Fizika 1X, 1. zh (2010/11 őszi félév)

Teszt

1	Egy koordináta rendszer, amely az álló csillagokhoz képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, inercia-rendszernek tekinthető.	I
2	Egy tömegpont mozgási és potenciális energiájának összege állandó a gravitációs erőtérben.	I
3	Egydimenziós mozgás esetén a tömegpont elmozdulása kisebb egyenlő, mint a tömegpont által megtett út.	I
4	Konzervatív erő zárt görbén végzett munkája nulla.	I
5	Egy merev testet egy pontjában rögzítve a szabadsági foka három.	I
6	Pontrendszer impulzusmomentumának időbeli változásában a belső erőknek fontos szerepe van.	H
7	Gerjesztett rezgőmozgás esetén - állandósult állapotban - a gerjesztő erőhöz képest a gerjesztett tömegpont fáziskésésben van.	I
8	A test súlyos tömegéről ad információt a lineáris rugóra felfüggesztett test rezgésére jellemző periódusidő.	H
9	Tömegpontrendszer kinetikus energiájának megváltozásában a belső erők munkája nem játszik szerepet.	H
10	Ha a merev testre ható eredő forgatónyomaték nulla, akkor a perdülete változatlan.	I

Feladatok

1. Az **r** = sint **i** - cost **j** + 9t **k** helyvektorral jellemzett mozgásnál mekkora lesz a gyorsulás a t = 2s pillanatban?

<u>MEGOLDÁS:</u>

A sebesség az elmozdulás idő szerinti első deriváltja, a gyorsulás az elmozdulás idő szerinti második deriváltja:

$$\underline{v} = \frac{d\underline{r}}{dt} = \cos t\,\underline{i} + \sin t\,\underline{j} + 9\underline{k}$$

$$\underline{a} = \frac{d\underline{v}}{dt} = -\sin t\,\underline{i} + \cos t\,\underline{j} + 0\underline{k}$$

Ha behelyettesítjük a gyorsulásra kapott egyenletbe a t = 2s-t, akkor a gyorsulásvektorra a következőt kapjuk:

$$\underline{a} = -\sin 2\underline{i} + \cos 2\underline{i} + 0\underline{k}$$

A gyorsulás nagysága (a gyorsulásvektor hossza) a kérdés, amit úgy kapunk meg, hogy gyököt vonunk a gyorsulásvektor koordinátáinak négyzetösszegéből, azaz:

$$a = |\underline{a}| = \sqrt{a_1{}^2 + a_2{}^2 + a_3{}^2} = \sqrt{(-\sin 2)^2 + (\cos 2)^2 + 0^2} = \sqrt{\sin^2 2 + \cos^2 2 + 0^2} = 1\frac{m}{s^2}$$

2. 40 kg tömegű test 5 m/s sebességét 100 N nagyságú állandó erő 150 m egyenes úton 20 m/s nagyságúra növeli. Mekkora szöget zár be az erő a sebességgel?

<u>MEGOLDÁS:</u>

<u>Adatok:</u> m = 40 kg; v_1 = 5 m/s; v_2 = 20 m/s; F = 100N; s = 150 m.

Első körben kiszámoljuk, hogy mennyi idő alatt gyorsult a test v_1-ről v_2-re.

$$s = \frac{v_1 + v_2}{2} t \qquad \Rightarrow \qquad t = \frac{2s}{v_1 + v_2} = \frac{300}{25} = 12s.$$

Ebből ki tudjuk számolni a gyorsulás nagyságát (mivel a gyorsulás állandó):

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{15}{12} = 1,25\frac{m}{s^2}$$

Ezt a gyorsulást a testen az F erő sebességgel párhuzamos komponense idézi elő. Ha az erő a testtel α szöget zár be, akkor a sebességgel párhuzamos komponensének nagysága: $F \cdot \cos\alpha$. Ezek után már csak fel kell írnunk Newton 2. axiómáját erre az esetre:

$$F_{eredő} = F \cdot \cos\alpha = m \cdot a \qquad \Rightarrow \qquad \cos\alpha = \frac{m \cdot a}{F} = \frac{40 \cdot 1,25}{100} = \frac{50}{100} = 0,5.$$

Ebből α = 60°.

$\boxed{3.}$ Egy kétatomos molekulában a potenciális energiát $U(x)=c/x^9-d/x$ összefüggés adja, ahol c és d állandók, x a két atom közötti távolság. Mekkora az atomok közötti erő?

<u>MEGOLDÁS:</u>

Az erő: $F = -\text{grad}\, U$

Mivel U most egyváltozós függvény:

$$F(x) = -\frac{dU}{dx} = -\left(\frac{-9c}{x^{10}} + \frac{d}{x^2}\right) = \frac{9c}{x^{10}} - \frac{d}{x^2}$$

$\boxed{4.}$ 1,25 m magasból a 0,1 kg golyó a 0,1 s időtartamú kölcsönhatás után 80 cm magasra pattan vissza. Mekkora átlagos erőt fejtett ki a talaj a golyóra? ($g = 10\ m/s^2$)

<u>MEGOLDÁS:</u>

A golyónak az esés kezdeti pillanatában csak helyzeti energiája van, az esés végére ez az energia fog átalakulni mozgási energiává, ebből ki tudjuk számolni a becsapódás sebességét:

$$E = E_{h1} = mgh_1 = 0{,}1\cdot 10\cdot 1{,}25\,J = 1{,}25\,J \quad\Rightarrow\quad E_{h1} = 1{,}25\,J = E_{m1} = \frac{1}{2}mv_1{}^2 \quad\Rightarrow$$

$$\Rightarrow\quad v_1 = \sqrt{\frac{2\cdot 1{,}25}{m}} = \sqrt{\frac{2{,}5}{0{,}1}}\frac{m}{s} = 5\frac{m}{s}$$

Abban a pillanatban, amikor elkezd a golyó visszapattanni a fölről, csak mozgási energiája van. Ez a mozgási energia alakul át helyzetivé, amint felért a golyó az új maximális magasságára, ami már csak 0,8 m lesz. Tehát ha kiszámoljuk a 0,8 m-hez tartozó helyzeti energiáját, akkor megtudjuk, hogy mennyi mozgási energiával indult el fölfelé, amiből ki tudjuk számolni a visszapattanás kezdősebességét:

$$E = E_{h1} = mgh_2 = 0{,}1\cdot 10\cdot 0{,}8\,J = 0{,}8\,J \quad\Rightarrow\quad E_{h2} = 0{,}8\,J = E_{m2} = \frac{1}{2}mv_2{}^2 \quad\Rightarrow$$

$$\Rightarrow\quad v_2 = \sqrt{\frac{2\cdot 0{,}8}{m}} = \sqrt{\frac{1{,}6}{0{,}1}}\frac{m}{s} = 4\frac{m}{s}$$

Tehát: a talajba 5 m/s sebességgel csapódott a golyó, de már csak 4 m/s-mal pattant vissza. Azaz a talaj ereje 1 m/s-mal változtatta meg a sebességét. Nézzük meg, ez mennyi impulzusváltozást jelent:

$$I_1 = mv_1 = 0{,}1\cdot 5\,kg\frac{m}{s} = 0{,}5\,kg\frac{m}{s} \qquad I_2 = mv_2 = 0{,}1\cdot 4\,kg\frac{m}{s} = 0{,}4\,kg\frac{m}{s}$$

$$\Delta I = I_2 - I_1 = 0{,}5\,kg\frac{m}{s} - 0{,}4\,kg\frac{m}{s} = 0{,}1\,kg\frac{m}{s}$$

Ezt a lendületváltozást a talaj okozta, méghozzá 0,1 s idő alatt, hiszen ennyi ideig volt kölcsönhatásban a golyóval. Mivel átlagos erőt kérdeznek, számolhatunk úgy, mintha állandó erővel hatna a talaj. Ezek alapján az erő:

$$F = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{0{,}1}{0{,}1} = 1\,N$$

5. Egy 0,045 kg tömegű golflabdát elütnek. Az ütő labdára gyakorolt erőhatása 2000 N-ról 2 ms alatt lineárisan nullára csökken. Mekkora a labda sebessége, amikor éppen elhagyja a golfütő fejét?

MEGOLDÁS:

Mivel az erő az idő függvényében lineárisan csökken, ezért az erő időfüggvénye ilyen alakú lesz:

$$F(t) = 2000 - A \cdot t$$

Mivel 2 ms elteltével éppen 0 lesz az erő, ki tudjuk számolni A-t:

$$F(0,002) = 2000 - A \cdot 0,002 = 0 \quad \Rightarrow \quad A = \frac{2000}{0,002} = \frac{2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-3}} = 10^6$$

Ezek alapján az erő időfüggvénye:

$$F(t) = 2000 - 10^6 t$$

Az impulzustétel alapján ebből ki tudjuk számolni az impulzust. A kezdeti impulzus 0, mert a labdának nem volt sebessége, amíg el nem ütötték. Ezek alapján a labda impulzusa az elütés utolsó pillanatában:

$$I = I_0 + \int_0^{0,002} F(t)\,dt = 0 + \left[2000t - 10^6 \frac{t^2}{2} \right]_0^{0.002} = 2000 \cdot 0,002 - \frac{10^6 \cdot 0,002^2}{2} =$$

$$= 4 - \frac{4 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} = 4 - 2 = 2 \ \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Most már tudjuk, hogy mennyi a labda impulzusa abban a pillanatban, amikor éppen elhagyja az ütőt, és tudjuk a tömegét is, így simán kiszámolhatjuk az elért végsebességét:

$$I = m \cdot v \qquad => \qquad v = \frac{I}{m} = \frac{2}{0,045} = 44,\dot{4}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

6. Egy kerékpáros dimbes-dombos vidéken közlekedik. Valahányszor felfelé halad, a sebessége 3 m/s, lefelé menetben pedig mindig 10 m/s. Mekkora az átlagos sebessége, ha a lefelé és a felfelé megtett utak hossza megegyezik?

MEGOLDÁS:

A kerékpáros valamennyi utat megy felfelé, aztán valamennyit lefelé, aztán megint fel, megint le, és így tovább. Viszont a mozgását tekinthetjük most olyannak, mintha először fölfele menne addig, amíg az összes felfelé haladó utat végig nem tekerte, aztán pedig az összes lefelé haladó úton menne végig. (Tehát egy nagy felfelé menet, aztán egy lefelé menet.)
A felfelé és a lefelé megtett utak hossza azonos:

$$s_{fel} = s_{le} = s$$

A sebességek:

$$v_{fel} = 3\frac{m}{s} \qquad v_{le} = 10\frac{m}{s}$$

Az idők:

$$t_{fel} = \frac{s_{fel}}{v_{fel}} = \frac{s}{3}\ \text{sec} \qquad t_{le} = \frac{s_{le}}{v_{le}} = \frac{s}{10}\ \text{sec}$$

Az átlagos sebesség megegyezik az összes megtett út és az ehhez szükséges összes idő hányadosával. Az összes megtett út 2s. Ezek után az átlagsebesség:

$$\overline{v} = \frac{s_{össz}}{t_{össz}} = \frac{s_{fel} + s_{le}}{t_{fel} + t_{le}} = \frac{s+s}{\frac{s}{3}+\frac{s}{10}} = \frac{2s}{\frac{10s+3s}{30}} = \frac{60s}{13s} \approx 4{,}615\frac{m}{s}$$

$\boxed{7.}$ Egy 1 kg tömegű test teljesen rugalmatlanul ütközik nyugalomban lévő 9 kg testbe. A mozgási energia hányadrésze veszik el az ütközés során?

MEGOLDÁS:

Legyen az alapból mozgó test ütközés előtti sebességének nagysága v_1. A teljesen rugalmatlan ütközés azt jelenti, hogy a mozgó test neki megy a nyugalomban lévőnek, utána pedig "összeragadnak", és együtt mennek tovább egy kisebb sebességgel, mint amivel az első test belement a másodikba. Az ütközés előtt csak az első testnek van mozgási energiája (mivel a második test nem mozgott). Ez a mozgási energia:

$$E_{m,1} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{v_1^2}{2}$$

Ezután rá kellene jönni, mekkora sebességgel megy tovább a két test együtt. Erre az impulzus megmaradás törvényét fogjuk felhasználni. Az ütközés előtti és utáni impulzusok nagysága:

$$I_1 = m_1 \cdot v_1 = 1 \cdot v_1 \ kg\frac{m}{s} \qquad I_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_2 = (1+9) \cdot v_2 = 10 v_2 \ kg\frac{m}{s}$$

Felírva az impulzus megmaradás törvényét:

$$I_1 = 1 \cdot v_1 \ kg\frac{m}{s} = 10 v_2 \ kg\frac{m}{s} = I_2 \quad => \quad v_2 = \frac{v_1}{10}$$

Az ütközés utáni mozgási energia:

$$E_{m,2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \left(\frac{v_1}{10}\right)^2 = \frac{5 v_1^2}{100} = \frac{v_1^2}{20}$$

Megnézzük, ez mekkora része az első mozgási energiának:

$$\frac{E_{m,2}}{E_{m,1}} = \frac{\frac{v_1^2}{20}}{\frac{v_1^2}{2}} = 0,1$$

Tehát a mozgási energia 0,1 része maradt meg => az energia 0,9 része veszett el.

$\boxed{8.}$ Nyugalomból induló kerékre 10Nm nagyságú állandó forgatónyomaték hat. Ennek eredményeként a kerék egyenletes szöggyorsulással jön forgásba. Mekkora perdületet ér el a kerék az első 10 másodperc alatt?

MEGOLDÁS:

A perdülettétel segítéségével könnyen kiszámolhatjuk. Eszerint a perdület a forgatónyomaték idő szerinti integrálja. Tudni kell, hogy mivel a kerék nyugalomban volt, ezért kezdetben 0 volt a perdülete. Ezek alapján:

$$L = L_0 + \int_0^{10} M(t)\,dt = 0 + \int_0^{10} 10\,dt = [10t]_0^{10} = 100\,kg\frac{m^2}{s}$$

$\boxed{9.}$ Mennyi idő múlva kell egy golyó után a másodikat fellőni, hogy a pálya félmagasságában találkozzanak, miközben az első már lefelé esik, a második meg felfelé tart? A két golyó kezdősebessége azonos, és függőleges irányú.

MEGOLDÁS:

Először is, ez szerintem nem egy olyan feladat, amire csak 1 pontot kéne adni, hanem minimum 3-mat, hiszen egy csomót kell számolni, mire kijön a megoldás. Na de kezdjük is el. A golyók mozgása függőleges felfelé hajítás. Nekünk a feladathoz most két képlet fog kelleni:

$$v_t = v_0 - gt \qquad => \qquad s = v_0 t - \frac{g}{2}t^2$$

Fontos, hogy a második képlet nem út, hanem elmozdulás. Legyen a kezdősebesség v! A két golyó fellövése közti idő (amit keresünk) legyen Δt. Így a két golyó találkozásáig az első golyó t időt repül, a második viszont csak (t-Δt) időt. Kezdésnek számoljuk ki a pályamagasság felét (ahol ugye találkozniuk kell majd). Először azt kell kiszámolni, mennyi idő alatt ér fel a pálya tetejére. Azt tudjuk, hogy a pálya tetején a sebesség éppen 0:

$$v - gt_{tető} = 0 \quad \Rightarrow \quad v = gt_{tető} \quad \Rightarrow \quad t_{tető} = \frac{v}{g}.$$

Ez alapján ki tudjuk számolni s(max)-ot:

$$s_{max} = vt_{tető} - \frac{g}{2}t_{tető}{}^2 = v\frac{v}{g} - \frac{g}{2}\left(\frac{v}{g}\right)^2 = \frac{v^2}{g} - \frac{1}{2}\frac{v^2}{g} = \frac{1}{2}\frac{v^2}{g} = \frac{v^2}{2g}$$

A találkozási pont ennek a magasságnak a felénél kell, hogy legyen:

$$s_{tal} = \frac{s_{max}}{2} = \frac{v^2}{4g}$$

Most kiszámolhatjuk, hogy mennyi idő alatt éri el ezt az elmozdulást az első golyó (azaz most fogjuk kiszámolni t-t). Ez egy másodfokú egyenlet lesz, tehát t-re két megoldás fog kijönni. Ez azért van, mert fölfele menet is eléri ezt a pontot, és lefelé jövet is. Mivel a feladat azt mondja, hogy az első golyó már lefelé tartson, ezért nekünk a nagyobb megoldás kell a 2 t közül:

$$s_{tal} = \frac{v^2}{4g} = vt - \frac{g}{2}t^2 \quad \Rightarrow \quad 0 = \frac{g}{2}t^2 - vt + \frac{v^2}{4g}$$

Megoldás:

$$t_{1,2} = \frac{v \pm \sqrt{v^2 - 4\cdot\frac{g}{2}\cdot\frac{v^2}{4g}}}{2\cdot\frac{g}{2}} = \frac{v \pm \sqrt{v^2 - \frac{1}{2}v^2}}{g} = \frac{v \pm \sqrt{\frac{v^2}{2}}}{g} = \frac{v \pm v\sqrt{\frac{1}{2}}}{g} = \frac{v \pm v\frac{\sqrt{2}}{2}}{g} = \frac{v\left(2 \pm \sqrt{2}\right)}{2g}$$

Nekünk a nagyobb megoldás kell, tehát:

$$t = \frac{v\left(2 + \sqrt{2}\right)}{2g}$$

Már csak Δt-t kell meghatározni. Ezt hasonlóan fogjuk megtenni, mint ahogy t-t kiszámoltuk. Felírjuk nála is az elmozdulás egyenletét, hiszen neki ugyanott kell majd lennie a találkozáskor, csak arra kell figyelnünk, hogy ő (t-Δt) idő alatt ér oda. Az egyenlet:

$$s_{tal} = v\left(t-\Delta t\right) - \frac{g}{2}\left(t-\Delta t\right)^2 = vt - \frac{g}{2}t^2$$

Az egyenlet jobb oldala a másik test elmozdulásának képlete. Írhatjuk ezt a jobb oldalra, hiszen az első golyó t idővel a fellövése után pontosan ott lesz, ahol a második golyó (t-Δt)-vel az első golyó fellövése után. Rendezünk és egyszerűsítünk:

$$v\left(t-\Delta t\right) - \frac{g}{2}\left(t-\Delta t\right)^2 = vt - \frac{g}{2}t^2$$

$$vt - v\Delta t - \frac{g}{2}\left(t^2 - 2t\Delta t + \Delta t^2\right) = vt - \frac{g}{2}t^2$$

$$vt - v\Delta t - \frac{g}{2}t^2 + \frac{g}{2}2t\Delta t - \frac{g}{2}\Delta t^2 = vt - \frac{g}{2}t^2$$

$$0 = \frac{g}{2}\Delta t^2 - \frac{g}{2}2t\Delta t + v\Delta t$$

$$0 = \frac{g}{2}\Delta t^2 - gt\Delta t + v\Delta t$$

Az egyszerűség kedvéért szorozzunk be 2-vel:

$$0 = g\Delta t^2 - 2gt\Delta t + 2v\Delta t$$

Most beírhatjuk a t-re korábban megkapott megoldást:

$$0 = g\Delta t^2 - 2g \cdot \frac{v\left(2+\sqrt{2}\right)}{2g} \cdot \Delta t + 2v\Delta t$$

$$0 = g\Delta t^2 - \Delta t \cdot v\left(2+\sqrt{2}\right) + 2v\Delta t$$

Ez egy másodfokú egyenlet Δt-re, amit szerencsére nem megoldó képlettel kell megoldanunk. Inkább emeljük ki Δt-t minden tagból:

$$0 = \Delta t\left(g\Delta t - v\left(2+\sqrt{2}\right) + 2v\right)$$

Ez egy szorzat, ami 0. Akkor van megoldás, ha legalább az egyik tényező 0. Nyilván Δt nem lehet 0, hiszen időről beszélünk. Tehát az egyetlen megoldás az, ha a második tényező lesz 0, azaz:

$$0 = g\Delta t - v\left(2+\sqrt{2}\right) + 2v = g\Delta t + 2v - 2v - \sqrt{2}v = g\Delta t - \sqrt{2}v$$

Innen a megoldás:

$$\Delta t = \frac{\sqrt{2}v}{g} = \sqrt{2}\frac{v}{g}$$

$\boxed{10.}$ Egy 1800 kg tömegű gépkocsi 5°-os lejtőn jön le a garázs 10 m magas emeletéről. A lejtő aljára érve a sebessége 3 m/s. Mekkora munkát kellett fékezésre kifejtenie?

1. MEGOLDÁS (energiákkal, ez az egyszerűbb):

Adatok: $m = 1800$ kg; $\alpha = 5°$; $v_t = 3$ m/s; $h = 10$ m.

A megadott szögre ehhez a megoldáshoz nincs is szükség. Először nézzük meg a kocsi energiáját a kiindulási pontban. Itt még nincs sebessége, így csak potenciális (helyzeti) energiája van, amit könnyen kiszámolhatunk. A lejtő alját vesszük 0 magasságnak, azaz kezdetben 10 m magasan van az autó. Ebből az összes energiája:

$$E_1 = m \cdot g \cdot h = 1800 \cdot 10 \cdot 10\,J = 180000\,J$$

A lejtő aljára érve már nincs helyzeti energiája, csak mozgási energiája van, mivelhogy van sebessége. Most a mozgási energia adja ki az összes energiáját:

$$E_2 = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = 900 \cdot 9\,J = 8100\,J$$

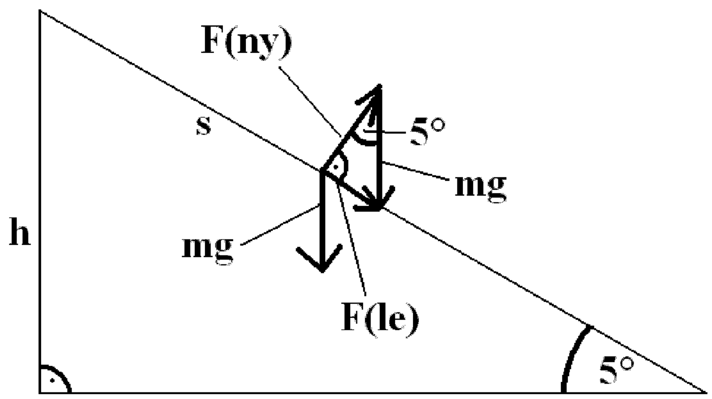
Látszik, hogy az autó vesztett energiát (méghozzá nem is keveset), ez az energia csak az lehet, amit a fékezéshez munkaként elhasznált, azaz:

$$W_{fék} = E_1 - E_2 = 180000\,J - 8100\,J = 171900\,J \approx 172\,kJ$$

2. MEGOLDÁS (erőkkel, ez a bonyolultabb):

Adatok: $m = 1800$ kg; $\alpha = 5°$; $v_t = 3$ m/s; $h = 10$ m.

A kocsi mozgását vehetjük egy egyenletesen gyorsuló mozgásnak, hiszen a lejtő tetejéről nyugalomból indult el. A valóságban nyilván nem így jönne le az autó, hanem először gyorsulna, és a végén fékezne, de ez munka és energia szempontjából megegyezik azzal, mintha állandóan fékezve egy állandó gyorsulással jönne le a lejtőn, és a lejtő végére érné el a 3 m/s végsebességet. Mivel a gyorsulás állandó, a kocsit egy állandó eredő erő fogja lefelé "húzni" a lejtőn. Először gondoljuk végig, hogy milyen erők hatnának a kocsira, ha nem lenne fékező erő. Ebben segít a következő ábra:



Az autóra hat a gravitációs erő (mg), és a lejtő által kifejtett nyomóerő. A kettő eredője lesz az eredő erő. Ezt az eredő erőt a felső erő-háromszögből tudjuk kiszámolni. Ennek az erőnek a nagysága:

$$F_{le} = m \cdot g \cdot \sin\alpha = 18000 \cdot \sin 5°$$

Ezen az erőn kívül hatni fog még egy fékező erő, mert az autó fékez. Ez az erő az autó mozgásának irányával ellentétesen hat (tehát a lejtőn fölfelé), és kisebb a nagysága, mint a lefelé ható erőnek, különben az autó nem mehetne lefelé a lejtőn. Ezek alapján az eredő erő nagysága:

$$F_e = F_{le} - F_{fék} = m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_{fék} = 18000 \cdot \sin 5° - F_{fék}$$

A fékezési erőt kéne kiszámolnunk. Mivel tudjuk a kocsi tömegét, a gyorsulás ismeretében kiszámolhatnánk a fékerőt is. Tehát számoljuk ki a gyorsulást! Ehhez először azt kell kiszámolni, mennyi ideig mozgott a kocsi, és hogy mekkora utat tett meg. Ezeket így számolhatjuk ki:

$s = \dfrac{h}{\sin\alpha} = \dfrac{10}{\sin 5°}$, mivel a megtett út a lejtő hossza.

Az útból már tudunk időt számolni:

$$s = \frac{v_0 + v_t}{2} t = \frac{0+3}{2} t = \frac{3}{2} t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{2s}{3} = \frac{20}{3 \cdot \sin 5°} \sec .$$

Ebből ki tudjuk számolni a gyorsulás nagyságát:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{3}{\dfrac{20}{3 \cdot \sin 5°}} = \frac{9 \cdot \sin 5°}{20} \frac{m}{s^2}$$

Ebből már ki tudjuk számolni a fékerő nagyságát:

$$F_e = m \cdot a \quad \Rightarrow \quad 18000 \cdot \sin 5° - F_{fék} = 1800 \cdot \frac{9 \cdot \sin 5°}{20} = 810 \cdot \sin 5° \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad F_{fék} = 18000 \cdot \sin 5° - 810 \cdot \sin 5° \text{ N} = 17190 \cdot \sin 5° \text{ N}$$

Mivel most már ismerjük a fékerő nagyságát, és tudjuk, hogy mekkora az erő irányába eső elmozdulás (ami ebben az esetben megegyezik a megtett úttal), ki tudjuk számolni a fékerő által végzett munkát, amit a feladat kérdez: Mivel egyenes vonalú egyenletesen változó mozgásról van szó, egyszerű képlettel számolhatunk:

$$W_{fék} = F_{fék} \cdot s = 17190 \cdot \sin 5° \cdot \frac{10}{\sin 5°} \text{ J} = 171900 \text{ J} \approx 172 \text{ kJ} .$$