BEVEZETŐ FIZIKA – NEMHIVATALOS OKTATÁSI SEGÉDLET

SZALAY SZILÁRD

Tartalomjegyzék

A jegyzet utolsó frissítése: **2009. október 19.** (23:59)

1. Bevezető

1.1. A jegyzet. Ez a jegyzet egy nemhivatalos oktatási segédanyag a $\mu 1@m$ (ejtsd: Műegyetem) Bevezető Fizika kurzusához. Gyors áttekintése, ismétlése a középiskolás anyagnak.

Ez a jegyzet az órán elhangzott *elméleti* anyag vázlatszerű, de bővebb bemutatása. Az a célom, hogy a készüléshez jól használható legyen, de az órák látogatását nem pótolja. Ott hangoznak el ugyanis a kidolgozott példák, amik segítik megérteni, elmélyíteni az elméletet. A szövegben gyakorta feltűnik a (*) jel. Ennek pontos jelentése: „itt van valami, amit át kell gondolni, meg kell érteni". Nem nehéz kérdéseket jelöl, csupán azt, hogy álljunk meg az olvasással, ne próbáljuk meg bemagolni, hanem értsük meg. Ehhez a megértéshez nem szükséges több információ, mint ami már az előzőekben rendelkezésre áll. (Ez tipikusan olyasmi, amit vizsgán is kérdezhetnék, ha lenne vizsga. . .)

A jegyzetet a félév során folyamatosan tervezem írni, hogy az elhangzott anyag mellé lehessen olvasni, de ez nem garantált. (Eleve kicsit későn született az elhatározás, és közben kiderült, hogy két csoportot is kell vinnem.) A forma is még változhat, a mostani csak vázlatpontok gyors egymásutánja, letisztult verzió semmiképpen nem várható erre a félévre. Az ábrák – melyek helyét (*** ábra ***) jel jelöli, – biztosan késni fognak, de ezzel kapcsolatban mindenki támaszkodhat az órai jegyzeteire. Egy (. . .) jel jelöli, hogy az adott helyen még mindenképpen várható kiegészítés. A dokumentum verzióját a címoldalon a tartalomjegyzék alatt található fordítási dátummal lehet követni. Az aktuális legfrissebb verzió letölthető a `www.phy.bme.hu/~szalay` oldalról.

1.2. A feladatokról. Az egyes fejezetek végén találhatóak az órai és az otthoni gyakorlásra szánt feladatok számai. A számok a *Dér-Radnai-Soós: „Fizikai feladatok"* két kötetes középiskolai feladatgyűjtemény feladatait jelölik. (Holnap Kiadó.) A feladatgyűjtemény beszerezhető például az egyetemhez közeli *Holikon könyvesboltban* a Zenta utca és Bartók Béla út sarkán. A feladatgyűjtemény beszerzése nagyon hasznos, mert megtalálhatóak benne a feladatok – általában részletesen kidolgozott, elmagyarázott – megoldásai is, ami segíti az otthoni gyakorlást. Az előírt feladatok közül – órai és házi gyakorló – kerülnek ki a zárthelyik feladatai!

A feladatok megoldása során szimbólumokkal (változókkal) dolgozunk, a konkrét értékek behelyettesítése csak az utolsó lépésben történik meg. A zárthelyiken is ez a követelmény. Ennek azért *kell* így lennie, mivel a képletek szereplőinek jól meghatározott jelentésük van, és az egyenlőség jel ezeket kapcsolja össze: egy egyenlet (vagy egyenlőtlenség) ezáltal tulajdonképpen egy kijelentő mondat. Mindig tartsuk szem előtt, hogy mit *mond* egy egyenlet, ezáltal lesz több a Fizika tanulása képletek egymásba való behelyettesítgetésénél, amit esetleg a rossz vagy hiányos középiskolai gyakorlat sugallna. (A képletek puszta egymásba helyettesítgetését egy megfelelően idomított majom is el tudná végezni.)

A gyakorlat szempontjából fontos a – később a mérnöki gyakorlatban akár nagyon bonyolult – számítások eredményének előzetes nagyságrendi becslése. Noha a konkrét eredmény csak végül pottyan ki, de az egyes tagok, tényezők nagyságrendjét már menet közben – a „lap szélén" – követhetjük, melyet gyakorolni is fogunk. (Jelenleg nagyon úgy tűnik, hogy erre nem jut idő, enélkül is totál le vagyunk maradva. . .)

A végső lépésben a számítások elvégzéséhez általában nem szükséges számológép. Ha egy eredmény pl $\sqrt{10}$, vagy $\frac{5}{7}$, ez teljesen megfelelő ebben az alakban, nem szükséges megadni a lebegőpontos közelítő értéket.

2. Mechanika: Kinematika

2.1. Vázlat: - A mechanika a mozgásokat vizsgálja, ezen belül a kinematika a mozgások *leírásával* foglalkozik.
- A középiskolás ad-hoc módszerekkel szemben a problémát általánosságban függvényekkel kezeljük. A mozgás egy *időben* lejátszódó folyamat, mely során egy pont helyzete – koordinátája – változik, vagyis kézenfekvő, hogy a koordináták függvényét tekintsük az időtől.
- Egy *egyenesvonalú mozgás* vizsgálatához elegendő egyetlen függvény:

$$x(t) \tag{1}$$

mely megadja a pont helyzetét minden t időpillanatban.
- A következő függvények – melyekben a jobb oldalon nem szerepel t, (*) – azt mondják, hogy a pont *nyugszik* (az adott koordinátarendszerben)

$$x(t) = 3\text{m}, \tag{2}$$

$$x(t) = x_0 \tag{3}$$

rendre az origótól 3 méterre pozitív irányban, illetve általánosan x_0 távolságra. (*** ábra ***)

- Eggyel bonyolultabb eset: *egyenesvonalú egyenletes mozgás.*
- Ezt egy v állandóval jellemezhetjük, melynek neve *sebesség.*
- Szemléletesen a sebesség annál nagyobb, 1: minél nagyobb utat teszünk meg adott idő alatt, vagy 2: adott utat minél kevesebb idő alatt teszünk meg.(*) Ezt *mondja* a következő formula:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \tag{4}$$

ahol a Δx két pont között megtett út, Δt pedig az ehhez szükséges idő.
- Az egyenesvonalú egyenletes mozgást leíró függvény:

$$x(t) = 10\mathrm{km} + 60\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \cdot t, \tag{5}$$

$$x(t) = x_0 + v \cdot t \tag{6}$$

mely megmondja, hogy $t = 0$h-kor 10km-re voltam az origótól, (általánosan x_0-ra,) és egyenletes $60\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$-s sebességgel (általánosan v-vel) haladok pozitív irányba (*) (amerre a koordináták nőnek, amit a koordinátavonal végén levő nyil jelent).
(*** ábra ***)
- Nyilván e fenti példában azt is megmondja a függvény, hogy negatív t-re hol voltam, vagyis hol voltam *mielőtt* x_0-ba értem volna. (*)
- Ha pedig v negatív, az azt jelenti, hogy a mozgás nem abba az irányba történik, amerre a koordináták nőnek. (*)
(*** ábra ***)

- Még eggyel bonyolultabb eset: *egyenesvonalú egyenletesen gyorsuló mozgás.*
- Az előző esetben a sebesség állandó volt, a hely pedig egyenletesen változott, most engedjük meg a sebesség egyenletes változását!
- Ezt egy a állandóval jellemezhetjük, melynek neve *gyorsulás.*
- Szemléletesen a gyorsulás annál nagyobb, 1: minél jobban megváltozik a sebesség adott idő alatt, vagy 2: adott sebességváltozás minél kevesebb idő alatt zajlik le. (*) Ezt mondja a következő formula:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \tag{7}$$

ahol a Δv a sebességváltozás nagysága, Δt pedig az ehhez szükséges idő.
- Ha a sebesség nem állandó, akkor őt is egy idő-függvénnyel írjuk le. Az egyenesvonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén a sebesség változása egyenletes, ami:

$$v(t) = 40\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} + 10\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}^2} \cdot t, \tag{8}$$

$$v(t) = v_0 + a \cdot t \tag{9}$$

mely megmondja, hogy $t = 0h$-kor $40\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$-s sebességgel haladtam, (általánosan v_0-lal,) és egyenletes $10\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}^2}$-es gyorsulással (általánosan a-vel) gyorsítottam. (*) (ez elég kis gyorsulás)
(*** ábra ***)
- Nyilván e fenti példában azt is megmondja a függvény, hogy negatív t-re mennyivel hajtottam, vagyis mekkora volt a sebességem *mielőtt* v_0-lett volna. (*)
- Ha pedig a negatív, az azt jelenti, hogy a gyorsulás iránya negatív! Általánosan két eset lehetséges, ha a sebesség épp nem nulla: Ha a sebesség iránya megegyezik a gyorsuláséval (mindkettő pozitív, vagy mindkettő negatív) akkor a mozgás ténylegesen „gyorsul”, ha voszont ellentétesek, akkor a mozgás „lassul”. (*)
(*** ábra ***)
- A sebesség leírása egyszerű volt, nézzük magának a koordinátának az időbeli változását! - Az egyenesvonalú egyenletesen gyorsuló mozgást leíró függvény:

$$x(t) = 10\mathrm{km} + 60\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot 10\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}^2} \cdot t^2, \tag{10}$$

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2}a \cdot t^2 \tag{11}$$

mely megmondja, hogy $t = 0$h-kor 10km-re voltam az origótól, (általánosan x_0-ra,) $60\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$-s sebességgel (általánosan v-vel) haladok pozitív irányba (amerre a koordináták nőnek, amit a koordinátavonal végén levő nyil jelent) és gyorsulok $10\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}^2}$-val (általánosan a-val).
(*** ábra ***)

- Ha a sebesség nem állandó, akkor meg kell különböztetnünk *pillanatnyi- és átlagsebességet*
- Az *átlagsebesség* a fenti (4) képlettel definiált mennyiség, adott távolság osztva a megtételéhez szükséges idővel.
- Ha a sebesség változik, akkor is van jelentése: adott szakaszon az átlagsebesség az a sebesség, amivel haladva az adott szakaszt adott idő alatt meg lehet tenni. (Lehet, hogy emelkedőn lassabb vagyok, mint ez az átlagsebesség, lejtőn meg gyorsabb, de összesen „átlagosan” annyival megyek.) (*)
(*** ábra ***)
- Az átlagsebességet (4)-módjára definiáljuk, ez kínálja az értelmezést, mely szerint az átlagsebesség az egyenletes mozgást leíró $x(t)$ görbe (lásd a (6)-es képlet) *meredeksége*. (*)
(*** ábra ***)
- Ha így nézünk rá, ezt a képet már általánosíthatjuk: Egy *általános* $x(t)$ mozgás *pillanatnyi sebessége* a görbéhez az adott pillanatban tartozó ponthoz húzott érintő meredeksége.
(*** ábra ***)
- Ha a sebesség állandó, akkor a pillanatnyi- és átlagsebesség egybe esik. (*)

- *Síkmozgás* esetén a mozgás leírásához két koordinátát kell figyelnünk:

$$x(t) \tag{12}$$

$$y(t) \tag{13}$$

- Ezek *külön-külön* írják le a mozgás két irányát. (Egyik jelöli például a faltól, másik a táblától vett távolságot.)
- Bizonyos egyszerű mozgásoknál lehetséges, hogy az egyik függvényt a másik függvényében kifejezzük:

$$x(y) \tag{14}$$

amit felrajzolva a mozgás síkbeli pályáját kapjuk. (*** ábra ***) (Ekkor elveszik az az információ, hogy az adott $x(t)$, $y(t)$ pontban *mikor* tartózkodott a pont, viszont az egész pályát egyszerre látjuk, mint egy a teljes mozgás időtartama alatt folyamatosan exponáló fényképezőgép felvételét.) (Gondoljuk át az iméntieket az egyenesvonalú mozgás esetére: a pályát nem sok értelme van ábrázolni. (*))
- Külön kell jelölni a kétféle irányba eső sebességet, gyorsulást. Egyenes vonalú egyenletesen változó mozgás esetén

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x \cdot t \tag{15}$$

$$v_y(t) = v_{0y} + a_y \cdot t \tag{16}$$

valamint

$$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{1}{2} a_x \cdot t^2 \tag{17}$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} a_y \cdot t^2 \tag{18}$$

- sebesség nagysága: Pitagorasz tétellel (...)
- sebesség-komponensek és nagyság + szög kapcsolata (...) , (*** ábra ***)

remélem, nem hagytam ki semmi fontosat...

2.2. Feladatok: Órai feladatok: 1.5, 1.6, 1.9, 1.11, 1.14, 1.15, 1.48, 1.49 (1. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 1.19, 1.20, 1.24, 1.50 (1. kötet)

2.3. Kiegészítések (mi kell? beírni még: koordinátákról, SI, mértékegységek, dimenziótlan mennyiségek, mértékegység átváltás)
- A Δ-jel: ezzel egy folyamatban egy X mennyiség megváltozását jelöljük. Ha X_1 a mennyiség a folyamat elején, és X_2 a folyamat végén, akkor

$$\Delta X = X_2 - X_1. \tag{19}$$

Itt az x mennyiség lehet például tetszőleges hely-koordináta, sebesség, idő, vagy később szög, szögsebesség, energia, hőmérséklet, stb... A fenti definíció azért jó, – azért a későbbi mennyiségből kell kivonni a korábbit, – mert ekkor szemléletesen a ΔX pozitív, ha X nő, ugyanis átrendezve:

$$X_2 = X_1 + \Delta X. \tag{20}$$

Van itt még valami: nézzük két deltás mennyiség hányadosát, ami például a sebesség (4) definíciójánál van! $\Delta t = t_2 - t_1$ pozitív, és ha t_1-ben a koordináta x_1, t_2-ben x_2, akkor a fentiek értelmében a sebesség pont akkor lesz pozitív, ha az x_1-től a koordinátarendszer választása szerint pozitív irányban van x_2. Ezért van az, hogy ha kiválasztok egy pozitív koordinátairányt, az már megszabja, hogy a sebesség is – és hasonló gondolatmenettel a gyorsulás is – abban az irányban lesz pozitív.
- Megjegyzés: Lássuk meg, hogy az egész fejezet során egyedül a (9) és (11) képletek tartalmaztak számunkra minden lényeges információt! A középiskolás feladatmegoldás ad-hoc módszereinél a függvényekkel való általános leírás sokkal hatékonyabb! Az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás (9) és (11) képlete magában foglalja az egyenes vonalú egyenletes mozgás $v =$ állandó és (6) leírását ($a = 0$ helyettesítéssel), ez pedig a nyugalom (3) formuláját ($v = 0$ behelyettesítéssel.)
- Megjegyzés: a sebesség változását leíró (9) képletet szemléletesen indokoltuk, viszont a hely-koordinátát megadó (11)-et nem! Egyszerűen „kinyilatkoztattuk”. Ennek nyomán érezhetünk némi elégedetlenséget. A középiskolás tankönyvek egy része szintén kinyilatkoztatja az összefüggést, más része mérésekre hivatkozik, harmadik része a következő homályos definíciót adja: *a megtett út a $v(t)$ grafikon alatti területtel egyezik meg.* Nem is tehetnek többet, mert a (9) és (11) közötti kapcsolat indoklásához a függvényanalízis eszközeire van szükség, mely általában nem középiskolás anyag (esetleg csak fakultáción) és melynek alapjait maga Newton fektette le, direkt a mozgás leírásának tanulmányozásához. A hallgatók az elsőéves analízis, majd az egyetemi fizika kurzusokon ismerhetik meg ezt a – nagyon hasznos – általános eszköztárat, és ott fog megvilágosodni, hogy a megtett út miért a $v(t)$ grafikon alatti területet jelenti. (Legyen ide inkább az a szokásos handwaving dolog az egyre finomított beosztásról, amin belül már állandónak tekintjük a sebességet, vagy az is inkább a következő félév anyaga?)
- A fent bevezetett kezdetleges eszköztár nem csak a mozgások leírására alkalmas. Teljesen általánosan mindig használhatjuk, amikor valamilyen dolog egy jellemzője időben változik: a változásnak lesz sebessége, ha ez nem egyenletes, akkor gyorsulása is, stb... Gondoljuk át ezt pl. az üvegben levő sör mennyiségére, (*) és találjunk egyéb példákat! (Akik elvontabb gondolkodásra is képesek, találjanak olyan példákat is, ahol a változás nem időben zajlik! Ugyanis egyáltalán nem kell csupán idő-függvényeket tekintenünk. A közérzetem függhet például az időtől, de vizsgálhatom azt is, hogy hogy függ pl. a hőmérséklettől, vagy a teremben levő páratartalomtól, oxigénszinttől. Mit jelent ekkor a mennyiség változási sebessége?) A jelenségek függvényekkel való leírása, és ezeknek a függvényeknek a vizsgálata a mérnöki munka talán legfontosabb kelléke.
- A kinematikai leírás során még nem beszélünk gravitációs erőről, – lévén az erő dinamikai mennyiség, – viszont a feladatok között nyilván előjön. Ekkor a gravitáció hatását megadó tapasztalatunkat azzal rögzítjük, hogy minden szabad pont magára hagyva azonos lefelé irányuló $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ gyorsulással essen.
- Vektorok (kell?) (...)

3. Mechanika: Dinamika I.

3.1. Vázlat: - A mechanika a mozgásokkal foglalkozik, ezen belül a dinamika a mozgások *megváltozásának okait és módját* vizsgálja.
- A dinamika alaptörvényei a Newton-törvények

- Newton I. törvénye (a tehetetlenség elve): létezik olyan vonatkoztatási rendszer, amelyben a testek megtartják nyugalmukat, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgásukat ha őket semmilyen külső hatás nem éri. (Az ilyen vonatkoztatási rendszereket *inerciarendszereknek* nevezzük. Ennek magyar jelentése: *tehetetlenségi rendszer,* jelezve, hogy bennük a tehetetlenség fent megfogalmazott törvénye érvényes.)
- vonatos példa labdával: lásd órán (...)
- A Galilei-féle relativitási elv azt mondja ki, hogy egy ilyen inerciarendszerhez képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végző vonatkoztatási rendszer is inerciarendszer.
- Newton II. törvénye (mozgástörvény): azt mondja ki, hogy *inerciarendszerben* mi történik, ha *éri* valamilyen külső hatás a testet: meg fog változni a sebessége. Azt is megmondja, hogy pontosan hogyan.

- Először is a külső hatást erőnek hívjuk, és jele F. Ezzel kapcsolatban szemléletes képünkre támaszkodunk.
- Maga a törvény alakja a lehető legegyszerűbb: a sebesség változásának mértéke, a gyorsulás egyenesen arányos az erővel:

$$F = ma \qquad \text{inerciarendszerben!} \tag{21}$$

- Az arányossági tényező a „tehetetlenség mértéke”, melynek neve *tömeg*. Szemléletesen, minél nagyobb egy test tömege, annál tehetetlenebb, vagyis annál „kevésbé”, annál kisebb gyorsulással reagál a mozgásállapotát megváltoztatni igyekvő erőre. (olvassuk le (21) képletről (*)) Úgy is gondolhatunk rá, hogy adott gyorsulás eléréséhez nagyobb tömegű test esetén nagyobb erő kell.
- példa biciklivel és vonattal: lásd órán (...)
- Newton III. törvénye (kölcsönhatási törvény): inerciarendszerben ha egy test erőt fejt ki egy másikra, akkor a másik is azonos nagyságú és ellentétes irányú erőt fejt ki az egyikre.

$$F_{\text{ható}} = -F_{\text{visszaható}} \tag{22}$$

- példa a kocsmafal támasztásáról. (...)
- Newton IV. törvénye (az erő vektormennyiség): Ha egy testre több különböző irányú erő hat, akkor ezek hatása megegyezik annak az egyetlen erőnek a hatásával, amit úgy kapunk, hogy az erőket vektorként összeadjuk.

$$F = \sum_i F_i \tag{23}$$

- Ez a mozgástörvény következménye: minden egyes adott erő külön-külön adott irányú gyorsulást hoz létre, és ezek a gyorsulások vektorként összeadhatóak. (*)
- valami példa (...)
- Ez visszafelé is működik: egy adott irányú erőt felbonthatok különböző komponensekre, és a komponensekkel külön-külön számolhatok. (pl. lejtős feladatok)

- Az *ideális rugó* leírása: Ezekben a feladatokban a rugók viselkedése a lehető legegyszerűbb: az egyik végén rögzített x_0 hosszúságú rugó másik végét meghúzzuk hogy a hossza x legyen, ekkor *a rugó által a kezünkre kifejtett erő* egyenesen arányos a megnyúlással:

$$F = -D\Delta x, \qquad \text{ahol} \quad x = x_0 + \Delta x \tag{24}$$

- Az arányossági tényező a rugó *D direkciós állandója*. Mindig pozitív szám. Ez minél nagyobb, annál „keményebb” a rugó, annál nagyobb erő kell adott megnyúlás eléréséhez, vagy adott erő annál kisebb megnyúlást eredményez.
- A Δx előjeles mennyiség, és így a (24) összefüggés az összenyomott és széhúzott rugó viselkedését is leírja. (Képzeljük el (*) különböző koordináltairányokkal, mikor milyen lesz Δx előjele?)
- A képletben a $-$ előjel azt jelenti, hogy a megnyúlás irányával ellentétes lesz a rugóban kialakuló erő. (Képzeljük el (*) különböző koordináltairányokkal, mikor milyen előjelű és irányú lesz a rugóban ébredő erő?) (*** ábra ***)
- A kölcsönhatási törvényt alkalmazva a rugó végére azt kapjuk, hogy a kezünkkel a rugóra kifejtett erő pont ellentétes irányú a rugóban ébredő (24) által leírt erővel. (Képzeljük el (*) különböző koordináltairányokkal, mikor milyen előjelű és irányú lesz a kezünkkel kifejtett erő?)
- Most már azt is elképzelhetjük, hogy mi lenne akkor, ha D negatív lenne (*)

- A gravitáció: A földön a felszín felett magára hagyott test, hiába nem hatok rá erővel, mégsem marad a levegőben. Vagyis nem tartja meg nyugalmát, tehát Newton második törvénye miatt rá valamilyen erőnek kell hatnia. Már korábban rögzítettük azt a megfigyelést, hogy a Föld felszíne közelében magára hagyott test anyagától és tömegétől függetlenül $g = 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gyorsulással esik lefelé. Ez viszont azt jelenti, hogy a rá $F_g = mg$ nagyságú, lefelé irányuló erő hat, melyet gravitációs erőnek neveznek.

- A felületek egymáson való elmozdulásakor fellépő *súrlódás* jelenségét a következőképpen írjuk le: A súrlódásnál a mozgást fékező súrlódási erő lép fel, melynek nagysága

$$F_s = \mu F_{ny} \tag{25}$$

egyenesen arányaos a felületeket összenyomó F_{ny} erővel, és iránya mindig *a mozgás irányával ellentétes.* A μ (görög kis „mű”) arányossági tényező az úgynevezett *csúszási súrlódási együttható*. Ez

dimenziótlan, és pozitív. (Gondoljuk át (*) hogy mit jelentene, ha μ negatív volna!)
- Ha egy felületre leteszünk egy testet, és elkezdjük húzni, egy tapadási jelenséget veszünk észre: egyre nagyobb erőt fejtünk ki, míg egyszer csak a test megindul, ekkor viszont az egyenletes sebességű csúszás fenntartásához már kisebb erő elegendő. A maximális húzóerő, amire még nem indul meg a mozgás, szintén arányos a felületeket összenyomó erővel,

(26) $$F_{max} = \mu_t F_{ny}$$

az arányossági tényező a μ_t *tapadási súrlódási együttható*. A tapadási súrlódási erő iránya ellentétes az elmozdítani igyekvő erővel. (ezt kicsit bővebben! (...))

3.2. Feladatok: Órai feladatok: 2.12, 2.13, 2.23, 2.30, 3.12, 3.13, 5.9, 5.26 (1. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 2.21, 3.24, 3.30, 5.29, 5.36 (1. kötet)

3.3. Kiegészítések (mi kell? beírni még: mértékegységek)
- A tehetetlenségi törvény különös jelentősége abban áll, hogy egyáltalán nem látszik, hogy érvényes. Felismeréseaz absztrakció igen magas fokát jelenti. Az előtte uralkodó nézőpont szerint a testek külső hatás híján nyugalomban maradnak (nyugalomba kerülnek) és már az állandó sebességű mozgás fenntartásához is erőre van szükség. Ha szétnézünk, tényleg ilyesmit látunk, de gondoljunk arra, hogy a testek lefékeződésekor is erő hat!
- A valóságban a (24) összefüggés csak korlátozottan érvényes: mindig van egy minimális hossz, ami alá nem nyomhatjuk össze a rugót, valamint van egy maximális is, aminél jobban nem húzhatjuk szét. Sőt, a túl erős széthúzás sem megengedett, ekkor ugyanis egy valódi rugó „szétnyúlik”, és nem fog újra összehúzódni. (Mindenki könnyen kipróbálhatja egy kifogyott olcsó reklámtoll rugójával.) Sőt, a rugó a szétnyúlás közelében már a kitéréssel arányosnál jóval kevésbé húz vissza. A rugós feladatoknál hallgatólagosan mindig feltesszük, hogy (24) érvényes, vagyis nem túl nagy a kitérés. (A valóságban ezt mindig ellenőrizni kell.) Ez jó példa arra, amit a fizikában modellalkotásnak neveznek, és a mérnöki gyakorlatnak is fontos része. A valóság bonyolult. Amikor valamit meg kell csinálni, nem tudjuk kézben tartani az összes tényezőt. Ezért választunk egy modellt, ami bizonyos tényezőket figyelembe vesz, bizonyosakat nem. Fontos, hogy a mérnöki gyakorlatban minden olyan tényezőt figyelembe vegyünk, aminek mérhető – és céljaink számára lényeges – hatása van az adott körülmények között. A rugó példáján tekintve, a modellalkotás úgy kezdődik, hogy megnézek egy rugót, és méréseket végzek először nem túl nagy erőkkel hatva a rugókra, majd egyre nagyobbakkal. Nagyobb erőhatásoknál az előbb elmített effektusokat tapasztalom (minimális hossz, szétnyúlás). Ha felpöttyözöm a mérések eredményét, ilyesmi ábrát kapok: (értelmezzük (*)) (*** ábra ***) Azt látom, hogy van egy tartomány, – nem túl nagy kitéréseknél, – ahol a kitérés és az erő egyenesen arányos, a pontok egy origón átmenő egyenesre illeszkednek. Ott (24) jól leírja a rugó viselkedését. Ekkor azt mondjuk, hogy a rugóra alkotott (24) modell az adott tartományon érvényes, azon kívül szigorúan nem, hanem pontosításra szorul, – felerősödnek olyan tényezők is, amiket (24) nem vesz figyelembe, mert kis erőknél nem voltak mérhetőek. Akkor használhatunk egy modellt, ha érvényességi tartományán belül maradunk, különben egy bővebb modellre lesz szükség.
- Súly és tömeg: a *súly* a testre ható gravitációs erő nagyságának népies neve. Tehát a súly valójában egy erő, amivel nyomom a mérleget. A mérleg az $F_g = mg$ súlyt méri, ami a földi gravitáció mellett arányos az m tömeggel, és ezért a mérleg számlapjára tömeget írnak, ami a súlynak $\frac{1}{g}$-ed része. Ez egy kicsit következetlen, de mindaddig nem baj, amíg a mérleget nem egy liftben használjuk, (lásd a 2.13-as feladatot,) ott ugyanis a gyorsulás miatt változik a mérleget nyomó erő, pedig a tömegem – ami az anyag mennyiségét jelenti most, – nyilván változatlan. (Ilyen gyorsan nem lehet meghízni, vagy lefogyni. :)) Hasonló okokból nem szabad ugrálni a mérlegen. Egy másik gond is van: nevezetesen például a Holdon a g nehézségi gyorsulás értéke jóval kisebb, mint a földi $9.81\frac{m}{s^2}$. Ha tehát ott használom a földi mérlegemet, ugyanakkora tömegemhez jóval kisebb súly fog tartozni, amit hibásan fog a mérleg tömegre átszámolni. (Gondoljuk át, (*) adjunk képletet az eltérésre!)

4. Mechanika: Dinamika II.

4.1. Vázlat: - Körmozgás: ez már nem egyenes vonalú, de az egyenesvonalú egyenletesen változó mozgásról tanultakat könnyen általánosíthatjuk rá.
(*** ábra ***)
- Az állandó gyorsulású mozgásnál a helyet és a sebességet a (11) és (9) írta le. A síkmozgásnál mindegyik függvényből kettő volt, egy x, egy pedig y irányba. A körmozgás is síkmozgás, elvileg ehhez is két-két függvény kellene, de van egy kényszerfeltételünk: a körön kell maradni, ezért elegendő egy-egy függvény a koordináta és a sebesség leírására. Ezt elérhetjük úgy, hogy az elfordulás (szög)

változását tekintjük az időben. Tehát a koordinátánk a szög lesz, a sebesség pedig a szögsebesség, és ezzel a leírás formailag ugyanolyan, mint az egyenesvonalú esetben:

$$x(t) \Longrightarrow \varphi(t) \tag{27}$$

$$v(t) \Longrightarrow \omega(t) \tag{28}$$

- Korábban kiválasztottunk egy tengelyt, aminek mentén zajlott a mozgás, rajta egy nulla pontot, – másnéven origót, – az egyik irányt pozitívnak választottuk, (általában jobbra,) és csináltunk egy beosztást (általában métert). Kömozgásnál a kör kerületén kell kiválasztani egy kezdőpontot, (általában 3 óránál,) az irány, amerre a szög-koordináta nő általában pozitív forgásirány, (ami az óramutató járásával ellentétes,) a beosztás pedig *radián*.
- A radián arányos a szöghöz tartozó ívhosszal a kerületen. (*** ábra ***)

$$\varphi = \frac{s}{r} \tag{29}$$

(A képlet adott szögre ugyanakkora értéket ad függetlenül attól, hogy mekkora sugarú körön mérek, mivel nagyobb sugarú körön az ívhossz is pont a sugárral arányosan nagyobb.(*))
- A radiánban megadott szöget azért szeretjük, mert dimenziótlan mennyiség, lévén két hossz hányadosa.
- A radián és fok átváltása: tudjuk, hogy (29) alapján a teljes kör 2π-nek felel meg radiánban, fokban pedig 360-nak:

$$2\pi = 360°, \tag{30}$$

ami alapján

$$1° = \frac{2\pi}{360} \approx 0,01745, \qquad 1 = \frac{360°}{2\pi} \approx 57,29578°. \tag{31}$$

(A radián mértékegységet nem jelöljük, azt egységnyinek vesszük, a fokot pedig a kis karika jelöli. Ennek fényében a dolog pont olyan, mint a méter és kilométer átváltása, csak a szorzó nem 10 hatványa.)
- Az egyenletes körmozgást egyetlen állandóval írhatjuk le, melynek neve *szögsebesség*. Jele ω görög kis „omega".
- A szögsebesség annál nagyobb, 1: minél nagyobb az elfordulás adott idő alatt, vagy 2: adott elfordulás minél kisebb idő alatt jön létre:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \tag{32}$$

- Az egyenletes körmozgásnál az elfordulást leíró függvény

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega \cdot t \tag{33}$$

melynek értelmezése hasonló az egyenesvonalú egyenletes mozgást leíró (6) függvényhez. (*)
- Ha a körmozgás egyenletes, akkor a szögsebességgel ekvivalens állandókkal jellemezhetjük: kézenfekvő definiálni az egy kör megtételéhez szükséges időt, melyet *periódusidőnek* neveznek, és T-vel jelölnek:

$$\varphi(T) = 2\pi, \qquad \Longrightarrow \qquad T = \frac{2\pi}{\omega}. \tag{34}$$

- Ennek reciproka a frekvencia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \tag{35}$$

melynek jelentése: ennyi kört fordul el adott idő alatt.(...)
- A szögsebesség kifejezve ezekkel a mennyiségekkel:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f. \tag{36}$$

- Egyenletesesn gyorsuló körmozgás: Engedjük meg a szögsebesség egyenletes változását.
- Ezt egy β (kis görög „béta") állandó adja meg
- Szemléletesen a szöggyorsulás annál nagyobb, 1: minél nagyobb a szögsebesség változása adott idő alatt, vagy 2: adott szögsebesség-változás minél rövidebb idő alatt zajlik le:

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \tag{37}$$

- ekkor a szögsebesség is változik az időben, az egyenletesen változó szögsebességet megadó függvény:

$$\omega(t) = \omega_0 + \beta t \tag{38}$$

ami megmondja, hogy $t = 0$s-kor ω_0 volt a szogsebesség, és t idő alatt βt-vel nőtt.
- nyilván azt is megmondja, hogy negatív t-re mekkora volt a szögsebesség, vagyis mekkora volt, mielőtt ω_0 lett volna.
- Ha β előjele az adott időpillanatban megegyezik a szögsebességével, akkor a körmozgás gyorsul, ha ellentétes, akkor a körmozgás lassul. Nyilván ekkor egy idő után megáll, és visszafordul, ekkor már egyre gyorsul. (*)
- A szögelfordulás időbeli leírása egyenletesen gyorsuló körmozgásnál:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\beta}{2} t^2. \tag{39}$$

(*** ábra ***)

- eddig csak a forgást magát vizsgáltuk, most nézzük, mi történik, ha konkrétan valami forog, illetve általánosan egy körpályán mozog!
- Mivel a szögelfordulást fent radiánban adtuk meg, így könnyen számítható a pálya menti elmozdulás:

$$s(t) = r\varphi(t), \tag{40}$$

a radián definíciója miatt.
- Hasonlóan a pálya menti – érintő irányú – sebesség ekkor:

$$v(t) = r\omega(t), \tag{41}$$

- és a pálya menti gyorsulás

$$a_t = r\beta, \tag{42}$$

nyilván csak akkor nem nulla, ha van szöggyörsulás.
- A körmozgásnál szokás az érintőirányt és sugárirányt rendre *tangenciális* és *normális* irányoknak nevezni. (Általánosan síkban zajló görbevonalú mozgásnál is bevezethető.)
- Nézzük mégegyszer az egyenletes körmozgást: a pályamenti sebesség nagysága nem változik, de az iránya minden pillanatban más, úgy fordul el, hogy a körpályát megtartsa. A sebesség változása egy gyorsulást jelent, ami sugárirányban befelé mutat (*** ábra ***) ezt nevezik centripetális gyorsulásnak.
- nagysága kiszámítható, de ehhez kellene kicsit rajzolgatni, itt csak kinyilatkoztatjuk:

$$a_{\mathrm{cp}} = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}. \tag{43}$$

- Ha a körmozgás nem egyenletes, akkor van egy pályamenti gyorsulás is. Az eredő gyorsulás Pitagorasz-tétellel számolható,
(*** ábra ***)
mert a centripetális gyorsulás merőleges a pályamenti gyorsulásra:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_{\mathrm{cp}}^2} \tag{44}$$

Egyenletesen gyorsuló körmozgás esetén az a_t pályamenti gyorsulás nagysága állandó, de a centripetális gyorsulás nagysága nem, - mivel a sebesség/szögsebesség sem állandó, – ezért az eredő gyorsulás is egyre változni fog. Képzeljük el, hogyan! (*)

Dinamika
- Forgás gyorsítása: forgatónyomaték (...)
- Tehetetlenségi nyomaték (...)

Az erre a hétre kitűzött feladatok megoldásához a munka, helyzeti és mozgási energia, valamint munkatétel is szükséges, de ezeket tematikailag a következő fejezetre csúsztatom át.

4.2. Feladatok: Órai feladatok: 6.6, 6.9, 6.10, 6.13, 6.32, 7.25, 7.33, 7.34, 8.48 (1. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 6.15, 6.18, 6.20, 6.22, 7.20, 7.31 (1. kötet)

4.3. Kiegészítések - Láttuk, hogy a radián teljesen természetes mértéke a szögnek, viszont a hétköznapi életben a jóval önkényesebb fokbeosztást használják, mely során a teljes kört 360°-ra osztják be. Ez azért önkényes, mert igazából teljesen érdektelen, hogy hány részre osztom be a kört, elvi jelentősége nincs, oszthatnám 1983 részre is, mert akkor születtem. :) Azért gyakorlati jelentősége van a konkrét 360-nak: ekkor a kör elég sokféle szabályos felcikkezését írhatjuk le egészszögekkel: a 360 prímtényezői: $360 = 5 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2$, vagyis a teljes szög fele, harmada, negyede, ötöde, hatoda, nyolcada, tizenkettede stb... mind 180°, 120°, 90°, 72°, 60°, 45° (Medve-sajt), 30° stb... egész-számú szögekkel írhatóak le. Persze ez csak kényelmi szempont.
- Általában forgómozgásnál az óramutató járásával ellentétes irányt szokták pozitívnak választani.
- centripetális és centrifugális erő (...)
- centripetális erő kvalitatívan szög- és kerületi sebességgel (...)

5. Mechanika: Munka, mechanikai energia

5.1. Vázlat: - Munka: a fizikában a következő mennyiséget definiáljuk munkának:

$$W = Fs\cos(\alpha) \tag{45}$$

ami az elmozdulás nagysága szorozva az erőnek az elmozdulás irányába eső vetületével.
(*** ábra ***)
- Tehát munkavégzése mindig egy erőnek van, és mindig egy adott testen. Továbbá ahogyan az erők vektorként összeadhatók, úgy az adott elmozdulás irányába eső vetületük is, így az adott testre ható különböző erők munkájának összege megegyezik a testre ható eredő erő munkájával. (*) (Lásd a 4.7-es feladatot.)
- A fenti definíció eltér attól, amit intuitívan, hétköznapi szóhasználatban gondolunk munkavégzésről: A munka csak akkor nem nulla, ha történik elmozdulás az erő hatására! Ha egy nehéz súlyt tartok a föld felett, hiába izzadok le, mechanikai értelemben nem végeztem munkát. Hasonló okokból a kocsmafal támasztása sem minősül munkának...:)
- A későbbiek megmutatják, hogy ez a definíció mennyire hasznos.
- Kicsit még térjünk vissza a súlyemeléshez: súlyt emelek egyenletes sebességgel, ekkor a gravitációs erőnek megfelelő nagyságú és azzal ellentétes irányú erőt fejtek ki a súlyra. Az eredő erő ekkor nulla, így az eredő munkavégzés is: a testen összességében még így sem történt munkavégzés. Viszont van értelme külön külön nézni az erők munkáját: az én erőm munkája pozitív, a gravitációs erő munkája negatív, és nagysága pont akkora, mint az én munkámé. (*) Pont így lehet értelmezni a negatív munkavégzést, amikor az erő az elmozdulással ellentétesen hat. A negatív munkát végző erők a mozgást akadályozzák.

- Mozgási energia: Gyorsítsunk egy nyugvó testet s úton állandó erővel! Az erő elmozdulás irányába eső komponense fog gyorsítani, és

$$W = mas = \frac{1}{2}m(at)^2 = \frac{1}{2}mv^2. \tag{46}$$

(Ahol az első egyenlőségjelnél Newton második törvényét (21) használtuk fel, a másodiknál pedig a megtett út (11) miatt $s = \frac{a}{2}t^2$ álló helyzetből indulva, a sebesség ugyanekkor (9) alapján $v = at$.)
- Definiáljuk a fent kiszámolt mennyiséget *mozgási* – vagy *kinetikus* – *energiának:*

$$E_{\mathrm{kin}} = \frac{1}{2}mv^2. \tag{47}$$

Vagyis amennyi munkával egy *erő* egy testet gyorsít, annyi legyen *a test* mozgási energiája.
- a mozgási energiára tehát gondoljunk úgy, mint annak a munkavégzésnek a nagyságára, amely a testet álló helyzetből v sebességre gyorsítja, vagyis a „test tehetetlensége ellenében végzett munkára."
- ezt általánosítja a *munka-tétel:*

$$\sum W = \Delta E_{\mathrm{kin}}. \tag{48}$$

ahol a bal oldal a testen végzett összes erő munkája, a jobb oldal pedig a mozgási energia megváltozása. (*)

- Helyzeti energia: mégegyszer súlyemelés: írjuk fel a munkavégzést, ami ahhoz kell, hogy felemeljünk egy m tömegű testet h magasságra:

$$W = F_g s = mgh. \tag{49}$$

- Definiáljuk a fent kiszámolt mennyiséget *helyzeti* – vagy *potenciális* – *energiának:*

$$E_{\mathrm{hely}} = mgh. \tag{50}$$

Vagyis amennyi munkával egy *erő* egy testet felemel, annyi legyen *a test* helyzeti energiája. Ez a testre ható nehézségi erő munkájának ellentettje.
- a helyzeti energiára tehát gondoljunk úgy, mint annak a munkavégzésnek a nagyságára, amely a testet h magassággal megemeli, vagyis a „nehézségi erő ellenében végzett munkára."
- Kicsit általánosítva: adott pontban van valamekkora helyzeti energiája a testnek, rajta W munkát végezve helyzeti energiája ennyivel változik meg:

$$\Delta E_{\mathrm{hely}} = mg(h_2 - h_1). \tag{51}$$

- a helyzeti energia fogalmát általánosíthatjuk mindenféle erőre, amelyet valamilyen módon a hely függvényében megadhatunk, illetve kicsit szigorúbban: ahol egy zárt pályán az erő hatása alatt körbevitt ponton végzett össz munka nulla. például az eddig tanultak közül a rugó által kifejtett erőre:
- írjuk fel a munkavégzést, ami ahhoz kell, hogy a D direkciós állandójú rugót kitérítsük x-re: (mivel a rugalmas erő ellenében kifejtett erőnk nem egy állandó, mint a nehézségi erő esetében fent, ezért közvetlenül felírni ezt a munkavégzést nem tudjuk, a felírásához egyszerű integrálszámításra lenne szükség, ezért az itt felírt képletet megelőlegezzük)

$$W = \frac{1}{2}Dx^2. \tag{52}$$

- Definiáljuk a fent kiszámolt mennyiséget *rugalmas energiának:*

$$E_{\mathrm{rug}} = \frac{1}{2}Dx^2. \tag{53}$$

Vagyis amennyi munkával egy *erő* egy testet egy rugó ellenében elmozdít, annyi legyen *a test* rugalmas energiája. Ez a rugóerő munkájának ellentettje.
- a rugalmas energiára tehát gondoljunk úgy, mint annak a munkavégzésnek a nagyságára, amely a rugóra kötött testet x-szel elmozdítja, vagyis a „rugalmassági erő ellenében végzett munkára."
- Kicsit általánosítva: adott pontban van valamekkora rugalmas energiája a testnek, rajta W munkát végezve rugalmas energiája ennyivel változik meg:

$$\Delta E_{\mathrm{rug}} = \frac{1}{2}D(x_2^2 - x_1^2). \tag{54}$$

- Energiafajták: a mechanikában csak kétféle energiafajta létezik: kinetikus és potenciális. Itt a potenciálisba beleértünk minden olyan erő ellenében végzett munkát, ahol egy zárt pályán az erő hatása alatt körbevitt ponton végzett össz munka nulla, vagyis a fenti helyzeti és rugalmas energiát is.

- Összenergia: Nézzük a (48) munka-tételt! A baloldalon a testen végzett összes munka található, vagyis a testre ható összes erő munkavégzése. Ezek között lehet pl az én F erőm, az F_g gravitációs erő, F_r rugalmas erő, F_s súrlódási erő, stb... a megfelelő erők munkáit külön írva ekkor a munkatétel:

$$W + W_g + W_r + W_s = \Delta E_{\mathrm{kin}}, \tag{55}$$

Mivel például a gravitációs erő munkája az ellentettje annak a munkának, amivel a helyzeti energiát definiáltuk, így

$$W + W_s = \Delta E_{\mathrm{kin}} + \Delta E_{\mathrm{hely}} + \Delta E_{\mathrm{rug}}, \tag{56}$$

Speciálisan ha én nem hatok a testre erővel, és ha a súrlódástól is eltekinthetünk, akkor a bal oldal nulla, és ha a jobb oldalon a helyzeti és rugalmas energiát általánosan potenciális energiának írom, akkor

$$0 = \Delta E_{\mathrm{kin}} + \Delta E_{\mathrm{pot}}, \tag{57}$$

ami azt jelenti, hogy amíg a fenti feltételek fennállnak, addig érvényes a

$$E_{\mathrm{kin}} + E_{\mathrm{pot}} = \text{állandó}, \tag{58}$$

egyenlet, (*) amely a kinetikus és potenciális energia összegének megmaradását jelenti.
- Speciálisan ha még potenciális energia tag sincs, akkor a mozgási energia megmarad, ami állandó sebességű mozgásnak felel meg, ilyen formán a tehetetlenség elvére jutunk.

- Az ütközések leírása eddigi modellünk keretei között problematikus: Hogy ne kelljen anyagszerkezeti, rugalmasságtani modelleket bevetnünk, szeretnénk az ütközéseket tömegpontok között zajló folyamatnak leírni. Ekkor viszont pillanatszerűen ható erők pillanatszerűen változtatnák a sebességet, amihez végtelen gyorsulás tartozna. Inkább tegyünk le a folyamatos leírásról, melynek már a megfigyelése sem egyszerű, és vizsgáljuk azt, amit konkrétan mérni is tudunk, a következőképpen:
- Definiáljuk a *impulzus (lendület)* nevű mennyiséget:

$$p = mv \tag{59}$$

amit középiskolás könyvekben I-vel is szoktak jelölni.
- Ahogy a sebesség megváltozását a gyorsulás jellemzi, így Newton második törvénye ekkor azt mondja, hogy a test impulzusát a rá ható erő változtatja meg. Ha az ütközés során a külső erőktől eltekintünk, akkor a két ütköző test egymásra azonos nagyságú de ellentétes irányú erővel hat (a kölcsönhatási törvény értelmében) vagyis impulzusuk azonos mértékben de ellentétesen változik meg. Hogy mennyivel azt még nem tudjuk, de a lényeg az, hogy az összimpulzus ezek szerint nem változik meg! Írjuk fel:

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2' \tag{60}$$

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'. \tag{61}$$

Ez használható minden ütközésnél.
(bakker, valami bravúros tojástánc elmondani a fizikát integrálás/deriválás nélkül. . .)
- Azokat az ütközéseket, amiknél a mozgási energia is megmarad, *(tökéletesen) rugalmas ütközésnek* nevezzük. Ezekben felírható még:

$$E_{\text{kin}1} + E_{\text{kin}2} = E'_{\text{kin}1} + E'_{\text{kin}2} \tag{62}$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2. \tag{63}$$

- A valóságban az ütközések nem ilyen „ tökéletesek”, a *mechanikai* energiamegmaradás szigorúan nem érvényes. Ezt nem úgy kell érteni, mintha az energia ténylegesen elveszne, csupán eldisszipálódik, (ami azt jelenti, hogy rendezetlen hőenergiává alakul,) vagyis a mechanikai leírás számára veszik csak el. Olyan formába kerül, amit ez az egyszerű mechanikai modellünk már nem tud kezelni, ehhez már termodinamikai modell kellene, amely megmondja, hogy adott test adott hőmérsékletnövekedése mennyi energiának felel meg. (Lásd később.)
- Ezt a fenti folyamatot mindenki tapasztalhatja, ha elkezd kalapáccsal ütlegelni egy üllőt: előbb-utóbb mind a kalapács, mind az üllő általunk is érzékelhető módon felmelegszik. Itt pont az történik, hogy a kettő ütközése nem tökéletesen rugalmas, a mozgási energiából valamennyi hőenergiává alakul.
- (. . .)

5.2. Feladatok: Órai feladatok: 4.3, 4.7, 4.10, 4.29, 4.30, 4.32, 4.39, 4.40, 8.46 (1. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 4.23, 4.24, 4.25, 4.31, 4.37 (1. kötet)

5.3. Kiegészítések itt a vázlat-részből ki kellene emelni némi megjegyzést ide!

6. Termodinamika: Alapfogalmak

6.1. Vázlat: - Néhány jelenség szilárd-testek termodinamikai leírásánál:
- Anélkül, hogy tudnánk, mi az a hőmérséklet, van róla valami szemléletes – vagy inkább érzékletes – képünk. Hogy tulajdonképpen mi is az a hőmérséklet, azt csak a kinetikus elmélet keretein belül fogjuk megérteni, addig is fenomenologikusan – vagyis „jelenség-alapon” – a hőtágulással definiáljuk:
- A szilárd testek hőtágulása egy olyan folyamat, amely során a hőmérséklet – mint termodinamikai mennyiség – hosszúsággá – mechanikai mennyiséggé – konvertálódik.
- Ha a hőmérsékletváltozás nem túl nagy, akkor a hőtágulást a következő képlet írja le:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T, \tag{64}$$

ahol
- a bal oldalon álló mennyiség az úgynevezett relatív megnyúlást fejezi ki. ($l' = l + \Delta l$) Az eredeti l hosszal való osztásnak az az értelme, hogy egy hosszabb rúd megnyúlása adott hőmérsékletváltozásra nyilván nagyobb lesz, mint egy rövidebbé. Ezért érdemes az egységnyi hosszra jutó megnyúlásra

képletet adni.
- A hőmérséklet T, nagyságát Celsius-fokban, vagy Kelvin-fokban mérjük. A két skála beosztása azonos, a víz olvadás- és forráspontja közötti hőmérsékletkülönbség száz részre van beosztva mindkét esetben, különbség csak a két skála nullpontjában van: 0 Celsius fok a víz olvadáspontjának felel meg, 0 kelvin viszont $-273°C$-nál van. Amíg csak hőmérséklet-különbségekről van szó, bármelyik mértékegységet használhatjuk, az eltérő nullpontból adódó különbség kiesik. (*)
- az α az anyagra jellemző hőtágulási együttható, a fenti képlet szerint azt mondja meg, hogy egy méter hosszú anyagdarab hány métert nyúlik, ha egy celsiussal emelem a hőmérsékletét. (Vagyis α nagyon kicsi.)
- A (64) formulát átírhatjuk Δl beírása után olyan alakra, mely a megváltozott hosszt adja:

$$l' = l(1 + \alpha\Delta T) \tag{65}$$

Értelmezzük a képletet! (*)

- Rugalmasságtani fogalmak:
- Feszültség (...)
- Rugalmasság (...)

- Energiaváltozás disszipatív folyamatban (...)

- Hő (...)
- Munkavégzés termodinamikai rendszeren (...)
- Belső energia, Első főtétel (...)
- Hőátadós feladatok (...)

- Teljesítmény (...)
- Hatásfok (...)

6.2. Feladatok: Órai feladatok: 15.7, 15.29, 16.7, 16.24, 16.25, 06.31, 16.33, 16.36, 16. 43 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 15.13, 15.23, 15.43, 16.7, 16.32 (2. kötet)

6.3. Kiegészítések

7. Termodinamika: Ideális gázok

7.1. Vázlat: - gázok (...)
- nyomás (...)
- ideális gázok (...)
- izoterm, izobar, izochor, adiabatikus folyamatok (...)

7.2. Feladatok: Órai feladatok: 15.37, 15.41, 15.43, 15.44, 16.12, 16.13, 16.14, 16.20, 16.24 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 1.36, 15.42, 16.11, 16.22, 16.24 (2. kötet)

7.3. Kiegészítések

8. Termodinamika: Molekuláris fizika alapjai, kinetikus gázelmélet, ideális gázok

8.1. Vázlat:

8.2. Feladatok: Órai feladatok: 22.21, 22.33, 22.41, 22.55, 22.51, 16.16, 16.26, 16.38 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 22.23, 22.34, 22.44, 22.52, 16.44 (2. kötet)

8.3. Kiegészítések

9. Geometriai optika: fénytörés, képalkotás

9.1. Vázlat:

9.2. Feladatok: Órai feladatok: 10.3, 10.29, 10.34, 10.37, 11.6, 11.39, 12.9, 12.19, 12.42 (1. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 10.19, 10.35, 10.36, 11.33, 12.15, 12.17 (1. kötet)

9.3. Kiegészítések

10. Elektrodinamika: Elektrosztatika

10.1. Vázlat:

10.2. Feladatok: Órai feladatok: 17.2, 17.5, 17.7, 17.11, 17.13, 17.14, 17.37, 17.46, 17.50 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 17.23, 17.24, 17.26, 17.28, 17.30 (2. kötet)

10.3. Kiegészítések

11. Elektrodinamika: Elektromos áram

11.1. Vázlat:

11.2. Feladatok: Órai feladatok: 18.7, 18.9, 18.12, 18.13, 18.16, 18.17, 18.47, 18.46, 19.16, 19.43, 19.46 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 18.14, 18.24., 18.28., 18.29., 18.30., 19.26., 19.28. 19.39 (2. kötet)

11.3. Kiegészítések

12. Elektrodinamika: Mágneses mező

12.1. Vázlat:

12.2. Feladatok: Órai feladatok: 20.5, 20.9, 20.11, 20.17, 20.19, 20.20, 20.22, 20.23, 20.25, 20.44 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 20.18, 20.27, 20.31, 20.38, 20.41, 20.42, 20.45 (2. kötet)

12.3. Kiegészítések

13. Elektrodinamika: Váltakozó áram

13.1. Vázlat:

13.2. Feladatok: Órai feladatok: 21.1, 21.3, 217., 21.14, 21.18, 21.22, 21.46, 21.52 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladatok: 21.23, 21.25, 21.26, 21.31, 21.33, 21.36 (2. kötet)

13.3. Kiegészítések

14. Modern fizika: A fotonok

14.1. Vázlat:

14.2. Feladatok: Órai feladatok: 23.5, 23.31, 23.44, 23.46, 23.47, 23.48 (2. kötet)
Otthoni gyakorló feladat nincs kijelölve.

14.3. Kiegészítések

15. Záró megjegyzések

A készüléshez jól használható anyag lehet:
- Holics László - Fizika összefoglaló: (TypoTEX, 1998) „zsebkönyv" formátumú felsőoktatási tankönyv, nagyon sok jó ábrával, hasznos lesz az egyetemi mérnöki fizika tárgyhoz, de részeiben jól használható ehhez a Bevezető Fizika kurzushoz is. (1998-ban a TypoTex adta ki az általam ismert legújabb kiadását, de régi könyv, régebbi kiadásai antikváriumokban olcsóbban beszerezhetők.)
- Szalay - Fizika, a fentihez hasonló összefoglaló zsebkönyv. (Új kiadásával nem találkoztam, de antikváriumokban gyakran belebotlok.) A félreértések elkerülése végett :) szerző nem én vagyok!
- Hudson-Nelson - Útban a modern fizika felé, (LSI) nagyon didaktikus tankönyv egyetemi mérnöki fizika tárgyakhoz. Ennek is részletei használhatóak ehhez a kurzushoz.