kategória

F+

10-12. osztályosok

XVI. DÜRER VERSENY

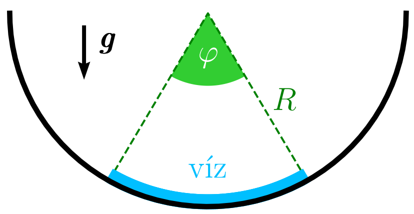
Döntő: 2023. február 10-12.

FIZIKA
ELMÉLETI FELADATSOR

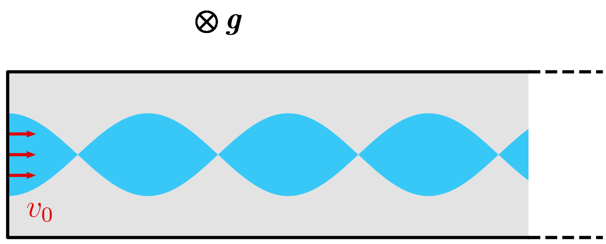
Figyelem! *A teljes pontszám eléréséhez nem elegendő a megoldások számszerű közlése, levezetés és a logikai lépések szöveges indoklása is szükséges (pl. „Newton III. törvénye alapján...”)!*

1. feladat (12 pont)

Egy vízszintes tengelyű, R sugarú, félvégtelen, hengeres eresz alján egy $\varphi \ll 1\,\mathrm{rad}$ középponti szögű tartományban igen vékony vízsugár indul v_0 sebességgel, párhuzamosan az eresz tengelyével (lásd *ábra*). Kezdetben a vízsugár egyenletesen oszlik el a teljes φ szögtartományban, majd később azt tapasztaljuk, hogy bizonyos távolságokban „fókuszálódik”. Adjuk meg az így értelmezett fókuszpontok távolságát az eresz végétől!



elölnézetből



felülnézetből

Útmutatás: A megoldás során alkalmazzunk egy olyan minimálmodellt, amelyben a víz részecskéit tökéletesen rugalmasan ütköző tömegpontoknak tekintjük. Ebben a megközelítésben a víz sűrűsége nem állandó, és disszipatív hatások sem jelennek meg; ez természetesen a víz reális hidrodinamikai tulajdonságaitól eltérő. Mindezek ellenére a felvázolt modell alkalmas a feladatban vizsgált jelenség első közelítésben történő leírására.

2. feladat (8 pont)

Dürer szeretné házának áramellátását önfenntartó módon megoldani, így tervezésbe fog. Az áramtárolás elve a szivattyús tározós vízerőmű működésén alapulna, azaz:

- áramtöbblet esetén a vizet egy alacsonyabban fekvő tárolóból egy magasabban lévőbe pumpálná egy ideálisnak tekinthető elektromos szivattyú, ezzel az elektromos energiát helyzeti energiává alakítanánk;
- áramszükség esetén a magasabb tárolóból az alacsonyabb tárolóba engednénk a vizet egy szintén ideális turbinán keresztül, mely ekkor áramot termelne.

Ennek megvalósítására Dürer kertjében és padlásán – melyek szintkülönbsége $h = 6\,\mathrm{m}$ – víztartályokat helyezne el. Ezeket egy A keresztmetszetű csővel kötné össze, amely keresztülhaladna mind az elektromos szivattyún, mind a turbinán.

Dürer háza évente átlagosan $E = 2523\,\mathrm{kWh}$ áramot fogyaszt. Szeretné úgy méretezni tárolóit, hogy egy átlagos nap energiaigényéhez szükséges vizet el tudja raktározni a padláson.

(a) Mekkora tömegű vizet kellene ehhez a padlásán tárolnia?

A kapott eredmény igen lehangoló, ráadásul Dürerben további kételyek merülnek fel: a teljes eltárolt helyzeti energia kinyeréséhez a vizet végtelenül lassan kellene leengednie. De ekkor a turbina által leadott teljesítmény zérus lenne, ami nem praktikus.

(b) Hogyan függ a turbina leadott teljesítménye, illetve a helyzeti energia árammá alakításának hatásfoka a víz turbinából való kifolyási sebességétől?

(c) Mekkora sebességnél érhető el a legnagyobb teljesítmény? Mennyi ekkor a hatásfok?

3. feladat (17 pont)

Egy téli napon meggyújtunk egy mécsest, majd megvárjuk, míg az elalszik. Ezt követően t_0 idő elteltével levesszük a mécses fémből készült tetejét, egy hőszigetelő edénybe helyezzük, majd megvárjuk, míg az egész tető azonos hőmérsékletű lesz. Azt tapasztaljuk, hogy ez a hőmérséklet T_2. Mekkora lett volna az egyensúlyi T_1 hőmérséklet, ha a gyertya elalvása után rögtön levettük volna a mécses tetejét, és a hőszigetelő edénybe raktuk volna?

Útmutatás: A mécses teteje egy elég vékony, δ vastagságú, ϱ sűrűségű, c fajhőjű hajlított fémlemezből készült, melynek hőmérséklet-eloszlása kezdetben inhomogén. A környező levegő mind a mécses belsejében, mind a mécsesen kívül jó közelítéssel végig T_0 hőmérsékletű. A tető levétele előtt annak felszínén távozó hőáram j_Q sűrűsége a felület egy adott $\boldsymbol{r}$ helyén, valamely t időpontban a Newton-féle lehűlési törvény differenciális alakjából számítható:

$$j_Q(\boldsymbol{r}, t) = -\alpha[T(\boldsymbol{r}, t) - T_0],$$

ahol $\alpha > 0$ a hőátadási tényező. Feltételezhetjük továbbá, hogy a tető levétele közben és után nem történik hőcsere a fém és a környezet között.

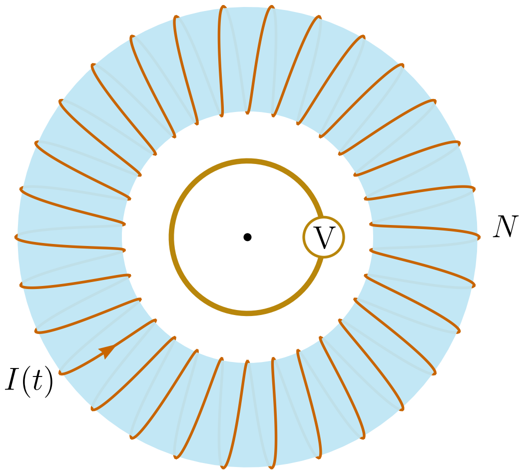
4. feladat (10 pont)

Szilveszter egy kád vízben ülve meg akarja nézni víz alatti *analóg* óráján az időt. Meglepődve veszi észre, hogy nem látja az óra számlapját, annak üvege tükörként funkcionál. Vizsgálni kezdi a jelenséget: először úgy tartja az órát, hogy annak számlapja párhuzamos legyen a víz felszínével, ő pedig függőlegesen néz rá; ekkor látja a számlapot. Ezután változatlanul függőlegesen tekint az órára, de közben megdönti azt. Eközben megfigyelte, hogy egyre kevésbé látható az óra számlapja, és egy bizonyos α döntési szöget meghaladva már egyáltalán nem olvasható le; ekkor válik az óra üvege tükörré. Határozzuk meg az α döntési szöget!

Adatok: A víz illetve üveg törésmutatói: $n_{\text{víz}} = 4/3$, $n_{\text{üveg}} = 3/2$.

5. feladat (18 pont)

Egy R_1 középkörsugarú, R_2 keresztmetszeti sugarú, egységnyi relatív permeabilitású műanyagtóruszra vékony rézdrótot csévélünk egyenletesen, ezzel N menetszámú toroidtekercset létrehozva. A tórusszal koncentrikusan egy vékony huzalból formált, voltmérővel ellátott R_3 sugarú körvezetőt helyezünk el az *ábrán* látható módon.



A tekercsbe ezt követően időben periodikusan változó $I(t) = I_0 \sin(\omega t)$ áramot vezetünk, amelynek hatására a voltmérő U_{eff} effektív feszültséget mutat. Mekkora feszültséget mutatna a műszer, ha – az elrendezés egyéb paramétereit változatlanul hagyva – a toroidtekercs menetszámát kétszeresére növelnénk?

Megjegyzés: A megoldás során az R_1, R_2, R_3 és N paraméterek mindegyikét vegyük teljesen általánosnak! Ennek folytán sem a gyakran használt $N \gg 1$ nagymenetszámú határeset, sem a vékony tekercsek $R_1 \gg R_2$ összefüggése nem tekinthető érvényesnek.

Használható segédeszközök: író- és rajzolóeszközök, számológép, függvénytáblázat, illetve a helyszínen minden csapat számára egy példányban kiosztott „Deriválás fizikus szemmel” segédlet.
A feladatok megoldására 180 perc áll a csapatok rendelkezésére.
Sikeres versenyzést kívánnak:

a szervezők