parametr a to je ten, který nás právě zajímá: "Exposition" (Expozice).

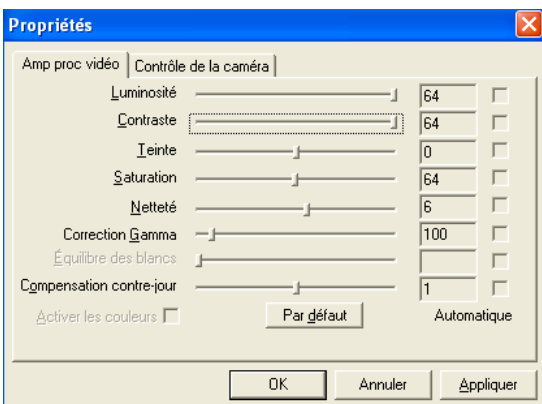
Přemístěte kurzor vodorovně a zvolte vybranou hodnotu. Avšak zobrazené záporné hodnoty nemají reálný dopad. Jediný způsob je vyzkoušet si to.

Pokud řádek "Exposition" (Expozice) zůstane neoznačen, pak zůstane automaticky nastaven. Tak můžeme přímo zobrazit výsledek na videu.

Vezměme například hodnotu -8. Zde vidíme, že je videozáznam velmi tmavý, je tedy nepoužitelný ke zpracování.

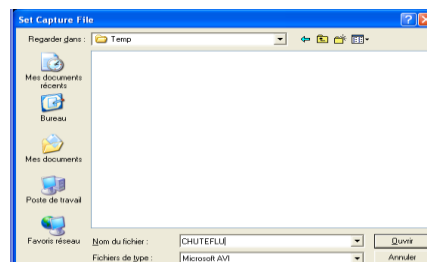
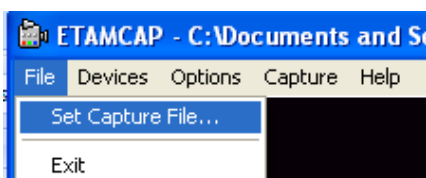


Jak bylo předtím uvedeno, zkrácení doby expozice má přímý dopad na množství světla dopadajícího na čidlo. Tento problém vyřešíme tak, že zvýšíme intenzitu osvětlení anebo můžeme uměle nastavit jas a kontrast – viz níže. Kvalita není nijak závratná, ale je dostatečná pro hodnocení.



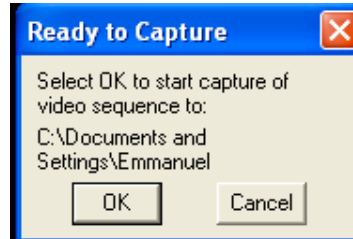
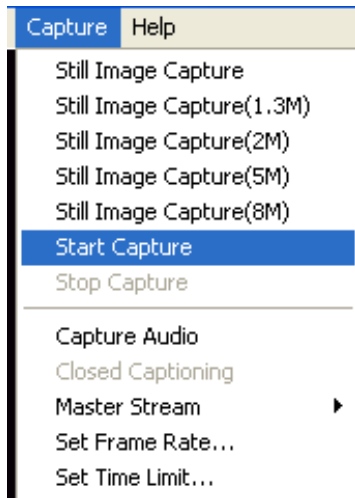
• Umístění souboru

Po dokončeném nahrávání se videozáznam uloží na disk. Zvolte místo uložení videozáznamu tak, že v menu "File" zvolíte řádek "Set capture file" a vepíšete jméno a umístění souboru: "CHUTEFLU.avi".



• **Natáčení videozáznamu**

V okamžiku, kdy jsou nastaveny všechny parametry videí, zbývá již jen dané video pořídit. V menu "Capture" zvolte "Start Capture". Otevře se okno, které zobrazí budoucí místo uložení videozáznamu, a budete vyzváni ke kliknutí na "OK" pro spuštění záznamu nebo na "Cancel" pro zrušení.



Jakmile zahájíte natáčení, rychlým svislým pohybem odejměte magnet, čímž dojde k pádu kuličky do odměrného válce naplněného kapalinou.

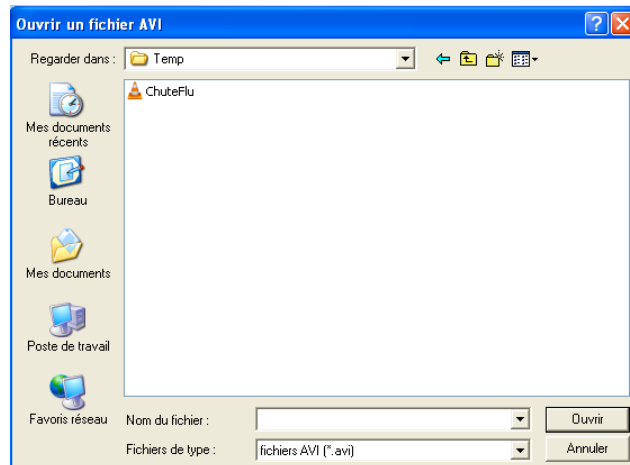
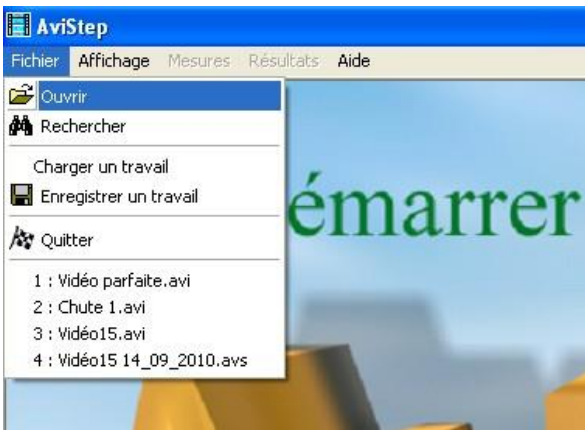
Po ukončení natáčení záznamu přehrajte videosoubor CHUTEFLU.avi z vybraného místa. Pokud je vše, jak má být, je čas přikročit ke značení videa.

d. Značení videa

Pro tento případ použijeme bezplatný program AVISTEP, který se dá stáhnout z internetu. Spusťte program a následujte níže popsaný postup.

1. Otevřete soubor s videozáznamem

V menu "Fichier" (Soubor) klikněte na "Ouvrir" (Otevřít) a zvolte cestu a soubor s videozáznamem.



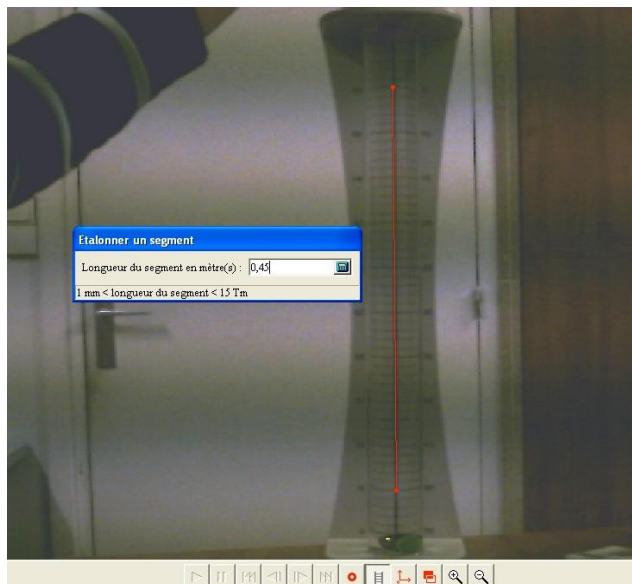
2. Měřicí stupnice

Zvolte nástroj Měřicí stupnice, červené barvy, v pásu nástrojů umístěném ve spodní části okna.



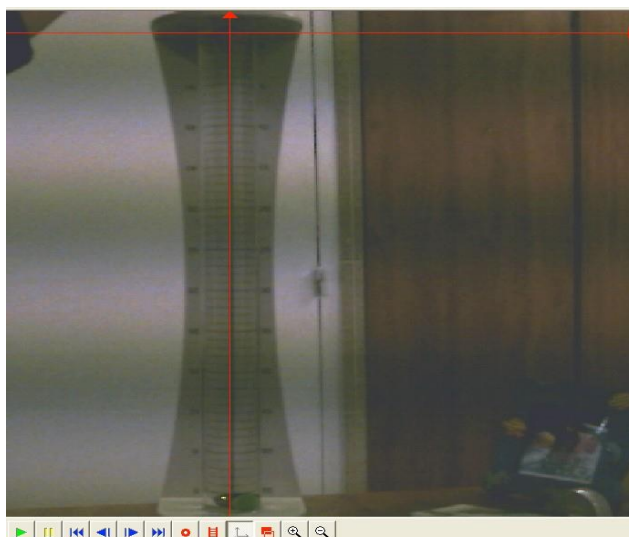
Umístěte konec ukazovátka na stupnici odměrného válce a klikněte pro označení prvního bodu.

Umístěte konec ukazovátka na jiné místo stupnice, než bylo to první, a klikněte pro označení druhého bodu. Měřicí stupnice je označena každých 5 cm na podstavci odměrného válce, což umožní snadné vyznačení těchto bodů. V okně, které se otevře, vložte vzdálenost v metrech a klikněte na ENTREE (ENTER) pro potvrzení.



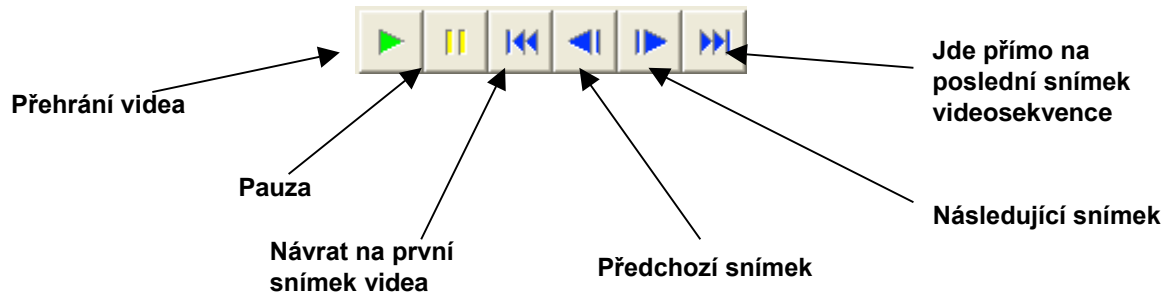
3. Stanovení referenčního bodu

Pro stanovení referenčního bodu, klikněte na nástroj "Axes" (Osy) a umístěte počátek do okna videa.

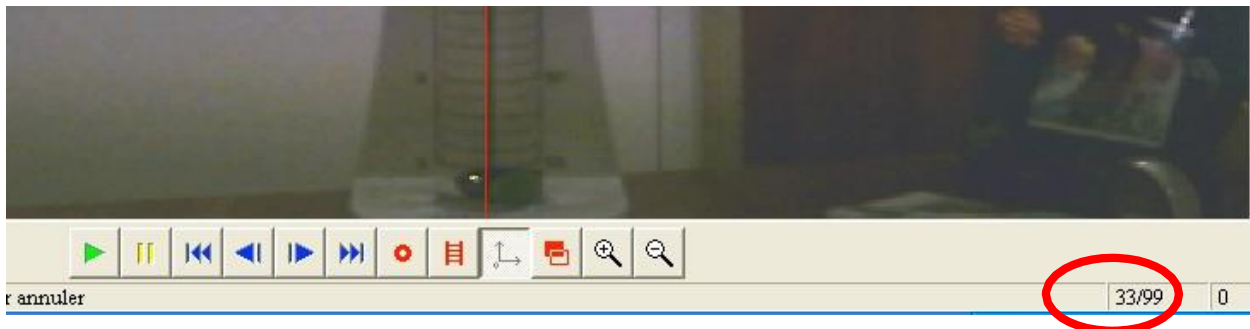


4. Vyhledání začátku časů

Pro označení pouze té části videa, kdy dochází k pádu, vyhledáme první snímek zachycující pád. Pro tento účel využijeme pás přehrávání videozáznamu umístěný v dolní části okna.

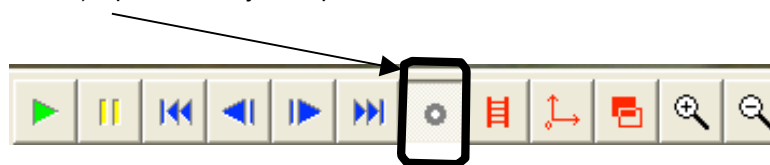


Číslo snímku a celkový počet snímků je zobrazen v pravé dolní části okna. Na obrázku dole jsme například na 33. snímku z celkového počtu 99 snímků, jež obsahuje video.

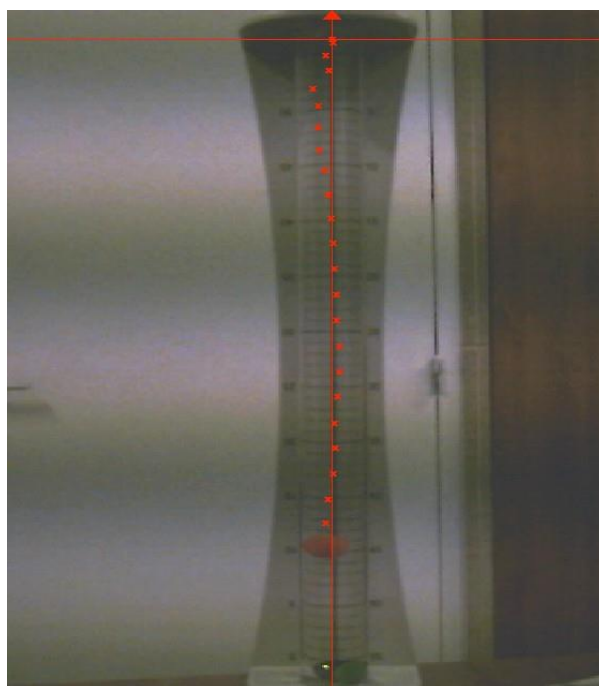


5. Značení videa

Zvolte nástroj "Pointage" (Značení) v pásu nástrojů ve spodní části okna. Zobrazí se cílová značka.

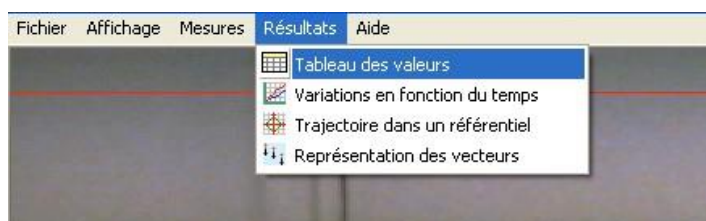


Umístěte cílovou značku na kuličku a klikněte. Program označí značkou polohu kuličky a automaticky přejde na následující snímek. Opakujte operaci až do konce pádu. V případě chyby klikněte na pravé tlačítko myši, to zruší poslední operaci.



6. Tabulka hodnot

Po dokončení značení, jděte do menu "Résultats" (Výsledky) a vyberte "Tableau des valeurs" (Tabulka hodnot).

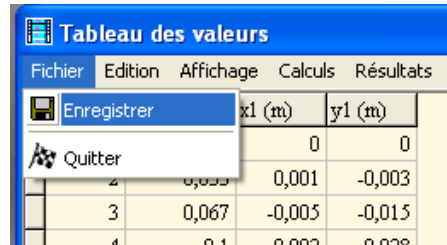


Otevře se okno nazvané "Tableau des valeurs" (Tabulka hodnot), které obsahuje tabulku s hodnotami tvořenou 4 sloupci a počtem řádků N odpovídajícím počtu N bodů vyznačených v předchozích krocích.

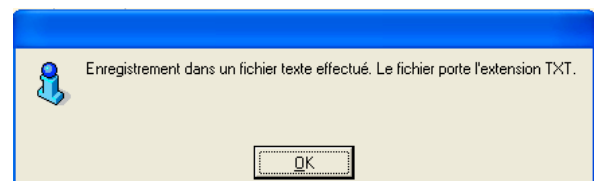
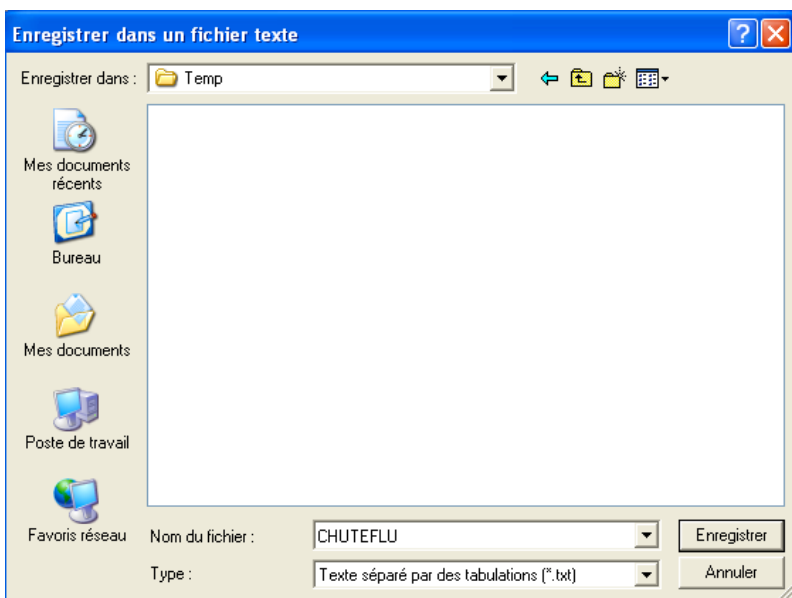
Numéro	Date (s)	x1 (m)	y1 (m)
1	0	0	0
2	0,033	0,001	-0,003
3	0,067	-0,005	-0,015
4	0,1	-0,002	-0,028
5	0,133	-0,015	-0,045
6	0,167	-0,01	-0,06
7	0,2	-0,01	-0,08
8	0,233	-0,01	-0,1
9	0,267	-0,006	-0,118
10	0,3	-0,003	-0,141
11	0,333	-0,001	-0,162
12	0,367	0,001	-0,184
13	0,4	0,002	-0,208
14	0,433	0,003	-0,231
15	0,467	0,003	-0,254
16	0,5	0,006	-0,277
17	0,533	0,006	-0,301
18	0,567	0,004	-0,323
19	0,6	0,002	-0,347

Les colonnes liées à des champs peuvent être déplacées ou redimensionnées

Pro uložení hodnot do souboru jděte do menu "Fichier" (Soubor) tohoto okna a zvolte "Enregistrer" (Uložit).

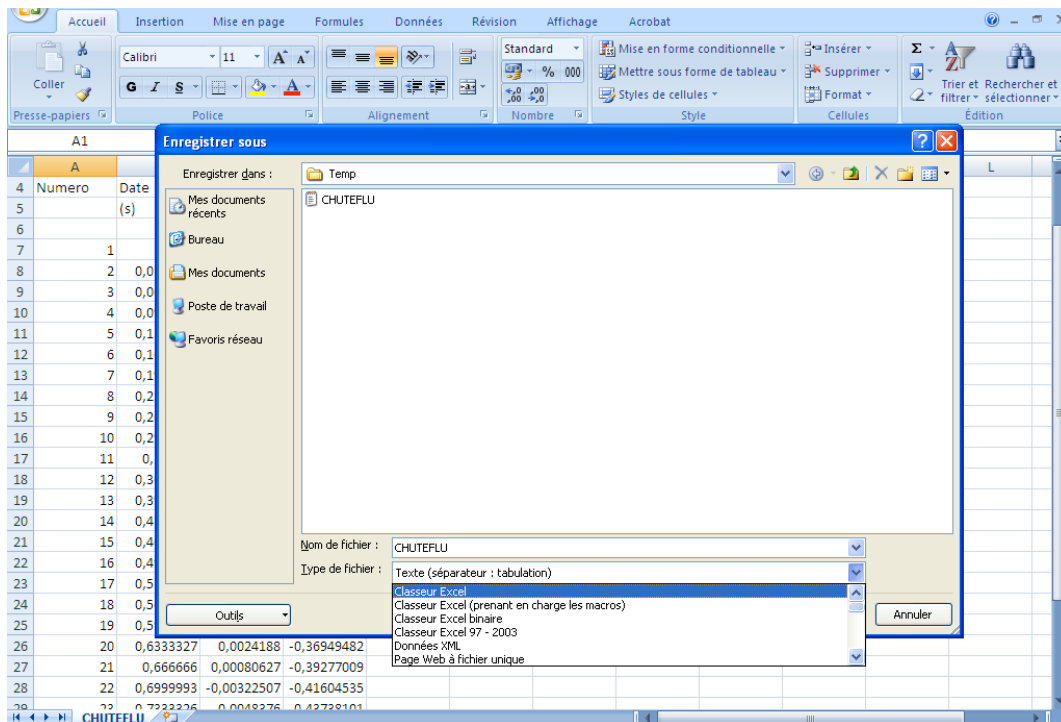


Otevře se okno, které vyzve uživatele k vepsání požadovaného názvu souboru TXT a ke zvolení adresáře nebo místa uložení souboru. Jakmile je volba provedena, otevře se okno vyznačující, že byl soubor uložen v rozšířeném formátu .TXT. Klikněte na "OK", tím se okno zavře.



Z důvodu zpracování dat otevřete soubor TXT s Excelem, kdy přímo kliknete na soubor a zvolíte "Ouvrir avec" (Otevřít čím) a pak "Microsoft Office Excel".

Znovu uložte soubor, ale tentokrát ve formátu Excel, kdy zvolíte "Enregistrer sous" (Uložit jako) a pak změňte formát souboru z "Texte (oddělovač: tabulátor)" na "Classeur Excel".



7. Analýza

Tři kuličky o stejném průměru 20 mm a o různé hmotnosti jsou dispozici jako volitelný prvek (ref. č. COULBIL). Jedna z kuliček je pouze kovová, ale dvě ostatní mají kovové jádro obalené plastovou skořápkou různé tloušťky.

- Kulička 1: kovové jádro o Ø 12 mm a skořápka o tl. 4 mm / oranžová barva
- Kulička 2: kovové jádro de Ø 14 mm a skořápka o tl. 2 mm / zelená barva
- Kulička 3: celokovová, Ø 20 mm / šedá barva

Pro přesné stanovení hustoty a pro větší přesnost pokusu nejprve před samotným pokusem zvážíme kuličky.

Pomocí magnetu (není součástí) lze snadno vybrat zvolenou kuličku, když se dané 3 kuličky nachází v odměrném válci.

i. Kulička č. 1 / oranžová

Otevřete uložený soubor v excelu a případně změňte názvy sloupců.

První sloupec odpovídá číslu snímku, druhý sloupci času, x1 vodorovné ose a y1 svislé ose.

Při našem pokusu nebudeme brát v úvahu průběh křivky. To trochu zkresluje výsledky, neboť vypočítaná rychlost není skutečná rychlost kuličky, ale pokud je odměrný válec správně svisle a pokud je puštění kuličky provedeno správně (magnet je odstraněn rychle a vertikálně), změny na X budou mírné.

Do tabulky doplníme 5. sloupec a nazveme ho "V" jako rychlost.

Vypočítáme rychlost metodou interpolace; použijeme následující vzorec:

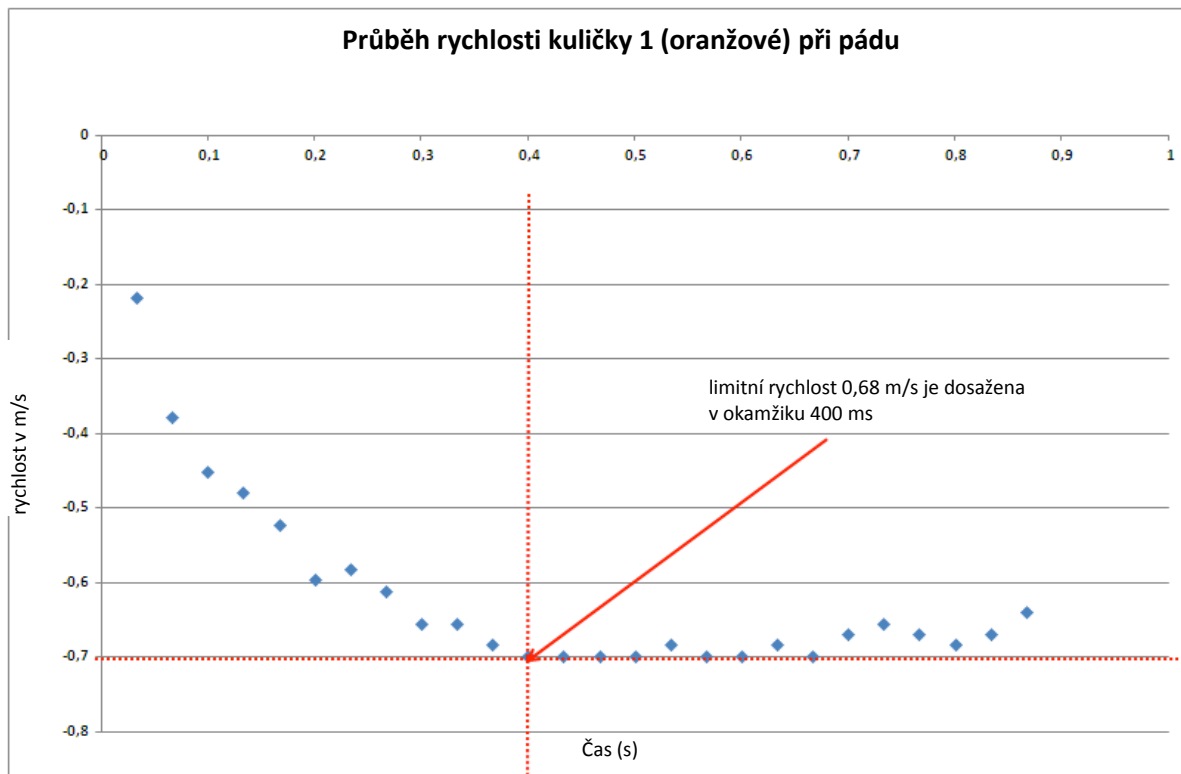
$$V_i = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

Ze zřejmých důvodů nejde vypočítat rychlost prvního a posledního bodu.
Vzorec v Excelu pak vypadá následovně:

4	Numero	Date	x1	y1	V
5		(s)	(m)	(m)	(m)
6					
7	1	0	0	0	
8	2	0,03333333	0,000806267	-	$= (D9-D7)/(B9-B7)$
9	3	0,06666666	-0,004837604	-0,01454704	
10	4	0,09999999	-0,002418802	-0,028124278	

V našem případě jsou rychlosti záporné, neboť počátek byl zvolen v horní části odměrného válce, v počátečním bodu startu kuličky.

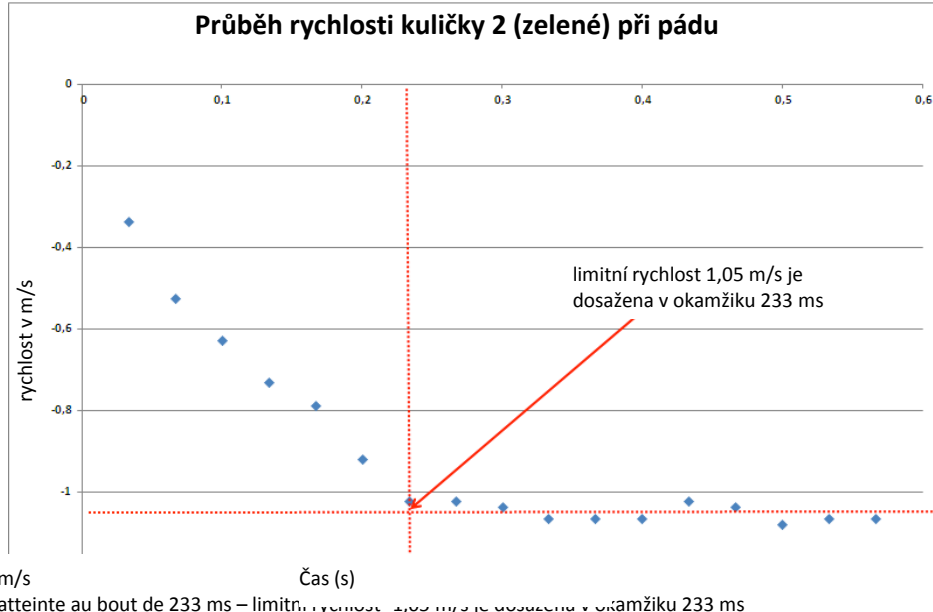
Pak již stačí znázornit graficky rychlost v závislosti na čase, čímž se zjistí režim pádu. Pád trvá méně než 9/10 sekundy. Na křivce jasně vidíme limitní rychlost 0,68 m/s dosaženou v čase 400 ms.



ii. Kulička 2 / zelená

Postupujeme stejně jako u oranžové kuličky č. 1.

Jak jsme mohli předpokládat, kulička padá rychleji a dosáhne dna odměrného válce za pouhých 6/10 sekundy. Větší limitní rychlost 1,05 m/s je dosažena rychleji, a to za pouhých 233 ms.

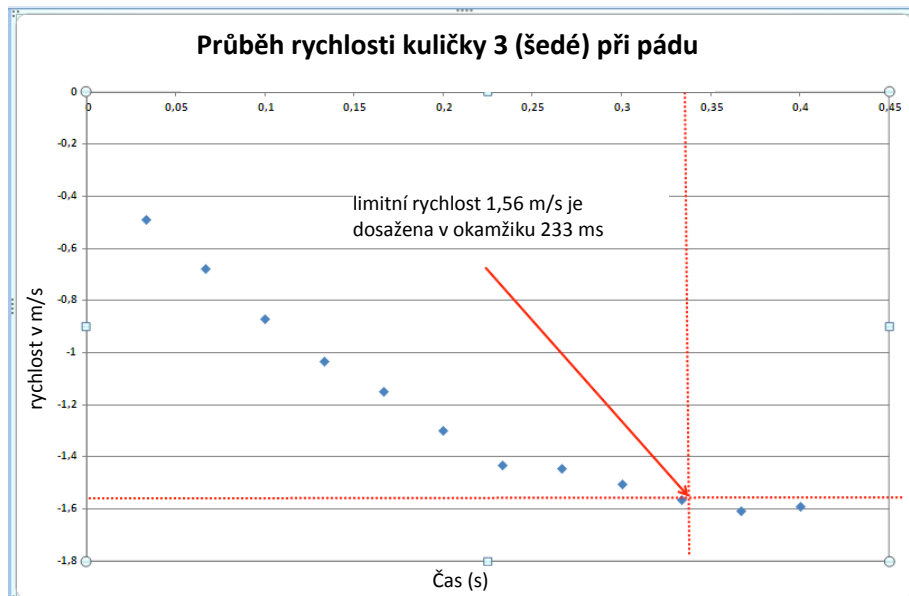


iii. Kulička 3 / šedá

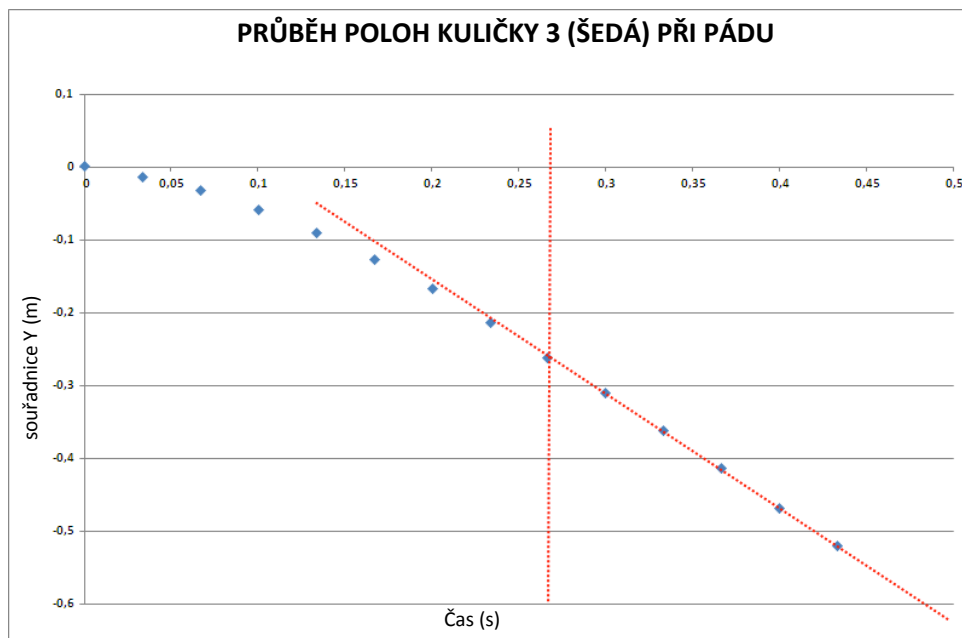
Postupujeme stejně jako u nejhustší kuličky.

Pád je nejrychlejší ze dvou předchozích případů: 433 ms.

Limitní rychlost je dosažena na konci pádu a je tedy graficky hůře znázornitelná.



Pro její přesnější znázornění můžeme postupovat jinak. Stačí vytýčit trajektorii kuličky na svislé ose y v závislosti na čase.



Konstatujeme, že od 9. bodu křivka začíná být přímočará. Vybereme tuto část křivky a pouze na této části načrtne lineární regresi. Řídicí koeficient přímky určuje hodnotu limitní rychlosti. Zde se hodnota limitní rychlosti rovná 1.56 m/s.

