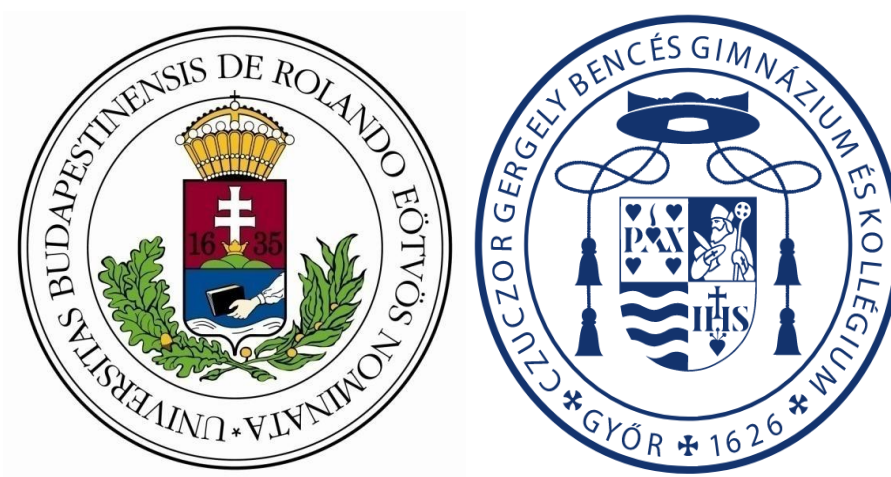

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar



Vonalzós ágyú

Készítette

Nagy Zsombor

Czuczor Gergely Bencés Gimnázium, Győr

10. évfolyam

Témavezető:

Tóth Kristóf

Fizikatanár (Czuczor Gergely Bencés Gimnázium),

Mestertanár (Eötvös Loránd Tudományegyetem, Fizikai és Csillagászati Intézet)

Vonalzós ágyú	1
1. Bevezetés.....	3
2. Mérési módszereim	3
3. Mérések adatai.....	4
1. Mérés	4
2. Mérés	5
3. Mérés	5
4. Mérés	5
4. A mért adatokból számolt sebességértékek.....	5
1. Mérés	6
2. Mérés	6
3. Mérés	6
4. Mérés	6
4. Diskusszió.....	7
5. Fémgolyóval készült mérések, mérések adatai	7
5.Mérés	8
6.Mérés	8
6. 2. Méréssorozat kiértékelése	8
7. Irodalomjegyzék.....	9

1. Bevezetés

Kutatásomban egy 2025. évi Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyének (IYPT) 7. számú feladatával foglalkoztam. Ebben feladatban két vonalzót szorosan egymáshoz szorítottam. Majd egy lövedéket (pl. egy műanyag palackkupakot vagy egy golyót) helyeztem közéjük az egyik végükhöz közel. Ha a vonalzókat felületére kellően nagy erőt fejték ki, a lövedék nagysebességgel kilöködik. A kutatási során megvizsgáltam a kilövési sebességet befolyásoló paramétereket.

Az eszközök kiválasztása során törekedtem, hogy teljesen azonos feltételek mellett elvégezhető ismételt méréseket tudjak végezni. Ehhez két ugyanolyan vonalzót kerestem, majd több ping-pong labdát is használtam. A vonalzókat végig összegumiztam és két könyv közé raktam, hogy a méréseknél egyenesen repüljön a labda. A labdát a vonalzókkal egy asztalról lőttem ki, és a földre egy tepszi lisztet tettem, amely lehetővé tette, hogy megmérjem a labda vízszintes elmozdulását.

A különböző kezdeti feltételekkel elvégzett kilövésekre vonatkozó mérési adatokat gyűjtöttem, továbbá lassított felvételen keresztül vizsgáltam a labda mozgását. Rájöttem, hogy a kísérlet során a labda forgása nem hanyagolható el, ezért a mozgás nem tekinthető egyszerű vízszintes hajításként. Hogy a csavarodásból adódó eltéréseket megkapjuk, megmértem a labda szögsebességét is. Továbbá kimutattam, hogy a légellenállást is figyelembe kell venni.

2. Mérési módszereim

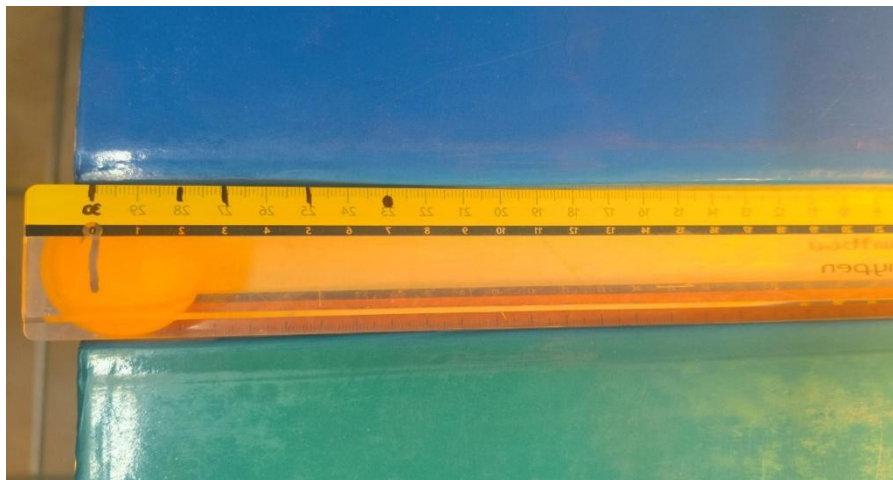
Annak érdekében, hogy ismételhető méréseket végezzek:

- Két közel egyforma vonalzót használtam.
- A labdát a két vonalzó közé mindig ugyanabba a pontba helyeztem le.
- A vonalzókat mindig egy adott ponton nyomtam le.
- A lenyomás során igyekeztem mindig ugyanolyan erővel hatni.
- A kilövést egy vízszintes felületű asztalról végeztem el.
- A becsapódás helyét egy tál lisztrel végeztem el.

Mivel otthon ping-pong labdám volt, ezért a kísérleteket is azzal végeztem el. Próbálkoztam más tárgyak kilövéseivel. A kisebb tárgyak (például airsoft golyó) kilövése nem volt lehetséges, mert olyan nagy erővel kellene lenyomni, hogy annak során sérülne a vonalzó.

A kiindulási helyzetet az 1. ábra mutatja be. Az ábrán fekete csíkok jelölik azt a négy helyet, ahová az pingpong labdát a mérésorozat során elhelyeztem. A labdán látható csík a labda átmérője, amely segítette, hogy azt pontosan el tudjam helyezni a vonalzókat között. A labda

kilövéséhez a két vonalzót össze kell nyomni, ezt a pontot lenyomási pontnak neveztem el. A fekete ponttal mutatom be, a vonalzóknak lenyomási helyét.



1. ábra: A kísérleti elrendezés.

3. Mérések adatai

A mérések során a lenyomási pont nem változott. Minden egyes alkalommal a két vonalzót a 23 cm-nél nyomtam össze. Minden méréssorozatból tíz mérést végeztem, viszont az irreálisan nagy vagy kicsi számokat kihúztam, így lehet, hogy nem minden méréssorozatnál, ugyan annyi *Mérési sorszám* található.

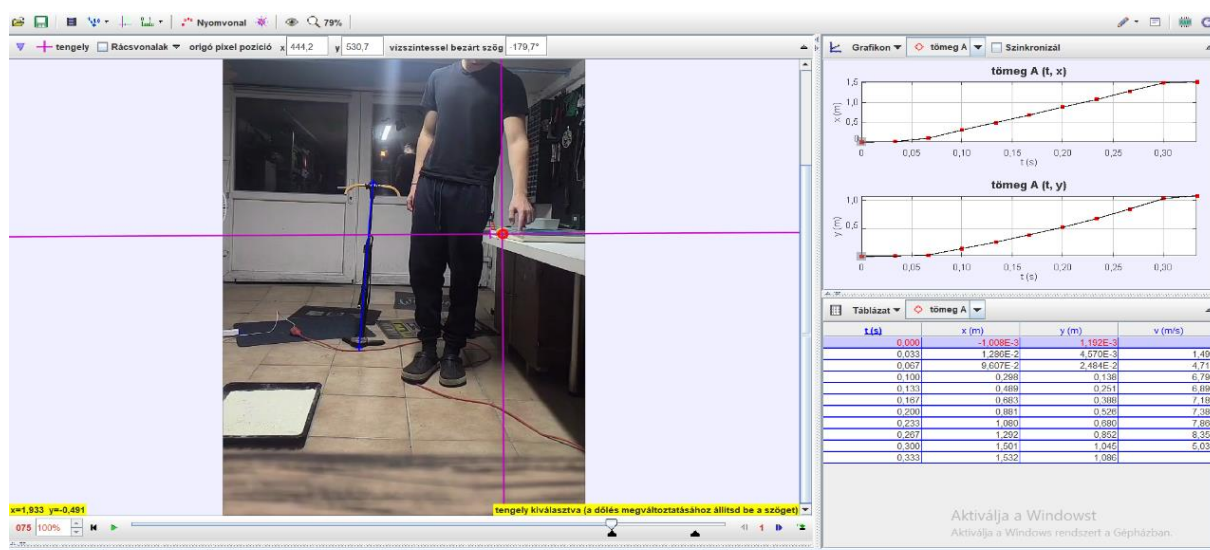
1. Mérés

Az 1. Mérés során a labda kiindulási pozíciójához, a labdán jelölt átmérőt a vonalzó 27 cm-éhez helyeztem. A mérési adatokat az 1. táblázat foglalja össze. Az x jelöli labda becsapódásának a kezdeti pozíciótól való elmozdulásának nagyságát.

Mérési sorszám	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Átlag	Szórás
x (cm)	100	106	104	108	107	109	101	99	96	103,3	4,3

1. táblázat: Az 1. Mérés adatai.

Minden méréssorozathoz egy videót is felvettem, és azokat a *Tracker* nevű alkalmazás segítségével elemeztem (2. ábra). A videón a megadott mérések kiindulási pozíciójának megfelelően elhelyezett labda kilövése látható. Az elemzés során tömegpontokkal jelöltem a labda mozgását. Így grafikonokat és adatokat kaptam, a labda függőleges és vízszintes elmozdulásáról, illetve a program sebességértékeket is számolt. Egy koordináta-rendszer rendszert is elhelyeztem, melynek origója a labda kiindulási pozícióját mutatja, a vízszintes tengely az asztallappal párhuzamosnak választottam. A képen négy számoszlop található melyek a t (eltelt idő), x (vízszintes elmozdulás), y (függőleges elmozdulás), v (a labda változó sebessége), adatait mutatják. A *Tracker* videók letölthetőek a [1] oldalról.



2. ábra: Az 1. Méréssorozat vizsgálata Trackerben.

2. Mérés

A 2. Mérés során a labda kiindulási pozíciójához, a labda felezőpontját a vonalzó 30 cm-hez helyeztem. A mért adatokat a 2. táblázat foglalja össze.

Mérési sorszám	1	2	3	4	5	6	7	8	Átlag	Szórás
x (cm)	91	96	99	99	100	95	103	100	97,9	3,5

2. táblázat: A 2. Mérés adatai.

3. Mérés

A 3. Mérés során a labda kiindulási pozíciójához, a labda felezőpontját a vonalzó 28 cm-hez helyeztem, s a mért adatokat a 3. táblázat mutatja.

méréssorszáma	1	2	3	4	5	6	7	Átlag	Szórás
x (cm)	105	104	95	101	98	109	106	102,6	3,3

3. táblázat: A 3. Mérés adatai.

4. Mérés

A 4. Mérés során a labda kiindulási pozíciójához, a labda felezőpontját a vonalzó 28 cm-hez helyeztem.

méréssorszáma	1	2	3	4	5	Átlag	Szórás
x (cm)	140	126	139	132	141	135,6	5,5

4. táblázat: A 4. Mérés adatai.

4. A mért adatokból számolt sebességértékek

A vízszintes hajítások során levezethettem egy jól ismert összefüggést (1), amellyel a sebesség az x vízszintes, és y függőleges elmozdulásból számolható:

$$v = \sqrt{\frac{x^2 g}{2y}}. \quad (1)$$

Fontosnak tartom annak megemlítését, hogy az (1) képlet csak abban az esetben ad jó eredményt, ha a labda pontszerűnek tekinthető, ezért a közegellenállás, illetve a Bernoulli-hatás is elhanyagolhatóvá válik. Ez természetesen a ping-pong labdánál nem igaz, viszont első közelítésnél ezt használtam.

A méréseim során hibát is számoltam. A mért x értékeknél a statisztikus hibához (a táblázatokban jelölt szórás) hozzáadtam a vonalzó mérését erősen felülről becsülő 0,5 cm hibaértéket¹. Így a kapott hibák a különböző méréssorozatoknál: $\Delta x_1 = 4,8$ cm, $\Delta x_2 = 4,0$ cm, $\Delta x_3 = 3,8$ cm és $\Delta x_4 = 5,5$ cm. Hasonló módon az y mérési hibájának $\Delta y = 0,5$ cm értéket választottam. A hibaszámításnál használatos $\Delta f(x, y) = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \Delta y$ képlet segítségével azt kaptam, hogy ekkor a sebesség mérésének Δv hibája az alábbi módon számolható:

$$\Delta v = \sqrt{\frac{g}{2y}} \Delta x + \sqrt{\frac{x^2 g}{8y^2}} \Delta y. \quad (2)$$

1. Mérés

Az 1. Mérés során nyert átlagértékből kiszámított eredmény $v_1 = (2,65 \pm 0,13)$ m/s.

Ezután *Tracker* segítségével is meghatároztam a kezdősebesség nagyságát, így a $v_1' = 2,28$ m/s értéket kapva².

2. Mérés

A 2. Mérés során számolt sebesség az (1) összefüggéssel: $v_2 = (2,5 \pm 0,11)$ m/s, míg *Trackerrel* $v_2' = 0,9$ m/s értéket kaptam.

3. Mérés

Az (1) módon számolt kezdősebesség $v_3 = (2,62 \pm 0,104)$ m/s, a *Trackeres* mérés $v_3' = 2,5$ m/s.

4. Mérés

Az (1) módon számolt kezdősebesség $v_4 = (3,45 \pm 0,15)$ m/s, a *Trackeres* mérés $v_4' = 1,4$ m/s.

¹ A mérőszalag hibája 0,5 mm, azonban a mérőszalag használata során érzett bizonytalanság miatt 0,5 cm értéket használtam.

² A *Trackernél* nem számoltam mérési hibát.

4. Diszkusszió

A mérési adatokból azt a következtetést tudom levonni, hogy minél közelebb van a labda a lenyomási ponthoz annál tovább tud elrepülni. Tehát a lenyomási helyet kifejezetten fontos nem elhanyagolni. Úgy gondolom ez azért lehet, mert a vonalzó nagyobb mértékben hajlik el, és a benne fellépő mechanikai feszültségek erősebb erővel lökik ki a labdát.

A labda mozgásának tanulmányozása során felmerült bennem, hogy az forog-e a repülés során? Ennek vizsgálata érdekében egy lassított felvételt készítettem a labda mozgásáról, amely szintén elérhető a [1] linken keresztül. A felvétel igazolja, hogy a labda forgása nem hanyagolható el. Már a kilövésnél látszódik a forgás. Ennek következtében a fellépő Bernoulli-hatás miatt a labda csavarodik, amely befolyásolja a labda pályáját és sebességét is. Véleményem szerint ezért érdemes lenne a jövőben kisebb labdákkal is kísérletezni, ahol a forgásból következő csavarodási mérték lecsökken. Viszont a túl kicsi labdával már a feladat nem végezhető el. Ezért javaslom, hogy csökkentsük (például olajozással) a két vonalzó felületén ható súrlódás mértékét, így a labda a kilövés során kevésbé tud forogni, mert az csúszni fog. Továbbá a ping-pong labda helyett olyan tárgyat javaslok, amely kevésbé a csavarodik.

A Tracker által kiszámolt és az én általam kiszámolt kezdősebességek különbsége miatt, kikövetkeztethető, hogy a labda tapadása és csúszása nem elhanyagolható, ahogy a légellenállás és a labda forgási ereje sem. Amikor ezt a problémát tanulmányozom és vizsgálom ezeket a dolgokat további mérésem során figyelembe kell vennem. A kicsi tárgyak kilövésre nem képesek, ez azt jelenti kell egy bizonyos átmérő minimum, aminek a kilőtt tárgy megfelel.

Az általam kiszámolt kezdősebességek összehasonlításával észrevehetjük, hogy a labda minél közelebb van a két vonalzó összenyomási pontjához annál nagyobb sebességgel lökődik ki. Azaz amikor a lenyomási pont mellett lövöm ki a labdát, akkor hajlik össze leginkább a vonalzó. Tehát, ha kiseretném deríteni, mekkora az a maximális sebesség melyet egy vonalzós ágyúval el lehet érni, minél hajlékonyabb vonalzókat kell keressek. Ez a probléma, hogy hogyan érjünk el minél nagyobb sebességet két vonalzó segítségével azt gondolom jó jövőbeli kutatási célom lehet.

5. Fémgolyóval készült mérések, mérések adatai

Itt a mérési módszereim változatlanok, kivéve egy dolgot. Mégpedig azt, hogy a két vonalzó felületét olajjal kentem be a könnyebb kilövés és tapadásmentesség érdekében, illetve a labda

helyett egy fémgolyót használtam. A 3. ábrán látható a fémgolyó kiindulási helyzete, ahol a fémgolyón egy fekete csíkot lehet látni. Ez segíti, hogy a golyót különböző pontokon tudjam elhelyezni a vonalzón.



3. ábra: 2.kísérleti elrendezés

5.Mérés

Itt a golyón látható csíkot a vonalzó 30 cm- hez helyeztem a kiindulási pozíciónál.

Mért adatokat az 5. táblázat foglalja össze

Mérési sorszám	1	2	3	4	5	6	7	8	Átlag
x (cm)	43	42	36	38	41	44	41	43	41

5. táblázat: Az 5. mérés adatai

6.Mérés

Itt a golyón látható csíkot a vonalzó 28 cm- hez helyeztem a kiindulási pozíciónál.

Mért adatokat a 6. táblázat foglalja össze.

Mérési sorszám	1	2	3	4	5	6	7	Átlag
x (cm)	54	55	54	58	51	52	49	53,3

6. táblázat: Az 6. mérés adatai

6. 2. Méréssorozat kiértékelése

A kilőtt tárgyat változtatva a 2. méréssorozatban kisebb távolságokat kaptam, mint az első sorozatban. Ebből azt a gondolatot fogalmaztam meg, hogy nem mindegy milyen tárgyat lövünk ki. A fémgolyó átmérője kisebb volt és az elmozdulása az x tengelyen kisebb mértékű volt a labdáéhoz képest, ezt a 6. táblázat -3. táblázat, 5. táblázat - 2. táblázatok összehasonlítása igazolja.

A lassított felvételen a labda kilövésekor minimális forgás látható, ebből arra következtetek, hogy a Tracker eredményeim és majd a mért adataimból kiszámolt kezdősebesség mértéke már közelebb lehet a valósághoz, mint a labdánál.

7. Irodalomjegyzék

- [1] Zsombor, N. (2024). A Trackerrel végzett méréseimet tartalmazó link.
https://drive.google.com/drive/folders/1THMGy0StqIotTvYMWZNvuXzAV3rlaytT?usp=drive_link