

Јован П. Шетрајчић и Дарко В. Капор

# ФИЗИКА

за 7. разред основне школе



ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ • БЕОГРАД

*Рецензенти*

Проф. др Божидар Вујичић, професор на ПМФ-у у Новом Саду  
Бранислав Јовановић, просветни саветник у Министарству просвете  
Републике Србије  
Др Гордана Хајдуковић-Јандрић, наставник у ОШ „Мирослав Антић“  
у Футогу

*Уредник*  
Татјана Бобић

*Одговорни уредник*  
Слободанка Ружичић

*Главни уредник*  
Др Милорад Марјановић

*За издавача*  
Др Милорад Марјановић, в. д. директора

---

Министар просвете Републике Србије одобрио је овај уџбеник својим решењем број 650-02-00389/2019-07 од 17. 01. 2020. године за употребу у седмом разреду основне школе.

---

ISBN 978-86-17-20331-1

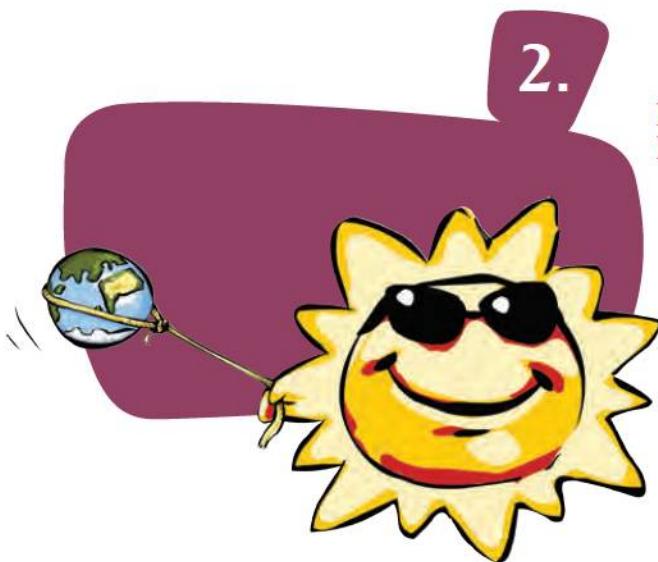
© ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ, Београд 2020  
Ово дело се не сме умножавати, фотокопирати и на било који други начин репродуковати, ни у целини ни у деловима, без писменог одобрења издавача.

# САДРЖАЈ

1.



2.



## СИЛА И КРЕТАЊЕ . . . . . 7

1.1. ЕЛЕМЕНТИ И КАРАКТЕРИСТИКЕ КРЕТАЊА . . . . .	8
1.2. СРЕДЊА И ТРЕНУТНА БРЗИНА . . . . .	10
1.3. СИЛА КАО УЗРОК ПРОМЕНЕ БРЗИНЕ ТЕЛА И ПОЈАМ УБРЗАЊА . . . . .	11
1.4. ОДНОС СИЛЕ, МАСЕ И УБРЗАЊА – ДРУГИ ЊУТНОВ ЗАКОН . . . . .	12
1.5. РАВНОМЕРНО ПРОМЕНЉИВО ПРАВОЛИНИЈСКО КРЕТАЊЕ . . . . .	15
1.6. ЗАВИСНОСТ БРЗИНЕ И ПУТА ОД ВРЕМЕНА ПРИ РАВНО- МЕРНО ПРОМЕНЉИВОМ ПРАВОЛИНИЈСКОМ КРЕТАЊУ . . . . .	17
РАВНОМЕРНО УБРЗАНО ПРАВОЛИНИЈСКО КРЕТАЊЕ . . . . .	17
– Брзина равномерно убрзаног кретања . . . . .	17
– Пређени пут код равномерно убрзаног кретања . . . . .	18
РАВНОМЕРНО УСПОРЕНО КРЕТАЊЕ . . . . .	20
1.7. ГРАФИЧКО ПРЕДСТАВЉАЊЕ ЗАВИСНОСТИ БРЗИНЕ И ПУТА ОД ВРЕМЕНА ПРИ РАВНОМЕРНО ПРАВОЛИНИЈ- СКОМ КРЕТАЊУ . . . . .	22
1.8. ГРАФИЧКО ПРЕДСТАВЉАЊЕ ЗАВИСНОСТИ БРЗИНЕ ТЕЛА ОД ВРЕМЕНА ПРИ РАВНОМЕРНО ПРОМЕНЉИВОМ ПРАВОЛИНИЈСКОМ КРЕТАЊУ . . . . .	24
1.9. ЗАКОН АКЦИЈЕ И РЕАКЦИЈЕ . . . . .	26
Посебно упамтиши . . . . .	27
Питања . . . . .	28
Њујин и „Principia“ . . . . .	29

## КРЕТАЊЕ ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ТЕЖЕ И СИЛЕ ОТПОРА . . . . . 31

2.1. ЗАКОН ГРАВИТАЦИЈЕ . . . . .	32
2.2. УБРЗАЊЕ ТЕЛА ПОД ДЕЈСТВОМ ЗЕМЉИНЕ ТЕЖЕ . . . . .	33
2.3. ВРСТЕ КРЕТАЊА ТЕЛА ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ЗЕМЉИНЕ ТЕЖЕ . . . . .	35
СЛОБОДНО ПАДАЊЕ ТЕЛА . . . . .	35
ХИТАЦ НАВИШЕ . . . . .	37
ХИТАЦ НАНИЖЕ . . . . .	39
2.4. ОТПОР КРЕТАЊУ ТЕЛА . . . . .	40
ТРЕЊЕ . . . . .	40
ОТПОР СРЕДИНЕ . . . . .	41
Посебно упамтиши . . . . .	43
Питања . . . . .	44
Необично признавање Галилеју . . . . .	45

3.

### РАВНОТЕЖА ТЕЛА . . . . . 47

3.1. ДЕЛОВАЊЕ ДВЕ СИЛЕ НА ТЕЛО ДУЖ ИСТОГ ПРАВЦА (СЛАГАЊЕ И РАЗЛАГАЊЕ СИЛА) . . . . .	48
3.2. ПОЈАМ И ВРСТЕ РАВНОТЕЖЕ ТЕЛА ТЕЖИШТЕ И РАВНОТЕЖЕ ТЕЛА . . . . .	50
	52
3.3. ПОЛУГА И МОМЕНТ СИЛЕ . . . . .	53
РАВНОТЕЖА ПОЛУГЕ И ЊЕНА ПРИМЕНА . . . . .	54
3.4. ПОТИСАК И АРХИМЕДОВ ЗАКОН . . . . .	56
ПЛИВАЊЕ И ТОЊЕЊЕ ТЕЛА . . . . .	58
<i>Посебно упамтиши</i> . . . . .	60
<i>Пишања</i> . . . . .	60
<i>Архимед и „Еурека!“</i> . . . . .	61

4.

### МЕХАНИЧКИ РАД, ЕНЕРГИЈА И СНАГА . . . . . 63

4.1. МЕХАНИЧКИ РАД . . . . .	64
РАД СИЛЕ . . . . .	64
РАД СИЛЕ ТЕЖЕ И СИЛЕ ТРЕЊА . . . . .	66
4.2. МЕХАНИЧКА ЕНЕРГИЈА . . . . .	67
ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕНЕРГИЈА . . . . .	67
КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА . . . . .	68
МЕХАНИЧКА ЕНЕРГИЈА . . . . .	70
4.3. ПРОМЕНА ЕНЕРГИЈЕ И РАД . . . . .	71
ОДРЖАЊЕ МЕХАНИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ . . . . .	73
4.4. СНАГА . . . . .	75
КОЕФИЦИЈЕНТ КОРИСНОГ ДЕЈСТВА . . . . .	76
<i>Посебно упамтиши</i> . . . . .	77
<i>Пишања</i> . . . . .	78
<i>Неколико енергетских поређења</i> . . . . .	79

5.

### ТОПЛОТНЕ ПОЈАВЕ . . . . . 81

5.1. ТОПЛОТНО ШИРЕЊЕ ТЕЛА И ТЕМПЕРАТУРА . . . . .	82
ПОЈАМ ТЕМПЕРАТУРЕ . . . . .	83
МЕРЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ . . . . .	84
5.2. КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ И ТОПЛОТНА РАВНОТЕЖА . . . . .	86
ТОПЛОТНА КАПАЦИТИВНОСТ . . . . .	86
ТОПЛОТНА РАВНОТЕЖА . . . . .	87
5.3. ЧЕСТИЧНИ САСТАВ СУПСТАНЦИЈЕ И УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА ТЕЛА . . . . .	89
УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА ТЕЛА . . . . .	90
5.4. АГРЕГАТНА СТАЊА СУПСТАНЦИЈЕ . . . . .	91
ТОПЉЕЊЕ И ОЧВРШЋАВАЊЕ . . . . .	91
ИСПАРАВАЊЕ И КОНДЕНЗАЦИЈА . . . . .	93
<i>Посебно упамтиши</i> . . . . .	95
<i>Пишања</i> . . . . .	95
<i>Механички еквивалент топлотне</i> . . . . .	96
РЕЧНИК НОВИХ РЕЧИ И ИЗРАЗА . . . . .	97

### СРЕЂАН КРАЈ, ПО ДРУГИ ПУТ! . . . . . 101

### ЛИТЕРАТУРА . . . . . 102

После летњег распуста поново смо се нашли да наставимо започето у претходном разреду – проучавање физике. Додуше, има једна мања измена. Током рада са „шестацима“ наш професор се прилично уморио па је решио да своје место препусти колеги који воли да имитира великог физичара Њутна.

Шта нас очекује у 7. разреду? Најбоље да погледамо слику. Наш професор сунча се на плаџи, а кроз главу му пролазе разна питања.

- Како да најједноставније устане из лежаљке?
- Због чега се у води осећа тако „лаган“ ?
- Зашто песак тако „пече“ табане?

Следимо његова размишљања. Настављамо проучавање **механике** у којој треба изучити још много важних појава. Што је још битније, јављају се појмови који се преносе и у друге гране физике. Коначно, на крају ћемо се дотаћи и **науке о топлоти (термодинамици)**.

Веома је важно унапред нагласити да ћемо, као и у 6. разреду, тумачити многе појмове који су присутни у свакодневном животу (рад, енергија, снага, равнотежа, топлота). Мало прецизније ћемо одредити њихово значење које се, можда, и не слаже увек са вашим претходним искуством. У том случају је потребан мало већи напор да се ове нове дефиниције прихватите. Као и раније, трудићемо се да примери буду вама добро познати, па се немојте изненадити ако неки од „ударних“ примера буде клацкалица, за коју сматрате да сте је одавно прерасли.

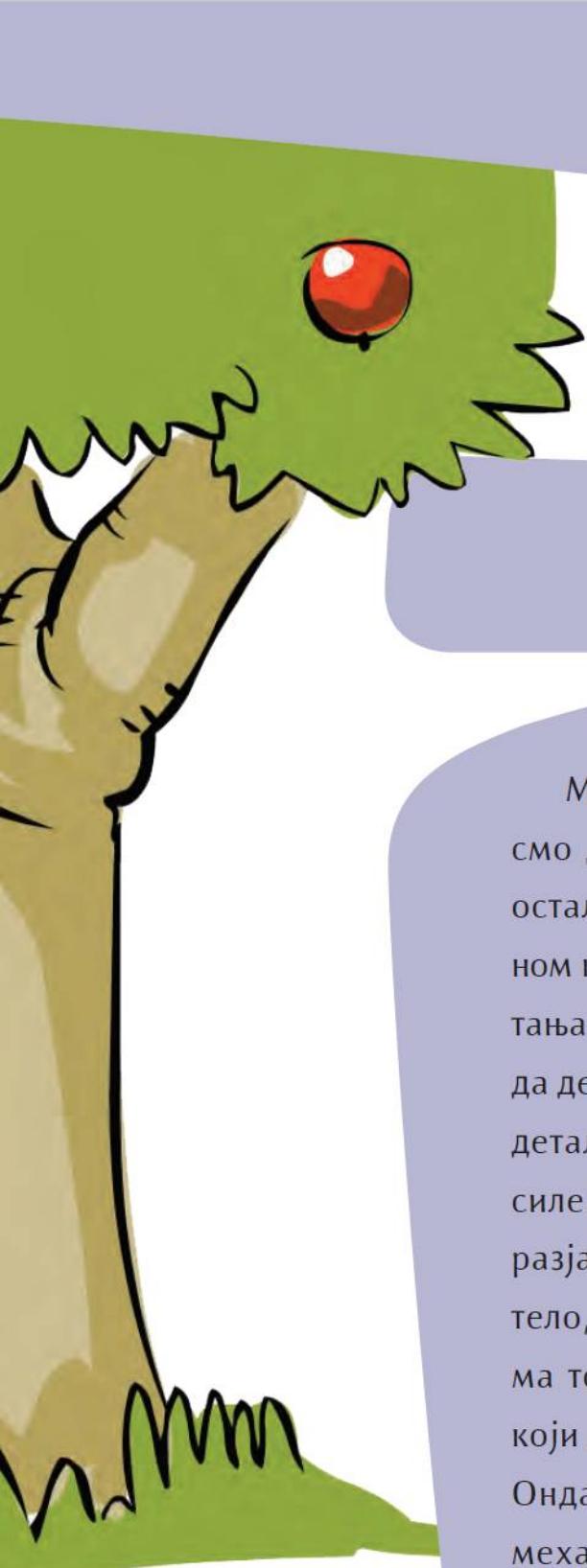
При проучавању кретања тела под дејством силе теже обрадићемо и **гравитационо поље**. Тиме упознајемо важан појам, а то је **физичко поље**. У 8. разреду проучаваћемо и **електрично и магнетно поље**.

Када је у питању примена, примери ће бити једноставни, али те, тзв. **просте машине**, које ћете срести, често су и саставни делови много сложенијих машина.

Толико за увод. Знамо да сте физику добро савладали прошле школске године, али за младе лето је тако пуно догађаја, па се неке ствари брзо забораве. Зато почињемо са понављањем неких садржаја из шестог разреда тако што их одмах повезујемо са новим.







## СИЛА И КРЕТАЊЕ

Можда вас збуњује овај наслов. У 6. разреду смо доста говорили о сили и о кретању. Шта је остало још да се каже? Говорили смо о равномерном кретању, о сили као узроку промене стања кретања. Објаснили смо шта се дешава када престане да делује сила. Заобишли смо само један „ситан“ детаљ: како се, у ствари, тело креће под дејством сile. Да бисмо то објаснили, морамо прво да разјаснимо следеће: кад сила делује на неко тело, брзина његовог кретања се мења. Према томе, морамо прво увести један нови појам који дефинише промену брзине, а то је убрзање. Онда можемо прећи на обраду Њутнових закона механике. Један од три Њутнова закона смо већ обрадили – то је закон инерције. Значи, остају још два. Доста послана је пред нама, па кренимо.



## 1.1. ЕЛЕМЕНТИ И КАРАКТЕРИСТИКЕ КРЕТАЊА

Почињемо тако што се преслишавамо шта смо упамтили од прошле године. Из свакодневног живота је познато да се тела крећу по путањама различитих облика. На пример, авион се до узлетања креће по писти у једном смеру. Пливачи на такмичењима пливају у базенима у једном правцу – од једне до друге ивице базена и назад. Каже се да се и авион и пливачи крећу по правој линији. Такво кретање се назива **праволинијско кретање**.

Деца на рингишпилу круже око осе рингишпила. Такво кретање је **кружно кретање**.

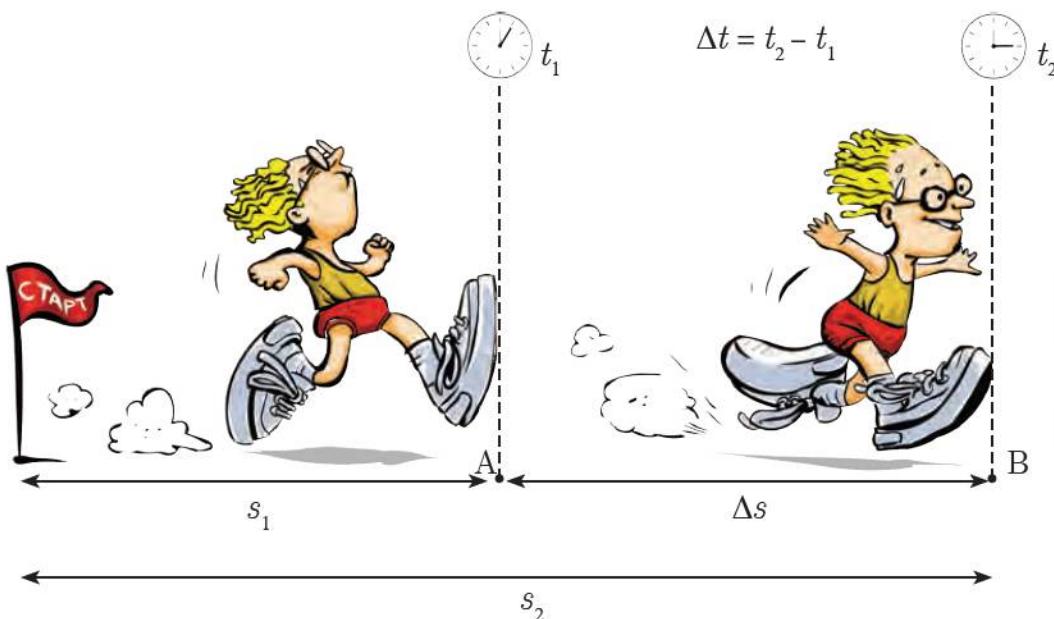
Аутомобил, крећући се по кривинама, стално мења правац кретања па се такво кретање, као и кружно кретање, назива **криволинијским** (слика 1.1).



Слика 1.1 – Аутомобил се креће криволинијском путањом

По облику путање кретања тела, разликују се праволинијско и криволинијско кретање.

За дефинисање сваког кретања неопходно је знати удаљеност две тачке путање, тј. пређени пут (обележава се са  $\Delta s$ ) између те две тачке пута (А и В, на слици 1.2):

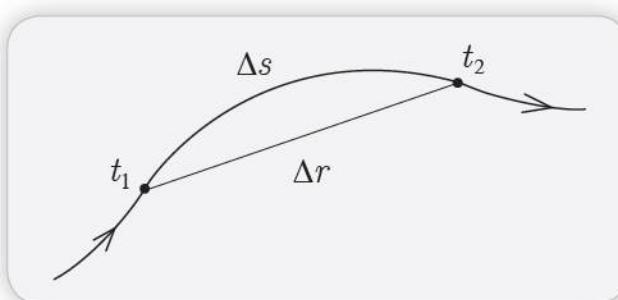


Слика 1.2 – Пређени пут и интервал (израње) праволинијској кретању

$$\Delta s = s_2 - s_1.$$

Време непрестано тече без обзира на то да ли тело мирује или се креће. Сваки догађај траје одређено време. Време између два догађаја, који се дододе у временским тренуцима  $t_1$  и  $t_2$  (они одговарају положајима А и В на слици 1.2), назива се временски интервал (обележава се са  $\Delta t$ ). При томе је:

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$



Слика 1.3 – Померај и пут при кретању

Овде користимо једну ознаку коју физичари често користе:  $\Delta$  је ћркло слово „делта“ којим се означава промена неке величине, што јесу разлика две вредности (крајње и почетне) једне исте величине. Ознаку  $\Delta s$  читамо „делта ес“.

При криволинијском кретању помак или померај је важна величина. То је најкраће распојање (дуж) између Јолазне и крајње тачке путање ( $\Delta r$ ). Оно се може веома разликовати од пута ( $\Delta s$ ) као на слици 1.3. Ако, рецимо, наш професор пође из стана, преше се по парку и врати се у стан, његов померај је једнак нули, а пређени пут свакако није, јер ћа иначе не би долеле ноге.



## 1.2. СРЕДЊА И ТРЕНУТНА БРЗИНА

Да би се одредила брзина кретања тела, потребно је знати пређени пут и протекло време, јер је интензитет брзине једнак количнику пута и времена:

$$v_s = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}.$$

По овој формулама израчунава се брзина тела на неком путу и то је **средња вредност брзине** кретања на том делу пута. Она нам нешто говори о томе како се тело кретало, али не знамо да ли је током кретања мењало брзину и ако јесте, како се то дешавало. Како то можемо сазнати?

Замислимо да посматрамо све краћи део пређеног пута. Долазимо до вредности брзине на све краћем путу. Коначно, кад се пут толико смањи да се „скупи“ у једну тачку, добија се брзина тела када се оно налази у тој тачки. Ова брзина се назива **тренутна брзина** и обележава са  $v$ . Овог појма се сигурно сећате из претходног разреда када смо тренутну брзину дефинисали као **брзину тела у датом тренутку**.

Брзина је физичка величина коју карактеришу интензитет, правац и смер. У 6. разреду смо напоменули да ћете у вишим разредима за такву величину говорити да је векторска величина.

Ако је брзина тела током кретања **стална**, то значи да се не мења ни њен интензитет ни правац, а ни њен смер.

Кретање аутомобила на правом и равном делу аутопута одвија се сталном брзином, успињача (тзв. сидро) вуче скијаше уз брег такође сталном брзином. За тела која се крећу сталном брзином каже се да се крећу **равномерно праволинијски**.

Равномерно праволинијско кретање тела је једино кретање код ког се не мењају ни интензитет, ни правац, а ни смер брзине.

У природи и свету око нас тела се ретко крећу стално истом брзином. Аутомобил ће се само на појединим деловима пута кретати стално истом брзином. Приликом претицања – повећава му се брзина, али се, у току кретања, мора више пута и смањивати. Дакле, брзина аутомобила се током кретања мења, па чак и када задржава праволинијску путању.

Таква кретања су **неравномерна кретања**. Уобичајено је да се користи другачији термин: кретање тела чија се брзина мења у току времена је **променљиво кретање**.

Коју брзину  
показује брзиномер  
у аутомобилу?



Слика 1.4 – Брзиномер

## 1.3. СИЛА КАО УЗРОК ПРОМЕНЕ БРЗИНЕ ТЕЛА И ПОЈАМ УБРЗАЊА



У 6. разреду смо говорили о томе да је сила мера дејства једног тела на друго. Тела међусобно делују на различите начине и последице тог дејства могу бити различите. О једној од последица смо такође говорили. Подсетимо се да смо тумачећи закон инерције нагласили да тело тежи да остане у стању мировања или равномерног праволинијског кретања док га нека сила не принуди да промени то стање. Можемо и да се запитамо: како то стање може да се промени. Ако тело мирује, почеће да се креће, дакле брзина му расте полазећи од нуле. Ако се већ креће, сила му мења брзину.

Видимо да увек када делује сила на тело долази да промене брзине његовог кретања. Величина која показује колика је та промена брзине ( $\Delta v$ ) и за колики временски интервал се она дешава ( $\Delta t$ ) назива се убрзање и означава са  $a$ :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

У складу са овом дефиницијом можемо увести и јединицу за убрзање (прецизније његов интензитет). Промена брзине се мери у метрима у секунди, тако да се убрзање мери као метри у секунди за секунду или често

„метри у секунди на квадрат“. Дакле,  $\frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Обично се убрзање дефинише као **прираштај** (повећање) брзине у јединици времена. Ако сила делује тако да се брзина под њеним дејством смањује, онда говоримо о **упорењу**.

Још једна веома корисна примедба: ако се сила не мења током времена (**стална или константна сила**), **неће се мењати ни убрзање**. Ово каже искуство, а касније ћемо то размотрити детаљније.



Улаз у тунел акцелератора (Церн)

У оиштем случају брзина се може мењати ио интензитету, правцу. Према што и убрзање је вектор.

Ознака  $a$  за убрзање йошиче од латинске речи за убрзање – *acceleratio*, у нашем језику преводи се као **акцелерација**. Физичари не користе често овај израз, али се зашто уређаји који убрзавају честине за њопребе оледа називају **акцелератори**.



## 1.4. ОДНОС СИЛЕ, МАСЕ И УБРЗАЊА – ДРУГИ ЊУТНОВ ЗАКОН

Некад једна локомотива, а некад две, вуку композицију воза. Искуство показује да је убрзање воза мање кад га вуче једна, него кад га вуку две локомотиве. У оба случаја на исти воз делују различите сile. Дакле, убрзање воза зависи од **јачине** сile која на њега делује.

Ако су вагони ове композиције натоварени, на пример рудом гвожђа, онда би једна локомотива једва повукла ту композицију. Тек када се прикључи друга локомотива, воз би могао да убрзава. Што је маса тела већа, да би се постигло одређено убрзање, мора се употребити сила већег интензитета.

Овај пример указује на то да постоји одређени однос између сile, масе тела (чије кретање изазива та сила) и постигнутог убрзања.

Да би се испитао однос између ове три величине, потребно је извести оглед приказан на слици 1.5. Када се колица ставе уз делимично сабијену еластичну опругу (слика 1.5a), а затим опруга нагло ослободи – колица ће, под дејством сile сабијене опруге – повећавати брзину. После престанка дејства ове сile брзина колица ће се смањивати. Прешавши известан пут по хоризонталној подлози (слика 1.5б), она ће се најзад зауставити. За сада, занима нас само онај први део кретања – убрзање колица.

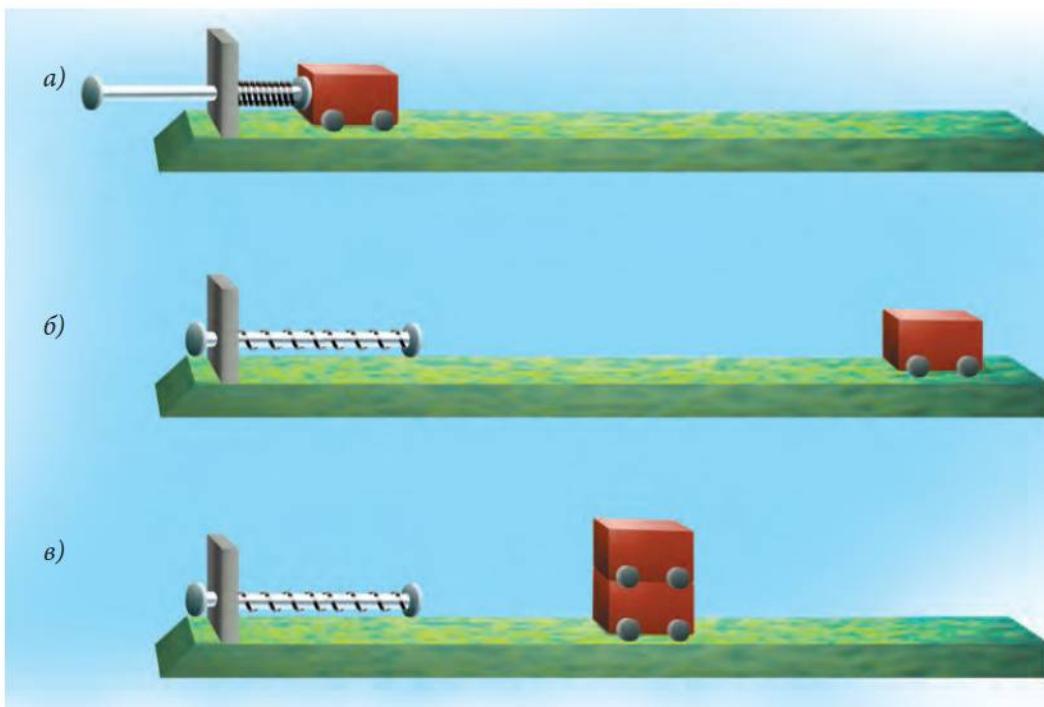
Ако се понови исти оглед, али са више сабијеном опругом, на колица ће деловати сила већег интензитета и колица ће достићи већу брзину (самим тим прећи ће дужи пут до заустављања). Ово значи да већа сила еластичности изазива већу промену брзине колица, тј. да под деловањем сile већег интензитета колица добијају веће убрзање. Одавде следи закључак.

*Убрзање тела одређене масе, сразмерно је интензитету сile која на њеја делује.*

Ако се, затим, на ова колица ставе још једна иста таква колица (слика 1.5в), њихова укупна маса двапут је већа. Делује ли се на њих силом истог интензитета, као у претходном случају, њихов прећени пут биће упона краћи. Значи, тело веће масе под дејством исте сile добија мање убрзање, или:

*Убрзања, која добијају тела различитих маса под дејством једнаких сile обрнуто су сразмерна тим масама.*

Генерације ђака  
су чуле њесмицу  
– њеснички исказ  
другој Њутновој  
закону:  
„Свим ђацима даје  
се на знање, сила  
маси даје убрзање.“  
Не зна се штачно ко  
ју је спевао и када,  
али није поше како  
мештог за лакше  
шамћење.



Слика 1.5 – Утврђивање односа између интензитета силе и убрзања

Оба ова закључка могу се објединити у један, који представља **II Њутнов закон**. Он се још назива **Основни закон динамике** и гласи:

**Убрзање које при кретању добија једно тело сразмерно је интензитету силе која на њега делује, а обратно сразмерно маси тога тела.**

То се може написати у виду математичког обрасца:

$$a = \frac{F}{m}.$$

На основу анализе II Њутновог закона, јасно је да ће се тело, под деловањем стално исте силе, кретати сталним убрзањем. Ако се узме у обзир и правац и смер силе, онда се тело креће у правцу деловања те силе.

**Под утицајем сталне силе, тело се креће праволинијски равномерно убрзано.**

Разумљиво је да ће смањивањем силе, која делује на исто тело, и убрзање тела постајати све мање. Кад интензитет силе падне на нулу, нема више ни убрзања. Тело се од тог тренутка креће по инерцији (I Њутнов закон). Кретање тела је равномерно праволинијско, и то оном брзином коју је имало у часу престанка деловања силе. Овај закључак важи и за случај када деловање силе престане одједном.

Други Њутнов закон, међутим, чешће се пише у облику:

$$F = m \cdot a,$$

који омогућава да се одреди интензитет сile која телу масе  $m$  даје убрзање  $a$ . Други Њутнов закон се зато може исказати и речима.

**Производ масе тела и убрзања, које оно добија деловањем неке сile, једнак је интензитету сile која делује на то тело.**

Јединица за силу – њутн (N) у Међународном систему јединица изведена је на основу овог облика II Њутновог закона:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}.$$

Израз  $F = m \cdot a$  омогућује да се у неким случајевима израчуна сила која делује на тело тако што се мери његово убрзање и множењем са познатом масом тела добије интензитет сile. Овај поступак је познат као **динамичко мерење сile**. Главни проблем у његовој примени лежи у томе што се тело најчешће креће под дејством резултантне више сile. При томе је увек присутна и нека сила отпора средине, тако да се резултат обично не може директно протумачити.

### ПРИМЕР

Израчунати интензитет укупне сile која је потребна да стално делује на тело масе 70 kg, да би се дуж праволинијског пута кретао са убрзањем  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Подаци:

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$a = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Решење:

$$F = m \cdot a = 70 \text{ kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 350 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2};$$

$$F = 350 \text{ N.}$$

$$F = ?$$

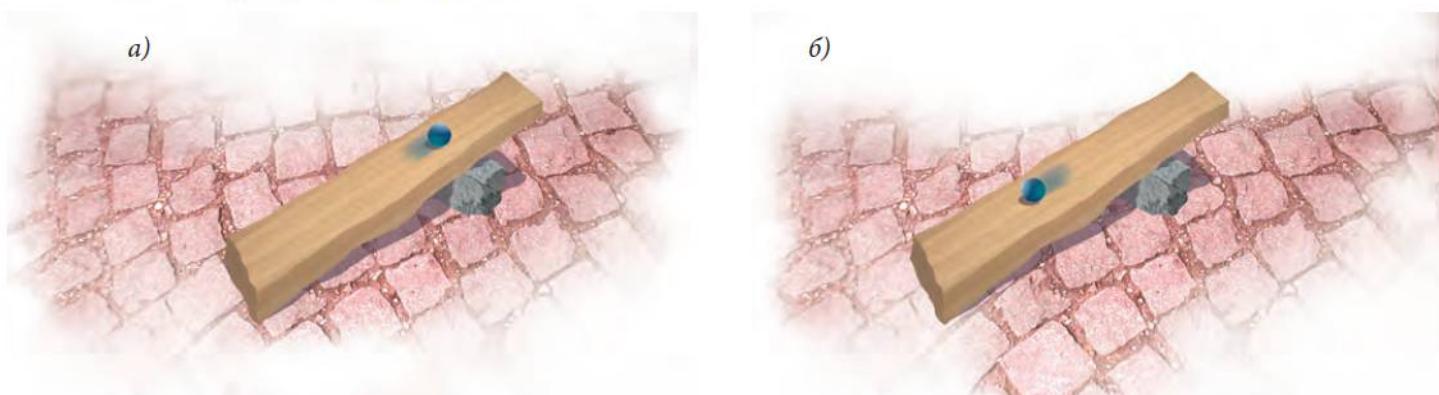
## 1.5. РАВНОМЕРНО ПРОМЕНЉИВО ПРАВОЛИНИЈСКО КРЕТАЊЕ



Ако је код променљивог кретања, путања права линија – онда је то променљиво **праволинијско кретање**. Најједноставнији облик променљивог кретања је **равномерно променљиво праволинијско кретање**. То је кретање тела по правој линији, брзином чији се интензитет равномерно мења у току времена.

Ако се брзина тела равномерно увећава у току времена (расте за једнаке износе у једнаким интервалима времена), такво кретање је **равномерно убрзано**, а ако се брзина равномерно смањује у току времена, онда је то **равномерно успорено кретање**.

Равномерно убрзано кретање је на пример кретање кликера низ косо постављену даску (слика 1.6). Као примери равномерно успореног кретања могу се навести: кретање кликера уз косо постављену даску, кретање тела баченог вертикално увис, итд.



Слика 1.6 – Примери равномерно убрзаној и равномерно успореној кретању

При старту југа или неког болида формуле 1 уочава се велика разлика у промени њихових брзина. У оба случаја повећава се брзина, али се код формуле 1 брзина повећава много брже. Мерењем интензитета брзине у узастопним једнаким временским интервалима може се одредити промена брзине у једној секунди. Рекли смо да се ова физичка величина назива **убрзање**.

**Убрзање је једнако промени брзине у јединици времена.**

Ако се са  $\Delta v$  означи промена брзине:  $\Delta v = v_2 - v_1$ , а  $\Delta t$  је одговарајући временски интервал током кога се брзина мења:  $\Delta t = t_2 - t_1$ , може се одредити (израчунати) средње убрзање:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

## ПРИМЕР

Тело полази из мировања равномерно повећавајући брзину и после 5 s има брзину  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Колико је убрзање овог тела?

Подаци:

$$v_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 5 \text{ s}$$

$$\underline{\hspace{2cm}}$$

Решење:

$$\Delta v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$\Delta t = 5 \text{ s} - 0 \text{ s} = 5 \text{ s};$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}}; \quad a = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

$$a = ?$$

При заустављању возила, такође, долази до промене брзине, само што се она у овом случају смањује. Можемо да замислимо као да се добија убрзање које је усмерено у супротном смеру од брзине, односно да је убрзање негативно.

У току праволинијског кретања тела правци брзине и убрзања се по-клапају са правцем путање.

Ми ћемо разматрати само равномерно променљиво кретање тела дуж праволинијске путање. У току овако променљивог кретања интензитет брзине равномерно се мења (повећава или смањује).



Спринтер у ниском старту

# 1.6. ЗАВИСНОСТ БРЗИНЕ И ПУТА ОД ВРЕМЕНА ПРИ РАВНОМЕРНО ПРОМЕНЉИВОМ ПРАВОЛИНИЈСКОМ КРЕТАЊУ



Код равномерно променљивог праволинијског кретања, међутим, интензитет убрзања, његов правац и смер се не мењају у току времена.

## РАВНОМЕРНО УБРЗАНО ПРАВОЛИНИЈСКО КРЕТАЊЕ

Равномерно убрзано праволинијско кретање тела је кретање тела са сталним убрзањем дуж правца кретања. То значи да се интензитет брзине кретања тог тела повећава за исти износ у току једнаких временских интервала.

### ПРИМЕР

Најмање време потребно за постизање брзине од 0 до 100 km/h код аутомобила марке йолф износи 12 s, а код йоршиа је оно два пута краће. Којим од ова два аутомобила се може постићи веће убрзање и колико пута?

Подаци:

$$\Delta v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\Delta t_g = 12 \text{ s}$$

$$\Delta t_p = 6 \text{ s}$$

$$\frac{a_p}{a_g} = ?$$

Решење:

$$a_g = \frac{\Delta v}{\Delta t_g}; \quad a_p = \frac{\Delta v}{\Delta t_p};$$

$$\frac{a_p}{a_g} = \frac{\frac{\Delta v}{\Delta t_p}}{\frac{\Delta v}{\Delta t_g}} = \frac{\Delta t_g}{\Delta t_p} = \frac{12 \text{ s}}{6 \text{ s}} = 2$$

Убрзање које се може постићи йоршијем два пута је веће него убрзање постигнуто йолфом, на истој праволинијској путањи.

## Брзина равномерно убрзаног кретања

Посматрајмо праволинијско убрзано кретање при којем брзина и убрзање имају исти смер, тако да убрзање представља повећање брзине тела. Рекли смо да је:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

Нека почетку кретања одговара  $t_0 = 0$  (тада смо укључили штоперицу) и у том тренутку је брзина једнака  $v_0$ . Мерење времена се завршава у тренутку  $t$  када је брзина кретања  $v$ . Тада су:

$$\Delta v = v - v_0 \quad \text{и} \quad \Delta t = t - 0 = t.$$

Из дефиниције убрзања следи:

$$\Delta v = a \Delta t.$$

Заменом  $\Delta v$  и  $\Delta t$  у ову једначину добија се:  $v - v_0 = at$ , тј.

$$v = v_0 + at.$$

Ово је основна једначина за брзину код равномерно убрзаног кретања.

У специјалном случају када тело полази из мировања (тј. његова **почетна брзина**  $v_0 = 0$ ), имамо

$$v = at.$$

Из основне дефиниције равномерно убрзаног кретања следи да се интензитет брзине тела равномерно повећава у току кретања. То значи да се за исти временски интервал он повећава за исти износ. Исто се може закључити из претходне формуле. Математички речено, израз  $v = at$  или  $v = v_0 + at$  значи да се брзина линеарно мења са временом.

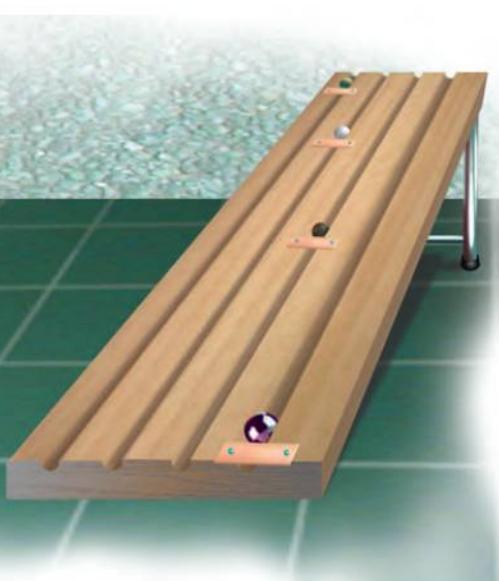
### Пређени пут код равномерно убрзаног кретања

Посматрајмо прво кретање без почетне брзине. Шта знамо о пређеном путу код таквог кретања? Он зависи од брзине и времена трајања кретања и мора бити сразмеран брзини, према томе и убрзању. Занима нас зависност пређеног пута од времена. Позваћемо се на оглед. Најпогоднији начин за изучавање равномерно променљивог кретања јесте кретање куглице по жлебу низ нагнуту даску.

Даску са жлебовима поставимо нагнуто у односу на подлогу и пуштамо куглице да се котрљају по жлебовима. Очигледно, узрок њиховог кретања је сила Земљине теже, која се не мења током времена.

Ако су куглице једнаке величине и од истог материјала, а жлебови подједнако углачани, онда су отпори њиховом кретању једнаки. Тада се може сматрати да је убрзање свих куглица једнако и да се не мења током времена. Према томе, резултат огледа се може применити на кретање сталним убрзањем, односно на равномерно убрзано кретање.

Нека имамо четири паралелна жлеба (слика 1.7). У првом жлебу од горњег краја измеримо неку дужину  $d$  и поставимо на том месту неку препреку. У другом жлебу препреку постављамо на растојању  $4d$ , у трећем на  $9d$ , а у четвртом (ако има места) на  $16d$ .



Слика 1.7 – Галилејев оплед

Путеви куглица се, рачунајући од горњег краја, односе као  $1:4:9:16$ , то јест као  $1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2$ . Пустимо сада куглице да истовремено крену са врха. Оно што би требало да чујемо је да **куглице ударажу у препреку у једнаким временским интервалима**. Рецимо, прва куглица – после једне секунде, друга – после друге, трећа – после треће, а четврта – после четврте секунде. То значи да се одговарајући интервали времена односе као  $1:2:3:4$ . Очигледно је да је **растојање пређено током интервала  $t$  сразмерно са  $t^2$** .

Прецизним мерењем (које се спроводи и на лабораторијским вежбама) може се добити коначан облик израза за пут при праволинијском равномерно убрзаном кретању и он има облик:

$$s = \frac{1}{2} a t^2.$$

Ако се тело креће почетном брзином различитом од нуле, можемо сматрати да је то кретање тела састављено од једног равномерног кретања брзином  $v_0$  и другог равномерно убрзаног кретања. Свако од ова два кретања даје свој независан допринос пређеном путу, тако да је пут једнак:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2.$$

### ПРИМЕР

Авион на стартну писту излази брзином од  $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  и креће се том брзином до стартне линије. Тада пилот нагло „дода гас“ и убрзањем од  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  за пола минута достиже брзину потребну за узлетање. Колико износи та брзина и колика је дужина пута којим је авион убрзавао?

Подаци:

$$v_0 = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$t = 0,5 \text{ min} = 30 \text{ s}$$

$$v = ?$$

$$s = ?$$

Решење:

$$v = v_0 + at;$$

$$v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 30 \text{ s} = 245 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$s = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 30 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (30 \text{ s})^2 = 3750 \text{ m}.$$

*Појава чиниоца  $\frac{1}{2}$  не може се објаснити на нивоу вашег познавања математике, па шако ово постизаје један од израза који (нажалосћи) морајте научити најамеши.*

*Оштирилике овако је размишљао и Галилеј при проучавању ове појаве.*

### РАВНОМЕРНО УСПОРЕНО КРЕТАЊЕ

Посматрајмо сада тело које се креће равномерно праволинијски сталном брзином  $v_0$ . Када то тело почне да „кочи“ сталним успорењем  $a$ , тада се његова брзина **смањује**. Математички то исказујемо тако што убрзање узимамо са знаком минус (-). Према томе:

$$\Delta v = -at, \text{ tj. } v - v_0 = -at,$$

одакле следи:

$$v = v_0 - at.$$

Ако се упореди овај израз са изразом за брзину код равномерно убрзаног кретања лако се може уочити да су они скоро исти, само знак + прелази у -. Може се рећи да се само убрзање замењује негативним убрзањем ( $a \rightarrow -a$ ).

Размишљајући на исти начин (заменимо убрзање са „негативним убрзањем“) можемо добити и израз за пређени пут при равномерно успореном кретању:

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2.$$

#### ПРИМЕР

Притиском на кочницу возач градског аутобуса може сваке секунде да смањује брзину аутобуса за  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Колико далеко испред станице возач треба да почне кочење да би зауставио аутобус који се кретао брзином од  $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ?

Подаци:

$$a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v_0 = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

—————

$$s = ?$$

Решење:

Из услова задатка (крајња брзина аутобуса је једнака нули) и формуле:  $v = v_0 - at$ , следи:  $0 = v_0 - at \Rightarrow v_0 = at$ , па је потребно време кочења:

$$t = \frac{v_0}{a}.$$

Зауставни (пређени) пут аутобуса је:

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{10^2 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 50 \text{ m}.$$

Хајде да ипак мало размишљамо о физици, а не о формулама. Негативним убрзањем описујемо смањење брзине током времена. Према томе, правилније га је звати **успорење**. Постоје различити узроци успорења. Једно је сигурно – под дејством сile која изазива успоравање брзина ће се смањивати до нуле. Зависно од карактера сile, тело ће се тада зауставити или чак почети да креће у супротном смеру. О овоме ће бити још речи мало касније.



Као што путници опомињу возача који је заборавио на њих и упорно додаје гас, тако вероватно и ви желите да опоменете нас. Ми смо тога и те како свесни и зато овде морамо мало да застанемо. Сигурно сте приметили да смо на ових неколико страна написали више формула него у целом 6. разреду. Ми то врло добро знајмо, али знајмо и да сте годину дана старији и да вам то више не представља такав проблем као лане. Зато, немојте се уплашити, већ мало предахните. Када ово са наставником провежбате удахните дубоко ваздух и идемо даље.

И онда ћемо рећи: „Додај гас мајсторе“!



## 1.7. ГРАФИЧКО ПРЕДСТАВЉАЊЕ ЗАВИСНОСТИ БРЗИНЕ И ПУТА ОД ВРЕМЕНА ПРИ РАВНОМЕРНО ПРАВОЛИНИЈСКОМ КРЕТАЊУ

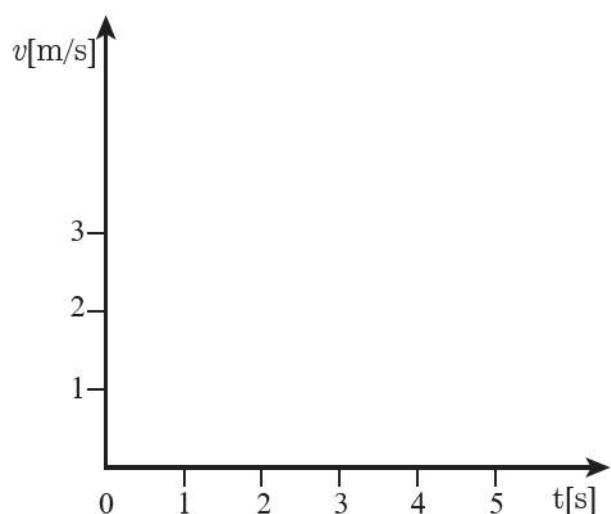
Подсетимо се градива од прошле године. Показаћемо како се графички приказује зависност брзине и пута од времена при равномерно праволинијском кретању.

Почињемо тако што повучемо две међусобно нормалне осе од којих је једна хоризонтална, а друга вертикална. Тачку њиховог пресека означавамо са **O** и зовемо **координатни почетак**. У овом случају на хоризонталну осу наносимо вредности времена, мерење од неког почетног тренутка којем приписујемо вредност нула и смештамо га у координатни почетак. Ознаку  $t$  записујемо уз осу, а да бисмо што мање писали, уз њу, у загради, наводимо и јединицу у којој се задају подеоци – секунда, минут или час (слика 1.8). На слици под а) је приказана „временска“ оса са подеоцима који су задати у секундама, а под б) у часовима.



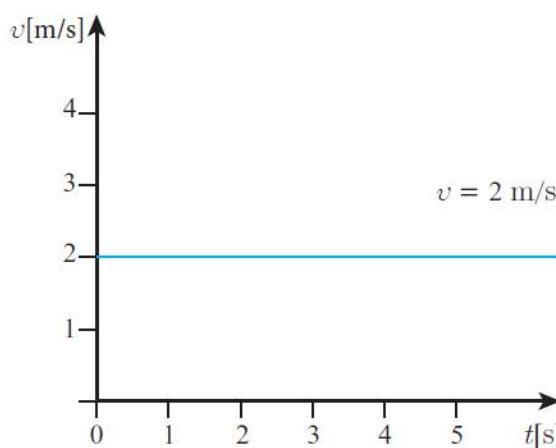
Слика 1.8 – Временске осе

На вертикалну осу наносимо вредности величине чија је зависност од времена занима. Ако је то брзина, онда наносимо поделу у јединицама брзине (слика 1.9).



Слика 1.9 –  $v-t$   
координатни  
систем

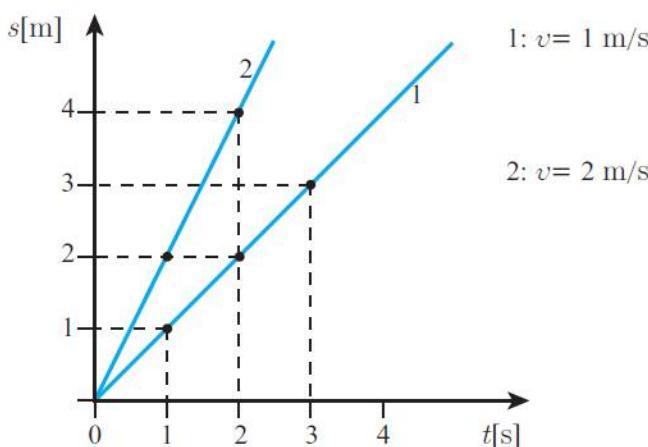
Основна идеја графичког приказа је следећа. Ми у сваком тренутку зна-  
мо вредност брзине. Бирамо одређени временски тренутак и са временен-  
ске осе подижемо вертикалу на којој одмеравамо вредност брзине у датим  
подеоцима. Према томе, пару време–брзина одговара једна тачка у равни.  
Вероватно већ знате из математике да се овај скуп тачака назива **график**.  
Како код равномерно праволинијског кретања брзина има сталну вред-  
ност, онда сваком тренутку одговара иста вредност брзине. Стога је график  
брзине (слика 1.10) у зависности од времена једна линија паралелна хори-  
зонталној оси.



Ученици често ги-  
шају какву поделу да  
узму. То зависи пре  
свеа ог тоа колики  
је интервал времена  
који се посматра и  
колико има месета  
за цртање графика.  
Ако је крећање  
трајало 16 с (или  
25 h), онда не треба  
имати много више  
подеоца. Ипак,  
треба водити рачуна  
да подеоци не  
буду премали, јер би  
нам то оштећа-  
вало очицавање  
са графика.

Слика 1.10 – График  
брзине

Пређени пут је описан изразом:  $s = v \cdot t$ . Сматрамо да пут меримо од почетног положаја тела, тако да је за  $t = 0$  с и  $s = 0$  м. Према томе, једна тачка на графику је сам координатни почетак. Обично се прави таблица за неколико вредности и онда повлачи линија која њима одговара (слика 1.11). Из математике је познато да је ово једначина праве линије чији наклон је већи што је брзина кретања већа.



Слика 1.11 – График  
пута

# 1.8. ГРАФИЧКО ПРЕДСТАВЉАЊЕ ЗАВИСНОСТИ БРЗИНЕ ТЕЛА ОД ВРЕМЕНА ПРИ РАВНОМЕРНО ПРОМЕНЉИВОМ ПРАВОЛИНИЈСКОМ КРЕТАЊУ



Без обзира на то да ли је реч о равномерно успореном или равномерно убрзаном кретању, његова најважнија карактеристика је да је убрзање стално, тј. непроменљиво у времену. Математички следи  $a = \text{const}$ .

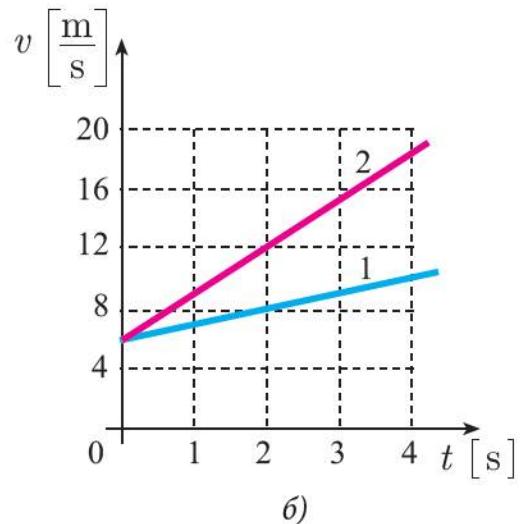
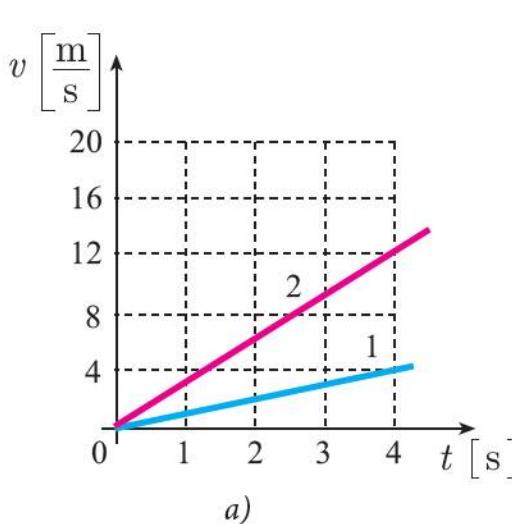
Из основне дефиниције равномерно убрзаног кретања следи да се интензитет брзине тела равномерно повећава у току кретања. То значи да се за исти временски интервал он повећа за исти износ. Исто се може закључити и из одговарајуће формуле. Математички речено, израз  $v = at$  или  $v = v_0 + at$  значи да се брзина линеарно мења са временом.

Дакле, приказ ове зависности у  $v-t$  координатном систему је полуправа. Она почиње из координатног почетка (слика 1.12a) ако је кретање без почетне брзине. Ако се тело креће равномерно убрзано почетном брзином, онда је почетак полуправе из тачке која одговара тој почетној брзини

$$v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (слика 1.126).}$$

Ове полуправе су стрмије што је интензитет убрзања већи. Математички речено: већем убрзању одговара већи нагиб. На пример, за  $a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  то

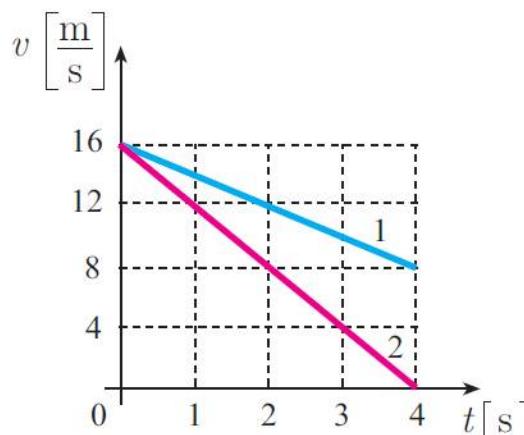
су полуправе 1 на сликама 1.12a ( $v = 1t$ ) и 1.126 ( $v = 6 + 1t$ ). За  $a = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  то су стрмије полуправе 2 на сликама 1.12a ( $v = 3t$ ) и 1.126 ( $v = 6 + 3t$ ).



Слика 1.12 – График  
брзине код равномерно  
убрзаној кретања (а, б)

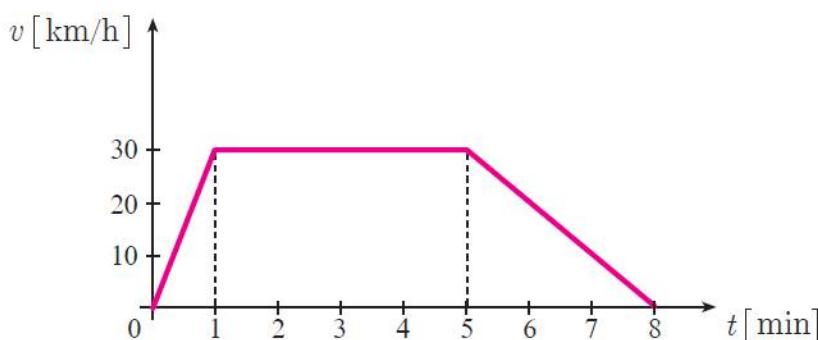
График брзине равномерно успореног кретања приказан је на слици 1.13. Нагиб те полуправе према временској оси је већи што је успорење веће. Почетак полуправе (одсекач на  $v$ -оси) одговара почетној брзини. То је овде:  $v_0 = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Полуправа 1 има успорење  $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  и ту је  $v = 16 - 2t$ , а график 2 је дуж јер иде само до пресека са временском осом. Ова пресечна тачка ( $v_0 = 0$  и  $t = 4 \text{ s}$ ) показује укупно трајање заустављања тела – од почетка успоравања ( $v_0 = v_0$ ,  $t = 0 \text{ s}$ ) па до потпуног престанка кретања ( $v = v_k = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  $t = t_u = 4 \text{ s}$ ).

Укупно време до заустављања тела, чије је равномерно успорено кретање приказано на графику 1, износи:  $t_u = 8 \text{ s}$ .



Слика 1.13 – График брзине равномерно успореног кретања

Пробајте да објасните кретање градског аутобуса између две станице на праволинијском Булевару, ако је брзина његовог кретања приказана на графику:





## 1.9. ЗАКОН АКЦИЈЕ И РЕАКЦИЈЕ



Слика 1.14 – Акција и реакција

Двоје деце стоје на залеђеном платоу и затежу уже (слика 1.14). Када само девојчица вуче конопац, обоје се крећу један у сусрет другом. Исто се догоди и када дечак вуче у же. Деловање једног тела на друго увек изазива и деловање другог тела на прво.

На делу хоризонталног пута воз се креће равномерно праволинијски. Спојнице између локомотиве и вагона затежу две силе. У смеру кретања делује вучна сила локомотиве, док у супротном смеру делује вагон, и то силом истог интензитета.

Значи, увек се при дејству једне силе јавља и друга сила истог правца али супротног смера. Сила, којом прво тело делује на друго назива се **сила акције**, а сила којом друго тело делује на прво назива се **сила реакције**.

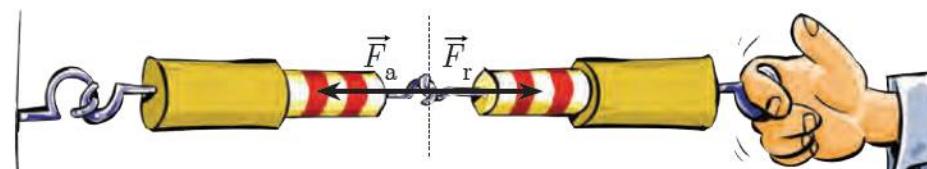
Однос сила акције и реакције може се утврдити и једноставним огледом. Два динамометра се привежу један за други како је приказано на слици 1.15. Када се слободан крај десног динамометра вуче, види се да оба динамометра показују исту мерену вредност. То се догађа и када два човека вуку динамометре у супротним смеровима.

На основу искуства и наведених примера може се закључити следеће.

**Силе којима тела узајамно делују имају једнаке интензитетете, исте правце, а супротне смерове.**

Или, другим речима, сила акције је увек по интензитету једнака сили реакције. Ове силе су истих праваца, а супротних смерова. Овај општи закључак о деловању два тела познат је као **закон акције и реакције** или **III Њутнов закон**. Он се исказује формулом:

$$F_a = F_r.$$



Слика 1.15 – Силе акције и реакције



Слика 1.16 – Дејство сила акције и реакције

## ПОСЕБНО УПАМТИТИ

Други Њутнов закон гласи: убрзање које при кретању добија једно тело сразмерно је интензитету силе која на њега делује, а обрнуто сразмерно маси тога тела.

$$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m}.$$

Најједноставнији облик променљивог кретања је **равномерно променљиво праволинијско кретање**. То је кретање тела по правој линији, брзином чији се интензитет равномерно мења у току времена.

**Убрзање је једнако промени брзине у јединици времена.**

- брзина  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ,
- убрзање  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

Треба знаћи да увек постоје две силе, које делују на два различита тела. Оне истовремено настају и не постоје једна без друге. Ово се најлакше зајажа на мирној води када дечак искаче из чамца (слика 1.16). Одбацивши се силом мишћа, дечак крене у једном, а чамац у другом смеру.

За равномерно праволинијско кретање је:

$$v = \text{const}, \quad a = 0, \quad s = v t.$$

За равномерно убрзано праволинијско кретање је:

$$a = \text{const}, \quad v = v_0 + at, \quad s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2.$$

За равномерно успорено праволинијско кретање је:

$$a = \text{const}, \quad v = v_0 - at, \quad s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2.$$

**Трећи Њутнов закон гласи: силе којима тела узајамно делују имају једнаке интензитете, исте правце, а супротне смерове.**

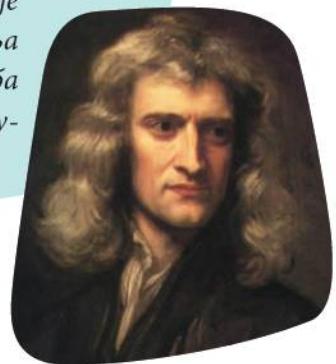
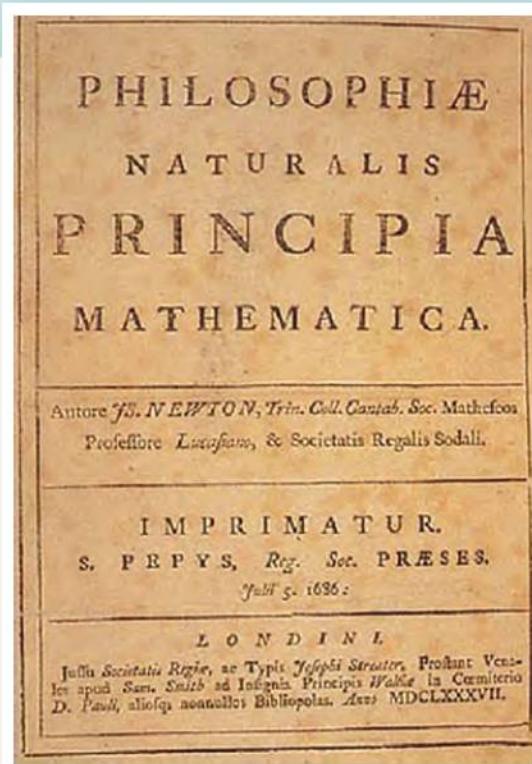
$$F_a = F_r.$$

## ПИТАЊА

1. Када се тело креће по инерцији? Каква је брзина тог кретања?
2. Зашто се већим делом пута космички бродови крећу без утрошка горива?
3. Како се на основу II Њутновог закона може одредити маса тела у кретању?
4. Како се крећу саонице низ залеђен брег? А по равном платоу испод брега?
5. Како се креће авион по писти?
6. Кад искочи из авиона, падобранац пада све брже према земљи док се падобран не отвори. Како се креће падобранац пре него што се падобран отвори, а како након отварања падобрана?
7. По чому се разликују равномерно убрзано и равномерно успорено кретање?
8. Чему је једнака средња брзина равномерно убрзаног кретања без почетне брзине?

## Њутн и „PRINCIPIA“

Још у 6. разреду смо ћоворили о великом научнику, Исаку Њутну (1643 –1727). Сага ћемо нешто рећи о његовом основном делу које се зове „Математички принципи филозофије природе“ (*Philosophiae naturalis principia mathematica*) које је објављено 1686. године. Књига је написана на латинском језику који је у то време био језик науке, а „филозофија природе“ је био оштији назив за прву природних наука којој је припадала и физика. У њој Њутн прво дефинише основне величине, износи законе које смо у овом делу обрадили и онда йомоћу њих објашњава различите случајеве крећања тела по дејством силе. После тоа ћовори о закону правитета и показује како се по дејством правитета крећу небеска тела. Његова истраживања су била у складу са дошадашњим астрономским посматрањима. Не треба заборавити да се Њутн веома усмешно бавио оштијом и да је сам конструисао један модел телескода.



Слика насловне странице *Principia*





## КРЕТАЊЕ ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ТЕЖЕ И СИЛЕ ОТПОРА

На почетку овог уџбеника смо нагласили да ћемо изучавање често започињати подсећањем на градиво из претходног разреда. Када смо у 6. разреду говорили о узајамном деловању тела и сили као мери овог деловања, навели смо пример „неизбежне“ гравитације. Тада смо поставили оно питање које је мучило још наше давне претке из каменог доба: ако подигнемо камен па га пустимо из руке, он падне на тло, а ми не морамо ништа да урадимо да би се то десило. Зашто? Споменули смо да је и Исак Њутн (по сопственом казивању) имао среће да му на главу падне не камен, већ јабука, па да почне да се бави овим проблемом. У ствари, права загонетка је следећа. Да бисмо подигли камен, узимамо га у руку и подижемо, а за то је потребан известан напор. Да би камен пао, пуштамо га и он сам пада. Како онда делује та сила, коју не видимо, али последице њеног дејства не само што видимо већ и осећамо? Одговарајући на то питање стижемо до једног од основних поjmova у физици, а то је појам физичког поља.



## 2.1. ЗАКОН ГРАВИТАЦИЈЕ

Још у 6. разреду смо спомињали да искуство показује да на сва тела која се налазе у простору око Земље делује привлачна сила усмерена ка центру Земље. Ова сила – сила гравитације, делује на тела, и то без њиховог директног додира са Земљом. Ми желимо да укажемо на ову особину тако што кажемо да у простору око Земље делује гравитационо поље Земље. Исак Њутн је закључио да Земља, ипак, није тако посебна, већ да се у простору око сваког тела „осећа“ његово привлачно дејство, значи постоји његово гравитационо поље.



Слика 2.1 – Гравитационо  
поље Земље

Према Њутновом закону гравитације сила узајамног привлачења два тела зависи од њихових маса и међусобног распојања. Међу шелима већих маса јасно је привлачење, ш. интензивнија сила гравитације, а повећањем распојања између тела јачина силе гравитације опада.

Идеја увођења појма поља је следећа: уместо да кажемо да ће Земља привлачiti свако тело које јој приђe, ми једноставно кажемо да око Земље постоји гравитационо поље и свако тело „осећа“ дејство тог поља као привлачну силу.

Привлачно дејство између Земље и тела, као што је познато, узајамно је и у складу са Њутновим законима. Овакве сile узајамног дејства између тела називају се **гравитационе сile**. Дакле, можемо закључити следеће.

**Између свака два тела делују гравитационе сile. Гравитационе сile између два тела међусобно су једнаке и супротних смерова.**

Гравитационе сile између два тела релативно малих маса (нпр. две клупе или две креде итд.) веома су слабе и тешко се могу измерити. Међутим, гравитационе сile између планета и других небеских тела имају велике интензитетe због њихових огромних маса.

Гравитационо узајамно деловање има своје специфичне особености. Једно од тих специфичности је својство гравитационе сile да је она једина сила **сразмерна маси**. Друго битно својство гравитационог деловања је да је оно **увек привлачно** (слика 2.1).

Изучавањем гравитационих сile, првенствено између Земље и тела на њој и између Сунца и планета, постављени су закони небеске механике, за које се показало да важе за целу природу – за сва тела у њој. Проучавајући кретање небеских тела, Исак Њутн је 1682. године математички уобличио закон, који описује узајамно (привлачно) дејство тела – **Њутнов закон гравитације**.



Слика 2.2 – Привлачно  
гравитационо дејство

## 2.2. УБРЗАЊЕ ТЕЛА ПОД ДЕЈСТВОМ ЗЕМЉИНЕ ТЕЖЕ



У простору око неког тела, па и око Земље, у свакој тачки постоји гравитационо поље, без обзира на то да ли се у тој тачки налази или не налази неко друго тело. Посредством тога поља Земља привлачи тела која се у њему налазе. Привлачна сила Земље назива се Земљина тежа. Земља привлачи књигу, јабуку, камен и друга тела, што се осећа кад се држе, на пример у шаци. Исто тако и ова тела привлаче Земљу. Кретање узроковано овим привлачењем се не опажа због огромне масе Земље у односу на поменута тела. Привлачне силе постоје и између разних тела на Земљи, али се ни оне не могу осетити због њихових малих маса. Деловање Земљине теже на тела на Земљи и у њеној близини је знатно и може се мерити.

Пошто Земља има приближно облик кугле, гравитациони сила је увек усмерена ка њеном центру (слика 2.3).



Слика 2.3 – Усмереност гравитационе силе Земље

Земља је мало спљоштена на половима па интензитет силе Земљине теже није исти на свим местима Земље. Тачке на половима Земље ближе су њеном центру, него оне на екватору. Стога је Земљина тежа већа на половима него на екватору.

Још у уводном делу смо рекли да је тежина тела повезана са гравитационом силом којом Земља привлачи тела. Конкретно, због силе Земљине теже сва тела, ако су спречена да слободно падају, притискују подлогу која их задржава или затежу конац о који су обешена.

Сила којом тело услед деловања Земљине теже, притискује непокретни ослонац на којем се налази или затежу конац о који је обешено назива се **тежина тела**.

## КРЕТАЊЕ ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ТЕЖЕ И СИЛЕ ОТПОРА

Значи мора се разликовати тежина тела од сила Земљине теже. Сила Земљине теже  $F_g$  и тежина имају исти интензитет ( $F_g = Q$ ), правец и смер, али не делују на тело у истој тачки која се назива **нападна тачка силе**. Нападна тачка теже налази се у телу и то у тачки која се назива **тежиште** (T), а тежина тела делује на тачку ослонца или вешања O (слика 2.4 а и б).

Ако се прекине конац о коме виси тело (слика 2.4в), сила Земљине теже и даље делује на тело и оно пада на земљу. Када слободно пада подлога на којој се налази тело, тело не притиска подлогу. У оба ова примера на тело делује сила Земљине теже, али тела немају тежину. Када тела на овај начин немају тежину – она су у **бестежинском стању**.

Некада се сматрало да тежа тела брже падају кроз ваздух него лакша. Такво мишљење потекло је од грчког филозофа Аристотела и владало је све док италијански научник Галилеј није проучио вертикално падање тела, касније названо **слободно падање**. Он је са различитих спратова косог торња у Пизи (Италија) пуштао лоптице различитих маса и установио да све добијају подједнако убрзање при падању (слика 2.5).

На малим растојањима, тј. на малим висинама изнад Земљине површине може се сматрати да је привлачна сила Земљине теже стална. Већ смо рекли да је сразмерна маси тела, па је онда можемо написати као

$$F_g = m \cdot g$$

где смо у други чинилац „уградили“ масу Земље, растојање тела од центра Земље и константу сразмерности. (Примећујемо да је тежина по интензитету једнака сили теже.)

На основу II Њутновог закона, ова сила саопштава свим „слободним“ телима – стално убрзање. Прецизније:

$$F_g = m \cdot a \Rightarrow m \cdot a = m \cdot g \Rightarrow a = g.$$

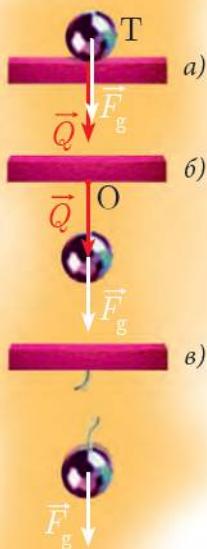
Другим речима, ово убрзање које Земљина тежа даје свим телима је једнако за сва тела и назива се **убрзање Земљине теже**.

Убрзање Земљине теже не зависи од масе тела и у близини Земљине површине износи:  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Због различитих маса планета у вакуони и њихове гравитационе силе на иста тела биће различитог интензитета. Зато убрзање тела које би падало на површину

Сунца износи  $275 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , а на површину Месеца  $1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

У безвоздушном простору тела падају према Земљиној површи. Њихово кретање је равномерно убрзано убрзањем које је једнако убрзању Земљине теже.



Слика 2.4 – Нападна тачка силе Земљине теже (а, б, в)

Убрзање Земљине теже расподеље од екватора према половима, па је на екватору

$$g_e = 9,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

а на половима

$$g_p = 9,83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Слика 2.5 – Галилејев оплед



## 2.3. ВРСТЕ КРЕТАЊА ТЕЛА ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ЗЕМЉИНЕ ТЕЖЕ



### СЛОБОДНО ПАДАЊЕ ТЕЛА

До сада сте сигурно схватили да је узрок падању тела Земљина тежа. Под дејством силе Земљине теже тела падају вертикално. У току падања на тела у већој или мањој мери утиче ваздух, тј. отпор средине кроз коју се крећу. Онда такво кретање није слободно падање.

Ваздух увек пружа отпор падању тела, при чему је сила отпора на дато тело утолико већа уколико је већа његова брзина падања. Падање металне куглице може се сматрати слободним падањем, јер је утицај ваздуха на њено кретање занемарљиво мали. Тела која имају велику површину (лишће, пахуљице снега, комадићи хартије и др.) падају веома споро. То је зато што је сила отпора ваздуха већа уколико је већа површина пресека којим тело „пробија“ ваздух. То је тзв. чеона површина.

Утицај средине на падање тела може се показати огледом, приказаним на слици 2.6. У затворену стаклену цев са славином унесу се два тела, која се знатно разликују по тежини, на пример, птичје перо и метална куглица (слика 2.6). Када се цев са отвореном славином нагло окрене, запазиће се да метална куглица пада брже од пера. Међутим, када се из цеви претходно „извуче“ ваздух, па се она нагло окрене, уочиће се да оба тела падају упоредо. Ово значи да у **безвоздушном простору** (вакууму) сва тела падају са једнаким убрзањем, без обзира на њихову тежину и величину.

Кретање које се врши само под дејством силе Земљине теже зове се **слободно падање**. Слободан пад је равномерно убрзано кретање тела без почетне брзине у безвоздушном простору (вакууму), услед делања сталне силе Земљине теже.

Зависност међу величинама које карактеришу ово кретање дата је поznатим формулама за равномерно убрзано кретање. Знамо да је убрзање којим се тело креће под дејством Земљине теже управо убрзање Земљине теже ( $g$ ). Дакле, брзина тела изнад површине тла у сваком тренутку је:

$$v = g t.$$

Пут који тело прелази у току слободног пада износи:

$$h = \frac{1}{2} g t^2.$$

Наравно да се ово односи на случај пре но што тело удари о тло.



Слика 2.6 – Оштарно дејство ваздуха

# КРЕТАЊЕ ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ТЕЖЕ И СИЛЕ ОТПОРА

## ПРИМЕР

Према познатим подацима и видео-снимцима, може се „узети“ да се метеоролошки балон у току рада налази на висини од 5400 m изнад тла. Након завршених истраживачких радова, балон се „распадне“. Проценити брзину удара поједињих делова тог балона о тло!

### Подаци:

$$H = 5400 \text{ m}$$

$$v_u = ?$$

### Решење:

Брзина тела, које слободно пада, у тренутку његовог удара о тло је:  $v_u = g t_u$ , где је  $t_u$  – укупно време падања тог тела. Оно се може одредити из висине падања  $H$ :

$$H = \frac{1}{2} g t_u^2 \Rightarrow t_u^2 = \frac{2H}{g}.$$

Ако се израз за брзину квадрира, следи:

$$v_u^2 = g^2 t_u^2 = g^2 \frac{2H}{g} = 2gH.$$

Брзина удара делова метеоролошког балона о тло може се проценити на:

$$v_u = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5400 \text{ m}} = 325,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Овде је наглашено процењивање брзине, јер се прорачун односи само на слободно падање. Из разних снимака падања тела са тако великих висина види се да се јавља и велики отпор ваздуха, услед чега ће се делови балона загревати и горети.

Уочиће везу  
брзине и пређеној  
пути (последња  
формулa) јер ће се  
она касније кори-  
стиши (при обради  
одржана енергије).



## ХИТАЦ НАВИШЕ

Посматрајмо тело које на неки начин шаљемо вертикално увис почетном брзином  $v_0$  (положај 1 на слици 2.7). То се остварује, рецимо, испаљивањем из неког оруђа. Одатле и потиче назив хитац навише, мада се ми задовољимо тиме да лопту бацимо увис. На ово тело, док се пење увис, стално наниже делује сила теже која му „даје“ константно успорење  $g$ . Ово је онда типичан пример равномерно успореног кретања.

Израз за брзину у тренутку  $t$  после избацивања износи:

$$v = v_0 - gt.$$

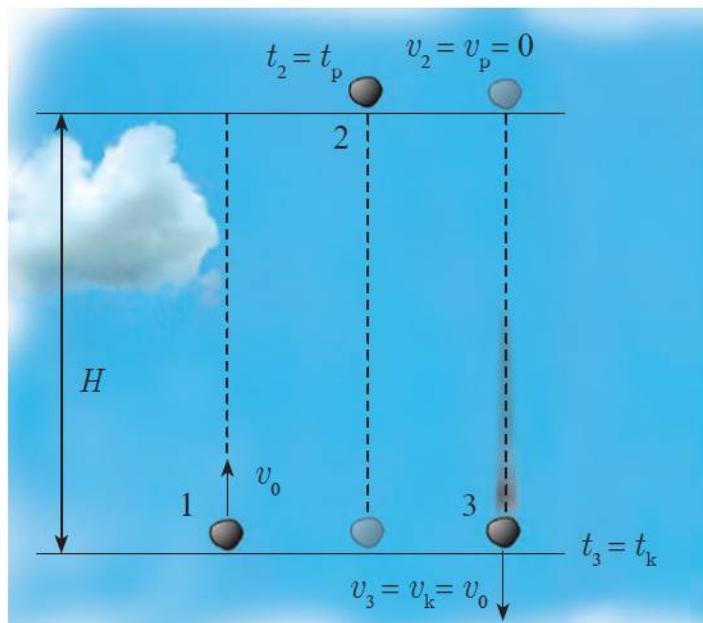
Приликом пењања тело се подиже на све већу висину (изнад почетног положаја избацивања):

$$h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2.$$

Размишљајмо шта се дешава са телом које се баца вертикално увис. Оно се креће вертикално – навише, али све спорије и спорије и у једном тренутку се зауставља. Том тренутку  $t_p$  (слика 2.7, положај 2) одговара ситуација када је  $v = v_p = 0$ . Временски интервал потребан да тело достигне максималну висину износи:

$$t_p = \frac{v_0}{g}.$$

Одмах пошто је застало, у положају 2, тело почиње да пада. Оно пада слободно и за време ( $t_k$ ) једнако времену пењања  $t_p$  достиже брзину  $v = g t_k$  која је управо једнака  $v_0$ . Укупан пређени пут је  $2h$ , а померај тела је једнак нули!



Слика 2.7 – Вертикалан хитац и слободан пад тела

ПРИМЕР

Дечак каменчићем гађа врану (слика 2.8) која мирује на грани тачно 16,51 m изнад њега. Ако дечак из руке избаци камен брзином од  $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , да ли ће камен моћи да погоди врану? Колико врана има времена да одлете када примети да је дечак избацио камен увис према њој? Ако врана одлете, камен ће само доћи до места где је она била. Онда ће се враћати према дечаку. Колико дечак има времена да се склони од камена кад уочи да је он почео да слободно пада? Коликом брзином се камен враћа на почетни ниво?

Подаци:

$$H_v = 16,51 \text{ m}$$

$$v_0 = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$H=?$$

$$t_1=?$$

$$t_2=?$$

$$v_2=?$$



Слика 2.8 – Несташни дечак и врана на грани

Решење:

1. Посматрамо вертикалан хитац камена у вис са почетном брзином  $v_0 = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Време пењања  $t_1$  камена добијамо из чињенице да је на крају пењања камен застao ( $v_1 = 0$ ):

$$v_1 = v_0 - gt_1 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{g}.$$

Висина пењања камена је:

$$\begin{aligned} H &= v_0 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 = v_0 \frac{v_0}{g} - \frac{1}{2} g \left( \frac{v_0}{g} \right)^2 = \\ &= \frac{v_0^2}{2g} = \frac{18^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 16,51 \text{ m} = H_v. \end{aligned}$$

То значи да ће дечак само добацити камен до вране!

2. Од тренутка избацивања камена из дечакове руке па до стизања камена на највиши ниво (до вране) протекне време пењања:

$$t_1 = \frac{v_0}{g} = \frac{18 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,84 \text{ s.}$$

Управо толико врана има времена да одлете или да се помери са места до којег ће камен стићи.

3. Из највише достигнутог положаја, камен почиње слободно падање. Укупно време падања камена, на основу претходног примера, је једнако:

$$t_2^2 = \frac{2H}{g} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot v_0^2}{2g}} = \frac{v_0}{g} = t_1.$$

Дакле, време пењања код хица увис једнако је времену падања код слободног пада (у току кретања једног тела нагоре и надоле). Онолико колико је врана имала времена да се помери од тренутка избацивања камена, толико има и дечак времена да се склони од камена рачунајући од тренутка када почне да пада.

4. Пошто је код слободног пада  $v = g t$ , камен ће се вратити на почетни ниво брзином:

$$v_2 = g \cdot t_2 = g \cdot t_1 = v_0$$

која је по величини једнака почетној брзини тог тела. Наравно да су те брзине и истог правца, али супротног смера!

### ХИТАЦ НАНИЖЕ

Посматрамо кретање тела баченог наниже почетном брзином  $v_0$ . После истека времена  $t$  од почетка, брзина тела ће износити:

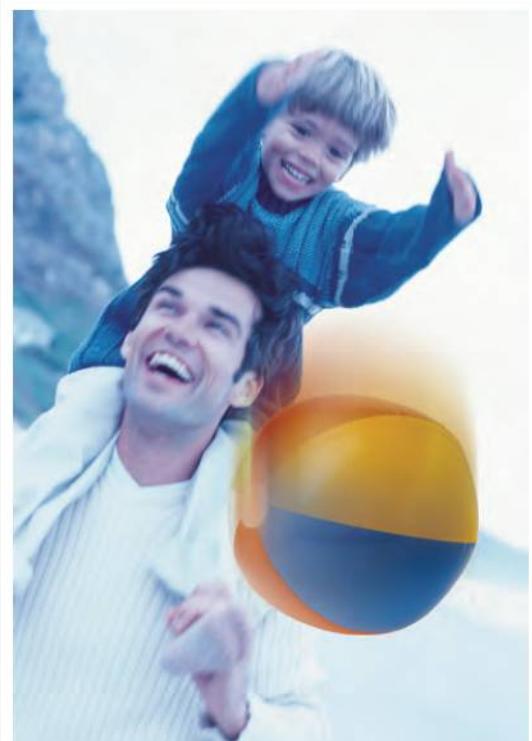
$$v = v_0 + g t,$$

јер се оно кретало равномерно убрзано са  $a = g$ .

Пређени пут тела (мерен наниже од тачке бацања до тренутка  $t$ ) једнак је:

$$h = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2.$$

Сами можете разрадити све детаље ове примене равномерно убрзаног кретања.





## 2.4. ОТПОР КРЕТАЊУ ТЕЛА

Свако тело у кретању, у реалним – свакодневним условима, по престанку дејства „вучне“ силе успорава и, после извесног времена, заустави се. Разлог том успореном кретању су силе које се противе сваком кретању. То су **силе отпора кретању**. Оне су увек истог правца, а супротног смера од кретања тела.

Постоје две основне врсте тих сила у природи. Једне су последица трења, а друге – **отпора средине**.

На њих смо указивали приликом анализе падања тела. Из свакодневног живота знамо да се са њима срећемо свуда – па и кад посматрамо кретање тела по некој подлози: вожња аутомобила по аутопуту или кретање воза по шинама, пловидба чамца по површини воде или клизање групе клизача по залеђеном језеру. Али исто тако и код падобранаца, змаја и једрилице у лету или приликом заустављања брзих аутомобила или летилица на писти.

### ТРЕЊЕ

У спознаји природе и њених основних законитости у 6. разреду учили смо и о узајамном деловању тела. Поред гравитационе, електричне и магнетне, изучавали смо и силу трења. Већ смо тада запазили да постоје два различита трења.

У зависности од тога да ли неко тело клизи или се котрља по површини другог тела, постоји **трење клизања и трење котрљања** (слика 2.9).

**Сила трења клизања** сразмерна је сили којом се узајамно притискују два тела, тј. сили која делује нормално на подлогу  $F_N$ :

$$F_{\text{tr}} = \mu F_N,$$

где је  $\mu$  (грчко слово, чита се „ми“) коефицијент трења и зависи од особина оба тела чије се површине додирују, али не зависи од величине додирне површине тих тела.



Слика 2.9 – Различите врсте трења

При клизању неравнине једног тела задиру у неравнине другог тела, док се при котрљању оне само додирују. Због тога је коефицијент трења котрљања мањи од коефицијента трења клизања, па је и сила трења котрљања мања од силе трења клизања. Ово се нарочито запажа код возила и других машина са точковима и обртним деловима са котрљајућим лежајевима (слика 2.10).

### ОТПОР СРЕДИНЕ

Речено је да тела у ваздуху не падају слободно због отпора ваздуха. Отпор ваздуха се може осетити ако се маше већим картоном. При кретању отворене шаке кроз воду осећа се још већи отпор. Кад се тела крећу, било кроз гасовиту, било кроз течну средину, на свом путу наилазе на молекуле средине, услед чега се јавља отпор кретању кроз ту средину.

**Отпор средине** је сила којом се средина супротставља кретању тела кроз њу.

Кретање человека кроз воду знатно је отежано управо због силе отпора. Ако човек покуша да трчи кроз воду, сила отпора је још већа. То значи да је сила отпора сразмерна интензитету брзине тела. Ова сила такође зависи и од димензија (величине) тела.

Отпор средине не настаје само при кретању тела, већ и при кретању средине која их окружује. Највећи отпор пружа тело у облику отвореног кишобрана. Ово је разлог што падобрани или „људи-змајеви“ имају сличан облик.

Многобројним мерењима је показано да интензитет силе отпора средине зависи од:

- густине средине,
- брзине кретања,
- чеоне површине тела и
- облика тела.

Од авиона, ракета, аутомобила и подморнице захтева се знатно већа брзина кретања, па се граде тако да им је облик што приближнији аеродинамичном облику (као кишна кап или суза), како би се „штетни“ отпор средине што више смањио. Птице и рибе такође имају аеродинамичне линије, како би се брже пробијале кроз ваздух и воду. Ипак, постоје и ситуације када је овај отпор користан, па га треба и повећати. То је случај са падобраном.



Слика 2.10 – Отпор котрљања је мањи од отпора клизања



Сила отпора воде

## КРЕТАЊЕ ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ТЕЖЕ И СИЛЕ ОТПОРА

Падобранци задивљују својом храброшћу и вештином када искачу из авиона са висине од неколико километара над земљом, а отварају падобран тек на неколико стотина метара изнад тла. Овакви подухвати се називају скок са задршком. Свакако да се брзина падобранца не повећава све време у току његовог падања. Она расте само првих десетак секунди, док се сила отпора ваздуха не изједначи са силом теже, која делује на падобранца. Од тог тренутка падобранац пада сталном брзином, а када отвори падобран, његова брзина за врло кратко време постане много мања. Брзина којом се падобранац приближава Земљином тлу износи око  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , тако да је доскок безбедан.



## ПОСЕБНО УПАМТИТИ

Између свака два тела делују **гравитационе силе**. Гравитационе силе између два тела међусобно су једнаке и супротних смерова.

**Гравитационо узајамно деловање** има посебна својства:

- узрок или услов постојања је маса тела;
- увек је привлачно.

**Њутнов закон гравитације:** интензитет гравитационе силе сразмеран је производу маса тела и опада са повећањем њиховог међусобног растојања.

Привлачна сила Земље назива се **Земљина тежа**.

Убрзање које Земљина тежа даје свим телима једнако је и назива се **убрзање Земљине теже**. Оно не зависи од масе тела и у близини Земљине површи износи:

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Сила којом тело услед деловања Земљине теже притиска непокретни ослонац на којем се налази или затеже конац о који је обешено назива се **тежина тела**.

Врсте кретања тела под дејством силе Земљине теже:

- *слободан паѓ*

$$v = gt, \quad h = \frac{1}{2} g t^2, \quad v_u^2 = 2gH.$$

- *хитац навише*

$$v = v_0 - gt, \quad h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2, \quad H_p = \frac{v_0^2}{2g}.$$

- *хитац наниже*

$$v = v_0 + gt, \quad h = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2.$$

Силе трења и отпора средине увек се супротстављају кретању тела.



Камион са „сјојлером“

„Аеродинамична линија“ није бићна само за лејтилице и сијореске, па и обичне аутомобиле, и „сјојлери“ на камионима служе смањењу отпора ваздуха чиме се штеди гориво.

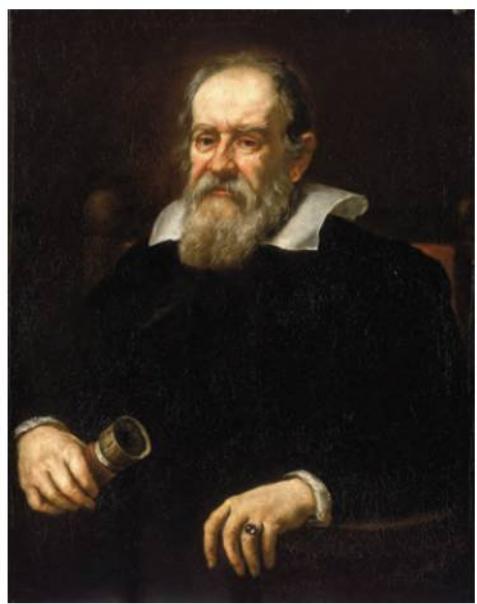
ПИТАЊА

1. Зашто интензитет Земљине теже није исти на свим местима на Земљи?
2. Колико пута је „слабија“ гравитациона сила на Месецу од Земљине гравитационе силе?
3. Какво је кретање вертикалан хитац наниже без почетне брзине?
4. Ако се зна почетна брзина хица увис, колико прође времена док се избачено тело слободно врати?
5. Да ли су почетна брзина тела баченог увис и брзина његовог удара о почетни положај после слободног пада потпуно једнаке?
6. Чему је једнака средња брзина слободног пада са висине  $H$ ?
7. Чему је једнака средња брзина кретања тела током хица навише почетном брзином  $v_0$ ?
8. Када се у току кретања аутомобила искључи мотор и возач не кочи, тај аутомобил се успорава. Које силе то узрокују?
9. Да ли би се било ко на Земљи могао кретати да не постоји трење?
10. Да ли птице током лета користе отпор ваздуха?



## Необично признање Галилеју

Галилео Галилеј је предвиђао оно што је исти врђено каснијим оследи-  
ма – да у безваздушном простору сва тела падају истијуно једнако,  
што је само по дејством силе теже, и то правитационим убрзањем. Једну  
необичну истијврду ове Галилејеве истраживањавке извели су астронавти  
„Апола XV“ када су се сукли на Месец. Они су већину својих акција  
изводили у директном телевизијском преносу. У једном моменту један од  
њих каже: „А да ли ћемо ми моћи да се вратимо кући? Шта ако је Галилеј  
потрешио у својим прорачунима? Да проверимо.“ Узима (очиједно унајред  
припремљене) штиче перо у једну руку, а чекић у другу и пушта их да  
истовремено падају. Под дејством слабије Месечеве привлачење они падају  
лајано и, што је много бишвије, падају упоредо и заједно стижу на тло.  
„Галилеј је био у праву. Ишак стижемо кући!“, узвикује астронавт огађујући  
што им признање не само Галилеју већ и свим научницима чији је рад омо-  
гућио тако величанствен подухват као што је висионски леђ.



Галилео Галилеј (1564–1642)

Славни италијански физичар, математичар и астроном, творац је познате изреке да је „књига Природе писана језиком математике“.



## РАВНОТЕЖА ТЕЛА

Таман када смо савладали кретање тела на које делује сила, постављамо другачији проблем: шта се дешава када на тело делују сile а оно ипак мирује? Та ситуација је много чешћа него што бисте и помислили јер у ствари улице којима пролазите и зграде у које улазите мирују, бар на Земљи. Да није тако, тешко бисмо се сназили, не бисте били сигурни ни где вам је школа. Поред тога, од вас се обично тражи да на часу мирујете што је такође веома тешко, али некако успевате. Дакле, сада се бавимо мировањем а не кретањем, а оно постоји само ако су сile које делују на тело у равнотежи. Други део текста се, међутим, односи управо на „превладавање“ равнотеже, тј. покретање тела, за то нам служе машине. Све оне су састављене од неких основних делова који се називају просте машине. Основна проста машина је полуга и бавићемо се њоме. Коначно, упознајемо силу потиска која делује на тело потопљено у течност и онда објашњавамо пливање тела помоћу слагања сила и равнотеже.





### 3.1. ДЕЛОВАЊЕ ДВЕ СИЛЕ НА ТЕЛО ДУЖ ИСТОГ ПРАВЦА (СЛАГАЊЕ И РАЗЛАГАЊЕ СИЛА)

Већ смо добро упознали силу као меру узајамног деловања међу телима и рекли да је одређена јачином, односно интензитетом, затим правцем и смером деловања. За све силе, као и за силу Земљине теже карактеристична је и **нападна тачка**, која представља место на (или у) телу у којем дејствују те силе.

У свакодневним условима, тела су изложена истовременом деловању више сила различитих праваца. Посматраћемо прво случајеве када постоји неколико сила које делују дуж истих праваца.



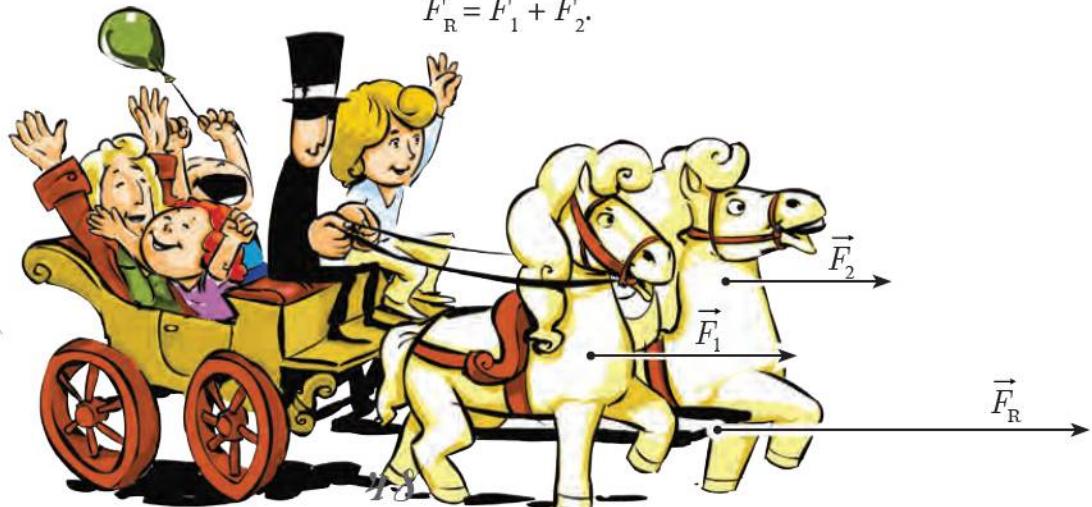
Ако један човек не може да извуче напаравена колица уз стрму улицу, помаже му други човек (слика 3.1). Сваки од њих дејствује извесном силом. Учинак обе ове силе једнак је учинку само једне силе којом би деловао снажан човек кад би сâм вукао иста колица на исти начин.

Сила која може заменити деловање двеју или више сила назива се **резултант**, а силе које она замењују називају се **компоненте**.

Поступак одређивања резултанте датих сила назива се **слагање сила**. При слагању сила може наступити више посебних случајева, што зависи од праваца деловања сила, њиховог смера и интензитета. Најједноставнији случај је када сile имају исти правац.

Када дуж истог правца сile имају исти смер, резултантa  $F_R$  има исти правац и смер као и њене компоненте  $F_1$  и  $F_2$ , а њен интензитет једнак је збиру интензитета тих компонената (слика 3.2). Наиме:

$$F_R = F_1 + F_2.$$



Слика 3.1 – Слање сила дуж истог правца

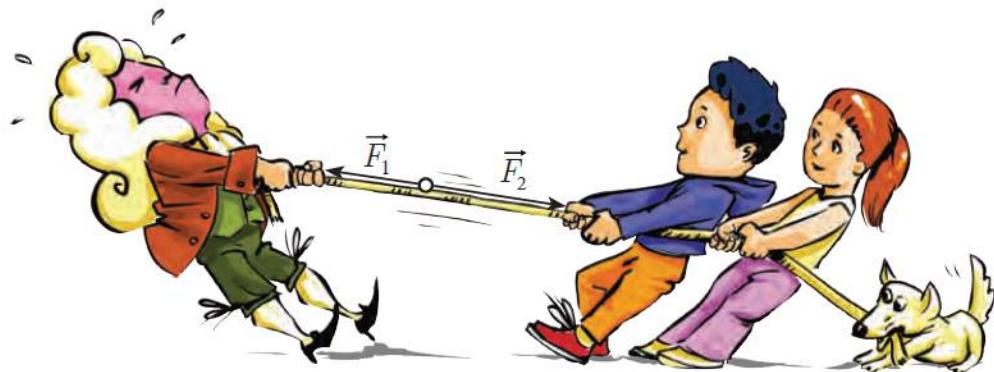
Сile које делују дуж истог правца, значи дуж исте праваце линије називају се колинеарне сile.

Слика 3.2 – Слање сила истог правца и смера

Интензитет резултантне двеју сила истога правца, али супротних смерова једнак је њиховој разлици:

$$F_R = F_2 - F_1.$$

Резултанта има смер силе већег интензитета, у овом случају силе  $F_2$  (слика 3.3).



Слика 3.3 – Слајање сила истих правца, али супротнога смера

Као што се деловање двеју или више сила може заменити њиховом резултантом, тако се и једна сила може заменити са више компонената. Поступак за налажење компонената сила назива се **разлагање сила**. Опет ћемо посматрати само разлагање на две или више сила дуж истог правца.

Појава разлагања силе на компоненте може се посматрати свакодневно. Један такав пример приказан је на слици 3.4. Тежина трупца се разлаже на четири компоненте тако да сваки извиђач „носи“ четвртину терета, а на сваку руку извиђача „отпада“ свега једна осмина тежине трупца. Наравно, и тежина веверице оптерећује руке извиђача, али се она, у поређењу са тежином трупца, може занемарити.



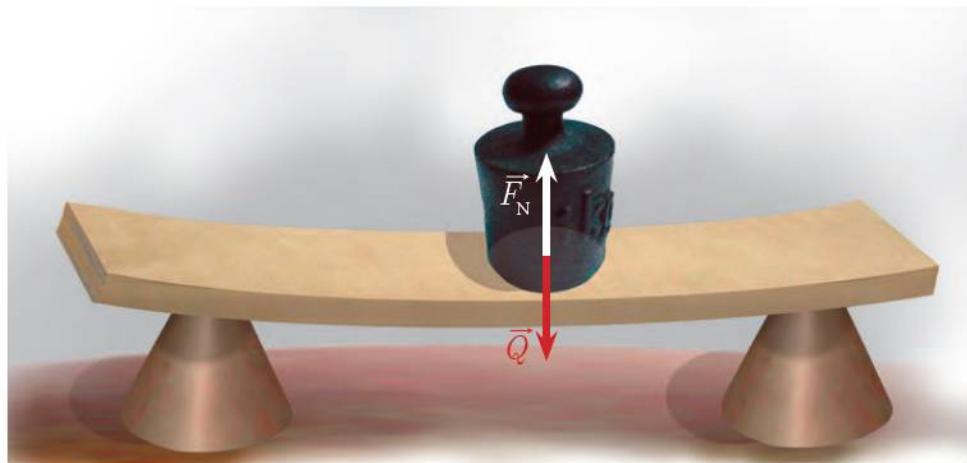
Слика 3.4 – Разлајање сила на компоненте истих правца



### 3.2. ПОЈАМ И ВРСТЕ РАВНОТЕЖЕ ТЕЛА

Често се догађа да тело мирује иако на њега делује истовремено више сила. У том случају каже се да је **тело у равнотежи**.

Тело на слици 3.5 стоји мирно на подлози јер је у равнотежи зато што на њега делују две силе које су једнаке по интензитету и то сила Земљине теже  $F_g$  и нормална компонента отпора подлоге  $F_N$  (понекад се обележава и само са  $N$ ). Важно је уочити да је нормална компонента сile отпора подлоге  $F_N$  реакција на тежину тела  $Q$ , при чemu  $F_N$  делује на тело а  $Q$  на подлогу.



Слика 3.5 – Тело у равнотежи појединачно дјеловању две силе

Равнотежа ће настати ако деца крајеве ужета вуку једнаким силама у супротним смеровима (слика 3.6).



Слика 3.6 – Равнотежа свих сила

На основу наведених и сличних примера може се извести следећи закључак.

**Тело на које делују две или више сила је у равнотежи ако је њихова резултантта једнака нули.**

Део механике у коме се проучава равнотежа тела (односно сила) у условима мировања, назива се **статика**. Познавање статике, односно услова при којима се тела налазе у мировању, врло је важно, на пример, при изградњи мостова, телевизијских торњева, машина, зграда итд.

Равнотежа сила може да постоји и код тела које се креће, али тада силе које делују не изазивају промену брзине тог тела. Под равнотежом се, дакле, не подразумева само **стање мировања** тела, већ и **стање равномерног праволинијског кретања** тела, тј. таквог кретања код којег нема убрзања. То кретање је и кретање по инерцији (I Њутнов закон).

Једноставан пример је питање зашто ми баш стојимо на подлози. Ако би на наше тело деловала само сила Земљине теже, требало би да кроз подлогу пропаднемо. То што не пропадамо значи да на нас делује и нека сила навише. Оно што зовемо тежином управо је сила којом

ми, услед силе теже, притискамо подлогу. Откада смо

упознали III Њутнов закон, јасно нам је да и подлога делује на нас силом реакције која се

обично назива **отпор подлоге**. Ова

сила се обележава са  $N$  и на хо-

ризонталној подлози је усме-  
рене управо вертикално

увис. Наравно, по закону  
акције и реакције, она

је једнака тежини тако  
да је наше тело у рав-  
нотежи. Због истовре-

меног деловања силе  
теже и отпора подло-  
ге, нећемо пропадати  
кроз подлогу али ни  
полетети увис.

Може се подесити да чврсто  
тело не пада иако је подупрто  
само у једној тачки (слика 3.7).

У овом случају на тело делују  
две силе – сила Земљине  
теже и сила мишића

(сила отпора под-  
логе). Те силе су у

равнотежи, пошто се  
тело под њиховим дејством не креће.



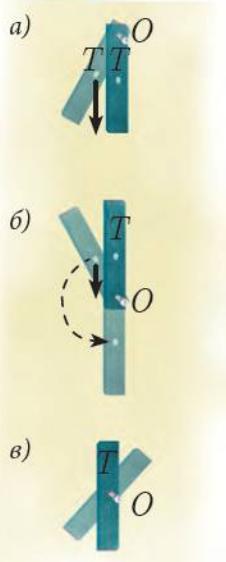
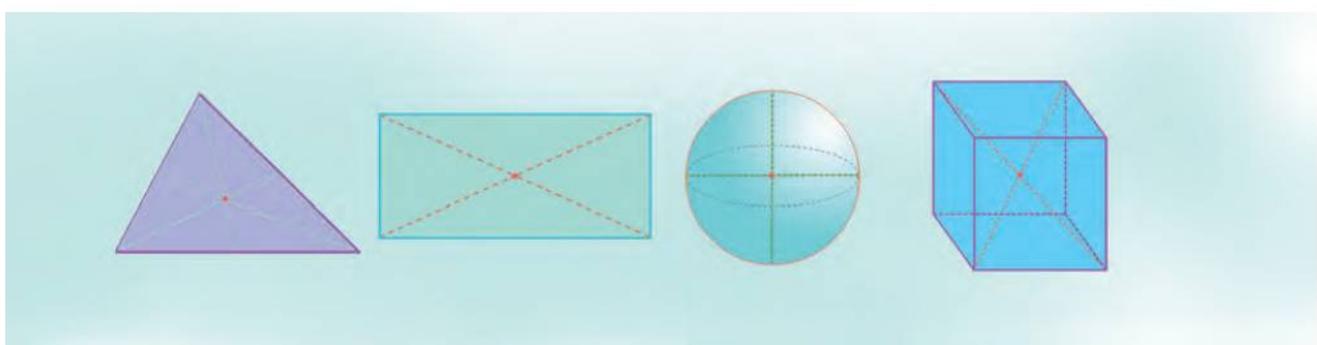
Слика 3.7 – Подујрића равнотежа

### ТЕЖИШТЕ И РАВНОТЕЖЕ ТЕЛА

Као што је познато, свако тело се састоји из делића (молекула). Силе теже тих делића могу се представити паралелним силама, усмереним вертикално надоле. Слагањем свих ових сила добије се резултантса  $Q$ , која представља силу теже тј. тежину целог тела. Њена нападна тачка је **тежиште тела** ( $T$ ).

**Нападна тачка сile теже тела зове се тежиште тела.**

Тежиште тела се налази у пресеку тежишних линија, а код правилних геометријских тела се одређује геометријски.



Слика 3.8 – Тежиште код неких геометријских тела

Код троугласте плоче тежиште се налази у пресеку тежишних линија, код правоугаоне плоче у пресеку дијагонала, као и код квадра, док се код лопте тежиште налази у њеном средишту (слика 3.8). Ово важи под условом да је густина супстанције у целом телу једнака, тј. да је тело хомогено.

У зависности од међусобног положаја ослонца  $O$  и тежишта тела  $T$  постоје три врсте равнотеже тела (слика 3.9):

- ако се ослонац налази изнад тежишта, тело је у **стабилној равнотежи**,
- ако је ослонац испод тежишта, тело је у **лабилној равнотежи** и
- кад се ослонац и тежиште поклапају, тело је у **индиферентној равнотежи**.

Слика 3.9 – Равнотежни положаји

Тело у њочејном положају је обојено шамније а свешиље положаји тела када се оно изведе из равнотеже.

Стабилна равнотежа је постојана, јер ако се тело изведе из положаја стабилне равнотеже, оно се поново враћа у овај положај. Лабилна равнотежа тела је непостојана, јер се тело изведену из ове равнотеже само од себе никада не враћа у првобитни положај. Када је тело у индиферентној равнотежи, задржава се у положају у коме се остави.

### 3.3. ПОЛУГА И МОМЕНТ СИЛЕ



При подизању неког великог камена често није довољна сила мишића. Зато се морају употребити оруђа која ће у томе помоћи. За подизање камена који се не може померити само рукама, употребљава се дебљи штап (слика 3.10). Један крај тог штапа подвуче се испод камена и постави непокретан ослонцац. Кад се на други – дужи крај тог штапа делује силом мишића, камен ће моћи да се подигне. Такво оруђе се назива **полуга**.

Она се обрће око тачке подупирања – непокретног ослонца полуге. Ако се терет подигне на извесну висину и престане деловање силом, терет пада и враћа полугу у првобитан положај. Дакле:

**Полуга је свако чврсто тело које може да се обрће око непокретног ослонца, а на које истовремено делују бар две силе, са тежњом да изазову супротна обртања око њеног ослонца.**

Нормално растојање ( $a$ ) између ослонца полуге  $O$  и правца деловања силе назива се **крак силе**, а нормално растојање ( $b$ ) између ослонца полуге и правца деловања терета јесте **крак терета** (слика 3.11).

Производ силе и њеног крака назива се **момент силе** или **обртни момент**:

$$M_S = F \cdot a.$$

Момент силе је физичка величина изведена из силе и дужине. Јасно да му је и мерна јединица производ јединице силе (N) и дужине (m), дакле Nm.

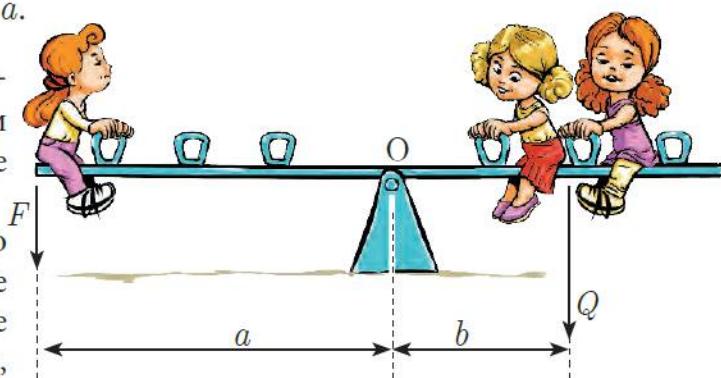
Морамо овде мало да се замислимо зашто уводимо нову величину. Када се делује силом на чврсто тело које може да се обрће око непокретног ослонца, посебно је важно на ком растојању од ослонца ће бити нападна тачка силе. Из тих разлога уводимо момент силе овако како је дефинисан.

По аналогији, **момент терета** је:

$$M_T = Q \cdot b.$$



Слика 3.10 – Померање камена помоћу полуће



Слика 3.11 – Двокрака полућа

## РАВНОТЕЖА ПОЛУГЕ И ЊЕНА ПРИМЕНА

Када полууга, под дејством силе и терета, мирује, онда је полууга у равнотежи. Полуга је у равнотежи ако је момент силе једнак моменту терета:  $M_s = M_T$ . Овај закључак написан у математичком облику представља закон полууге:

$$F \cdot a = Q \cdot b \quad ==> \quad \frac{F}{Q} = \frac{b}{a}.$$

**Интензитет сile је онолико пута мањи колико је пута њен крак већи од крака терета.**

Употреба полууге омогућава да се мањом силом подигне већи терет. Примена овога је честа у свакодневном животу, на пример, код алатки: клешта, маказе, лопата и др.



### ПРИМЕР

Још мало размишљања:  
момент сile сe уводи  
га би сe описала  
ситуација у којој  
сile не изазивају  
померање тела дуж  
праве линије, али  
изазивају његово  
обршање. Због штоа  
је битно да размо-  
щимо равнотежу у  
односу на обршање  
(рошију).

Дечак тежине 200 N седи на клацкалици на удаљености 2 m од тачке ослонца. На коју удаљеност од тачке ослонца мора сести његов отац тежине 800 N да би клацкалица била у равнотежи? Колики су моменти сила?

Подаци:

Решење:

$$Q_1 = 200 \text{ N}$$

$$Q_1 \cdot b_1 = Q_2 \cdot b_2$$

$$b_1 = 2 \text{ m}$$

$$b_2 = \frac{Q_1 \cdot b_1}{Q_2} = \frac{200 \text{ N}}{800 \text{ N}} \cdot 2 \text{ m} = 0,5 \text{ m}$$

$$Q_2 = 800 \text{ N}$$

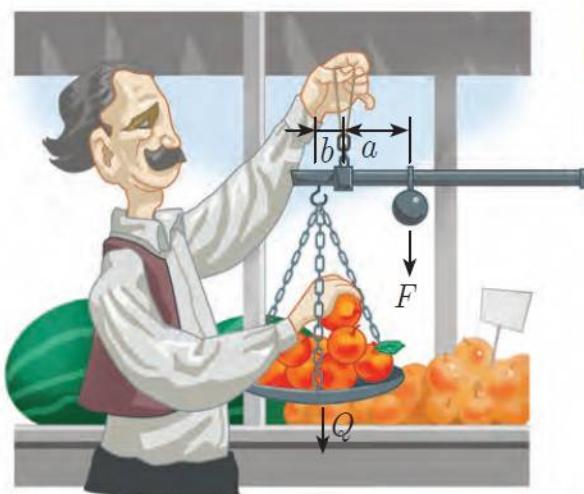
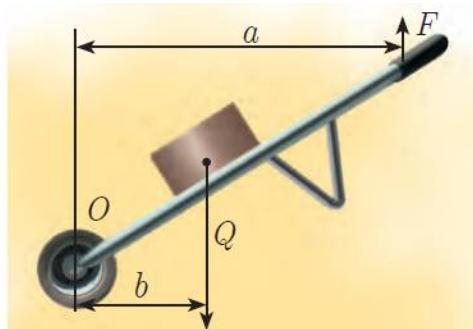
$$M_1 = Q_1 \cdot b_1 = 200 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 400 \text{ Nm}$$

$$b_2 = ?$$

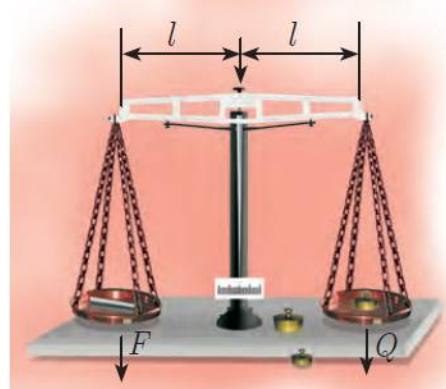
$$M_2 = Q_2 \cdot b_2 = 800 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m} = 400 \text{ Nm}$$

Ако сила и тежина терета делују са супротних страна у односу на ослонац полууге, као што је у досадашњим примерима, онда се таква полууга назива двострана полууга.

Ако сила и тежина терета делују са исте стране ослонца, онда је то **једнострана полууга** (слика 3.12).

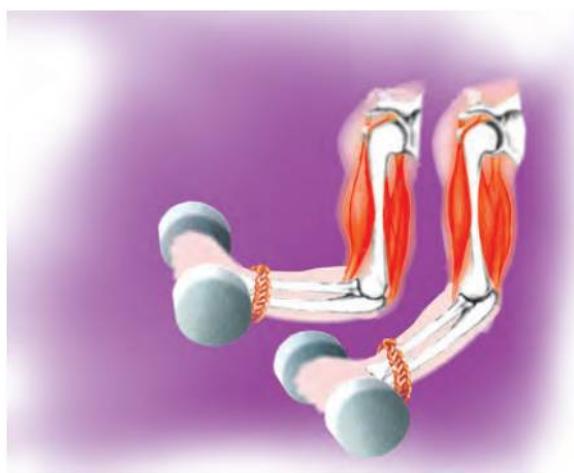


Слика 3.13 – Двострана разнокрака полууга – кантар

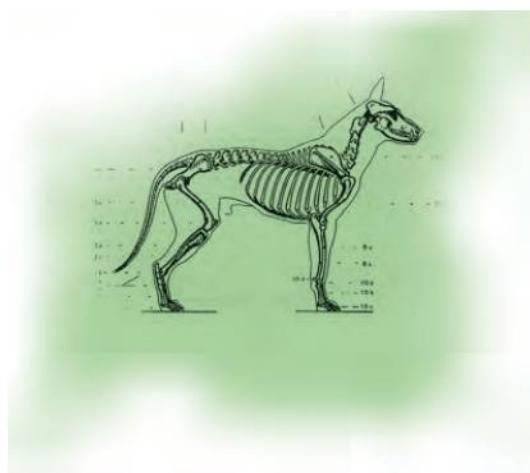


Слика 3.14 – Двострана равнокрака полууга – теразије

Код полууге се најчешће крак силе и крак терета разликују по дужини. Таква полууга је **разнокрака** (слика 3.13). Ако је крак силе једнак краку терета, полууга је **равнокрака**. Такву полуугу, на пример, представљају теразије (слика 3.14).



Слика 3.15 – Кости су полууге



Слика 3.16 – Скелет иса

Слика 3.12 – Једнострана полууга – колица

Човечије тело је „прецино“ полууга. У ствари скоро свака кости (слика 3.15), осим костију главе, јесу полууга.

Костију човеку помажу у крећању и вршењу других механичких радњи. Кости – полууге – покрећу се помоћу мишића. Мишићи су шетавима повезани са костијима и злободвима. Злободви су месна снага више костију па преостављају и ослонце полууга – костију.

На слици 3.16 је приказан скелет иса. Ту се лако виде кости и злободви.



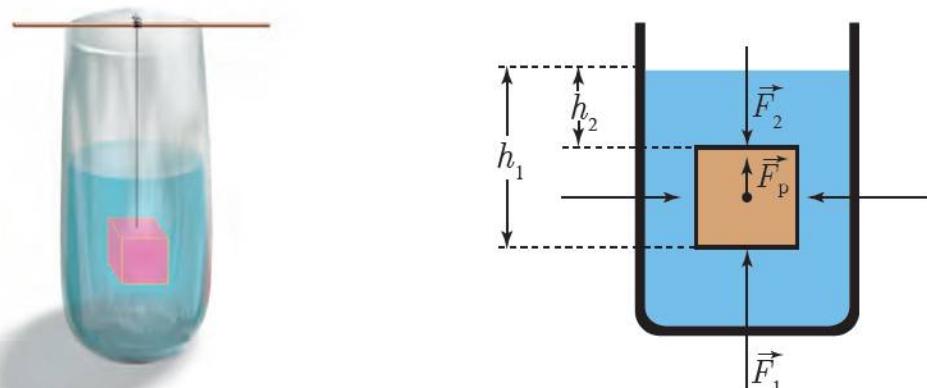
### 3.4. ПОТИСАК И АРХИМЕДОВ ЗАКОН

При захватању воде кофом, делује се слабијом силом док се она извлачи кроз воду него кад је она на путу кроз ваздух. Када се у воду зарони гумена лопта и пусти – испливаће на водену површ. Ако се о динамометар окачи комад метала, а затим зарони у воду, динамометар ће показати да је у води тежина тог комада метала мања.

Ове појаве су последица дејства течности на тела која су у њу зарођена. Сила којом течност делује на тела која се у њој налазе, назива се **сила потиска**, а само дејство – **потисак**. Сила потиска, такође, делује и на сва тела која се налазе у ваздуху или у неком другом гасу.

Да би се објаснила ова појава и одредила сила потиска, користи се цртеж приказан на слици 3.17. Било би пожељно да се подсетите појма хидростатичког притиска из градива физике за 6. разред. На сваки насправни део бочних страна квадра, зарођеног вертикално у воду, делују једнаки хидростатички притисци јер су они на истој дубини.

Ово условљава и да су једнаке и силе којима течност делује на супротне бочне стране квадра. Оне су истог правца али супротног смера, па су међусобно уравнотежене. То значи да се тело неће кретати услед деловања бочних сила нити ће бочне сile утицати на тежину потопљеног тела.



Слика 3.17 – Дејство хидростатичких притисака

Међутим, на доњу основу квадра течност делује силом већег интензитета ( $F_1$ ) него што је интензитет сile  $F_2$ , која делује на горњу површ квадра јер је она на мањој дубини. Резултат тога је сила која делује навише и која представља силу потиска ( $F_p$ ):

$$F_p = F_1 - F_2,$$

Потребно је одредити интензитет сile потиска. Овај проблем је још у III веку пре нове ере решио грчки научник **Архимед**. То се једноставно може урадити помоћу прибора приказаног на слици 3.18.



Слика 3.18 – Одређивање силе потиска

На еластичну опругу (динамометар) окачи се посуда и тело произвољног облика. Истезање опруге забележи се на стативу (слика 3.18а). Затим се испод тела стави суд напуњен течношћу до бочног отвора. Када се у тај суд тело потпуно потопи, кроз бочни отвор истече у чашу течност, чија је запремина једнака запремини потопљеног тела. Стрелица опруге се при томе подиже и опруга се скраћује јер на потопљено тело делује навише и сила потиска. Иако је маса тела остала иста, тежина тела као сила која затеже опругу је мањег интензитета (слика 3.18б). Ако се у посуду улије телом истиснута течност, стрелица опруге се спушта до обележеног почетног положаја на стативу (слика 3.18в). На основу огледа следи:

**Сила потиска једнака је тежини телом истиснуте течности.**

Овај закључак је познат под називом **Архимедов закон**.

Све што је речено за потисак у течностима важи и за потисак у гасовима. На свако тело које се налази у гасу делује, према Архимедовом закону, сила потиска једнака тежини истиснутог гаса. Величина сile потиска у ваздуху у поређењу са силом потиска у некој течности знатно је мања због мале вредности густине истиснутог гаса. Дејство сile потиска у гасовима нарочито је изражено код ваздушних балона.

Одређивањем вредности тежине истиснуте течности истовремено се одређује и интензитет сile потиска. Ова вредност се израчунава помоћу обрасца:

$$F_p = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g.$$

У овом изразу,  $\rho = \frac{m}{V}$  је густина течности (или гаса),  $V$  је запремина зароњеног тела, а  $g$  је убрзање Земљине теже.

### ПЛИВАЊЕ И ТОЊЕЊЕ ТЕЛА

На тело зароњено у течност у вертикалном правцу делују две силе:

- тежина тела  $Q$ , са смером наниже и
- сила потиска  $F_p$ , са смером навише.

Под дејством ових сила зароњено тело се креће у смеру дејства резултујуће силе. При томе могу наступити следећа три случаја.

- 1) Ако је тежина тела већа од сile потиска ( $Q > F_p$ ) – **тело тоне**.
- 2) Ако је тежина тела једнака сили потиска ( $Q = F_p$ ) – **тело лебди** и може се налазити у равнотежи на било ком месту у течности.
- 3) Ако је тежина тела мања од сile потиска ( $Q < F_p$ ) – **тело плива**.

У случају када тело испливава, на њега делује иста сила потиска све док оно не достигне површину течности. После тога се сила потиска смањује док се не изједначи са тежином тела. Тада тело плива у течности, делимично зароњено у њу.

На слици 3.19 приказана су сва три случаја. Боце су једнаке спољне запремине, али су им тежине различите услед додавања различитих количина песка или оловних куглица. Када се ове боце зароне у течност, на њих делују једнаке сile потиска због њихових једнаких спољних запремина. У првом случају у боцу је стављено толико куглица да јој је тежина већа од сile потиска, услед чега је она потонула на дно суда. У другом случају ове сile су једнаке, па боца лебди у течности. У трећем случају тежина празне боце била је мања од сile потиска која делује на зароњену боцу, услед чега она најпре испливава, а затим плива у течности.

Када тело тоне, нађе се у статичкој равнотежи тек када стигне до дна. Ако тело лебди, оно је у равнотежи у било ком положају (дубини) у течности. Али ако тело испливава, долази до површи течности.

Када тело стигне до те површи, при даљем његовом кретању навише интензитет сile потиска се смањује запремина потопљеног дела тела. Уколико интензитет сile потиска постане једнак тежини тела, оно се заустави и плива на површи течности. Један део тела је зароњен у течност, а други је изнад њене површи. Тада су у равнотежи две сile које делују на то тело: тежина и сила потиска.

Имајући у виду дефиницију густине тела и течности, може се рећи следеће.

**Тело плива ако је његова средња густина мања од густине течности, лебди ако су оне једнаке, а тоне ако је густина тела већа од густине течности.**



Слика 3.19 – Три моћућа случаја флаше у води

Тела направљена од супстанција које имају већу густину од течности могу пливати ако се комбинују са другим – специфично лакшим телима. Тако, на пример, плива празна кутија од гвозденог лима или комад дрвета са ексером. На исти начин пливају и бродови, чије је корито гвоздено а унутрашњост испуњена ваздухом. Битно је да је средња густина тела мања од густине течности и онда ће тело пливати. Тада је само део тела у течности, а део изнад горње површи. То је случај код бродова (слика 3.20) и санти леда (слика 3.21).

### ПРИМЕР

Смрзавањем чисте воде неке запремине  $V$ , она прелази у лед и том приликом повећава своју запремину за деветину запремине воде. Одредите део запремине ледене санте која вири изнад горње површи воде.

Подаци:

$V$  – запремина воде,

$$\Delta V = \frac{V}{9}$$

$$x = \frac{V_2}{V_1} = ?$$

Решење:

Ако је запремина леда  $V_1 = V + \Delta V$ , онда је изнад

површине воде само део  $x = \frac{V_2}{V_1}$  (слика 3.21). Санта

плива када су сile потиска (на део санте у води) и њена укупна тежина једнаке по интензитету:

$$Q = F_p,$$

јер су то сile истог правца и супротног смера, па им је резултантна једнака нули. Изразићемо ове две сile преко:

$$Q = m_1 \cdot g = p_1 \cdot V_1 \cdot g$$

$$F_p = m_V \cdot g = p_V \cdot (V_1 - V_2) \cdot g = \left( p_1 \cdot V_1 - p_V \cdot V_2 \right) \cdot g.$$

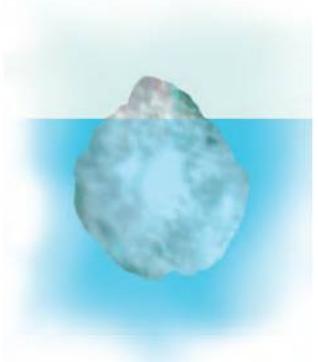
Изједначавањем ових израза следи:

$$p_1 = (1 - x) p_V \Rightarrow x = 1 - \frac{p_1}{p_V} = 1 - \frac{V}{V + \Delta V} = 1 - \frac{V}{V + \frac{V}{9}} = \frac{1}{10},$$

што значи да велика већина санте (чак 9/10) лежи испод горње површи воде и „скривена“ је од очију – посебно ноћу. Ако се зна да је изглед дела санте у води веома „чудан“ и њено кретање непредвидиво, о овом ефекту морају да воде рачуна сви капетани бродова.“



Слика 3.20 – Пловидба брога



Слика 3.21 – Плутање ледене јромаде

## ПОСЕБНО УПАМТИТИ

Сила која може заменити деловање двеју или више сила зове се **резултантта**, а силе које она замењује зову се **компоненте**.

Поступак изналажења резултантте датих сила назива се **слагање сила**.

Када силе дуж истог правца имају исти смер, резултантта  $F_R$  има исти правац и смер као и њене компоненте  $F_1$  и  $F_2$ , а њен интензитет једнак је збире интензитета тих компонената. Ако су колинеарне силе супротних смерова, интензитет резултантте је једнак разлици интензитета компонената.

Тело на које делују две или више сила је у **равнотежи** ако је њихова резултантта једнака нули. **Полуга** је свако чврсто тело које може да се обрће око непокретног ослонца, а на које истовремено делују бар две сile, са тежњом да изазову супротна обртања око њеног ослонца.

Нормално растојање између ослонца полуге и правца деловања сile назива се **крак сile**, а нормално растојање између ослонца полуге и правца деловања терета јесте **крак терета**. Производ сile и њеног крака је **момент сile**:  $M_S = F \cdot a$ , а **момент терета**:  $M_T = Q \cdot b$  једнак је производу терета и његовог крака.

Полуга је у **равнотежи** ако је момент сile једнак моменту терета:  $M_S = M_T$ , тј. кад је  $F \cdot a = Q \cdot b$ .

На тело потопљено у течност делују са свих страна сile услед хидростатичког притиска. Резултантта свих сile назива се **сила потиска** и увек делује у вертикалном правцу са смером навише. По Архимедовом закону сила потиска је по интензитету једнака тежини телом истиснуте течности:  $F_p = \rho V g$ .

На тела која се налазе у течности делују две вертикалне сile: сила теже, усмерена наниже, и сила потиска, усмерена навише. При томе је могућ један од три случаја: интензитет сile теже је већи од сile потиска и **тело тоне**; интензитет сile теже тела је једнак сили потиска и **тело лебди**; интензитет сile теже је мањи од сile потиска и **тело испливава**.

## ПИТАЊА

У уџбенику за  
6. разред постоји  
шабљица Јусиши-  
на суташнија.  
Подсећајте се!

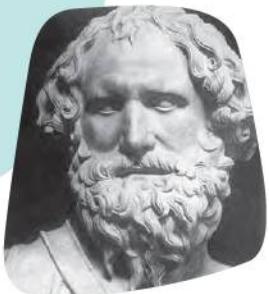
1. Како је усмерена резултантта сила када се тело креће успорено праволинијски?
2. Која полууга је примењена код клацкалице, а која код ручних колица?
3. Ако је крак сile три пута дужи од крака терета, какав је однос интензитета терета и сile?
4. У којој се равнотежи налази тело када га је најтеже покренути?
5. Зашто теренска возила имају точкове са широким гумама?
6. Да ли се разликују сile потиска које делују на једно исто тело испод површине воде на дубини од једног метра и од десет метара?
7. Зашто се чини да је камен у води много лакши него у ваздуху?
8. Да ли сила потиска делује и на металну куглицу на дну суда са течношћу?
9. Тешки брод плива, а лаки ексер тоне. Како се то објашњава?

## Архимед и „Еурека“

Архимед из Сиракузе (287–212. пре н.е.)

Највећи физичар и један од највећих математичара античкој доба. Проучавао је тежине и равнотежу и конструисао задивљујуће машине. Приписује му се реченица: „Дајши ми чврст ослонац и Јомерићу Земљу!“

По претпоставци, Архимед је од краља добио задатак да утврди да ли је круна коју је златар израдио заиста сва од злата или да је он преварио. Размишљао је о томе док је улазио у каду и схватио шта се дешава и како помоћу тоја може да реши задати проблем. Од среће је искочио из каде и прчао улицама вичући „Еурека!“ што јести „Ошкрио сам!“





## МЕХАНИЧКИ РАД, ЕНЕРГИЈА И СНАГА

Стижемо до појмова о којима много зnamо из искуства, али као и раније, показаће се да у физици морамо бити много прецизнији и да већина појмова има другачије значење него у свакодневном животу. Као пример наводимо разговор ћака у школи на почетку школске године: „Шта си радио за време распуста?“ – „Свашта, баш сам се добро одмарao.“ – или „Ништа, помагао сам родитељима око крчења!“. Као што ћемо убрзо видети, оба ова одговора нису у складу са ониме што физика повезује са појмом рада. Исто тако, у обичном говору се каже да је неко снажан, а подразумева се да је он на пример мишићав и способан да изврши неки механички рад. У физици се за овај појам користи други термин – енергија, док је снага само мера брзине извршења неког рада.



## 4.1. МЕХАНИЧКИ РАД

### РАД СИЛЕ

У свакодневном животу под појмом рада сматрају се веома различити послови као орање, пеглање, али и компоновање или решавање математичких проблема, затим гурање колица, ношење пртљага, веслање и слично (слика 4.1). Рад може бити умни и физички, јер неки рад изискује више умног, а неки више физичког напора.

Када се говори о раду у физици, мисли се искључиво на ову другу врсту рада, за чије обављање је потребан физички напор. Овај рад је најчешће повезан са механичким кретањем или премештањем тела. У том случају он се назива **механички рад**.



Слика 4.1 – Шта  
све називамо  
радом...

Осим човека, рад обављају и домаће животиње, машине, вода, ваздух итд. Под појмом механичког рада не треба подразумевати само покретање тела са једног места на друго већ и мењање његовог облика. Међутим, за покретање тела или мењање његовог облика мора се употребити довољно јака сила, како би се савладали сви отпори који се томе супротстављају (тежина, трење, отпор средине, инерција, итд.). На основу овога, механички рад се може дефинисати на следећи начин:

**Механички рад представља савлађивање свих супротстављања на неком путу.**

Другим речима, сила врши механички рад само када помера своју нападну тачку. Ако човек стоји и држи терет на леђима, он при том употребљава онолику силу колико износи тај терет, али не обавља никакав механички рад, јер се не креће.

Најједноставнији пример за механички рад јесте случај када се неко тело подиже. Том приликом мора се у свакој тачки пута (кроз ваздух!) деловати силом која је најмање једнака сили теже којом Земља делује на то тело. Тада савлађујемо силу гравитације јер се тело налази у гравитационом пољу Земље.

Рад се врши и при гурању колица када сила нема вертикалан правац. Да би се колица кретала, на њих треба деловати одређеном силом, и то у правцу и смеру кретања (слика 4.2). Човек на истом путу изврши већи рад ако гура натоварена (дакле тежа) него када гура празна (лакша) колица. Исто тако, извршени рад биће већи ако се колица гурају на дужем путу.

На основу ових примера следи закључак.

**Механички рад који врши нека сила, управо је сразмеран производу интензитета сile и дужине пута који је тело прећло под дејством те сile, ако се померање врши у смеру деловања сile (слика 4.3).**

Ако се рад означи са  $A$ , интензитет сile са  $F$  и дужина прећеног пута са  $s$ , онда се исказана дефиниција може написати помоћу обрасца:

$$A = F \cdot s.$$



Слика 4.3 – Рад с сталне сile

Треба ипак напоменути да је овај образац потпуно тачан само у случају када дуж праволинијског пута  $s$  делује стална (непроменљива) сила.

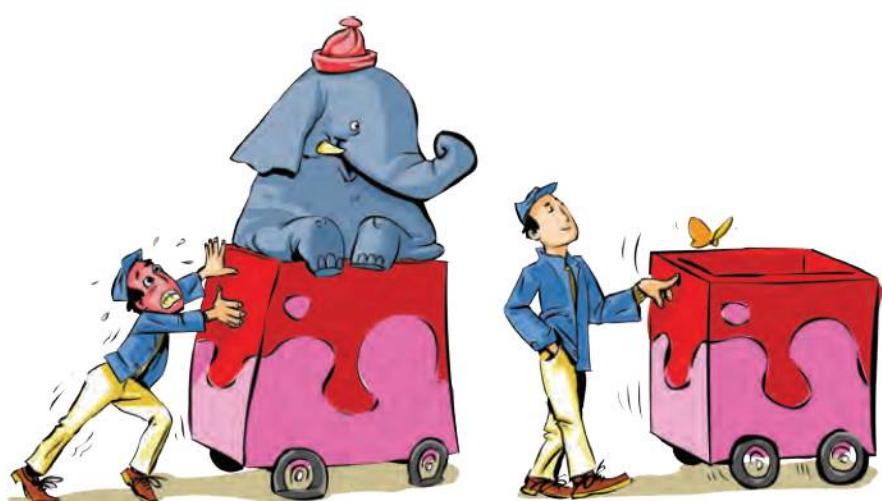
Мерна јединица рада је џул (ознака J). Из дефиниције рада следи да је:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}.$$

Ако на тело делује сила интензитета 1 N, онда она на путу од 1 m (који је у правцу дејства сile) изврши рад од 1 J.

### ПРИМЕР

Булдожер гура земљани терет од 600 kg сталном силом од 60 N дуж праволинијског хоризонталног пута. Колики рад учини тај булдожер у једном радном циклусу који траје пола минута?



Слика 4.2 – Рад на покретању колица

Приметимо да џул (J) као изведена јединица није јединица за момент сile иако је формула исја: љуїнмейар (N m). Разлог је што су то две битно различите физичке величине, па вља ту разлику најаснији и јединицом мере.

Подаци:	Решење:
$m = 600 \text{ kg}$ $F = 60 \text{ N}$ $t = 0,5 \text{ min} = 30 \text{ s}$ <hr/> $A = ?$	<p>Под условом да делује стална сила дуж неког пута, кретање посматраног тела је равномерно убрзано. У овом случају булдожер гура терет без почетне брзине. Убрзање терета (и булдожера) може се одредити из другог Њутновог закона:</p> $F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m}.$ <p>Дужина пређеног пута (дужина гурања предмета) у току једног радног циклуса је:</p> $s = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \frac{F}{m} t^2.$ <p>Учињени механички рад булдожера износи:</p> $A = F \cdot s = \frac{F^2 t^2}{2m} = \frac{60^2 \text{ N}^2 \cdot 30^2 \text{ s}^2}{2 \cdot 600 \text{ kg}} =$ $= 2700 \text{ J} = 2,7 \text{ kJ}.$

### РАД СИЛЕ ТЕЖЕ И СИЛЕ ТРЕЊА

Само када се тела крећу по инерцији или када мирују, никаква сила не врши рад! У свим осталим случајевима неко тело, тј. нека сила која покреће тело – врши рад. Рад врши и сила која мења облик тела. Рад се врши и када дејство силе није очигледно. Наводимо два примера.

Први пример је код слободног пада тела. Ко ту врши рад? Иако се чини да тело пада „само од себе“, ми знајмо да се оно креће под дејством силе Земљине теже! Онда је јасно да управо та сила врши рад, и то све док тело не падне на подлогу и заустави се! Када тело подијемо увис, онда ми својим мишићима вршимо рад, али *против* силе Земљине теже.

Ако се неко тело гурне дуж неке, на пример, хоризонталне путање и пропусти само себи, оно ће стално успоравати своје кретање све до заустављања. Ко у овом случају врши рад?

Када не би било супротстављања кретању, једном гурнуто тело и препуштено самом себи кретало би се по инерцији – сталном брзином. Такав је случај са кретањем висионских бродова у безваздушном космичком, тј. међупланетарном простору када не морају да мењају путању кретања. На Земљи две силе пружају отпор кретању тела. Првенствено то је отпор средине – ваздуха или неке течности, зависи од тога кроз шта се тело креће. Поред тога и отпор трења подлоге и дела тела које се по њој креће супротставља се овом кретању. Тело успорава и зауставља се удруженим радом ових двеју сила отпора.

Дакле, дуж зауставног пута рад врше силе отпора, а да би се тело кретало без успоравања, потребно је уложити рад против дејства ових сила!

## 4.2. МЕХАНИЧКА ЕНЕРГИЈА



За успех у школи и у игри, за добар резултат у спорту и у животу уопште, потребно је много тога урадити, увежбати, ... А да би се то могло постићи, морамо поседовати радну способност или енергију. Међутим, сваки рад исцрпљује: глад се утоли храном, жеђ пићем, умор сном. Радна способност се враћа телу као **енергија**. Можемо се послужити дефиницијом из свакодневног живота.

**Енергија је радна способност.**

Терет на некој висини изнад тла, сабијена опруга и вода при кретању или надувани балон, примери су тела која имају способност да изврше рад. Како се то у физици каже, они располажу енергијом. Да бисмо имали неку представу о величини енергије, да бисмо могли да меримо, уводи се следећа дефиниција.

**Енергија тела је величина која показује колики рад може да изврши то тело, односно енергија је способност тела да изврши рад.**

### ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕНЕРГИЈА

Тела подигнута на неку висину, као што се видело, располажу енергијом па могу при падању да изврше рад. Овакву енергију има цреп на крову, подигнути тегови (слика 4.4), јабука на дрвету и сл. Каже се да оваква тела поседују **потенцијалну енергију**.

**Енергија условљена положајем тела је потенцијална енергија.** Енергија која је условљена положајем тела у Земљином гравитационом пољу, тј. висином тела изнад тла – назива се **гравитациона потенцијална енергија**.

Потребно је знати коликом потенцијалном енергијом располаже неко тело. Да би се она израчунала, треба одредити рад који се утроши за подизање или промену облика тога тела.

Уколико под дејством Земљине теже тело падне са висине  $h$ , извршиће механички рад:

$$A = F_g \cdot s = m \cdot g \cdot h.$$

Он је извршен на рачун потенцијалне енергије ( $E_p$ ) коју је тело имало на висини  $h$ . Дакле:

$$E_p = A = m \cdot g \cdot h.$$



Слика 4.4 – Потенцијална енергија тела у Земљином гравитационом пољу

Гравитациона потенцијална енергија тела је већа што је већа маса тела и што је тело на већој висини изнад површи Земље.

Види се да су јединице рада и потенцијалне енергије исте: **џул (J)**.

## ПРИМЕР

Кофа пуна воде, масе  $m = 12 \text{ kg}$ , налази се на висини  $h = 10 \text{ m}$ . Колика је њена потенцијална енергија у односу на тло? Када слободно пада на тло, колики рад изврши?

Подаци:

$$\begin{aligned}m &= 12 \text{ kg} \\h &= 10 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_p &=? \\A &=?\end{aligned}$$

Решење:

$$\begin{aligned}E_p &= m \cdot g \cdot h = 12 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} = \\&= 1177,2 \text{ J} \approx 1,18 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$A = E_p = 1,18 \text{ kJ.}$$

Ако су еластична, тела могу располагати потенцијалном енергијом иако нису подигнута изнад тла (нпр. сабијена опруга, сабијен ваздух, истегнута гума итд.). Ова тела располажу потенцијалном енергијом на основу промењеног међусобног положаја њихових делића (нпр. молекули сабијеног ваздуха). Каже се да су тела еластично деформисана. Услед дејства еластичних сила у овим телима, када престане дејство деформационих сила, та тела се враћају у свој првобитни облик па су у стању да изврше рад.

## КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА

Ако једна куглица при кретању удари о другу, она ће је покренути. Ексер улази у даску кад се у њега удара чекићем. Трактор при кретању вуче плуг. Ветар покреће једрилицу, а вода обрће воденички точак ударажуји о његове лопатице (слика 4.5). У свим овим и сличним примерима тела располажу енергијом на основу свог кретања, тј. могу да врше механички рад „из покрета“.

Енергија коју тела поседују услед свога кретања назива се **кинетичка енергија**.

Из искуства је познато на који начин ће се чекићем брже закуцати ексер. То се може постићи утолико брже уколико је већа маса чекића и брзина којом се он креће, тј. уколико је већа његова кинетичка енергија.

**Кинетичка енергија тела управо је сразмерна маси тела и квадрату његове брзине.**



Слика 4.5 – Воденички точак

Ако се тело масе  $m$  креће брзином  $v$ , тада се његова кинетичка енергија  $E_k$  може изразити помоћу обрасца:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Јединица за кинетичку енергију је такође џул (J).

### ПРИМЕР

Колика је кинетичка енергија тела масе 0,5 kg када се креће почетном брзином  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ? Ако се ово тело избацује вертикално увис, одредите његову висину пењања. Колику потенцијалну енергију има ово тело на врху пењања?

Подаци:

Решење:

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

Почетна кинетичка енергија тела је:

$$v_0 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_k = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{0,5 \cdot \text{kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 25 \text{ J.}$$

$$E_k = ?$$

Висина пењања код хица увис одређена је изразом

$$H = ?$$

$$E_p = ?$$

$$H = \frac{v_0^2}{2g} = 5,1 \text{ m.}$$

У највишој тачки, тело ће имати потенцијалну енергију:

$$E_p = m \cdot g \cdot H = 0,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5,1 \text{ m} = 25,02 \text{ J.}$$

Види се да се веома мало разликује од вредности почетне кинетичке енергије. Међутим, ово је рачунска грешка настала услед заокруживања резултата на две децимале. Наиме, ако би се заменио израз за висину пењања:

$$E_p = m \cdot g \cdot \frac{v_0^2}{2g} = \frac{1}{2} mv_0^2 = E_k,$$

добио би се тачан резултат.



Вероватно сће ову узречицу о Сизифовом послу већ чули. По ћркој мишолојији, Сизифа су болови казнили шако да мора да уз планину Јура једну отромну сћену. Кад љог би је дојурао до врха планине, она би се ошкојрљала назад до подножја и он би йочињао посао од йочејка.

Ово значи да се почетна кинетичка енергија „претворила“ у потенцијалну. То је исправно јер није било отпора средине.

Ово даље значи да приликом слободног пада тело удари о тло кинетичком енергијом која је једнака потенцијалној у горњем положају, односно почетној кинетичкој енергији.

Зар вам не личи ово помало на „Сизифов посао“? Кинетичка → потенцијална → кинетичка?!? Као: „Где си био? Нигде! Шта си урадио? Ништа!“. Али није тако! Неко је морао да уложи рад да би тело избацио увис. Тај нечији рад се претворио у (кинетичку → потенцијалну → кинетичку) енергију тела. На крају тело поседује енергију и може да изврши рад!

## МЕХАНИЧКА ЕНЕРГИЈА

Нека тела у природи располажу кинетичком енергијом, нека потенцијалном, а нека тела истовремено и једном и другом енергијом. Тако, на пример, авион у лету или скијаш при спусту располаже кинетичком енергијом, али истовремено, у односу на тло, односно подножје брда, и једно и друго тело располажу и потенцијалном енергијом. Исти случај је и са телом које слободно пада, или са лоптом шутнутом увис.

**Потенцијална и кинетичка енергија, представљају два вида механичке енергије,** па је укупна механичка енергија тела у сваком тренутку једнака збиру његове потенцијалне и кинетичке енергије:

$$E_M = E_p + E_k.$$

У тренутку пуштања куглице да слободно пада она има потенцијалну енергију, али нема брзину – нити кинетичку енергију. Зашто је, у тренутку када падне на тло, њена кинетичка енергија највећа?

Из искуства се зна да је брзина тела које слободно пада већа што тело дуже пада, тј. што пада са веће висине. Пре самог удара о тло брзина тела је највећа. Како тело не може падати дубље од тла, оно изгуби сву потенцијалну енергију.

То значи да се (почетна) потенцијална енергија ( $E_p^{\text{поч}}$ ) потпуно претворила у (крајњу) кинетичку енергију ( $E_k^{\text{крај}}$ ), тј.

$$E_p^{\text{поч}} = E_k^{\text{крај}}.$$

## 4.3. ПРОМЕНА ЕНЕРГИЈЕ И РАД



Енергија се „троши“ и „обнавља“. Троши се када обављамо неки рад. Међутим, ако се шире гледа, тим радом **енергија није изгубљена** већ се „претворила“ у неку другу енергију – потребну за неки следећи рад ... И тако то иде „ланчано“ у недоглед. Проблем је само у томе што за нас нису сви видови енергије подједнако „употребљиви“. Одавде, међутим, извлачи-мо још један битан закључак.

**Промена вида или врсте енергије је извор рада.**

Енергија хране и пића може се утрошити, на пример за подизање неког тешког предмета, рецимо чекића, којим онда вршимо рад закуцавајући тај ексер у дрво. Тако је енергија хране или пића прешла преко рада мишића у енергију чекића. Та енергија, опет радом, прелази у енергију која држи два тела (ексер и дрво) спојена.

**Енергија је опште својство материје.** Енергију имају сви облици материје. Већ према томе како је осећамо или откуда је црпимо, енергија има различите називе. Поред механичке енергије постоји топлотна, електрична, светлосна, хемијска, нуклеарна итд.

Енергија је усклађиштена у природним богатствима, која се данас често називају ресурсима, на пример у наслагама угља, залихама нафте, у ветру (слика 4.6) и воденим струјама, у рудама урана, живим бићима и др. Посебно треба истаћи енергију која долази са Сунца. То је **соларна енергија** и основа је живота на Земљи (слика 4.7). Енергија мора да се „црпи“ из таквих „природних складишта“, јер се **енергија не може створити ни из чега и зато је морамо штедети!**



Слика 4.6 – Ветроенергетори



Слика 4.7 – Соларна кућа

Уколико је тело теже и уколико је подигнуто на већу висину, утолико је потребно извршити већи рад па је онда и енергија тела у том положају већа. Дакле, енергија подигнутог тела може се проценити на основу рада извршеног за његово подизање. Ово значи да **енергија и рад имају исту „природу“** – они су „истородни“.

Другим речима, радећи – тело пређе из једног енергетског стања (попултног,  $E_1$ ), у друго стање (коначно,  $E_2$ ) – одређеног вида енергије. Том приликом оно изврши рад:

$$A = E_2 - E_1 = \Delta E.$$

Одавде следи да тело, када смањи своју енергију – изврши рад. Или обрнуто, да би повећало своју енергију, над њим се мора извршити рад!

Све ово је сасвим уопштено и можда није довољно јасно. Сада ћемо бити мало конкретнији.

## ПРИМЕР

Колико се утроши рада на упумпавању ваздуха у суд (слика 4.8), ако се клипом подигне терет масе 101,94 kg на висину од 2,5 m?

Подаци:

$$\begin{aligned}m &= 101,94 \text{ kg} \\h &= 2,5 \text{ m}\end{aligned}$$

$$A = ?$$

Решење:

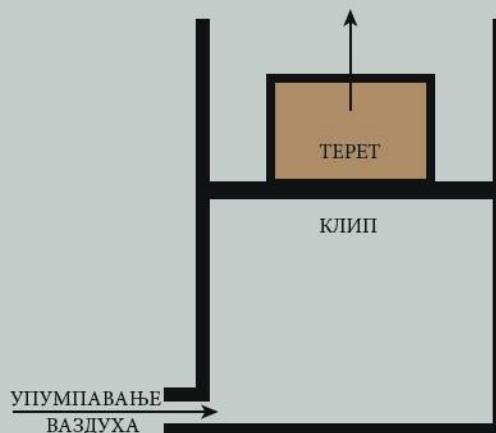
Када се подигне на висину  $h$ , потенцијална енергија терета се повећа за:

$$\Delta E_p = mgh,$$

а то повећање мора „одрадити“ пумпа упумпавањем ваздуха. Дакле,

$$\begin{aligned}A &= \Delta E_p = mgh = 101,94 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,5 \text{ m} = \\&= 2500 \text{ J} = 2,5 \text{ kJ.}\end{aligned}$$

Овај рад се врши против сile Земљине теже!



Слика 4.8 – Ваздушна јумпа

## ПРИМЕР

Камион масе  $4 \text{ t}$  прилази пружном прелазу брзином од  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Кочењем возач смањује брзину камиона на  $9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . На шта се потрошила и за колико се смањила кинетичка енергија камиона?

Подаци:

$$m = 4 \text{ t} = 4000 \text{ kg}$$

$$v_1 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = 9 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta E_k = ?$$

Решење:

Кинетичка енергија камиона се троши на рад у савладавању силе трења (кочења). Ако се камион кретао по хоризонталној путањи, онда се његова потенцијална енергија није мењала. У том случају, промена кинетичке енергије износи:

$$\begin{aligned}\Delta E_k &= A = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2} m \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 4000 \text{ kg} \cdot \left( 20^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - 2,5^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) = 787,5 \text{ kJ.}\end{aligned}$$

## ОДРЖАЊЕ МЕХАНИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ

У природи и свакодневном животу стално се уочава претварање једног вида механичке енергије у други, поготово потенцијалне у кинетичку, и обратно.

То се може објаснити на примеру кретања лопте која је из руке бачена вертикално увис (слика 4.9). Док се лопта креће навише, њена брзина се смањује, а висина повећава. Зато се кинетичка енергија лопте смањује, а потенцијална енергија повећава. Кад лопта постигне највећу висину, потенцијална енергија лопте је највећа. У том тренутку се заустави, па је њена кинетичка енергија једнака нули. Значи, при кретању лопте навише њена кинетичка енергија прелази у потенцијалну. Кад лопта почне да пада, њена брзина расте, а висина се смањује.



Слика 4.9 – Очување енергије лопте

Према томе, сада јој се повећава кинетичка енергија, а смањује њена потенцијална. При хватању сва потенцијална енергија коју је лопта имала, прешла је у кинетичку.



При удару једне кули у скућ кули на билијарском столову дешава се да ћа кула прегаје своју кинетичку енергију целом скућу кули. Ова енергија се распоређује на све куле које је кула ударила али и на све које су ове, након тоа, удариле.

Дакле, потенцијална енергија лопте у највишој тачки путање једнака је њеној кинетичкој енергији у моменту хватања руком. И не само то већ у било ком положају између крајњих тачака путање, лопта поседује и кинетичку и потенцијалну енергију. Тачна мерења потврђују следеће:

При механичком кретању тела, без обзира на облик и узрок који је произвело то кретање, **целокупна механичка енергија ( $E_M$ ) у сваком тренутку остаје стална и једнака збире кинетичке и потенцијалне енергије:**

$$E_M = E_k + E_p = \text{const.}$$

Укупна енергија током свих механичких процеса увек је иста и у сваком тренутку је једнака збире свих кинетичких и свих потенцијалних енергија тела која учествују у овим процесима.

Дакле, енергија у механици прелази са једног тела на друго или из једног вида у други. При том прелажењу укупна енергија остаје непромењена. За прелажење енергије из једног вида у други важи **закон одржања енергије у механици**, који се може исказати на следећи начин.

**Енергија се не може ни створити ни уништити, већ се може само пренети са једног тела на друго или претворити из једног вида у други, без икаквих губитака.**



## 4.4. СНАГА

Исти рад може се извршити за различито време. На пример, одрастао човек може подићи гомилу цигала на извесну висину за краће време него дечак. Дакле, одрастао човек је радио брже. На основу рада и времена за које је он извршен, изведена је величина која карактерише брзину вршења рада и назива се **снага**.

По тој дефиницији, снага  $P$  може се израчунати по обрасцу:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Снага је бројно једнака количнику извршеног рада  $A$  и времена вршења тог рада  $t$ . Како је  $A = F \cdot s$ , онда је:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot \frac{s}{t}$$

Пошто је  $\frac{s}{t} = v_s$  – средња брзина, образац за снагу може се написати и у следећем облику:

$$P = F \cdot v_s,$$

и исказати речима: снага се може одредити и као производ сile и средње брзине коју је тело добило услед дејства те силе.

Ако нека машина изврши рад од 1 цула у току времена од 1 секунде, онда је њена снага **1 ват (W)**. Из обрасца за снагу, произлази да је:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}},$$

па се каже да је ват, у ствари, цул у секунди.

### ПРИМЕР

Одредите снагу мотора дизалице која равномерно подиже терет тежине 3 000 N, на висину од 12 m изнад тла за 24 s.

Подаци:

$$\begin{aligned} Q &= F = 3\,000 \text{ N} \\ h &= s = 12 \text{ m} \\ t &= 24 \text{ s} \end{aligned}$$

Решење:

$$\begin{aligned} P &= \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{3000 \text{ N} \cdot 12 \text{ m}}{24 \text{ s}} = 1500 \frac{\text{J}}{\text{s}} \\ P &= 1,5 \text{ kW.} \\ P &=? \end{aligned}$$

## КОЕФИЦИЈЕНТ КОРИСНОГ ДЕЈСТВА

У свакодневном животу срећемо појам **корисног рада**. Ако бацамо лопту у вис, тачно је да ће уложени рад бити једнак промени енергије лопте. Али неће се целокупан рад претворити у користан рад – рад на подизању лопте навише. Део **укупног рада** се потроши, на пример, и за рад на савладавању отпора ваздуха.

Физичка величина која „мери“ однос између корисног ( $A_k$ ) и уложеног рада ( $A_u$ ) је коефицијент корисног дејства ( $\eta$ , то је грчко слово и чита се *еїја*):

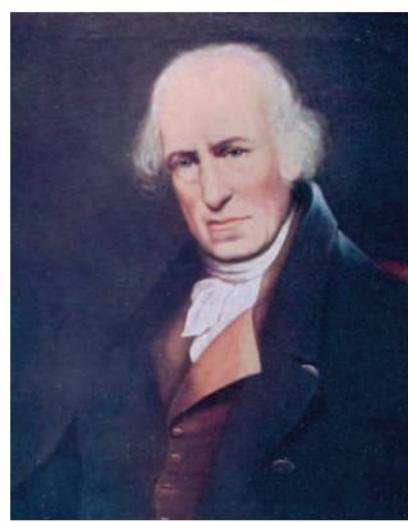
$$\eta = \frac{A_k}{A_u}.$$

То је неименован број, тј. он нема јединицу мере.

Када не би било отпора ваздуха, у наведеном примеру – користан рад би био једнак уложеном. Тада би било  $\eta = 1$ . У реалним ситуацијама увек је  $\eta < 1$ . Больји су процеси, појаве или машине које имају већи коефицијент корисног дејства!

Уколико се користан рад врши заједно (тј. једнако дуго и истовремено) са утрошком рада или енергије, онда је коефицијент корисног дејства бројно једнак односу корисне и укупне (каже се и ангажоване) снаге:

$$\eta = \frac{P_k}{P_u}.$$



**Џемс Ват** (James Watt, 1736–1819) по којем је јединица за снагу добила назив, усавршио је парну машину до те мере да је она у великој мери заменила људе и животиње као основну радну снагу. Он је управо инсистирао на томе да није важно да се јосао само уради, већ је важно и којом брзином, и поредио је ефекти својих машина и коња.

## ПРИМЕР

Приликом транспорта 4 палете цигала укупне масе  $4 \times 1792 \text{ kg}$  са тла на висину од  $10 \text{ m}$ , мотор дизалице крана потроши  $0,3 \text{ kWh}$  електричне енергије. Одредите степен искоришћења овог процеса. Ако се посао обави за  $2 \text{ min}$ , колике су ангажована и корисна снага дизалице?

Подаци:

$$m = 4 \times 1792 \text{ kg}$$

$$h = 10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} E = A_u &= 0,3 \text{ kWh} = \\ &= 1080 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\eta = ?$$

$$t = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$$

$$P_u = ?$$

$$P_k = ?$$

Решење:

Користан (извршен) рад крана је:

$$\begin{aligned} A_k &= E_p = m \cdot g \cdot h = 4 \cdot 1792 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} = \\ &= 713,18 \text{ kJ}. \end{aligned}$$

Коефицијент корисног дејства износи:

$$\eta = \frac{A_k}{A_u} = \frac{713,18 \text{ kJ}}{1080 \text{ kJ}} = 0,65.$$

Према дефиницијама, тражене снаге су:

$$P_u = \frac{A_u}{t} = \frac{1080 \text{ kJ}}{120 \text{ s}} = 9000 \text{ W} = 9 \text{ kW},$$

$$P_k = \frac{A_k}{t} = \frac{713,18 \text{ kJ}}{120 \text{ s}} = 5943,167 \text{ W} = 5,94 \text{ kW}.$$

$$\text{Провера: } \eta = \frac{P_k}{P_u} = \frac{9 \text{ kW}}{5,94 \text{ kW}} = 0,65.$$

## ПОСЕБНО УПАМТИТИ

Величина **механичког рада** који врши нека сила је управо сразмерна интензитету сile и дужини пута који је тело прешло под дејством те силе, ако се померање врши у смеру деловања силе:

$$A = F \cdot s [\text{J}].$$

**Енергија је радна способност.** Изражава се у цулима [J].

Енергија коју тела поседују услед свога кретања назива се **кинетичка енергија**. Она је управо сразмерна маси тела и квадрату његове брзине:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Енергија условљена положајем тела је потенцијална енергија. Енергија која је условљена положајем тела у Земљином гравитационом пољу се назива гравитациона потенцијална енергија.

$$E_p = m \cdot g \cdot h.$$

Потенцијална и кинетичка енергија представљају два вида **механичке енергије**:

$$E_M = E_p + E_k.$$

Енергија се не може ни створити ни уништити, већ се може само пренети са једног тела на друго или претворити из једног вида у други, без икаквих губитака.

Рад је једнак промени енергије тела:

$$A = E_2 - E_1 = \Delta E.$$

Снага је брзина вршења механичког рада:

$$P = \frac{A}{t} = F \cdot v_s [W].$$

Коефицијент корисног дејства једнак је односу корисног и уложеног рада:

$$\eta = \frac{A_k}{A_u}.$$

## ПИТАЊА

1. Које силе делују и врше рад кад се успорава кугла која се котрља по хоризонталном тлу?
2. Шта чини механичку енергију?
3. До каквих промена енергије долази при избацивању стреле?
4. Како се одржава механичка енергија?
5. Шта се дешава када скијаш са врха стрме стазе доспе до хоризонталног подножја?
6. Какав је енергетски биланс кошаркашке лопте после постигнутог коша?
7. Какав је однос рада и енергије?
8. Која је суштинска разлика између рада и снаге?
9. Којом јединицом се изражава коефицијент корисног дејства?

## Неколико енергетских поређења



= 1h

Поједено јарче хлеба са йуше-ром „одезбеђује“ око 900 kJ енергије. Толико јошроши човек за 1 саћ ходања или за 3 саћа ставања.

Један лишар безоловног бензина „даје“ око 40 MJ енергије – исто као и 2,5 kg квалишеној грвешти. Толику енергију „одезбеђује“ и 15 лишара млека!



x 15



= 6,5h

Тећа меда „донаси“ 12 MJ енергије, а толико јошроши човек за 6,5 саћи пливања.

При брзини од  $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , јросечан јородични аутомобил за 5 минута јошроши око 20 MJ. Сијалица од 75 W толико не јошроши ни за три дана непрекидној рада.



= 3h

Повећа јунећа шницла има калоријску (нутрициону) вредност око 1,5 MJ, исто колико и мала конзерва сардине. Толико јошроши човек за 3 саћа гледања телевизије.



# ТОПЛОТНЕ ПОЈАВЕ



Осим механичких и светлосних појава, око нас се свакодневно дешавају и другачије, оне које су условљене загревањем или хлађењем тела, преласком тела из једног агрегатног стања у друго и сл. У ове појаве убраја се загревање и хлађење ваздуха, мржње воде, топљење метала, итд. То су топлотне појаве. Оне се проучавају у области физике, која се зове термодинамика.

Човек је почeo да користи топлотне појаве у свакодневном животу када је кресањем камена о камен произвео варницу и почeo да користи ватру. Касније је човек ватру користио за топљење метала којег је онда, уместо камена и костију, употребљавао за прављење оруђа.

Изучавање топлотних појава довело је до проналaska парних турбина, и посебно мотора са унутрашњим сагоревањем. То су бензински и дизел-мотори који покрећу возове, бродове, аутомобиле, авионе. На топлотним појавама заснован је погон ракета које могу да понесу вештачке сателите и висионске бродове. Опет стижемо до појмова који су нам добро познати из свакодневног живота. Обично мислимо да добро знаамо шта значи „топло“ и „хладно“, али у физици постоје два доста различита појма, а то су топлота и температура. Треба бити веома пажљив са њима. Узајамна веза постоји, али није увек тако једноставна. Грејањем се телима повећава температура, а загревањем се тела шире. Али то важи све док не почну да се топе или да испарају. Очигледно је да нас чека интересантан посао...



## 5.1. ТОПЛОТНО ШИРЕЊЕ ТЕЛА И ТЕМПЕРАТУРА

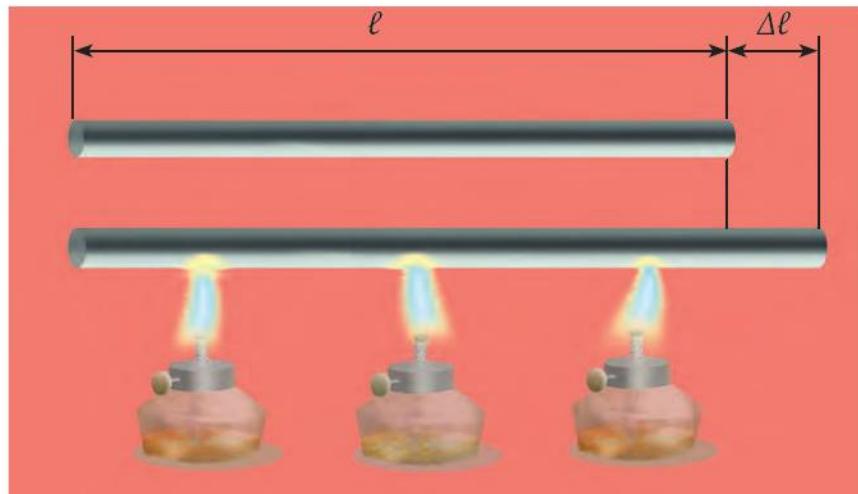
Познато је да се тела при загревању шире, а при хлађењу скупљају. Ова појава важи за већину тела у природи. На слици 5.1 приказана је метална кугла која лако пролази кроз метални прстен. После загревања кугла више не може да пролази кроз тај прстен. То значи да је загревањем кугла повећала своју запремину.

Жице далековода лети су опуштене а зими су затегнуте. Зашто? При постављању железничке и трамвајске шине се не заварују, већ се оставља размак између њих на сваких десетак метара. Тај размак између шина лети се смањује, а зими повећава. Зашто?

Метална шипка се загрева (слика 5.2). После извесног времена примећује се да се дужина шипке повећала. Истовремено се повећала и дебљина шипке, али је овде више изражена промена само једне димензије – дужине. Овакво ширење тела назива се **линеарно ширење тела**.



Слика 5.1 – Ширење куље при загревању



Слика 5.2 – Ширење шипке при загревању

Линеарно ширење тела је приметно само код тела која имају једну димензију изражену (шипка, жица, греда), а друге две су много, много мање. Уколико су све три димензије тела подједнаке, на пример код тела у облику коцке или лопте, онда је термичка промена димензија изражена као промена целе запремине тела при загревању.

Запремина течности и гасова, такође, мења се при загревању. Повећање запремине течности при загревању може се показати помоћу стакленог балона кроз чији је запушач провучена стаклена цевчица (слика 5.3а).

Балон се затвори и означи ниво воде у цеви. Онда се започне загревање балона и воде у њему. Након извесног времена ниво воде у цевчици се подигне (слика 5.3б). Како се током загревања шири и балон, закључак је да се вода шири, више него балон. Уопште, течности се при загревању више шире него чврста тела, а највише се шире гасови.

Ову појаву можемо да искористимо за мерење једне од кључних величина у науци о топлоти, а то је **температура**.

### ПОЈАМ ТЕМПЕРАТУРЕ

Ако се, на пример, један крај дебљег и дугачког ексера држи у руци, а други на пламену, осетиће се загревање тог ексера (слика 5.4). Што се дуже ексер држи на пламену, све је већа опасност од опекотине, јер ексеру, у том случају, расте температура.

**Температура** је физичка величина којом се **описује степен загрејаности тела**.

Појам температура уведен је на основу осећаја наших чула, мада, као што ћемо видети – она одражава унутрашње стање тела.

У свакодневном животу за одређивање температуре користи се скала са **степенима Целзијуса** (°C). Температура измерена у степенима Целзијуса обележава се са  $t$ . При томе, нули те скале ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) одговара тачка мржњења воде. Температури од  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  одговара температура кључанања воде, мада то делом зависи од атмосферског притиска.

Средином XIX века енглески физичар Келвин је изучавао ширење гасова и закључио да је најнижа могућа температура –  $273\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вредност ове температуре назива се апсолутна нула. Температура која се мери од апсолутне нуле назива се апсолутна или Келвинова температура. Јединица температуре у Међународном систему јединица јесте **келвин** (K).



a)

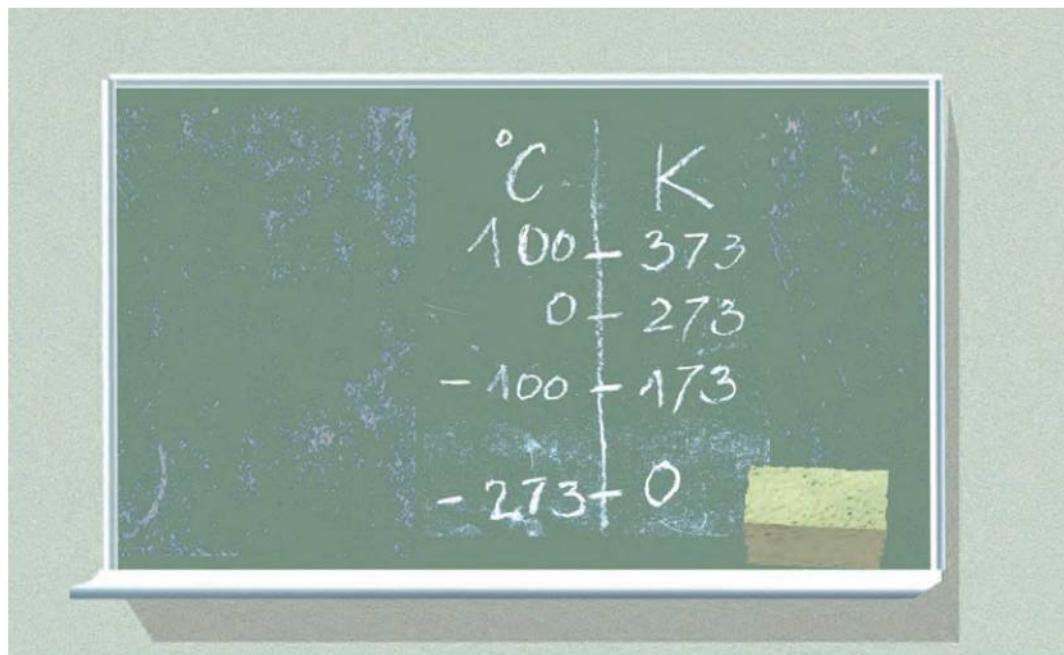
b)

Слика 5.3 – Ширење воде при загревању



Слика 5.4 – Пораст температуре ексера при загревању

На слици 5.5 дате су две температурне скале: Целзијусова и Келвинова. Види се да промена температуре, за одређени број степени у Целзијусовој скали, одговара промени – за исти број келвина, у Келвиновој скали.



Слика 5.5 – Целзијусова и Келвинова температурна скала

На основу претходног следи да се температура по Келвиновој скали  $T$  израчунава тако што се броју 273 дода температура  $t$  мерена у Целзијусовој температурној скали. Дакле:

$$T = \left( 273 + \frac{t}{^{\circ}\text{C}} \right) \text{K}.$$

На пример, собна температура од  $22\ ^{\circ}\text{C}$ , изражена у Келвиновој скали, биће:

$$T = \left( 273 + \frac{22\ ^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} \right) \text{K} = 295 \text{ K}.$$

## МЕРЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ

Позната је недоумица о врућој, млакој и хладној води. Узму се три посуђе. У једну посуду се улије врућа вода (температуре изнад  $45\ ^{\circ}\text{C}$  – из бојлера), у другу млака (температуре око  $20\ ^{\circ}\text{C}$  – из славине) и у трећу хладна (температуре око  $10\ ^{\circ}\text{C}$  – из фрижидера). Лева рука се брзо замочи у хладну, па затим у млаку воду, а десна – најпре у врућу, па у млаку воду.

Шта се осећа левом, а шта десном руком?

Овај оглед се може извести и код куће. Он показује да човечија чула могу и преварити! Физика је нашла „лек“ и за то: температура не вара. Температура је строго дефинисана физичка величина и може се објективно мерити.

За тачно мерење температуре тела служе термометри. Они су различитих конструкција, али су сви углавном засновани управо на особини тела да се шире при загревању и скупљају при хлађењу. Најчешће се користи термометар са живом (слика 5.6а) или са алкохолом (слика 5.6б). Они се сastoјe из стаклене узане цеви која на доњем крају има проширење – резервоар.

Физички принцип рада термометра се заснива на томе да се жива или алкохол (или нека друга течност) у резервоару загрева и шире.

На пример, болесницима се мери температура. Термометар (а не „топломер“ како се често погрешно назива) стави се под пазух и држи неко време. За то време се дужина стуба живе у термометру повећава, док не застане на одређеној вредности. Термометар и тело су постигли топлотну равнотежу. (Говорићемо о томе мало касније.) Њихове температуре су се на тај начин изједначиле, дакле температура очитана на термометру једнака је температури тела.

a)



б)



Слика 5.6 – Термометри

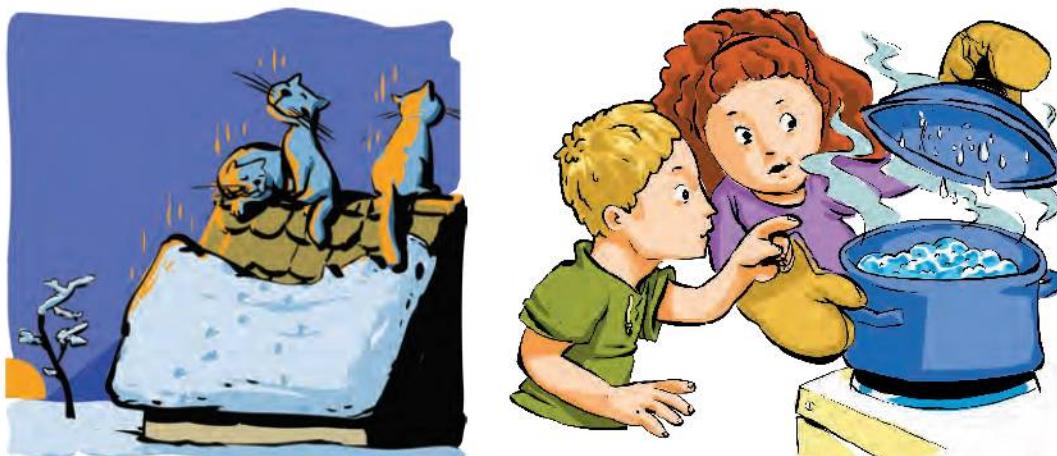
Веровашно сме приметили да се две битно различите физичке величине обележавају истим словима: време и температура у суштинима Целзијуса ( $t$ ). Истог је случај и са асолутном температуром и периодом осциловања ( $T$ ). Нажалост, изледа да је у време увођења ових ознака физичарима понесено маште или слова. Ипак, ове величине су доволно различите да при решавању задатака не постоји могућност да порешно прошумачите о којој се величини ради.

За описанак животи свега на Земљи веома је важна температура воде. Реч је о томе да се вода на температури  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  понаша друштвом од оссталих суштинија. Она постаје лушта („скуља се“) и најлушки је на  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . После тога њена температура опада. Ово је прилика да пораздовојаше са својим наставником биологије зашто је ово тако важно.



## 5.2. КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ И ТОПЛОТНА РАВНОТЕЖА

Ако се турпија гвожђе – турпија и обрађивани предмет се загреју! Ако се откива врх ексера или оштрица српа да би се наоштрила, чекић и ексер, односно чекић и срп се загреју! Метеорити падају и сагоревају. Овде се механичка енергија претвара у топлоту. На пламену ватре метална посуда са водом се загрева (слика 5.7). Животиње се греју на јутарњем сунцу. Сијалица сија, али је и топла – као и пламен свеће. Укључимо ли бојлер – загрева се вода. Слично томе, загревањем на електричном шпорету се спрема храна. У овим случајевима се електрична енергија претвара у топлоту. Значи, **топлота је само један од видова енергије тела.**



Слика 5.7 – Топлота – један од видова енергије

Енергија коју тело прими или отпушта у топлотним процесима назива се **количина топлоте**. На основу ове дефиниције следи да се количина топлоте, као и друге врсте енергије, изражава у џулима (J).

### ТОПЛОТНА КАПАЦИТИВНОСТ

Из искуства је познато да ће загрејано тело предавати своју топлоту хладнијим телима која га окружују. Хладнија тела се греју на рачун топлоте топлијих тела из околине. При томе, температура тела које отпушта топлоту – опада, док температура тела које прима топлоту – расте.

Искуство нам каже да је промена темепратуре тела повезана са одајањем или додавањем одређене количине топлоте.

Мерења показују да постоји директна сразмерност ове две величине. Даље, ако посматрамо загревање различитих маса исте супстанције, видимо да и ту постоји директна сразмера, па кажемо да је количине топлоте  $\Delta Q$  коју тело прима (предаје) сразмерна његовој маси  $m$  и промени температуре  $\Delta t$ :

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t.$$

Какав је смисао величине  $c$ ? Ако решимо претходну једначину по  $c$ :

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta t},$$

добијамо да је  $c$  количина топлоте потребна да се један килограм супстанције загреје за један келвин односно степен Целзијуса. То је карактеристика супстанције и назива се **специфична топлотна капацитивност**.

### ПРИМЕР

За загревање 50 литара воде ( $c_v = 4186 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $\rho_v = 10^3 \frac{kg}{m^3}$ ) до  $70^\circ C$ , електрични грејач бојлера је утрошио  $10 \text{ MJ}$  енергије. Ако се сматра да је сва ова енергија предата води, колика је била почетна температура воде у бојлеру?

Подаци:

$$\begin{aligned} V &= 50 \text{ l} \\ t_2 &= 70^\circ C \\ E &= 10 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\underline{t_1 = ?}$$

Решење:

$$\begin{aligned} E &= \Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t = c \cdot \rho_v \cdot V \cdot (t_2 - t_1) \Rightarrow \\ &\Rightarrow t_1 = t_2 - \frac{E}{c \cdot \rho_v \cdot V} = \\ &= 70^\circ C - \frac{10^7 \text{ J}}{4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 22,22^\circ C. \end{aligned}$$

### ТОПЛОТНА РАВНОТЕЖА

Ако смо се бројним огледима уверили да је топлота вид енергије, онда се закон одржања механичке енергије може проширити и на топлотну. Другим речима, постоји енергетска равнотежа и у топлотним процесима.

Електрични грејач бојлера загрева воду у резервоару тог бојлера. Том приликом грејач предаје топлотну енергију води. Повећава се температура воде. Дакле, електрична енергија прелази у унутрашњу енергију воде. Вода је од грејача преузела онолику количину топлоте колику је грејач њој предао!

Топлотна енергија се може предавати и на други начин. На пример, метални предмет се може загрејати директно на пламену. Међутим, у природи постоји и обрнути процес. Лети се у сок убацују коцкице леда да би се ово пиће охладило и постало освежавајуће за человека. Том приликом лед се топи (прима топлоту од сока), а сок се хлади – предаје топлоту леду. Предата количина топлоте сока једнака је примљеној количини топлоте леда.

**У једном – јединственом систему, увек постоји равнотежа примљене и предате количине топлоте!**

Посматрајмо најједноставнији случај, две посуде са водом. У једној се налази вода масе  $m_1$  и температуре  $t_1$ , а у другој вода масе  $m_2$  и температуре  $t_2$ , и нека је, рецимо,  $t_2 > t_1$ . Ако измешамо те две воде, искуство каже да се после неког времена успоставила равнотежа у смислу да целокупна вода (масе  $m_1 + m_2$ ) има неку заједничку равнотежну температуру  $t$ . Како ћемо израчунати ову температуру?

Применимо управо закон одржања енергије. Искуство нам говори да је температура  $t$  низка од температуре  $t_2$  или виша од температуре  $t_1$ . Према томе, при мешању се вода температуре  $t_2$  хлади до  $t$ , а вода температуре  $t_1$  се греје до  $t$ . Вода која се хлади отпушта количину топлоте:

$$\Delta Q_2 = c_v \cdot m_2 \cdot (t_2 - t).$$

Овде је  $c_v$  специфична топлотна капацитивност воде. Вода која се греје прима количину топлоте:

$$\Delta Q_1 = c_v \cdot m_1 \cdot (t - t_1).$$

Ако нема губитака на хлађење (посуде су изоловане при мешању вода) онда мора бити

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2,$$

а ово даје

$$c_v \cdot m_2 \cdot (t_2 - t) = c_v \cdot m_1 \cdot (t - t_1).$$

Сређивањем овог израза налазимо равнотежну температуру:

$$t = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2}.$$

Овај израз ћете проверавати на лабораторијским вежбама.

## 5.3. ЧЕСТИЧНИ САСТАВ СУПСТАНЦИЈЕ И УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА ТЕЛА



Сада је време за одговор на питање шта се заправо догађа у телу које се греје.

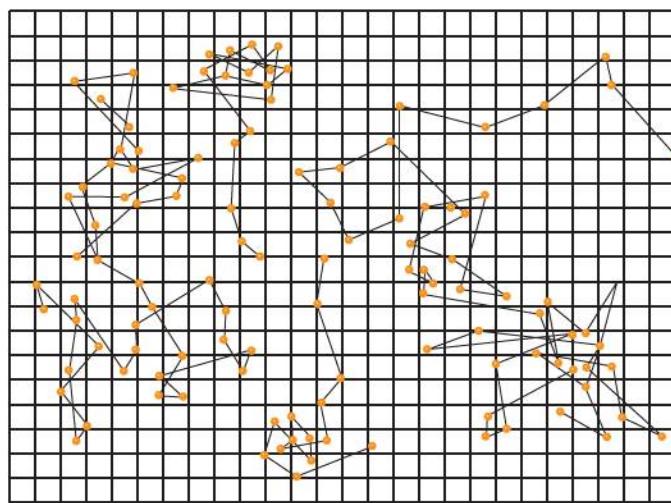
Прво што се мора уочити јесте то да је свако велико тело систем састављен од много малих тела – честица или микрочестица, односно молекула и атома, који се непрестано крећу. У току кретања молекули (атоми) стално се међусобно сударају. После сваког судара молекул мења брзину, правцац и смер кретања. Значи, кретање молекула је хаотично.

У XIX веку шкотски биолог Браун посматрао је под микроскопом поленов прах у капљици воде. Са запрепашћењем је приметио да се честице полена крећу у свим правцима, баш као да су живе. Ово кретање, по њему названо **Брауново кретање**, побудило је машту многих научника. У низу заиста маштовитих теорија једина која даје добро слагање мерених и прорачунатих величина јесте она која полази од тога да је кретање зrnaца полена последица непрекидног неуређеног (хаотичног) кретања молекула воде. У капљици воде налазе се зrna полена која су много већа од молекула воде. У свако од њих са свих страна удара велики број молекула воде. Као резултат тога, честица полена се креће по замршеној цикцак линији (слика 5.8) и тако долази до Брауновог, тј. неуређеног (хаотичног) кретања честица.

Објашњење Брауновог кретања било је важно за упознавање структуре материје, јер се доказало да се све супстанције сastoјe од ситних честица (молекула) које су у сталном, непрекидном кретању.

**Молекули свих тела су у сталном, непрекидном кретању.** Ово кретање је потпуно **неуређено** (хаотично).

Ево и једног огледа којег и нехотице често изводите на часовима ликовног васпитања. У чашу чисте воде веома пажљиво замочите, по могућству до дна, четкицу коју сте претходно пртрљали кроз боју (водену или темперу). Шта се дешава? Иако је боја тежа од воде, она почиње да се шири на све стране, па и навише (слика 5.9).



Слика 5.8 – Путања хаотичног кретања молекула



Слика 5.9 –  
Дифузија молекула  
воде и боје

Како објаснити ову појаву ?

Пошто се и вода и боја састоје од молекула, молекули воде долазе на четкицу а истовремено се молекули боје мешају са њима. Ово траје све док се вода потпуно не обоји. Када је успостављен овакав неред, даље кретање молекула не може да направи још већи неред. Две супстанције су се помешале. Процес мешања се одвијао сам од себе – спонтано. Појава да се супстанције мешају без икаквих спољашњих утицаја назива се **дифузија**. Она је могућа у свим агрегатним стањима, али је најинтензивнија у гасовима због великог слободног међумолекулског простора.

## УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА ТЕЛА

Неуређено (хаотично) кретање микрочестица назива се **топлотно кретање**.

Док се механичко кретање састоји у кретању поједињих честица или тела као целине, топлотно кретање је кретање великог броја микрочестица (молекула, атома и др.). Макроскопске појаве везане за топлотно кретање молекула су **топлотне појаве**. Топлотно кретање је посебан облик кретања које се врши у самим телима. Зато се ово кретање назива и **унутрашње кретање**, а одговарајућа енергија – **унутрашња енергија**.

Што је кретање молекула брже, то је и унутрашња енергија већа. Загрејана вода има већу унутрашњу енергију од хладне воде. Унутрашња енергија килограма леда мања је од унутрашње енергије килограма воде, чак и ако се вода и лед налазе у истој посуди (слика 5.10). По јединици масе, водена пара има већу унутрашњу енергију од вреле воде.

Рекли смо да је температура физичка величина којом се описује степен загрејаности тела. Тада појам је уведен на основу осећаја наших чула. Међутим, овај осећај није нарочито поуздан нити је погодан за мерење врло високих и нискних температура. Наиме, како у сваком телу има много молекула и како се молекули крећу великом брзином (неколико стотина метара у секунди), унутрашња енергија тела је велика. И што је она већа, то је и температура виша.

Температура карактерише унутрашње стање тела. Температура мери – „одсликава“ унутрашњу енергију тела. Унутрашња енергија код гасова практично се своди на кинетичку енергију молекула. Значи, **температура је сразмерна средњој кинетичкој енергији неуређеног (хаотичног) кретања молекула гаса**.

До сада овде није речено да је унутрашња енергија – топлота. Она то није, али може постати. **Топлота је онај удео унутрашње енергије који се са тела више температуре преноси на тело ниже температуре**. То се дешава током њиховог топлотног међуделовања и то је спонтани природни процес. Онда се и унутрашња енергија тела мења у процесима преношења топлоте.



Слика 5.10 – Вода и лед  
у посуди

## 5.4. АГРЕГАТНА СТАЊА

### СУПСТАНЦИЈЕ



Из свакодневног живота нам је познато да је вода течност без боје, мириза и укуса. Такође зnamо да вода испара, па и кључа (на  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), прелазећи у пару, односно у своје гасно стање. Међутим, када захладни и температура се спусти испод  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вода се заледи и пређе у лед – чврсто стање. Дакле, вода се јавља у три агрегатна стања: чврсто, течно и гасовито.

Да ли се таква стања јављају и код других супстанција?

Наравно, то је општа појава код свих супстанција, само су температуре прелазака из чврстог у течно и из течног у гасовито – другачије. На пример, шећер је у кристалном облику, дакле у чврстом стању, али се загревањем (преко  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) – топи и прелази у течност. Алкохол кључа на  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и „бурно“ прелази у гасно стање. Жива је течна на собним температурама, а у чврстом стању на температурама испод –  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Агрегатна стања у физици називају се **фазе**. Нека супстанција, у зависности од спољашњег притиска и температуре, може проћи кроз све три фазе (агрегатна стања). Прелази супстанције из једне у другу фазу називају се **фазни прелази** (на пример, прелазак воде у лед).

#### ТОПЉЕЊЕ И ОЧВРШЋАВАЊЕ

Прелазак супстанције из чврстог стања у течност назива се топљење, док је обрнут прелаз, из течног у чврсто агрегатно стање очвршћавање. Чврста тела се сврставају у две велике групе. Једну групу чине аморфна тела, а другу групу кристална. Аморфна тела, као што су стакло и смола, се не одликују правилним обликом. Кристална тела одликују се великим степеном уређености молекула. Наиме, молекули супстанције у чврстом стању се налазе у тачно одређеним положајима градећи правилне геометријске структуре – кристалне решетке. Кристална структура која се најчешће јавља код чврстог тела је она код које се молекули налазе распоређени у „ћошковима“ коцки – кубна кристална решетка (као код кристала кухињске соли). Привлачне сile између молекула чврстог тела су јаке што објашњава њихов сталан облик и сталну запремину.

Међутим, загревањем кристалног тела, покретљивост његових молекула расте и кристална решетка више не пружа довољно слободу молекулима за њихово кретање око својих стабилних положаја. Због тога се кидају везе које одржавају кристалну решетку и неки молекули почињу да се удаљавају. Тада чврста супстанција постепено мења своју фазу (агрегатно стање) и све више постаје течност. На нормалном атмосферском притиску, прелазак неке супстанције из чврстог у течно агрегатно стање

дешава се увек на тачно одређеној температури, карактеристичној за дату чврсту супстанцију, која се зове **температура или тачка топљења**.

Дакле, да би кристално тело прешло из чврстог стања у течност, мора се прво загрејати до температуре на којој се тај процес одвија. Да би се извршио прелаз из чврсте у течну фазу потребна је тачно одређена количина топлоте. Док траје топљење и док се делови супстанције налазе у оба агрегатна стања, температура супстанције се не мења и остаје једнака температури топљења. Само се на тачки топљења кристално тело може налазити у оба агрегатна стања (чврстом и течном) истовремено.

Количина топлоте коју треба довести да би се 1 kg неке чврсте супстанције истопио, назива се **специфична топлота топљења** ( $\lambda_t$ ). Специфичне топлоте топљења као и температуре топљења неких супстанција дате су у следећој табели.

Супстанција	Температура топљења [°C]	Специфична топлота топљења [kJ/kg]
Жива	-39	12
Лед	0	340
Алуминијум	660	390
Гвожђе	1530	290
Етил алкохол	-115	105
Олово	327	25

Табела 5.1 – Температуре топљења и специфичне топлоте топљења неких супстанција

Дакле, да би се на тачки топљења, истопила маса  $m$  неке чврсте супстанције чија је специфична топлота  $\lambda_t$ , потребно јој је довести количину топлоте:

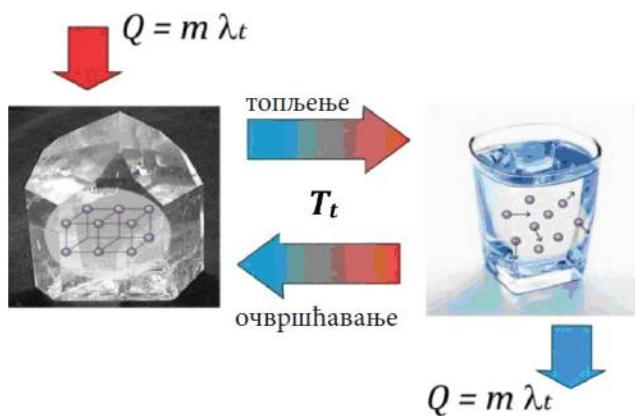
$$Q_t = m \cdot \lambda_t,$$

која се још назива **латентна (скривена) топлота**.

Обрнут процес, прелазак течне супстанције у чврсту (очвршћавање) дешава се опет на истој температури – тачки топљења. Међутим, да би дошло до очвршћавања потребно је да се та количина топлоте одузме од течности.

Карактеристичан пример за све ово што је речено је баш вода. На нормалном притиску температура топљења леда (мржњења воде) је 0 °C. Да би се 1 kg леда на 0 °C истопио, потребно му је довести 340 kJ топлоте. Ова топлота троши се само на промену агрегатног стања, без промене температуре.

Тек кад се сав лед истопи, вода може даље да се загрева (лед на температури већој од 0 °C не постоји!). Обрнуто, да би се 1 kg воде на 0 °C претворио у лед, потребно јој је одвести исту количину топлоте – 340 kJ (слика 5.11).



Слика 5.11 – Топљење/очвршићавање воде

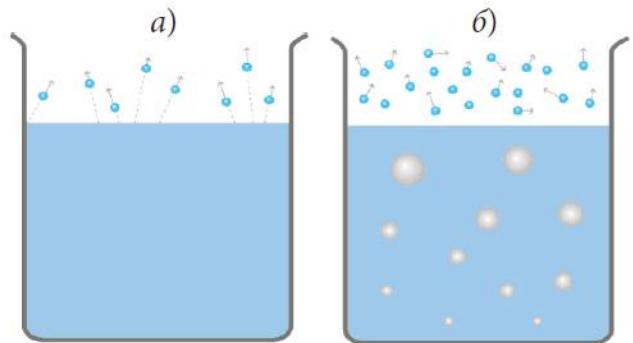
Из реченог јасно произилази да супстанција у чврстој фази има много мању унутрашњу енергију него у течној фази.

**Да ли знаће да** њосијоје тела, њиј. сукситанције које немају тачно одређену температуру топљења (очвршићавања), већ се фазни прелаз одвија йош стијено, при чему се температура током прелаза може мењати? Оваква тела називају се **аморфна** (јрчки: *morphos* – облик). Осим воска и пласмелина, можеће ли да се сеји још неких тајних сукситанција?

## ИСПАРАВАЊЕ И КОНДЕНЗАЦИЈА

Прелазак супстанције из течног у гасовито стање назива се **испаравање**. Обрнут прелаз је **кондензација**. Испаравање се одвија увек са слободне површине која је у контакту са ваздухом (газом). Течности испаравају на свим температурама, али је на вишим температурама овај процес увек много интензивнији. Приликом испаравања најбржи молекули из површинског слоја, одвајају се од слободне површи течности, јер само они имају довољно енергије да савладају привлачне међумолекулске силе које владају у течности (слика 5.12а). „Губитак“ брзих молекула, утиче на смањење унутрашње енергије течности због чега долази до њеног хлађења. У различитим течностима процеси испаравања одвијају се различитом брзином. На пример, при истим условима – бензин испарава знатно брже него вода.

У затвореном суду упоредо са процесом испаравања дешава се и обратни процес у коме се пар (газ) враћа у течност – она се кондензује.



Слика 5.12 – Испаравање течности

*Да ли знаје  
да чак и на собној  
шемијератури, посјоје  
чврсте супстанције  
које стално испарају –  
емитујући молекуле  
гаса са своје слободне  
површине? Поред  
нафтилина, почујајте да бројајете  
(да се расипате  
код родитеља или  
пријатеља, на  
Интернету итд.)  
још неке од таквих  
супстанција.*

У равнотежном стању количине течности и гаса су сталне. То значи да постоји равнотежа између процеса испаравања и кондензације. За исто време, количина течности која испари једнака је количини гаса који се кондензује.

У отвореном суду ситуација је другачија, поготово уколико постојијао струјање ваздуха изнад течности. Тада знатно више течности испари него што се кондензује. Ово је људима добро познато: мокар веш се знатно брже суши на ветру.

Најизразитије испаравање течности дешава се на температури **кључаша**. Приликом кључаша унутар течности се образују мехурни паре (гаса) који излазе на површину (слика 5.126). Зато се слободна површина течности заталаса. Испод температуре кључаша течност испарава само са слободне површине у чему учествују само брзи молекули течности. На температури кључаша, појављује се додатни механизам испаравања – преко мехурних паре, што знатно појачава процес испаравања.

Током кључаша течност остаје на температури кључаша (не повећава јој се температура), све док сва течност не испари. За прелазак 1 kg течности у пару, на температури кључаша, потребна је тачно одређена количина топлоте која је карактеристична за дату супстанцију – **специфична топлота испаравања**. У табели су дате температуре кључаша неких течности (при нормалном ваздушном притиску) и њихове специфичне топлоте испаравања ( $\lambda_i$ ).

Супстанција	Температура кључаша [°C]	Специфична топлота испаравања [MJ/kg]
Жива	357	0,34
Ацетон	57	0,52
Етил алкохол	78	0,85
Вода	100	2,24
Алуминијум	2056	8,37
Олово	1740	0,93

Табела 5.2 – Температуре кључаша и специфичне топлоте испаравања неких супстанција

Дакле, да би се маса течности  $m$ , чија је специфична топлота испаравања  $\lambda_i$ , превела у гас (пару) на температури кључаша потребно јој је до- вести количину топлоте:

$$Q_i = m \cdot \lambda_i$$

Ова топлота (латентна топлота испаравања) троши се опет само на промену агрегатног стања без промене температуре. Уколико се дешава обрнут прелаз – кондензација, иста ова количина топлоте се, на температури кључаша, одузима од паре.

Температура кључања јако зависи од притиска гаса изнад слободне површине течности. Уколико се овај притисак смањи онда се снижава и температура кључања, јер се процеси испаравања одвијају лакше. На нормалном ваздушном притиску од 1,013 bar, температура кључања воде је 100 °C, међутим, на притиску од 0,2 bar температура кључања воде износи само 60 °C.

Процес у коме супстанција прелази директно из чврстог у гасно стање, без проласка кроз течну фазу, назива се **сублимација**.

## ПОСЕБНО УПАМТИТИ

**Топлота** је само један од видова енергије тела. Загревањем се тела шире.

**Температура** описује степен загрејаности тела.

Температура се изражава у Целзијусовој и Келвиновој скали, а веза између њих дата је изразом:

$$T = \left( 273 + \frac{t}{^{\circ}\text{C}} \right) \text{K}.$$

**Количина топлоте** је енергија коју тело размењује у топлотним процесима:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t,$$

а специфична топлотна капацитивност ( $c$ ) је карактеристика супстанције.

Топлотно кретање је неуређено (**хаотично**) кретање молекула. Топлотне појаве „изазивају“ **унутрашње кретање**, којем одговара **унутрашња енергија**.

**Агрегатна стања** супстанције су **фазе**. Прелази између различитих стања називају се фазни прелази. У зависности од притиска и температуре свака супстанција може проћи кроз сва три агрегатна стања.

**Топљење/очвршћавање** дешава се на температури топљења. За топљење/очвршћавање неке супстанције доводи/одводи јој се увек иста количина топлоте – **латентна топлота топљења**:

$$Q_t = m \cdot \lambda_t.$$

Испаравање се најинтензивније одвија на температури кључања. За испаравање/кондензовање неке супстанције доводи/одводи јој се увек иста количина топлоте – латентна топлота испаравања:

$$Q_i = m \cdot \lambda_i$$

## ПИТАЊА

1. Зашто нам се чини да је вода из дубоких бунара хладнија лети него зими?
2. Колика је разлика између температуре мржњења и температуре кључања воде изражена у келвинима?

Сада можемо да ће прорескућујемо оно што је то родитељско иштање: да ли доволно радиши за школу? Рад за школу не своди се само на превртање листова и покреће очију. Ако заиста учимо а не читамо механички, стварају се одређене везе у мозгу. На њихово стварање се троши енергија, али не механичка већ она коју организам добија „саопрењем“ хране. Према томе, учење захтева енергију и врши се рад или на нивоу младих ћелија. Зато се, на жалост, не може видети колики труđ се уложили то времену које се провели над књијом, већ тек то резултату. То, наравно, не значи да не треба седети над књијом, јер, како кажу математичари „то је то је потребан, али не и доволjan услов.“

3. Боце у којим се чувају разне течности не пуне се до врха. Зашто?
4. Да ли се мења густина тела при промени његове температуре?  
Објасните.
5. Распитајте се и сазнајте зашто је за водени свет важна аномалија воде!
6. Зашто је у соби топлији ваздух ближи таваници, а хладнији ближи поду?
7. Зашто се у затвореној шерпи у којој се загрева вода капљице воде кондензују на поклопцу?
8. На врху једне планине вода кључа на температури од  $86^{\circ}\text{C}$ . Због чега?

### Механички еквивалент топлоте

*Ми смо људи и једноставно објаснили и надамо се, убедили вас у окоји закон одржавања енергије, али, историјски посматрано, дуго није било тако. Све до XIX века, поштовајући је посматрана као нешто поштуюно засебно и развијане су бројне, понекад и веома маштовите, теорије о томе шта је поштова.*

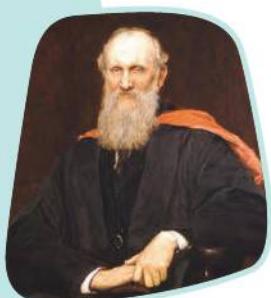
Многи истраживачи су износили своје идеје сличне данашњим и борили се са жестоким противљењем средине. Јулијус Роберт Мајер (Julius Robert Mayer, 1814–1878) као бродски лекар размишљао је о томе да повезује енергију, рад, поштоту и храну. Објављивао је о радове и у медицинским и у часописима из области физике.

Џемс Прескот Џул



Јулијус Роберт Мајер

Бенџамин Томсон, познатији као проф Румфорд такође је размишљао о овом проблему посматрајући прејање буреја при наређивању поштовских цеви. Ово се објашњавало преласком поштоти-ној флуида са окољака увожђа на буреју, али је он онда посматрао иштање: „Зашто се преје и шта буреја када се врти?“ Показао је да доволно дуго вршење буреје може да изазове прејање, па чак и кључање воде. Ни ово није прихваћено као озбиљан аргумент све док Џемс Прескот Џул (James Prescott Joule) није извео веома приказан ослег у којем терет који по некако начин окреће лопатице у посуди са водом и изазива њено прејање. Он је тада измерио оно што се дуго називало „механички еквивалент поштоте“, чиме је призната веза између поштоте и рада. Ипак, коначна формулатија закона одржавања енергије јој је објавила се тек када су Вилијем Томсон (William Thomson), Лорд Келвин (Lord Kelvin) и Рудолф Клаузијус (Rudolf Clausius) половином XIX века објавили своје кључне радове.



Лорд Келвин



Рудолф Клаузијус

## РЕЧНИК НОВИХ РЕЧИ И ИЗРАЗА

### А

**Агрегатна стања** – У природи, супстанције се могу јавити у три агрегатна стања или три **фазе**. То су чврсто, течно и гасовито.

**Архимедов закон** – Сила потиска једнака је тежини телом истиснуте течности.

### Б

**Бестежинско стање** – настаје када на тела делује сила Земљине теже која је уравнотежена са неком другом силом, па тела немају тежину.

**Брауново кретање** – потпуно неуредено (хаотично) и непрекидно кретање молекула свих тела.

### В

**Временски интервал** (обележава се са  $\Delta t$ ) – време између два догађаја, који се догоде у одређеним временским тренуцима.

### Г

**Гравитационо узајамно деловање** – огледа се у постојању гравитационе силе између два тела и има посебна својства: узрок или услов постојања је маса тела и увек је привлачно.

### Д

**Двострана полуѓа** – полуѓа код које сила и терет делују са различитих страна ослонца.

**Други (II) Њутнов закон** – Убрзање које при кретању добија једно

тело сразмерно је интензитету силе која на њега делује, а обрнуто сразмерно маси тога тела.

### Е

**Енергија** – способност тела да врши рад.

### З

**Закон одржавања енергије** – Енергија се не може ни створити ни уништити, већ се може само пренети са једног тела на друго или претворити из једног вида у други, без икаквих губитака.

**Земљина тежа** – привлачна сила Земље.

### И

**Индиферентна равнотежа тела** – случај равнотеже кад се ослонац и тешиште поклапају. Када је тело у индиферентној равнотежи, задржава се у положају у коме се остави.

**Интензитет брзине** – једнак је количнику пута и времена:

$$v_s = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

### Ј

**Једнострана полуѓа** – полуѓа код које сила и терет делују са исте стране ослонца.

### К

**Кинетичка енергија** – енергија коју тела поседују услед свога кретања.

**Коефицијент корисног дејства –** једнак је односу корисног и уложеног рада.

**Количина топлоте** – енергија коју тело размењује у топлотним процесима.

**Компоненте код слагања сила –** две или више сила које слажемо да бисмо их заменили једном (резултантом).

**Крак силе** – нормално растојање између ослонца полуге и правца деловања силе.

**Крак терета** – нормално растојање између ослонца полуге и правца деловања терета.

**Криволинијско кретање** – кретање чија је путања крива линија.

**Кружно кретање** – кретање чија је путања кружна линија.

## Л

**Лабилна равнотежа тела** – равнотежа ако се ослонац налази испод тежишта. Тело изведено из ове равнотеже се само од себе никада не враћа у првобитни положај.

**Латентна (скривена) топлота испаравања** – количина топлоте коју је потребно довести једном килограму супстанције да би она, на тачки кључања, испарила, тј. прешла из течне у гасну фазу при нормалном ваздушном притиску. Ова карактеристика супстанције једнака је латентној (скривеној) топлоти кондензације јер је кондензација обрнут процес испаравању.

**Латентна (скривена) топлота топљења** – количина топлоте коју је

потребно довести једном килограму супстанције да би се она, на тачки топљења, истопила, тј. прешла из чврсте у течну фазу. Ова карактеристика супстанције једнака је латентној (скривеној) топлоти очвршћавања јер је очвршћавање обрнут процес топљењу.

## М

**Механички рад** – управо је сразмеран интензитету силе и дужини пута коју је тело прешло под дејством те силе, ако се померање врши у смеру деловања силе.

**Момент силе** – производ силе и њеног крака.

**Момент терета** – производ терета и његовог крака.

## Њ

**Њутнов закон гравитације** – интензитет гравитационе силе сразмеран је производу маса тела и опада са повећањем њиховог међусобног растојања.

## О

**Отпор средине** – сила којом се средина супротставља кретању тела кроз њу.

## П

**Потенцијална енергија** – енергија међусобног деловања тела.

**Праволинијско кретање** – кретање код којег је путања права линија.

**Пут (пређени пут, обележава се са  $\Delta s$ )** – дужина дела путање који тело пређе за одређено време.

**Полуга** – свако чврсто тело које може да се обрће око непокретног

ослонца, а на које истовремено делују бар две силе, са тежњом да изазову супротна обртања око њеног ослонца.

## P

**Равномерно праволинијско кретање** – кретање тела по правој линији сталном брзином.

**Равномерно променљиво праволинијско кретање** – кретање тела по правој линији, брзином чији се интензитет равномерно мења у току времена.

**Равнотежа сила** – две или више сила су у равнотежи ако је њихова резултантна једнака нули.

**Равнотежа тела** – тело на које делују две или више сила је у равнотежи ако је њихова резултантна једнака нули.

**Рад** – једнак је промени енергије тела.

**Резултантна сила** – сила која може заменити деловање двеју или више сила.

## C

**Сила потиска** – сила којом течност делује на тела која се у њој налазе.

**Силе отпора кретању** – силе које се противе сваком кретању. Оне су увек истог правца, а супротног смера од кретања тела.

**Слагање сила** – поступак изнажења резултанте датих сила.

**Слободно падање** – кретање које се врши само под дејством Земљине теже.

**Снага** – брзина вршења механичког рада.

**Специфична топлота** – карактеристика супстанције и представља количину топлоте која је потребна да се један килограм супстанције загреје за један келвин или један степен Целзијуса.

**Средња брзина кретања** – израчунава се као количник пређеног пута и протеклог времена кретања.

**Стабилна равнотежа тела** – равнотежа ако је ослонац изнад тежишта. Ако се тело мало изведе из положаја стабилне равнотеже, оно се враћа у положај равнотеже.

**Стална брзина** – брзина која има сталан интензитет, правац и смер.

## T

**Тежина тела** – сила којом тело, услед Земљине теже, делује на непокретни ослонац на којем стоји, или затеже конац о који је обешено.

**Тежиште** – нападна тачка сile теже и налази се углавном у телу.

**Температура** – величина која описује степен загрејаности тела.

**Термометри** – мерила температуре.

**Топљење и очвршћавање** – прелаз супстанције из чврстог стања у течност назива се **топљење**, док је обрнут прелаз, из течног у чврсто агрегатно стање **очвршћавање**.

**Топлота** – један од видова енергије тела. Количина топлоте је енергија коју тело прими или отпусти, у топлотним процесима.

**Тренутна брзина** – брзина тела у датом тренутку.

**III Њутнов закон** – Силе, којима тела узајамно делују, имају једнаке интензитете, исте правце, а супротне смерове.

## У

**Убрзање** – величина која показује колика је промена брзине у јединици времена и означава се са  $a$ . Ако сила делује тако да се брзина под њеним дејством смањује, онда говоримо о **успорењу**.

**Убрзање Земљине теже** – убрзање које Земљина тежа даје свим телима и оно је једнако за сва тела.

**Унутрашња енергија тела** – енергија унутрашњег (топлотног) кретања свих молекула тела.

## Х

**Хитац навише** – случај кретања тела које на неки начин шаљемо вертикално у вис са одређеном почетном брзином.

**Хитац наниже** – случај кретања тела које на неки начин шаљемо вертикално надоле са одређеном почетном брзином.

## Срећан крај, по други пут!



Ево нас поново на крају школске године, друге у којој изучавамо физику. Сигурно сте приметили да је овогодишња физика малко озбиљнија, а такав је, наравно, онда и уџбеник. Направили смо неколико важних корака, пре свега упознали смо појам физичког поља којим ћемо се бавити и у 8. разреду. Исто тако, употребили смо познавање Њутнових закона механике, а сазнали о појму енергије, прво механичке енергије, а потом тај појам пренели и на топлотне појаве.

Приметили сте да има и више формула него у 6. разреду, али и то је за очекивати. Старији сте, способнији да се ухватите у коштац са решавањем задатака, поготово стога што вам се пружа прилика да за оно што сте научили у математици пронађете још једну корисну примену – у физици.

Много смо се позивали на свакодневно искуство, неки пут и на оно што сте „превазишли“, као што су клацкалице, али и то није лоше пошто сасвим сигурно „проблематику добро познајете“.

Време је за заслужен одмор, после којег вас чека још једна година учења физике у основној школи. Биће још мало механике, а затим прелазимо на осцилације, електричитет и магнетизам.

**Наставиће се....**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Капор, Ј. Шетрајчић,  
*Физика за VI разред основне школе*,  
Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2002.
2. Г. Димић, Д. Илић, Ј. Томић,  
*Физика за VII и VIII разред основне школе*,  
Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1970.
3. М. Распоповић и остали,  
*Физика за VI, VII и VIII разред основне школе*,  
Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996.
4. М. Бабић и остали,  
*Физика – уџбеник за седми и осми разред основне школе*,  
Профил, Загреб, 1999.
5. E. Zalamea, R. Paris, J. A. Rodriguez,  
*Fisica 1–3*,  
EMV – Educar, Bogota (Colombia), 1985.
6. G. Gamov, J. M. Cleveland,  
*Physics, Foundation and Frontiers*  
Prentice – Hall, New Jersey (USA), 1969.
7. R. Resnick, D. Halliday, K. S. Krane,  
*Physics I & II*,  
J. Wiley & Sons, New York (U.S.A), 1992.
8. О. Ачић и остали,  
*Физика, Мозаик знања, Енциклопедијски лексикон*,  
Итерпрес, Београд, 1972.
9. И. Јанић, Д. Мирјанић, Ј. Шетрајчић,  
*О��шћа физика и биофизика*,  
Матићграф, Бања Лука, 1993.
10. В. Паар,  
*Физика за 7. и 8. разред основне школе*,  
Школска књига, Загреб, 2006.
11. Б. Брезнец и остали,  
*Физика за 8. и 9. разред основне школе*,  
Модријан, Љубљана, 2002.
12. Ј. Шетрајчић, Д. Капор,  
*Физика за 7. разред основне школе*,  
Завод за уџбенике, Београд, 2007.

Др Јован П. Шетрајчић • др Дарко В. Капор

**ФИЗИКА**  
**за 7. разред основне школе**

Прво издање, 2020. година

*Издавач*  
Завод за уџбенике, Београд  
Обилићев венац 5  
[www.zavod.co.rs](http://www.zavod.co.rs)

*Ликовни уредник и корице*  
Биљана Савић

*Илустрације*  
Игор Кекељевић  
Зоран Пешкан  
Владимир Мојсиловић  
Љубомир Бабић

*Лекцијор*  
Мирјана Милошевић

*Графички уредник*  
Мирослав Радић

*Корекцијор*  
Маријана Васић Стјепановић

*Дизајн*  
Лазо Сатмари

*Обим:* 13 штампарских табака  
*Формат:* 20,5 × 26,5 см  
*Тираж:* 4.500 примерака

Рукопис предат у штампу јула 2020. године  
Штампање завршено јула 2020. године

*Штампа*  
АМД СИСТЕМ, Београд

CIP - Каталогизација у публикацији  
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

37.016:53(075.2)

**ШЕТРАЈЧИЋ, Јован, 1951-**

Физика : за 7. разред основне школе / Јован П. Шетрајчић и Дарко В. Капор ; [илустрације Игор Кекељевић ... и др.]. - 1. изд. - Београд : Завод за уџбенике, 2020 (Београд : АМД систем). - 102 стр. : илустр. у бојама ; 27 cm

Тираж 4.500.

ISBN 978-86-17-20331-1

1. Капор, Дарко, 1949- [автор]

COBISS.SR-ID 18047497