

E - A piezoelektromosság fizikája (20 pont)

Néhány kristályos, elektromosan szigetelő anyag, mint például a kvarc vagy az ólom-cirkonát-titanát, mechanikai nyomás hatására elektromos választ ad. Röviden, a mechanikai feszültség polarizálja a kristályokat, amit piezoelektromos effektusnak nevezünk. Ez a jelenség a molekulák különleges szerkezetével magyarázható: a deformáció minden molekulának elektromos dipólusmomentumot ad. Ugyanakkor elektromos tér hatására viszont mechanikai feszültség keletkezik. Ezt a jelenséget fordított piezoelektromos effektusnak nevezünk - ebben a feladatban azonban ezt a jelenséget elhanyagoljuk.

Ez a feladat egy egyszerű, piezoelektromosságra épülő eszközt, a *piezoegységet* vizsgálja. Ez két kör alakú fémlemez közé helyezett piezoelektromos anyagból áll. Ha a fémlemekre merőleges irányú erőt fejtünk ki a piezoegységre, akkor a lemezek között erőfüggő elektromos feszültség keletkezik.

Eszközök (lásd az 1. ábrát is)

- A Piezoegység elektromos kivezetésekkel, fa alaplapra szerelve és egy lyukas lemezzel lefedve. A lyuk a teljes fedőlapon áthalad, és így a piezoegység felső elektródájának kis része látható rajta keresztül. Ez az elektróda vékony és rugalmas.
- B Multiméter (a belső ellenállása meg van adva, lásd a *fontos tudnivalókban* a következő oldalon).
- C 1.5 V-os AA ceruzaelem kivezetéssel.
- D Ismeretlen kapacitású kondenzátor, amelynek egyik lábára egy dióda van forrasztva (ha nyitóáram folyik a diódán, akkor 0.56 V feszültség esik rajta).
- E 4 elektromos nyomógombos kapcsoló (benyomva van bekapcsolva) vezetékkel.
- F 6 krokodilcsipesz.
- G Digitális mérleg (10 kg-ig).
- H Digitális stopper.
- I 2 különböző gumigolyó.
- J Faállvány állítható indítószervezettel.
- K 50 cm-es vonalzó.
- L Kis fapálcikák (2 mm átmérőjűek), két különböző hosszban.
- M Nagy fémcsavar.
- N Fa ruhacsipesz.
- O Ceruza, toll, ceruzahegyező.

Task E.1 — A golyó rugalmassága (2 pont)

A két gumigolyó közül az egyik rugalmasabb, mint a másik.

Határozd meg, hogy a rugalmasabb gumigolyó esetében a mozgási energia mekkora hányada vész el egy szilárd felülettel való ütközés során! Határozd meg ezt a hányadot a kezdeti mozgási energia három különböző értékére!

Task E.2 - Piezoelektromos tulajdonságok (10 pont)

- a Mérd meg a kondenzátor C kapacitását (3b. ábra)! (2 pont)
- b A piezoegység fémlemezei szintén kondenzátorként viselkednek. Határozd meg a piezoegység C_p kapacitását! (2,5 pont)
- c Mérd meg és ábrázold, hogy hogyan függ a piezoegység lemezei közt keletkező elektromos feszültség a teljes merőleges erőtől, amely a piezo felületén a fa fedőlapon keresztül egyenletesen oszlik el! Kis erők esetében a függés lineáris, határozd meg ebben a tartományban a β meredekséget! (4 pont)
- d A kristály molekuláinak polarizációja nem lehet nagyobb egy kritikus értéknél. Határozd meg a piezoegység maximális (telítődési) feszültségét, a p_{sat} nyomást a telítődéskor, és a σ_{max} maximális felületi töltéssűrűséget a piezoegység felületén! (1,5 pont)

Task E.3 - Kis terület viselkedése (1 pont)

Ha a piezoegység egy kis részére hat csak erő, akkor az elektromechanikus csatolás miatt a kristály megakarna görbülni. A fa lemezek azonban ezt megakadályozzák, és így a kristály többi részében is mechanikai feszültség keletkezik.

Mennyivel változik meg a keletkező feszültség, ha az erő a kristály egy kis részére hat? Csak a lineáris tartományt vizsgáld.

Task E.4 - A golyó deformációja (4,5 pont)

Ebben a részben a rugalmasabb gumigolyót fogod a piezoegységre ejteni. A golyó és a piezoegység ütközésekor a golyó deformálódik. Tegyük fel, hogy a golyóra ható F erő a golyó x rugalmas alakváltozásától hatványfüggvény szerint függ:

$$F = kx^\alpha . \quad (1)$$

Határozd meg az α kitevőt és a k anyagi állandót!

Task E.5 - Kölcsönhatási idő (2,5 pont)

Az előző feladat eredménye alapján meg lehetne határozni a τ (ütközési) kölcsönhatási időt a rugalmasabb golyó és a fa felület között. Azonban a kevésbé rugalmas golyó esetében nincs olyan egyszerű összefüggés, mint az (1)-es egyenlet. Ehelyett a következő feltételezést tehetjük.

Ha egy bizonyos v_0 ütközési sebességnél a golyóra ható erő $F_0(t) = f(t)$ alakban írható, akkor bármely más v_1 sebesség esetében az időfüggés hasonló alakú lesz, és így írható fel:

$$F_1(t) = a_1 f(b_1 t) . \quad (2)$$

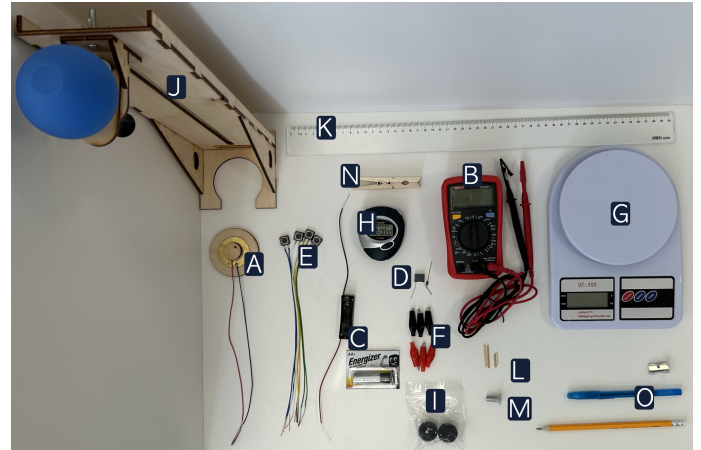
Határozd meg és ábrázold, hogyan skálázódik a τ kölcsönhatási idő a v ütközési sebességtől a kevésbé rugalmas golyó és a fa felület esetében.

Fontos tudnivalók

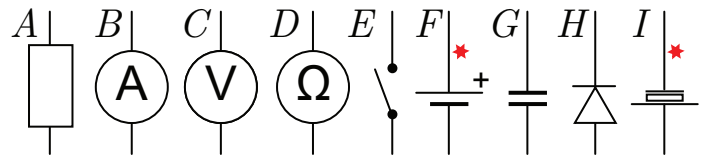
- Elvárás, hogy az összes elvégzett elektromos mérés mellé áramköri rajzot is mellékelj. Használd a 2. ábrán megadott szimbólumokat.
- Vigyázz, nehogy rövidre zárd a multimétert! A megadott belső ellenállások csak egyenfeszültségmérésekre érvényesek.
- A piezoegységre ható összerhelés ne lépje túl a 100 N-t.
- Két vezeték összekapcsolásához ajánlott azokat egymásra tekerni és a krokodilcsipesszel rögzíteni a csatlakozást a 3a. ábrán látható módon.
- A dióda polaritása a 3b. ábrán látható.
- Az indítószerkezet magasságát a hátoldalon található két csavarral állíthatod be (lásd a 4. ábrát). A vízszintes helyzetet is beállíthatod az indítószerkezeten lévő függőleges anya kicsavarásával.
- Vigyázz arra, nehogy a pattogó golyó kirepüljön. Kiseb eséllyel esik le a golyó az asztról, ha az indítószerkezettel ellátott állványt az egyik falhoz vagy az asztalod egyik sarkához állítod, és a vonalzót egy másik, átlátszó falként használod, amit egy ruhacsipesszel rögzítesz. Ha mégis leesik a golyó, kérj segítséget, **ne hagyd el a helyedet**.
- Egy bizonyos ideig tartó inaktivitás után a multiméter sípolni kezd, majd néhány perc múlva kikapcsol. A kikapcsolást bármelyik gomb megnyomásával megakadályozhatod.
- Vedd figyelembe, hogy az asztal egyes területei terhelés hatására meggörbülhetnek. Használd az asztal stabil területeit a pattogási kísérlethez.
- Egy méréssorozat kiértékelésénél elvárás az adatok ábrázolása.
- Csak azok a mérési és kiértékelési módszerek érnek teljes pontszámot, amelyek a legnagyobb pontosságot és precizitást adják. Ennek megfelelően válaszd meg a módszereidet, szem előtt tartva az eszközök pontosságát. Viszont a hibabecslésért nem jár pont.
- Ha egyenfeszültséget mérünk a multiméterrel egy olyan méréshatáron, ahol a legkisebb számjegy felbontása δU , az U mért érték ΔU bizonytalansága a következő módon becsülhető:

$$\Delta U = 0.7\% \cdot U + 3 \cdot \delta U . \quad (3)$$

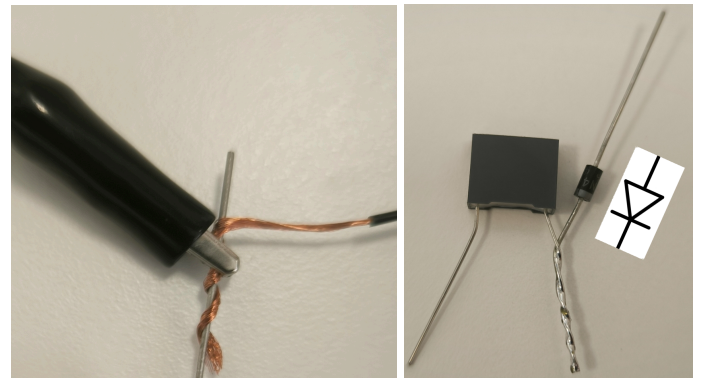
- A multiméter belső ellenállása egyenfeszültségmérő beállításban a mérési tartománytól és a modellszámtól függ. A 5. ábrán láthatod, hogy hol találsz a voltmérő modellszámát. A következő táblázatban az összes voltmérő belső ellenállását megtalálod kétféle mérési tartomány esetén.



1. ábra: A kísérlet eszközei



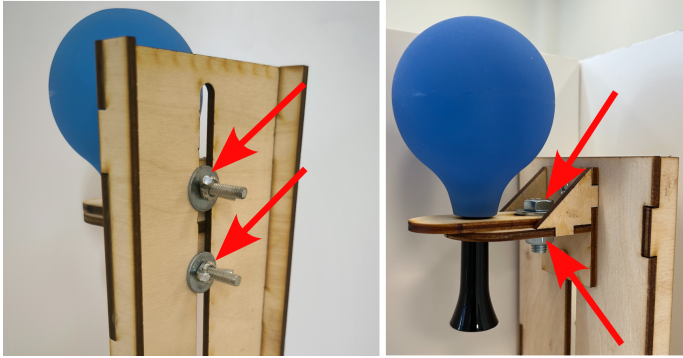
2. ábra: A leggyakoribb áramköri jelek: **A** - ellenállás, **B** - ampermérő, **C** - voltmérő, **D** - ohmmérő, **E** - kapcsoló, **F** - elem, **G** - kondenzátor, **H** - dióda, **I** - piezoegység. A piros csillaggal jelölt vezetékek piros színű szigeteléssel rendelkeznek.



(a) Ajánlott elektromos csatlakozás egy másik vezeték köré csatlakoztatott dióda és tekert vezetékkel, amit a krokodilcsipesszel rögzít
(b) A kondenzátorhoz a dióda mellé rajzolt áramköri szimbólum a megfelelő irányítottsággal

3. ábra: Hasznos megjegyzések az elektromos alkatrészekről

modellszám(ok)	méréshatár	belső ellenállás
mindegyik	2V	11.1 MΩ
UT33B+	200 mV	9.65 MΩ
UT33C+	200 mV	9.91 MΩ
UT33D+	200 mV	9.70 MΩ



4. ábra: A hátoldalon lévő csavaranyák meglazításával az indítószervezetet függőlegesen csúsztatható. A függőleges anyacsavarral pedig a vízszintes helyzet állítható be



5. ábra: A piros nyíl a multiméter modellszámát mutatja