**A 2022/2023. tanévi**

**Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny**

**döntő forduló**

**fizika I. KATEGÓRIA**

**Megoldási útmutató**

**Feladatok**

A mérés során két függőleges tengelyű koncentrikus henger között elhelyezett folyadék ill. granuláris anyag tulajdonságait vizsgáljuk úgy, hogy a belső hengert egy adott sugarú vízszintes koronghoz kötött fonálban fellépő erővel forgásba hozzuk. A koronghoz kötött fonál két álló csigán átvetve függőlegesen lelóg. A kötélben fellépő erőt a fonal végére akasztott súllyal biztosítjuk. A mérés során tulajdonképpen ennek a súlynak a mozgását tudjuk vizsgálni különböző esetekben. Minden mérés megkezdése előtt a kötelet tekerjük fel addig, hogy a kiválasztott súly alja a földtől 160 cm-re legyen. A magasságot a kötél mellett elhelyezett mérőrúdon látjuk.

A mérések során stopperórával mérjük az elengedett súly adott hosszúságú mozgásához szükséges időt (a tényleges méréseket a z alább megadott feladatokban adjuk meg.)

A mérés elméleti alapja az, hogy a folyadékban fellépő súrlódás következtében ahhoz, hogy a belső *R1* hengert ω szögsebességgel forgassuk

forgatónyomatékra van szükség, ahol *R2* a külső álló henger sugara, *h* a folyadék magassága, *η* pedig a folyadék viszkozitása. A lentiekben megadott mérési feladatokban a viszkozitás értékének a mérési adatokból történő kiszámításához ezt a képletet használjuk!

A mérések elvégzéséhez 3 különböző átmérőjű cserélhető vízzel töltött belső henger áll rendelkezésre. A hengereket többször cserélni kell. Ehhez először csavarja le a tengelyt rögzítő lap tetején látható 3 szárnyas anyát. Majd csavarja ki a henger tetején található réz rögzítő csavart. Ezután a hengert le tudja csavarni a tengelyről. Az új hengert ezután értelem szerűen be tudja szerelni. A hengerek vízzel fel vannak töltve. Ha véletlenül kifolyna, szóljon a segítő tanárnak!

A mérés során szükséges lesz a külső PVC hengerből a maradék folyadék kiöntésére. Ehhez vegye ki a forgó hengert, majd a PVC hengert rögzítő 2 szárnyas anya lecsavarása után a hengert ki tudja emelni.

**A mérés elvégzéséhez szükséges adatok:**

Hajtó henger sugara r=30mm,

külső henger sugara R2=54,5 mm,

kis henger sugara R1=30 mm, közepes henger sugara R1=35 mm, nagy henger sugara R1=40mm,

hengerek magassága l=100 mm,

8-as csavar tömege 4,4g, 6-os csavar tömege 2.05g, nagy kampó tömege 5.2 g.

**Mérési feladatok:**

1. Határozza meg a legnagyobb henger szöggyorsulását! Ehhez szerelje be a legnagyobb hengert. A mellékelt nagy kampóra tegyen 3 db 8-cas anyát! Mérje meg a súlynak 60, 100, 160 cm megtételéhez szükséges idejét. A mérést mindig a rúdon a legfelső jeltől indítsa! Minden mérést többször ismételjen meg! Ha esetleg kiugróan eltérő adatot kap, azt hagyja ki! Készítsen olyan ábrát, hogy egyenes illesztéssel megkaphassa a gyorsulást! Az illesztést vonalzó segítségével végezze. Becsülje meg a hibát! 5 pont

2. Ugyanezzel a hengerrel mérje meg a szöggyorsulást a ráakasztott tömeg függvényében! Használjon 3,4, ..8 db 8-cas anyát. Írja fel a henger mozgását leíró egyenletet! Vegye figyelembe a henger tengelyénél fellépő súrlódást! Készítsen olyan ábrát, hogy egyenes illesztéssel meg tudja határozni a henger tehetetlenségi nyomatékát és a súrlódási erőt.

6 pont

3. Szerelje be a kis hengert! Töltse fel a rendszert vízzel, úgy hogy a vízszint a külső henger teteje alatt 2 cm-re legyen! Ezt a mellékelt kis rúddal tudja beállítani. A nagy kampóra tegyen egy 6-os anyát! Ezzel az összeállítással mérje meg a súly 20, 40, 60, ... 160 cm megtételéhez szükséges időt!

Minden méréshez a súly felülről újra indítsa el! Az eredményeket egy út-idő grafikonon ábrázolja! Értelmezze a kapott eredményt! Határozza meg azt a sebességet, ami egy átmeneti idő után beáll! Határozza meg az átlagsebességet és becsülje meg mekkora a hiba, ha ezt használjuk a beálló sebesség helyett!

6 pont

4. Mérje megy a teljes 160 cm megtételéhez szükséges időt 1, 2, 3 és 4 db 6-os anya esetén. Készítsen olyan ábrát ahol egyenes illesztéssel meg tudja határozni a víz viszkozitását a fent megadott képlet segítségével! Itt használhatja az átlagsebességet!

6 pont

5. 4 db 6-os anya használatával ismételje meg a mérést a másik két hengerrel is! Mennyire teljesül a fenti képletben megadott R1 függés?

6 pont

6. Ismételje meg az előző mérést a mosogatószerre is! Itt is a külső henger tetejétől 2cm-ig töltse fel a rendszert! Először a legnagyobb, majd a közepes végül a legkisebb hengert használja! Mindegyik méréshez használja az 50g-os súlyokat! 50, 100, .. 200g tömeg esetében mérje meg a 160 cm-hez tartozó időket! Ebből a megfelelő egyenes illesztéssel határozza meg a mosogatószer viszkozitását! Adja meg a 3 méréssorozatból kapott viszkozitás hibáját. Fontos, hogy amikor a hengert kiszereli várja meg amíg a mosogatószer lecsurog. Ezután tegye át a tálcára, csavarja le a hengert majd mossa le a csapnál! A mérés végén öntse vissza a mosogatószert a flakonba és mossa ki, majd törölje szárazra a műanyag hengert!

8 pont

7. Vizsgálja az un. "granuláris anyagnak" minősülő gríz tulajdonságait is! Ehhez szerelje be a kis hengert. Töltse fel a rendszert grízzel úgy, hogy az a tetejétől 6 cm-ig érjen! A mérés megkezdése előtt alaposan forgassa meg a hengert! 100g tömeg esetébe mérje meg a 160 cm megtételéhez szükséges időt! Ebből számítsa ki a fenti képletből adódó viszkozitást! Ismételje ezt meg a közepes hengerrel is! A henger beszerelése előtt öntse ki a grízt, mert az különben alul összepréselődik, ami komoly hibát okozhat. Azt tapasztalja, hogy ilyenkor a két mért viszkozitás igen jelentősen eltér. Mi lehet ennek az oka?

3 pont

**A feladatok megoldása**

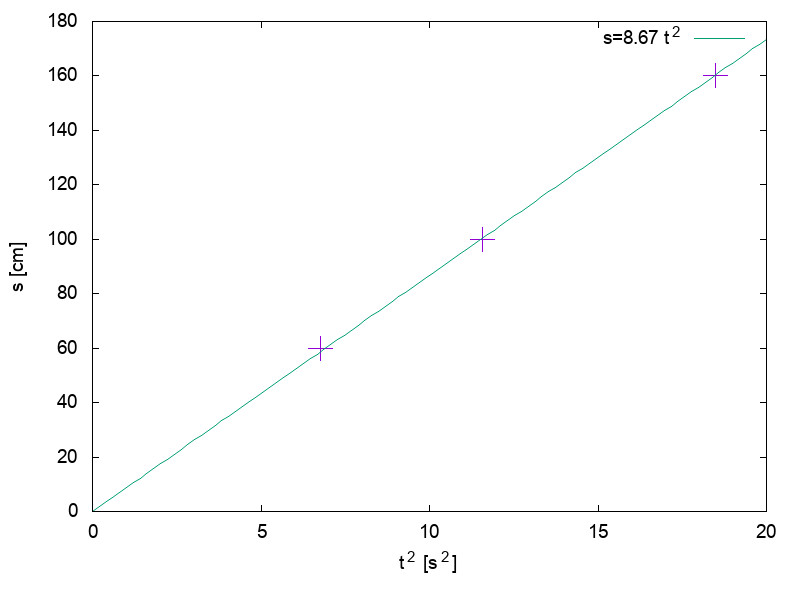
**1. feladat**

A mérés során az 3 db 8-as anyát akasztunk a kampóra, aminek össztömege 13,3g. Célszerű a mért *t* időadatok négyzetének függvényében ábrázolni a súly által megtett *s* utat. Ekkor mivel a kezdősebesség nulla

,

így egy egyenes illesztésével egyszerűen megkaphatjuk a ráakasztott tömeg *a* gyorsulását.

A kapott eredmény a 1. ábrán látható.



*1. ábra. A megtett út a mért időadatok négyzetének függvényében*

A egyenes illesztés alapján a gyorsulásra a=17.3 ± 0.3 cm/s2 = 0.173 ± 0.003 m/s2 adódik. Mivel a hajtó henger sugara 30 mm a henger szöggyorsulása ω=5.76 ± 0.2 s-2. Mivel a mért időadatok hibája körülbelül 0.1s ami 2%-nak felel meg a gyorsulás értékének hibája is ennyinek becsülhető.

**2. feladat**

Először írjuk fel a rendszer mozgásegyenletét. A felfüggesztett *m* tömegre az *mg* nehézségi erő és a kötélerő hat, így

.

A hengerre a kötélerő *KR* forgatónyomatéka és a súrlódási erő *Ms* forgatónyomatéka hat, így ennek mozgásegyenlete

,

ahol kihasználtuk, hogy a szöggyorsulás . A *Ө* a henger tehetetlenségi nyomatéka. Ezután fejezzük ki mindkét egyenletből a kötélerőt. Innen felírhatjuk, hogy

.

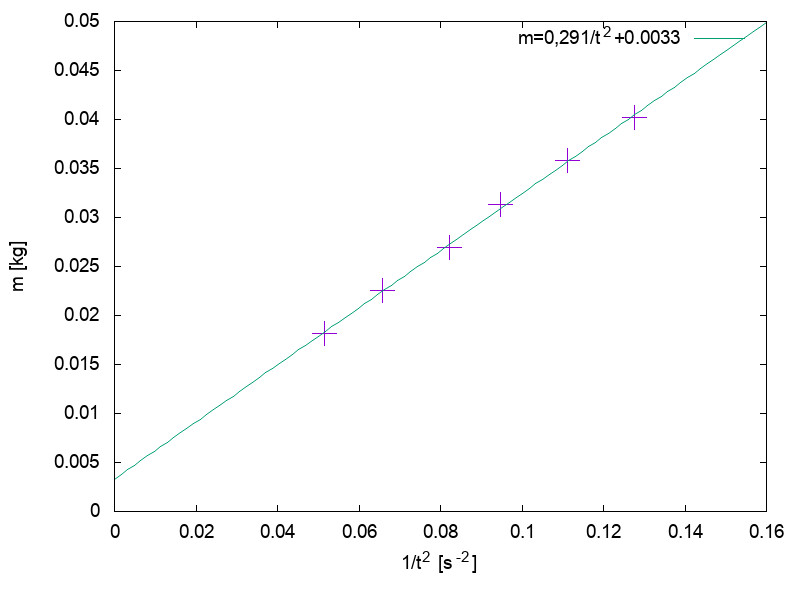
A mérés során az idő mérésével minden tömeg esetében meghatározhatjuk a gyorsulás értékét. Ha az *m(g-a)*-t ábrázoljuk az *a* függvényében akkor egy egyenest kell kapjunk aminek meredeksége a és tengelymetszete pedig . Ugyanakkor érdemes észrevenni, hogy a mi esetünkben mivel a vízzel teli henger tömege sokkal nagyobb mint a kötélre akasztott tömeg adódik, hogy . Ezért a fenti egyenletet átírva a

alakra annak bal oldalán a *m* elhanyagolható mellett. Így jó közelítéssel

Ez azt jelenti, hogy az *a −> m* összefüggés jó közelítéssel lineáris. Az behelyesítése után

a fenti összefüggés az

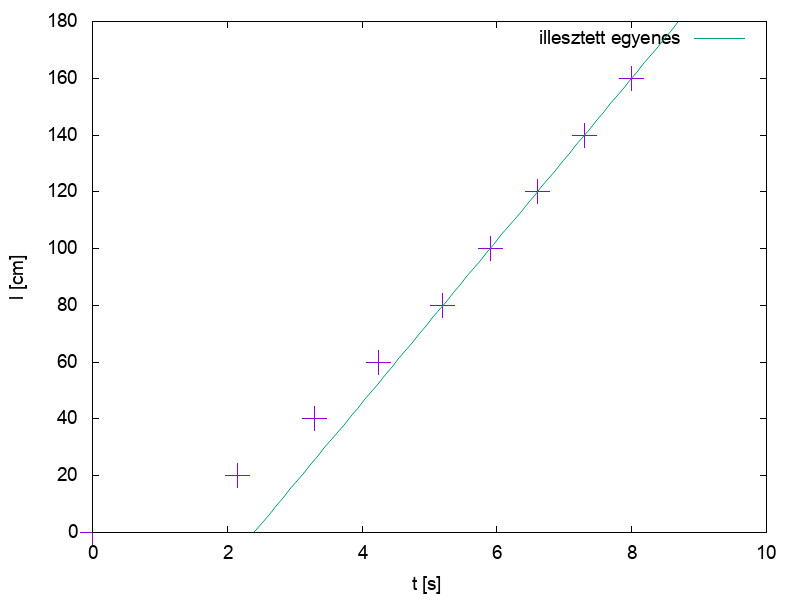
alakra hozható. Ez azt jelent, hogy ha egy adott *s* mellett a különböző tömegekhez tartozó *1/t2* értékek függvényében ábrázoljuk *m*-et akkor egy egyenest kell kapnunk aminek meredekségéből és tengelymetszetéből a tehetetlenségi nyomaték és a súrlódási erő forgatónyomatéka egy egyenes illesztéssel meghatározható. Fontos kiemelni, hogy a tömegek megadásánál a kampó tömegét is figyelembe kell venni! Az *s=160 cm*-es hosszúsághoz tartozó ilyen grafikon a 2. ábrán látható:

*2. ábra .160cm-es út esetén a ráakasztott tömeg a mért idők reciprok négyzetének függvényében.*

Az illesztett egyenes meredeksége *0.291 kg s2*, míg tengelymetszete *0.0033 kg.* Az adatok behelyettesítése után *Ө=6.0 10-4 kg m2* és *Ms=1.29 10-3 Nm.* A másik három ejtési hosszúság esetén is meghatározva a fenti két értéket azt találjuk, hogy a mérés hibája kb. 10%. Érdemes kiszámítani a hengerbe töltött víz tehetetlenségi nyomatékát. Erre 3*.9 10-4 kg m2* adódik. Figyelembe véve, hogy a fémhengernek és a forgató hengernek is van tehetetlenségi nyomatéka, ami hozzájárul a mért értékhez megállapíthatjuk, hogy a kapott érték teljesen megfelel a várakozásnak.

**3. feladat**

A mérés során kapott út idő grafikon a 3. ábrán látható.



*3. ábra. A vízzel feltöltött rendszer esetében a mért út idő grafikon.*

Az áráról leolvasható, hogy kb. *5s* után a henger sebessége már állandó lesz. Előtte folyamatosan növekszik. Ha az utlsó 5 pontra illesztünk egy egyenest megkaphatjuk a beállt sebességet, amely *v=0.28 m/s*-nak adódik. Ezzel szemben az átlagsebesség csak *vátlag=0.2 m/s.* Tehát az átlagsebességet használva a hiba mintegy 30%.

**4. feladat**

Ha a henger sebessége beáll egy állandó szögsebességre akkor felírhatjuk, hogy

amely átírható az

illetve az

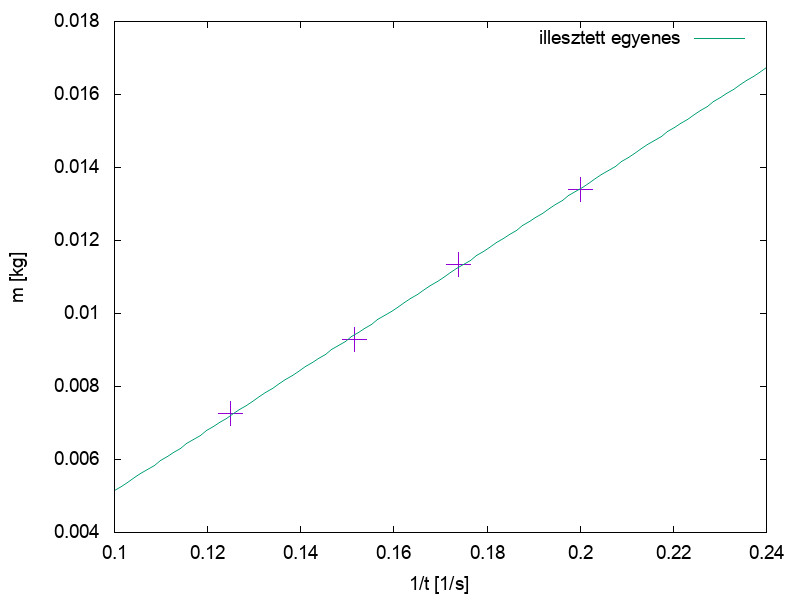
alakra. Ezért, ha az *1/t* függvényében ábrázoljuk az *m*-t egy egyenest kell kapjunk aminek meredekségéből a viszkozitás a fenti képlet szerint meghatározható. A kapott eredmény a 4. ábrán látható.

Az illesztett egyenes meredeksége am=*0.0827kgs.* A meredekségre kapott fenti összefüggésből

.

A mérések során nem változó adatok behelyettesítése után felírhatjuk, hogy

.



*4. ábra. A ráakasztott tömeg az 1/t függvényében s=160 cm esetében a legnagyobb hengerre.*

Innen *η=0.26 Pas*. Meg kell említeni, hogy ez az érték lényegesen magasabb, mint a desztillált vízre az irodalomban megadott η=0.001 Pas érték. Ennek természetesen az az oka, hogy mi a mérésben csapvizet használtunk, ami rengeteg oldott anyagot tartalmaz, amely lényegesen növeli a viszkozitást.

**5. feladat**

A fenti mérést megismételve a másik két hengerre is a közepes hengerre *η=0.20 Pas* míg a legkisebb hengerre *η=0.28 Pas* értéket kapunk. Látható tehát, hogy a mérés hibája körülbelül 30%.

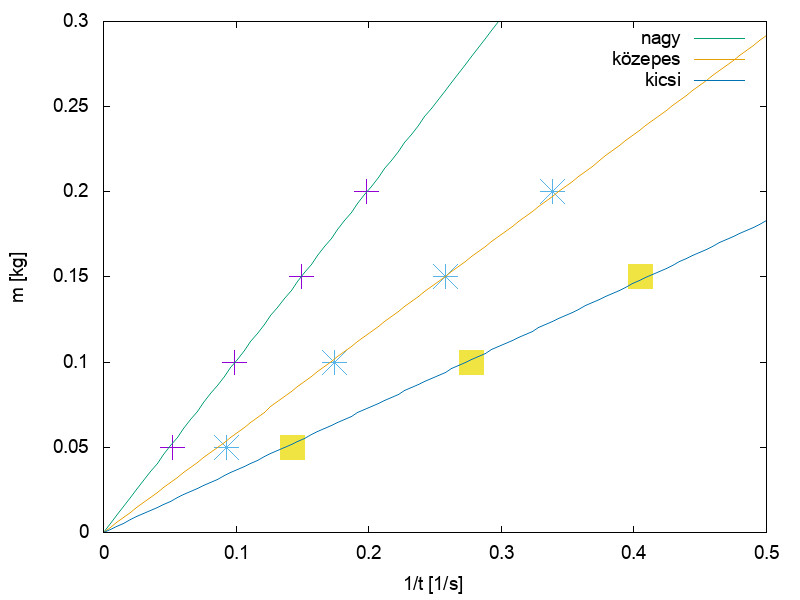
**6. feladat**

A fenti mérést megismételve a mosogatószerre az 5. ábrán látható grafikonokat kapjuk:

Az illesztett egyenesek meredekségét és a kiszámított viszkozitás értékeket az alábbi táblázatban foglaltuk össze:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *am*  [kg s] |  | η [Pa s] |
| nagy henger | 1.00 | 0.85 | 1.17 |
| közepes henger | 0.58 | 1.42 | 1.13 |
| kis henger | 0.36 | 2.30 | 1.14 |

Megállapítható, hogy a mosószer viszkozitása már kb. 2%-os pontossággal meghatározható. Ez nyilván azért lehetséges mert a viszkozitás értéke közel egy nagyságrenddel nagyobb mint a vízé.

*5. ábra. A mosószerrel mért 1/t -> m görbék a három henger esetében.*

**7. feladat**

A mérési eredményeket az alábbi táblázat foglalja össze:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | t | *mt* [kg s] | η [Pa s] |
| közepes henger | 2.5 | 0.25 | 0.64 |
| kis henger | 1.95 | 0.195 | 0.88 |

A mérés során a tömeg 100g volt és a 160 cm megtételéhez szükséges időt mértük. A számolásnál figyelembe kell venni, hogy a gríz magassága csak 60mm volt nem pedig80mm mint a többi mérésnél. Ezért a viszkozitást megadó képlet ilyenkor

.

Mivel csak egy tömeg mellett mértünk a korábban illesztett egyenes meredeksége helyett itt egyszerűen az *am=mt* közelítést alkalmaztuk.

Látható, hogy a két henger esetén kapott viszkozitás jelentősen eltér. Ennek oka, hogy a gríz, mint "granuláris" anyag nem követi a folyadékokra és gázokra érvényes Newton féle lineáris összefüggést a nyírási feszültség és a nyírási sebesség között. A két mennyiség között egy erősen nemlineáris összefüggés van.