**Pattogó pingponglabda mozgásának vizsgálata Tracker videóelemző program segítségével**

Az „Open Source Physics” keretében fejlesztett „Tracker” nevű program mozgások analizálását és modellezését hivatott segíteni. Az emelt érettségi kísérletek feladatainak kidolgozói úgy tűnik 2017-re elérkezettnek látták az időt, hogy az Audacity mellé egy újabb IKT alkalmazás használatát is számon kérjék.

**Feladat:** A pingponglabda pattogását rögzítse mozgóképen a kamera segítségével! A képbe helyezze be az ismert hosszúságú etalont a kamera irányára merőlegesen! Ügyeljen arra, hogy a pingponglabda pályája minél jobban kitöltse a képmezőt, és hogy a kamera vízszintesen nézzen a pattogó labdára! Célszerű a labdát erős fénnyel megvilágítani és a kamerát állványon rögzíteni. A filmen rögzített mozgást elemezze a Tracker program segítségével! A labdát a képkockákon tömegpontnak jelölve készítse el a programmal a mozgás magasság–idő, illetve függőleges sebesség–idő grafikonját! A grafikonok segítségével válaszoljon az alábbi kérdésekre!

* Adja meg az első öt lepattanás idejét, és ezen lepattanások esetén a leérkezés és a felfelé indulás sebességét!
* Milyen viszony fedezhető fel a leérkezések sebessége, illetve a hozzájuk tartozó visszapattanás sebessége között? Magyarázza meg ennek okát!
* Határozza meg az első öt lepattanás után azt a sebességet, amellyel fölfelé indul a labda, illetve amellyel utána visszaérkezik a földre! Hasonlítsa össze és értelmezze az adatokat!
* Elemezze az esetleges mérési pontatlanságok okait!

**Elméleti alapok:** Elsőként tekintsük át az energiaviszonyokat (1. ábra). Az elejtett pingpong labda az ejtés pillanatában  csak helyzeti energiával rendelkezik (1). Ha a légellenállástól eltekintünk, akkor az ütközést megelőző pillanatban (2) a helyzeti energiája mozgási energiává alakult. Az ütközés során a mozgási energiája rugalmas energiává alakul (3), majd ez a rugalmas energia alakul át újra mozgási energiává. Ez a valóságban nincs így, hisz az ütközéskor a labda behorpad, majd a nem teljesen rugalmas alakváltozás löki vissza. Egy bizonyos határ alatt a labda már nem is emelkedik fel újra, csak rezeg még egy ideig. A deformáció közben tehát az energiájának egy része hővé alakul, így a visszapattanás sebessége már kisebb lesz, mint a talajtérés sebessége. Ez a maradék mozgási energia alakul át helyzeti energiává, (4)  amely az energiaveszteség miatt már csak kisebb magasságra való felpattanáshoz elégséges.

1. ábra

A videó rögzítéséhez az erős megvilágítás helyett elegendő egy a környezetétől jelentősen elütő színű (pl. narancssárga fluoreszkáló ) pingpong labdát használni.

A videóanalízis elvégzése előtt ajánlom a következő [videót](https://www.youtube.com/watch?v=rpIXKa3HI34) azoknak, akik még nem használták a Tracker programot. Egy jól használható leírás [A Katolikus Pedagógiai Intézet honlapjáról](http://www.kpszti.hu/system/files/a_tracker_videoelemzo_es_modellkeszito_program_hasznalata.pdf)

A feladat első része azt kéri, hogy adjuk meg az első öt lepattanás idejét, és ezen lepattanások esetén a leérkezés és a felfelé indulás sebességét!

Egy minta mérés képe:

2. ábra

Az ábra paraboláiból jól látszik, hogy függőlegesen felfelé hajítások és szabadesések sorozatáról van szó. A görbék parabola jellege szemmel elég jól felismerhető. A saját méréseimet használva 2.ábra az ütközésekhez tartozó időpillanatok a Tracker programból leolvashatóak. Vajon miért kérik az időket?

Tudjuk, hogy k ütközési szám az ütköző testek ütközés előtti, illetve utáni impulzusainak hányadosát adja meg tömegközépponti rendszerből. Ez alapján a v sebességgel a felszínnek ütődő labda v’=kv sebességgel pattan vissza. A labda két lepattanás között egyenes vonalú egyenletesen (g gyorsulással) változó mozgást végez, így ha v sebességgel indul fölfelé,  akkor  t1=2∙v1/g idő múlva ér újra a talajra. Ezután v2=k∙v1 sebességgel indul felfelé, így a következő lepattanásig  t2=2∙v2/g=k∙t1 idő telik el. Hasonlóan a harmadik földetérés t3=k∙t2=k2∙t1 idő múlva lesz a második után, stb. A két lepattanás közt eltelt idők tehát csökkenő mértani sorozatot alkotnak.

A videóanalízis adataiból a földet érési idők:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0,233 s | 0,615 s | 0,967 s | 1,300 s | 1,585 s | 1,848 s | 2,100 s |

Fülre is jól hallható, hogy a koppanások között eltelt idő egyre rövidül.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0,382 s | 0,352 s | 0,333 s | 0,285 s | 0,263 s | 0,252 s |

Ezekből az adatokból az ütközési számok

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0,921 | 0,946 | 0,856 | 0,923 | 0,958 | 0,921 |

Ezek átlaga:  k=0,92

Az adatok szórása 3,8%

A földetérések sebessége többféle módon is számítható. Egyik lehetőség, hogy a két egymást követő ütközés idejének felével számolva a szabadesés  képletét használjuk

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2,29 m/s | 1,73 m/s | 1,63 m/s | 1,40 m/s | 1,29 m/s | 1,24 m/s |

Számolhatunk a v=Δs/Δt összefüggéssel is. Vagy kihasználhatjuk a Tracker program azon lehetőségét is, hogy képes a hely idő adatokból sebesség idő adatokat számolni. Ezekből a sebességadatokból is számíthatunk ütközési számot is a



 összefüggést felhasználva

Az utolsó 4 sebességből számítva 0,961; 0,921; 0,921 0,942 K értékére  ezekből az adatokból is 0,92 átlagot kapunk.

A visszapattanások sebessége a visszapattanást követő magasság maximumából számítható. Előjele ellentétes a beérkezés sebességének előjelével.

3. ábra: v(t) grafikon

Ha az elemzett pontra kattintunk, akkor a táblázatban a pontnak megfelelő idő és hely adatok piros színnel lesznek kiemelve.
Milyen viszony fedezhető fel a leérkezések sebessége, illetve a hozzájuk tartozó visszapattanás sebessége között? Méréseinkből megállapítható tehát, hogy átlagosan a visszapattanások sebessége 92% a leérkezések sebességének. Magyarázza meg ennek okát! Magyarázat, hogy az energia egy része hővé alakul, az ütközés nem teljesen rugalmas.