

Kermeņu kustība

Saturs

1 Ievads	1
2 Taisnlīnijas kustība	3
2.1 Vienmērīga taisnlīnijas kustība	5
2.1.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts	5
2.1.2 Kāpēc ķermenis kustas taisni un vienmērīgi — kustības cēlonības aspekts	9
2.2 Nevienmērīga taisnlīnijas kustība	15
2.2.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts	15
2.2.2 Kāpēc ķermenis kustas taisni un nevienmērīgi — kustības cēlonības aspekts	18
3 Līklīnijas kustība	21
3.1 Vienmērīga līklīnijas kustība	22
3.1.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts	22
3.1.2 Kāpēc ķermenis kustās līkumoti un vienmērīgi — kustības cēlonības aspekts?	24
3.2 Nevienmērīga līklīnijas kustība	25
3.2.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts?	25
3.2.2 Kāpēc ķermenis kustas līkumoti un nevienmērīgi — kustības cēlonības aspekts	27
4 Nobeigums	27

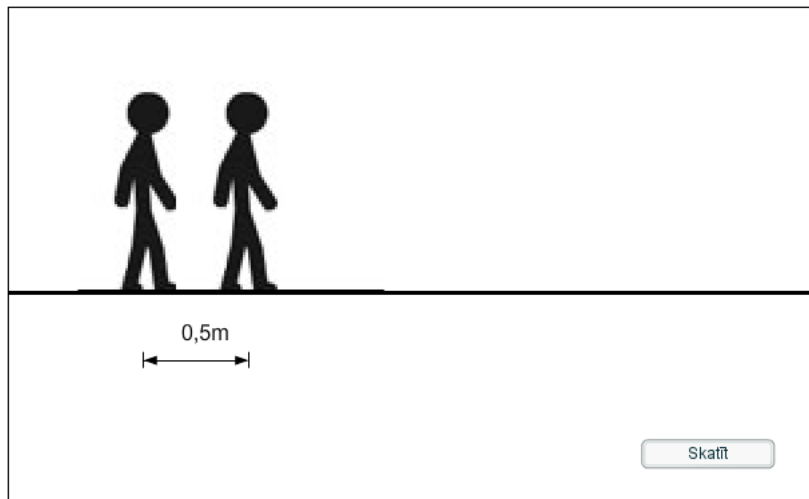
1 Ievads

Pasaulē viss ir mainīgs. Mainās gadalaiki, pa ceļiem brauc automašīnas, Zeme riņķo ap Sauli, dzimst un mirst cilvēki, tek upes, lido putni un lidmašīnas, nekas nestāv uz vietas. Pat tad, kad šķiet, ka visur ir iestājies miers jeb nemainība, ilgāki novērojumi liecina par kādām notiekošajām izmaiņām vai pārmaiņām kā noteiktas mainības īstenošanos. Piemēram, jūras virsma saulainā bezvēja dienā Tev atgādinās spoguļi, tomēr tā ņirb un ne mirkli nav mierīga. Tāpat arī, ja ilgāku laiku novērotu akmeni lauka vidū, ar laiku mēs redzētu, ka tas pamazām arvien dziļāk ieguļas zemē. Līdzīgi arī nekustīgā ūdens pilienā nemitīgi notiek ar aci nesaskatāmu ūdens daļiņu kustība. Mainība visapkārt un mēs paši mainībā – tāds ir mūžības likums.

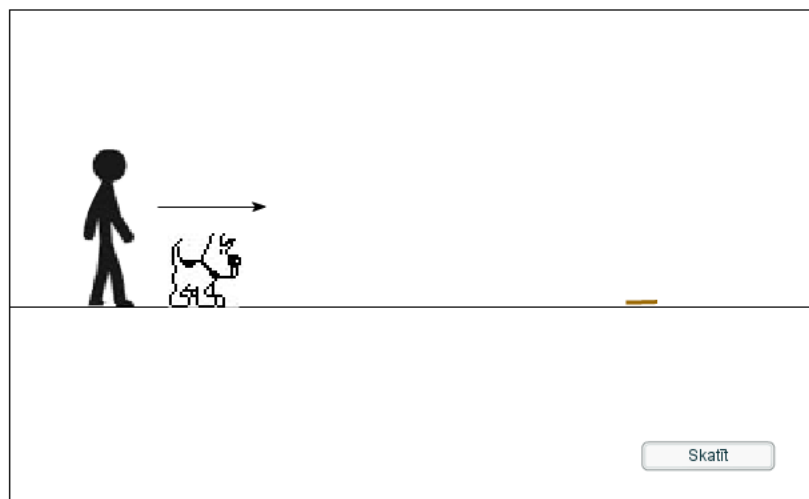
Ķermeņu kustība — viena no visbiežāk dabā un tehnikā novērojamām mainībām. Ar ķermeņu kustību saprot ķermeņa novietojuma izmaiņu attiecībā pret citiem ķermeņiem.

Lai saprastu dažādu dabas parādību sakarības ar fiziku, kas ir fizikālo dabas parādību atveids mūsu apziņā, mums vispirms jāveic šo dabas parādību novērošana. Arī iepazīstoties ar e–fiziku kā fizikālo parādību atveidu e–vidē, ir jāsāk ar šo parādību novērošanu. Tev tiks piedāvāts pašam vērot, analizēt un izdarīt secinājumus, iepazīstot fizikālo parādību atveidu e–vidē.

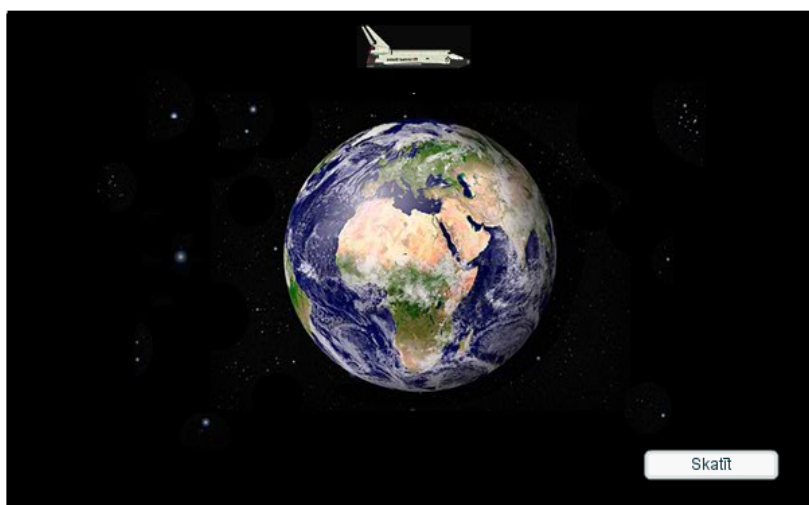
Lūk pirmās dabas parādības, kurās vērojam fizikālo parādību būtību — ķermeņu kustību (skat. 1, 2 un 3 attēlus).



Att. 1: Animācija ķermeņu savstarpējā novietojuma attāluma maiņa



Att. 2: Animācija ķermeņa kustības virzienu maiņa



Att. 3: Animācija nepārtraukta virzienu maiņa

Tagad, kad esi novērojis(-usi) dažādu ķermeņu kustības atveidu e-vidē, kas atbilst dabā novērojamo ķermeņu kustībām, padomā, kas mainās kustībā esošajam ķermenim, salīdzinot ar miera stāvoklī esošu (nekustīgu) ķermeni? Citiem vārdiem, ar ko atšķiras ķermeņa kustība no nekustības?

Salīdzini savas domas ar citu cilvēku jau izteiktajām domām un izdari secinājumus par novēroto. Ja Tavas domas un secinājumi visumā sakrīt ar citu novērotāju domām un secinājumiem, kas savukārt atbilst vispārpieņemtajām atziņām par ķermeņu kustības būtību, tad Tu pats sev esi veiksmīgi noskaidrojis ko nozīmē teikt, ka ķermeni kustas.

Datora ekrānā vērojot kustībā esošos ķermeņus, pirmajā animācijā (1 att.) varam redzēt, ka galvenā pazīme, kas atšķir ķermeņu kustību no to atrašanās miera stāvoklī, ir novēroto cilvēku jeb ķermeņu savstarpējā attāluma maiņa kustības laikā.

Otrajā animācijā (2 att.) redzam, ka kustībā esošajam ķermenim (suni skrienot) mainās gan attālums no cilvēka, gan arī kustības virziens.

Trešajā animācijā (3 att.) redzam, ka attālums starp zemeslodi un ap to riņķojošo kosmisko staciju nemainās, taču nemitīgi mainās raķetes kustības virziens. Tātad ķermenis kustības laikā var mainīt un var arī nemainīt attālumu no kāda cita ķermeņa. Tieši tāpat var nemainīties virziens, bet atrašanās vieta kustībā esošam ķermenim gan mainīsies vienmēr. Ne velti ir radies teiciens "vienā un tajā pašā upē divreiz neiekāpsi".

Noslēdzot animācijās attēloto ķermeņu kustības pirmos novērojumus un novērotā apdomu, varam izdarīt šādu secinājumu:

Secinājums: Miera stāvoklī ķermeņu novietojums nemainās – nekustīgu ķermeņu savstarpējie attālumi un atrašanās virzieni ir nemainīgi. Savukārt kustībā esošo ķermeņu novietojums mainās – novērojam gan savstarpējā attāluma, gan atrašanās virziena izmaiņas.

Pavēro ķermeņu kustības arī dabā, mūsu apkārtējā vidē, un vēlreiz pacenties apdomāt, kā raksturot atšķirības starp ķermeņu nekustību un ķermeņu kustību. Mēģini atbildēt uz šiem jautājumiem.

Jautājumi:

1. Ar ko atšķiras kustībā esošs ķermenis no miera stāvoklī esoša ķermeņa?
2. Kas mainās ķermeņu novietojumā, ja ķermeni kustas?

Ja esi sapratis un sniedzis sev pilnvērtīgas atbildes uz uzdotajiem jautājumiem, tad varam doties tālāk un iepazīt ķermeņu kustību pamatveidus.

2 Taisnlīnijas kustība

Tu jau esi ievērojis(-jusi), ka ķermeni kustas dažādi. Kā varam raksturot šo dažādību — ķermeņu kustību daudzveidību? Uzsākot meklēt atbildes uz šo jautājumu, vēro nākamos divus video fragmentus (4 un 5 attēli).

Vai novēroji kādas ir atšķirības starp abām kustībām? Vai pamanīji, ka pirmajā video automašīna kustas pa taisnu ceļu, bet otrajā – pa līkumotu?

Matemātiski ceļu – kustībā esošā ķermeņa atrašanās vietu kopumu — apzīmē ar taisnu vai līku līniju. Šajā sakarā vēro nākamo animāciju (6 attēls).

Taisnlīnijas kustība ir ķermeņu kustību pa taisnu ceļu (līniju).



Att. 4: Automašina, kura kustas pa taisnu ceļa posmu



Att. 5: Automašina, kura kustas pa likumotu ceļa posmu

2.1 Vienmērīga taisnlīnijas kustība

2.1.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts

Tagad, kad esi iepazinies(-nudies) ar taisnlīnijas kustību, atkārtosim pirmā video (4 att.) vērošanu, kurā ķermenis kustas pa taisnu ceļu. Vērojot pievērs uzmanību, cik ātri mainās ķermeņa ātrums mašīnas, un paskaties, ko rāda automašīnas spidometrs — mērierīce, kura mēra automašīnas kustības ātrumu.

Tagad, kad esi novērojis(-usi) šo taisnlīnijas kustību, padomā, kā vari raksturot novēroto.

Ikvienu kustību raksturojas ar kustībā esošā ķermeņa veiktā ceļa garumu Δs un laika intervālu Δt , kurā šis ceļš ir veikts. Šo laika intervālu Δt sauc par ķermeņa kustības ilgumu. Ja uzmanīgi vēroji video, tad noteikti pamanīji, ka veiktais ceļa garums Δs ir nemanīgs, bet mainīgs varētu būt kustības ilgums. Turklāt, ja Tu aplūkosi nākamo animāciju (7 att.), iespējams pamanīsi arī vēl kādu būtisku vienmērīgas kustības raksturojošu lielumu.

Kā Tu domā, vai šādu kustību var saukt par vienmērīgu taisnlīnijas kustību? Kas to raksturot?

Ikvienu kustību raksturojas ar ķermeņa atrašanās vietu secīgu uzrādīšanu atbilstošajos laika momentos. Apzīmējot atrašanās vietas ar burtu s un atbilstošos laika momentus ar burtu t , izveidojam attiecīgo skaitļu tabulu $s(t)$ (skat. 1 tabulu) un tai atbilstošo grafiku (8 att.).

Apzīmējumu s_i un t_i indeksi i uzrāda atrašanās vietas un laika momenta kārtas numuru. Piemēram, sākotnējās atrašanās vietas s_0 un sākotnējā laika momenta t_0 numurs ir $i = 0$, nākamās atrašanās vietas s_1 un laika momenta t_1 numurs ir $i = 1$ utt. Ja indeksu nav, tas nozīmē jebkuru iespējamo kustībā atrodošās ķermeņa atrašanās vietu un laika momentu $s(t)$.

Tabula 1: Ķermeņa vienmērīgas taisnlīnijas kustības stāvokļi

$s(m)$	$t(s)$
$s_0 = 0$	$t_0 = 0$
$s_1 = 125$	$t_1 = 150$
$s_2 = 250$	$t_2 = 300$
$s_3 = 375$	$t_3 = 450$
$s_4 = 500$	$t_4 = 600$
$s_5 = 625$	$t_5 = 750$
$s_6 = 750$	$t_6 = 900$
$s_7 = 875$	$t_7 = 1050$
$s_8 = 1000$	$t_8 = 1200$

Tikko vērotās animācijas grafiskais apraksts (8 att.) uzrāda vienmērīgas kustības specifiku — veiktā ceļa garums Δs jeb attālums no ķermeņa sākotnējās atrašanās vietas s_0 aug proporcionāli laikam t . Matemātiski to apraksta šādi:

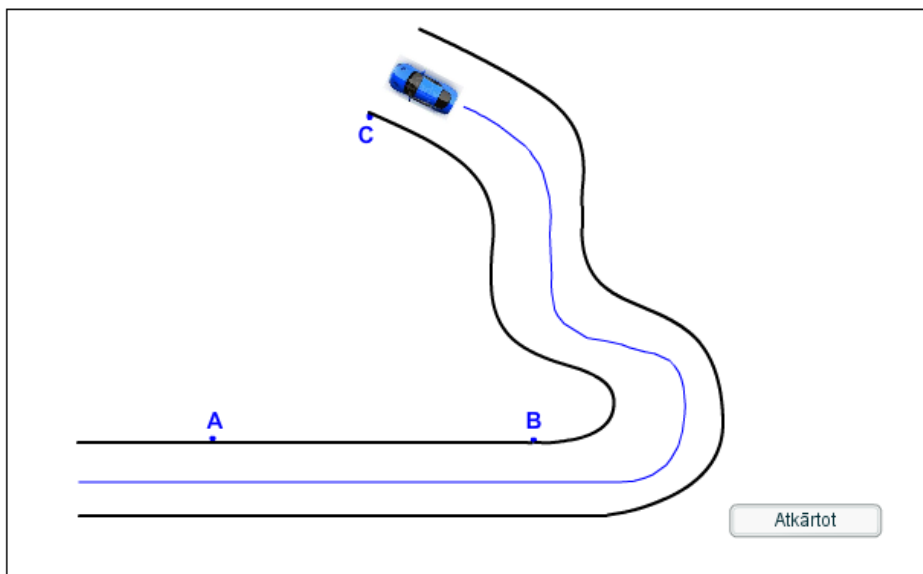
$$\Delta s = s(t) - s_0(t_0) = v\Delta t, \text{ kur } \Delta t = t - t_0.$$

Ja $s_0(t_0) = 0$ un $t_0 = 0$, tad iegūstam formulu $s = vt$.

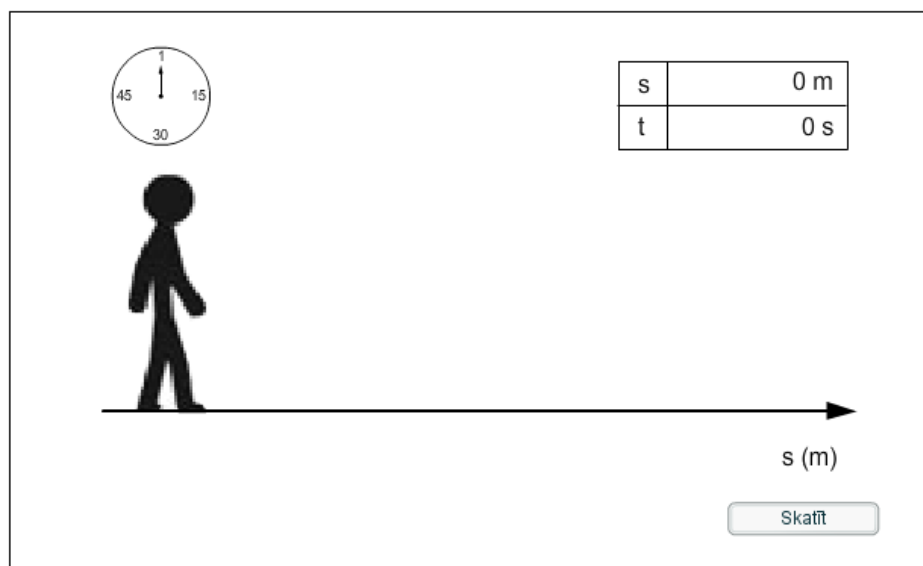
Abās šajās formulās parādās jauns kustību raksturojošs fizikālais lielums — kustības ātrums, kuru apzīmē ar burtu v .

Vienmērīgas kustības ātrums ir proporcionalitātes koeficients, kas raksturo ķermeņa veiktā ceļa garuma Δs un šī ceļa veikšanas ilguma Δt kopsaistību. $\Delta s = v\Delta t$ un $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Ikvienu kustību kopumā var tikt aplūkota arī kā sastāvoša no atsevišķiem tās posmiem jeb soļiem, katru no tiem raksturojot ar soļa garumu — Δs_i , soļa ilgumu — Δt_i un soļa ātrumu v_i , kur $v_i = \frac{\Delta s_i}{\Delta t_i}$.



Att. 6: Taisnlīnijas kustība posmā AB, liklīnijas kustība posmā BC



Att. 7: Animācija vienmērīga taisnlīnijas kustība

Ikvienu soļa garumu Δs_i var aprēķināt, ja no ķermeņa esošās atrašanās vietas raksturojošā skaitļa atņem tā iepriekšējās atrašanās vietas raksturojošo skaitli. Piemēram, trešā soļa ($i = 3$) garums $\Delta s_3 = s_3 - s_2$ un ilgums $\Delta t_3 = t_3 - t_2$.

Kustības soļu garuma, soļu ilguma un soļu ātruma noteikšanai izmantojot iepriekš iegūto tabulu — papildinot to, kā redzams 2 tabulā, iegūstam vienmērīgas kustības vēl citu raksturojumu: visu soļu ātrumi ir vienādi un vienādi ar vienmērīgās kustības ātrumu v :

$$v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v$$

Tabula 2: Ķermeņa kustības soļu garuma, ilguma un ātruma noteikšana

$s \text{ (m)}$	$t \text{ (s)}$	$\Delta s_i \text{ (m)}$	$\Delta t_i \text{ (s)}$	$v_i = \Delta s_i / \Delta t_i \text{ (m/s)}$
$s_0 = 0$	$t_0 = 0$	$\Delta s_0 = 0$	$\Delta t_0 = 0$	$v_0 = 0$
$s_1 = 125$	$t_1 = 150$	$\Delta s_1 = s_1 - s_0 = 125$	$\Delta t_1 = t_1 - t_0 = 150$	$v_1 \approx 0,83$
$s_2 = 250$	$t_2 = 300$	$\Delta s_2 = s_2 - s_1 = 125$	$\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 150$	$v_2 \approx 0,83$
$s_3 = 375$	$t_3 = 450$	$\Delta s_3 = s_3 - s_2 = 125$	$\Delta t_3 = t_3 - t_2 = 150$	$v_3 \approx 0,83$
$s_4 = 500$	$t_4 = 600$	$\Delta s_4 = s_4 - s_3 = 125$	$\Delta t_4 = t_4 - t_3 = 150$	$v_4 \approx 0,83$
$s_5 = 625$	$t_5 = 750$	$\Delta s_5 = s_5 - s_4 = 125$	$\Delta t_5 = t_5 - t_4 = 150$	$v_5 \approx 0,83$
$s_6 = 750$	$t_6 = 900$	$\Delta s_6 = s_6 - s_5 = 125$	$\Delta t_6 = t_6 - t_5 = 150$	$v_6 \approx 0,83$
$s_7 = 875$	$t_7 = 1050$	$\Delta s_7 = s_7 - s_6 = 125$	$\Delta t_7 = t_7 - t_6 = 150$	$v_7 \approx 0,83$
$s_8 = 1000$	$t_8 = 1200$	$\Delta s_8 = s_8 - s_7 = 125$	$\Delta t_8 = t_8 - t_7 = 150$	$v_8 \approx 0,83$

Vienmērīga taisnlīnijas kustība ir kustība, kurā ķermeņa kustības ceļš ir taisns un visi kustības soļu ātrumi ir vienādi (vienāda ilguma soļiem atbilst vienādi soļu garumi). Tātad, visā kustības laikā ķermeņa kustības ātrums un virziens nemainās.

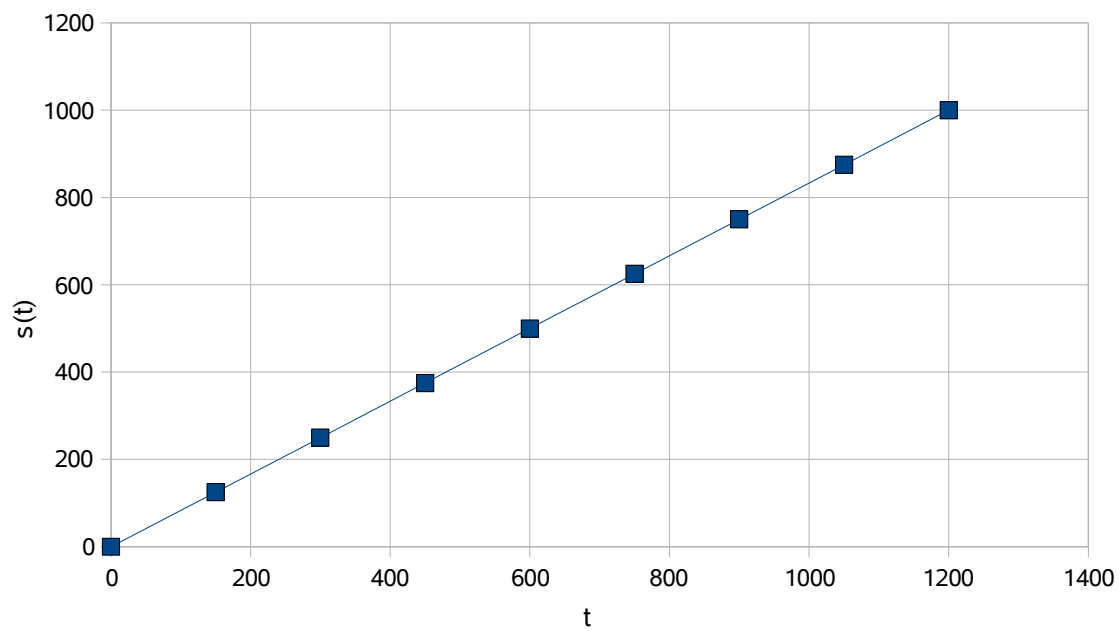
Lai nostiprinātu tikko iegūtās zināšanas, izpildi uzdevumu par kustības aprakstu (1 uzd.) un nosaki, kas šī ir par kustību. Risinot uzdevumu, ņem vērā, ka fizikā pēc starptautiskās mērvienību sistēmas, ceļa garumu Δs mēra metros un kustības ilgumu Δt mēra sekundēs. Tātad, risinot uzdevumu, Tev no kilometriem jāpāriet uz metriem un no stundām jāpāriet uz sekundēm. Atgādinu, ka $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$, $1 \text{ h} = 60 \text{ min}$ un $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$.

1. uzdevums. Motocikla kustība

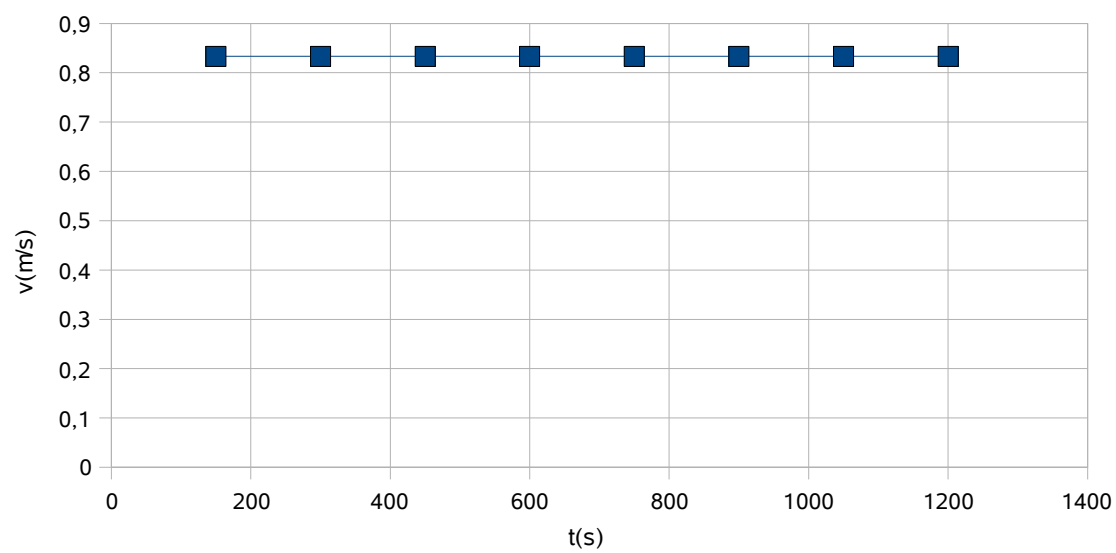
Motociklam veicot kustību taisnā ceļa posmā, tika uzņemts laiks un sekots līdz kilometru skaitītājam. Pēc pirmās stundas brauciena no kilometru skaitītāja tika nolasīts, ka ir nobraukti 72 km, pēc otrās stundas, tas rādīja 144 km nobraukumu, bet vēl pēc stundas kopējais nobraukums bija 216 km. Aprēķini, cik liels bija motocikla kustības ātrums katrā laika posmā! Kāds ķermeņa kustības veids tas bija?

Tagad Tev ir zināms viss, kas nepieciešams, lai atrisinātu šo uzdevumu. Vēlu veiksmi! Kad būs izrisinājis uzdevumu, vari iepazīties ar turpinājumu.

Ja Tu, atrisinot uzdevumu, iegūvi, ka $v_1 = v_2 = v_3 = 20 \text{ m/s}$ un izsecināji, ka tā ir vienmērīga taisnlīnijas kustība, tad Tu esi apguvis(-usi) šo taisnlīnijas kustību un tālāk vari iepazīties ar nevienmērīgu taisnlīnijas kustību. Ja Tu neiegūvi šādus rezultātus, tad aplūko, kā tie bija jāiegūst ar iegūtajām sakarībām $v_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1}$, $v_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2}$, $v_3 = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3}$.



Att. 8: Vienmērīgas taisnlīnijas kustības ceļa grafiks $s(t)$



Att. 9: Vienmērīgas taisnlīnijas kustības ātruma grafiks

$\Delta t_1 = 1h = 3600s$
 $\Delta S_1 = 72 km = 72000m$
 $v_1 = \frac{\Delta S_1}{\Delta t_1} = \frac{72000}{3600} = 20 m/s$

$\Delta t_2 = 2h = 7200s$
 $\Delta S_2 = 144 km = 144000m$
 $v_2 = \frac{\Delta S_2}{\Delta t_2} = \frac{144000}{7200} = 20 m/s$

$\Delta t_3 = 3h = 10800s$
 $\Delta S_3 = 216 km = 216000m$
 $v_3 = \frac{\Delta S_3}{\Delta t_3} = \frac{216000}{10800} = 20 m/s$

$v_1 = v_2 = v_3$
 Vienmērīga kustība

Att. 10: 1. uzdevuma atrisinājums

2.1.2 Kāpēc ķermenis kustas taisni un vienmērīgi — kustības cēlonības aspekts

Runājot par ķermeņu kustību, noskaidrojām, ka pasaulē viss mainās un to veidojošie ķermeņi kustas vai atrodas miera jeb nekustīgā stāvoklī attiecībā pret citiem ķermeņiem. Taču var rasties jautājums, *kāpēc* ķermeņi kustas vai atrodas miera stāvoklī. Piemēram, kāpēc, atnākot mājās no skolas, grāmata, kuru Tu atstāji uz galda, joprojām stāv savā vietā. Tieši tāpat var jautāt par rakstāmgaldu un citām sadzīves lietām. Lai radītu vai izmainītu futbola bumbas kustību, futbolists tai sper ar kāju. Kā skaidrojam novērojamās ķermeņu kustības izmaiņas, kāds ir šo izmaiņu cēlonis? Ilustrācijai vēro video (11 att.).

Vispārīgo atbildi uz šo jautājumu sniedz šāda cilvēces izlolota atziņa:

Atziņa: Ķermeņu kustības cēlonis ir ķermeņu savstarpējā iedarbība jeb mijiedarbība.

Cilvēkam vai kādam citam ķermenim iedarbojoties uz priekšmetiem, tie maina savu atrašanās vietu jeb kustas. Var notikt arī iedarbība, kuras rezultātā sākotnēji kustībā esošs ķermenis var tikt apstādināts. Piemēram, kad automašīna nobrauc no ceļa un ietriecas kokā, tā tiek apstādināta. Taču ne vienmēr, lai apstādinātu automašīnu, ir jāietriecas kokā. Automašīnas ātrumu var samazināt un automašīnas kustību izbeigt var arī ar bremžu palīdzību.

Ilustrācijai noskaties video (12 att.).

Gadījumā, kad notiek ķermeņu mijiedarbība, ir pieņemts teikt, ka ķermeņi viens uz otru iedarbojas ar spēku. Citiem vārdiem, ķermeņu mijiedarbību raksturo fizikālais lielums “spēks”, kuru parasti apzīmē ar burtu F . Automašīnas dzinējam iedarbojoties uz riteņiem, tie griežas un mijiedarbībā ar ceļa segumu rada automašīnas kustību. Šoferim izslēdzot dzinēju, automašīnas ātrums bremžu vai citu ķermeņu iedarbības rezultātā pakāpeniski samazinās līdz automašīna apstājas.

Tagad uzdosim sev jautājumu: kā izskaidrojama ķermeņa atrašanās miera stāvoklī vai vienmērīgā kustībā, ja tas mijiedarbojas ar citiem apkārtējiem ķermeņiem?

Atbilde skan — visas apkārtējo ķermeņu iedarbības uz novērojamo ķermeni ir savstarpēji līdzsvarotas, to summārā iedarbība raksturojas ar spēku, kura lielums ir vienāds ar nulli.



Att. 11: Kā viens ķermenis iekustina citu



Att. 12: Automašīna, kura kustas pa taisnu ceļa posmu



Att. 13: Parašūtists vienmērīgi nolaižas

Video (13 att.), kurā vērojam ķermeņa (parašūtista) vienmērīgu krišanu — vienmērīgu vertikālu kustību attiecībā pret zemi. Šajā gadījumā zemes iedarbību, kuru raksturo zemes pievilkšanas jeb gravitācijas spēks F_1 , līdzsvaro gaisa vides iedarbība, kuru raksturo gaisa pretestības spēks F_2 :

$$F_1 = F_2 \text{ un } v = \text{const.}$$

Video (14 att.), kurā vērojam helikopteru, redzam ķermeņa (helikoptera) atrašanos miera stāvoklī virs zemes (helikopters cenšas saglabāt attālumu līdz zemei). Arī tad uz šo ķermeni darbojošies spēki lejupvērstais zemes pievilkšanas spēks un augšupvērstais helikoptera dzinēja radītais cēlējspēks viens otru līdzsvaro. Tie ir vienāda lieluma un pretēji vērsti iedarbības spēki: $F_1 = F_2$ un $v = \text{const} = 0$.

Video, kuros vēroji automašīnas kutību vienmērīgas kustības gadījumā, tika vērota ķermeņa (automašīnas) vienmērīgu horizontālu kustību pa zemes virsmu. Šajā gadījumā automašīnas dzinēja iedarbību, kuru raksturo dzinējsspēks F_1 , līdzsvaro gaisa vides un zemes iedarbība, kuru raksturo gaisa pretestības spēka un attiecīgo berzes spēku summārais spēks F_2 : $F_1 = F_2$ un $v = \text{const}$.

15 attēlā redzam ķermeņa (meitenes) atrašanos miera stāvoklī uz zemes virsmas. Arī tad uz šo ķermeni pretējos virzienos horizontāli darbojošies spēki viens otru līdzsvaro: $F_1 = F_2$ un $v = \text{const} = 0$.

14 video un 15 attēlā vēroto ķermeņu kustības ceļi bija taisni. Kāpēc taisni? Tas bija tādēļ, ka nebija tādas citu ķermeņu iedarbības, kas mainītu novērotā ķermeņa kustības virzienu

Apkopojot novēroto un novērotā cēloņu skaidrojumus ar spēka jēdziena palīdzību, varam sniegt vispārīgu atbildi uz sākotnēji izvirzīto jautājumu, kāpēc ķermenis kustas taisni un vienmērīgi. Šī atbilde raksturo pirmo no trim vissvarīgākajiem mehānikas likumiem, kurus pirms vairākiem simtiem gadu formulēja angļu zinātnieks *Īzaks Ņūtons*.



Att. 14: Helikopters cenšas saglabāt vienādu attālumu līdz zemei



Att. 15: Attēls, kurā ķermenis (meitene) atrodas virs zemes

Pirmais Ņūtona likums Katrs ķermenis atrodas miera stāvoklī vai vienmērīgā taisnlinijas kustībā tik ilgi, kamēr citu ķermeņu iedarbība, kas tiek raksturota ar atbilstošiem spēkiem, nerada kustības ātruma vai virziena izmaiņu. Citiem vārdiem, šo iedarbību raksturojošo spēku summa ir nulle.

Jautājums:

1. Kāpēc, braucot vienmērīgi ar auto, tā dzinējam tomēr ir aktīvi jādarbojas — jāgriež riteņi, tātad jāiedarbojas uz tiem?

Varētu domāt, ka pirmais Ņūtona likums taču saka, ka vienmērīgai kustībai nevajag spēku.

Te nu būsim ļoti uzmanīgi — uz ķermeņiem vienmēr un visur darbojas citi ķermeņi! Tie var kustību bremsēt un gais (tā izrādītā pretestība kustošajai automašīnai) ir viens no iedarbības avotiem, kuru radītais pretestības spēks vienmērīgi braucošajam auto ar savu dzinēju ir jālīdzsvaro! Citādi automašīna pamazām zaudēs ātrumu un apstāsies. Tātad automašīnai braucot vienmērīgi, tās dzinējam, saskaņā ar pirmo Ņūtona likumu, ir jālīdzsvaro visas kustību bremsējošās iedarbības tā, lai dzinējspēks un kopējais bremsējošais spēks būtu vienādi, līdzsvarotu viens otru. Tad arī kopējā iedarbība uz auto būs līdzsvarota (vai skaitliski vienāda ar nulli) un kustība noritēs vienmērīgi ar kādu noteiktu nemainīgu ātrumu.

Tātad vēlreiz ievērosim — ķermeņu mijiedarbības ir vienmēr un visur un tikai gadījumā, ja visas iedarbības uz interesējošo ķermeni ir līdzsvarotas tā, ka tās raksturojošais kopspēks ir vienāds ar nulli, ķermenis kustēsies vienmērīgi vai arī nekustēsies, atradīsies miera stāvoklī. Ķermeņa vienmērīga kustība vai nekustība, kad kustības ātrums ir nemainīgs, ir īpaša situācija ķermeņu mijiedarbībā. To tad arī raksturo pirmais Ņūtona likums.

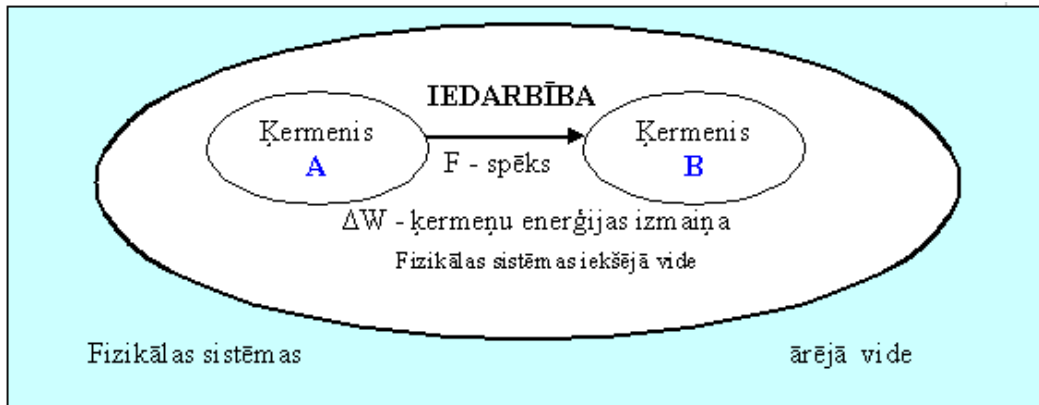
Noskaidrojot ķermeņu kustības cēlonību kā ķermeņu iedarbības uz interesējošo ķermeni izpaušmi, līdztekus jēdzienam “spēks” ievieš un lieto arī jēdzienu “enerģija”. Abi šie jēdzieni tiek lietoti ķermeņu mijiedarbības aprakstam un iedarbojošos ķermeni sauc par spēka vai enerģijas avotu. Pirmajā gadījumā runā par kustības izmaiņu dinamiku (ķermeņu mijiedarbības spēkiem), bet otrajā — par kustības enerģētiku jeb, īsāk, enerģiku (ķermeņu mijiedarbības enerģijām).

Enerģija ir universāls mijiedarbības procesu raksturlielums. Enerģijas kā specifiska — universāla raksturlieluma atšķirīgā iezīme ir tā, ka šis lielums var kalpot ikvienas fizikālās parādības aprakstam, kas savukārt nozīmē, ka tas var kalpot visdažādākā rakstura un kvalitatīvā satura procesu savstarpējai salīdzināšanai un kopsaistīšanai. Enerģija eksistē kā jēdziens mūsu apziņā, bet nav dota mums sajūtās, tiešā vai pat tehniski pastarpinātā mūsu dzīves īstenības uztverē. Enerģija, tāpat kā spēks, ir tikai jēdziens, kas lieliski kalpo ķermeņu un ar tiem saistīto procesu zinātniskajam aprakstam, veicot parādību cēlonības matemātisko modelēšanu.

Fizika ir sistēmiska, tajā viss tiek aplūkots kopsaistībā, racionāli un pamatoti pēc konkrētiem kritērijiem nodalot nozīmīgo no maznozīmīgā. Neviens ķermenis nav bez apkārtējās vides un visi bez izņēmuma ar ķermeni notiekošie procesi īstenojas tikai kopsaistībā ar ķermeņa ārējo vidi. Līdz ar to ikviena procesa cēlonības modelēšanā ir nepieciešami vismaz divi ķermeņi skaties 16 attēlu.

Daudzos gadījumos būtiska ir tikai šo abu ķermeņu savstarpējā iedarbība, bet nav būtiska šo ķermeņu kopsaistība ar citiem ķermeņiem kā ārējo vidi, un tad runā par ķermeņu pāri kā izolētu jeb noslēgtu fizikālo sistēmu. Ja ķermeņu pāri kā noslēgtā fizikālā sistēmā ar vienu ķermeni kaut kas notiek, tad tikai kopsaistībā ar otru ķermeni, jo tie abi pastāv mijiedarbībā.

Raksturojot viena ķermeņa iedarbību uz otru ar jēdziena „enerģija” palīdzību, saka, ka ķermenis — enerģijas avots (piemēram, ķermenis A) nodod enerģiju otram ķermenim B. Aplūkojot ķermeņa B kustību, tas atbilstoši maina savu kustības ātrumu. Citiem vārdiem, ķermeņa



Att. 16: Divu mijiedarbošos ķermeņu pāris kā fizikālā sistēma

kustības (kustības ātruma) izmaiņas cēlonību aplūko kā enerģijas pārneši starp procesā iesaistītajiem ķermeņiem. Pārnestās enerģijas lielums jeb daudzums atbilst aplūkojamā procesa apjomam un raksturo attiecīgo ķermeņu enerģētisko stāvokļu izmaiņu. Avots enerģiju zaudē $\Delta W_A(\Delta t) \dots 0$, bet ķermenim B tā par tādu pat lielumu palielinās $\Delta W_B(\Delta t) \dots 0$.

Raksturojot divu ķermeņu mijiedarbību mehānikā, saka arī, ka iedarbības avots, izmainot iedarbības uztvērēja ķermeņa kustību (kustības ātrumu), veic noteiktu darbu. Šis fizikālais lielums — “darbs”, apzīmēts ar burtu A , raksturo iedarbības procesa apjomu. Katrā kustības solī to nosaka kā iedarbību raksturojošā spēka un soļa garuma reizinājumu $A_i = F_i \Delta s_i$. Šis soļa darbs ir vienāds ar solī notikušās enerģijas izmaiņu — pastāv fundamentāla kopsakarība starp cēlonības dinamisko un enerģisko aprakstu:

$$A_i = F_i \Delta s_i = \Delta W_{B_i} = -\Delta W_{A_i}, \text{ kur } \Delta W_{B_i} \dots 0, \Delta W_{A_i} \dots 0$$

Tādējādi enerģija ir fizikāls lielums, kuras izmaiņa vienāda ar ķermeņu mijiedarbības procesā veikto darbu A . Citiem vārdiem, darbs ir mijiedarbošos ķermeņu enerģijas izmaiņas mērs.

Izolētas jeb noslēgtas divu ķermeņu fizikālas sistēmas gadījumā starp ķermeņiem A un B apritē esošā enerģija saglabājas — sistēma kopumā savu pilno enerģiju nemaina. Šī fundamentālā atziņa ir pazīstama kā izolētas fizikālās sistēmas enerģijas saglabāšanās likums.

$$\text{Enerģijas saglabāšanās likums } \Delta W_A(\Delta t) + \Delta W_B(\Delta t) = 0$$

Ikvienam kustībā atrodošamies ķermenim piemīt enerģija, kuru sauc par šī ķermeņa kinētisko enerģiju W_k un kuras lielumu nosaka šī ķermeņa masa m un kustības ātrums v . Šī enerģija ir iegūta, uz doto ķermeni iedarbojoties citiem ķermeņiem — tiem veicot darbu — nododot savu enerģiju dotā ķermeņa kustības izmaiņai, lai sasniegtu ārtumu v un līdz ar to atbilstošo kinētisko enerģiju W_k .

Vienmērīgas kustības ķermeņa kinētiskā enerģija ir nemainīga, jo nemainīga ir kustības ātruma skaitliskā vērtība v :

$$W_k(t) = \frac{mv^2}{2} = \text{const}$$

Saskaņā ar pirmo Ņūtona likumu, tas būs tik ilgi, kamēr kādu citu ķermeņu iedarbības ir līdzsvarā tā, ka nemainās novērojamā ķermeņa ātrums.

Taču līdzīgi kā kustības cēlonības dinamiskajā skatījumā, kad bija jālīdzsvaro kustību bremsējošie spēki, arī enerģētiskajā skatījumā ir jāsaprot, ka kustībā esošā ķermeņa ātruma nemainības uzturēšana prasa nemitīgu enerģijas pievadi, lai kompensētu kinētiskās enerģijas samazināšanos

(zudumus), kas saistīti ar kustību bremzējošiem procesiem. Tāpēc jau arī vienmērīgs brauciens prasa noteiktu automašīnas degvielas patēriņu.

Ja iepazīstoties ar vienmērīgas taisnlīnijas cēlonības aspektu, vari atbildēt uz jautājumiem, tad vari turpināt apgūt nevienmērīgu taisnlīnijas kustību.

Jautājumi:

1. Vai esi izpratis (-usi) kustības enerģiku?
2. Kā saprast enerģijas saglabāšanās likuma īstenošanos vienmērīgas kustības gadījumā saistībā ar kustību bremzējošiem procesiem, tos īstenošajiem ķermeņiem?

2.2 Nevienmērīga taisnlīnijas kustība

2.2.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts

Ja Tev ir skaidrs, kas ir vienmērīga taisnlīnijas kustība un kāpēc ķermenis šādi kustas, tad Tu noteikti jau vari nojaust, kas ir nevienmērīga taisnlīnijas kustība. Nevienmērīgu taisnlīnijas kustību vari novērot video (17 att.), skatoties gan uz ceļu, gan uz automašīnas kustības ātruma rādītāju jeb spidometru.

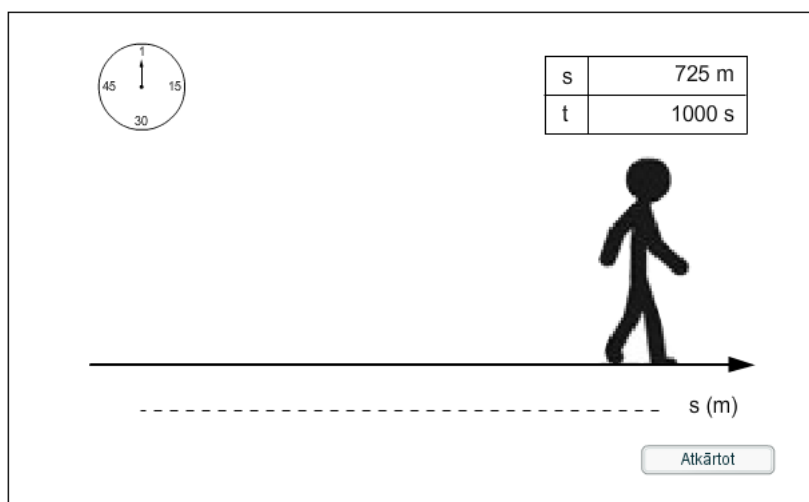


Att. 17: Automašīna kustas nevienmērīgi

Ja vienmērīga taisnlīnijas kustībā visi kustības soļu ātrumi ir vienādi (vienāda ilguma soļiem atbilst vienādi soļu garumi). $v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_n$, tad nevienmērīgas taisnlīnijas kustības gadījumā kustības soļu ātrumi nav vienādi. Citiem vārdiem, ķermeņa kustības virziens nemainās, bet mainās kustības ātrums $v_1 \neq v_2 \neq v_3 \neq \dots \neq v_n$ utt.

Lai uzskatāmi raksturotu vienmērīgas un nevienmērīgas taisnlīnijas kustības atšķirības, vērosim nākamo animāciju.

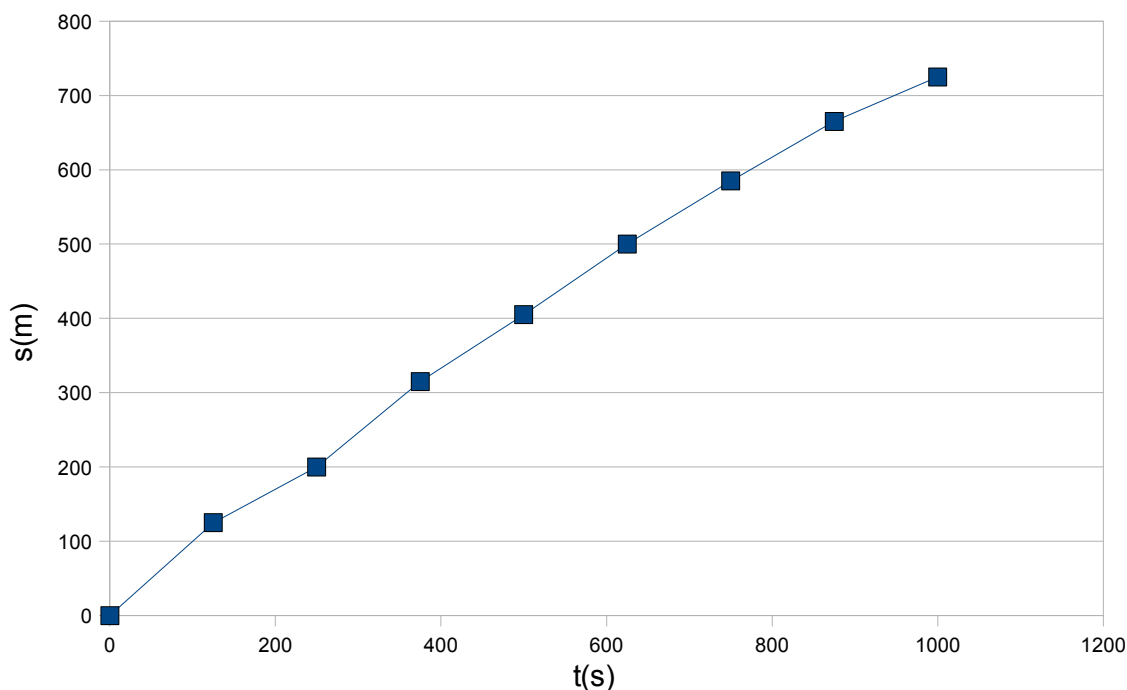
Līdzīgi, kā to darījām vienmērīgas taisnlīnijas kustības gadījumā, var izveidot tabulu, kurā ir secīgi pierakstīti s_i, t_i . Trešā tabula atspoguļo 18 attēlā redzamās animācijas atbilstošos kustības stāvokļus.



Att. 18: Animācija nevienmērīga taisnlīnijas kustība

Tabula 3: Kustības stāvokļi atbilstoši 18 attēlā redzamajai animācijai

s(m)	t(s)
$s_0 = 0$	$t_0 = 0$
$s_1 = 125$	$t_1 = 125$
$s_2 = 200$	$t_2 = 250$
$s_3 = 315$	$t_3 = 375$
$s_4 = 405$	$t_4 = 500$
$s_5 = 500$	$t_5 = 625$
$s_6 = 585$	$t_6 = 750$
$s_7 = 665$	$t_7 = 875$
$s_8 = 725$	$t_8 = 1000$



Att. 19: Nevienmērīgas kustības ceļa grafiks

Tagad, izmantojot teršo tabulu, aprēķini soļu garumus Δs_i , soļu ilgumus Δt_i un arī soļu veikšanas ātrumus v_i . Kad esi aprēķinājis(jusi) soļu ātrumus, Tu jau redzi, ka $v_1 \neq v_2 \neq v_3 \neq \dots \neq v_n$, kas apliecina, ka ķermeņa kustība tiešām ir nevienmērīga. Šo nevienmērīgās kustības specifiku uzskatāmi parāda arī grafiks $s(t)$. Uzzīmē šo grafiku un, kad esi to izdarījis(jusi), salīdzini vienmērīgas taisnlīnijas kustības grafiku $s(t)$ ar nevienmērīgas kustības grafiku $s(t)$. Kādu varam izdarīt secinājumu? Ir acīmredzams, ka nevienmērīgas kustības gadījumā grafiks $s(t)$ nav taisna līnija, kā tas ir vienmērīgas kustības gadījumā.

Nevienmērīga taisnlīnijas kustība tās norises faktoloģijas aspektā ir kustība, kurā ķermeņa kustības ceļš ir taisns, bet kustības soļu ātrumi ir mainīgi (vienāda ilguma soļiem neatbilst vienādi soļu garumi). Citiem vārdiem, ķermeņa kustības virziens saglabājas, bet kustības ātrums mainās $v_1 \neq v_2 \neq v_3 \neq \dots \neq v_n$

Nevienmērīgu kustību ātruma izmaiņas Δv , savukārt, var būt divejādas — vienmērīgas un nevienmērīgas izmaiņas. Vienkāršākajā — ātruma vienmērīgas izmaiņas gadījumā, katrā solī notiekošā ātruma izmaiņa Δv ir proporcionāla soļa ilgumam Δt : $\Delta v = a\Delta t$, kur a — proporcionalitātes koeficients, tradicionāli saukts arī par kustības paātrinājumu jeb kustības ātruma izmaiņas ātrumu.

Šī sakarība grafiski atveidojas kā taisne, kura redzama ... attelā.

GRAFIKS $v(t)$, kur $\Delta s = \frac{at^2}{2}$

Grafiks uzskatāmi parāda, ka grafika kustības ātruma izmaiņas ātrums a (paātrinājums) ikvienam solim ir vienāds.

$$\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} = \dots = \frac{\Delta v_n}{\Delta t_n} = a = \text{const}$$

Šajā sakarībā ir pateikts, ka tā ir vienmērīgi paātrināta kustība, kuru raksturo paātrinājums $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

Jā $v_0 = 0$ un $t_0 = 0$, tad $v(t) = at$.

Vienmērīgi mainīgas kustības gadījumā, ikviens šīs kustības soļa garums Δs ir atkarīgs no šajā solī notiekošās ātruma izmaiņas.

$$\Delta s_i = \frac{\Delta v_i \Delta t_i}{2} = \frac{a_i \Delta t_i \Delta t_i}{2} = \frac{a \Delta t_i^2}{2}.$$

Šo sakarību ... attēlā grafiski attēlo parabola.

ATTĒLS ar GRAFIKU delta s = adeltat²/2

Nevienmērīgu kustību kopumā raksturo arī ar kustības vidējo ātrumu $v_{vid} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, kur $\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots + \Delta s_n$ un $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$, jeb $v_{vid} = \frac{s}{t}$, ja $s_0 = 0$ un $t_0 = 0$.

Tagad, kad esi apguvis, kas ir nevienmērīga taisnlīnijas kustība, atrisini uzdevumu par slēpotāju, kurš kustas pa kalna nogāzi.

2. uzdevums. Slēpotāja kustība pa kalna nogāzi

Slēpotājs, braucot taisni lejup pa kalna nogāzi trīs reizes krīt, pieceļas un turpina nobraucieni, kopumā veicot 300 metrus 20 minūtēs. Kāds ir slēpotāja kustības raksturs un šīs kustības vidējais ātrums?

Vai, atrisinot uzdevumu, ieguvu, ka $v_{vid} = 2.5m$? Ja šādu rezultātu neieguvi, skaties un salīdzini savu risinājuma gaitu ar ... attēlā redzamo šī uzdevuma atrisinājumu. Ja Tev ir skaidrs, kas ir nevienmērīga taisnlīnijas kustība, aplūko šīs kustības cēlonību.

ATTĒLS ar slēpotāja uzdevuma atrisinājumu

2.2.2 Kāpēc ķermenis kustas taisni un nevienmērīgi — kustības cēlonības aspekts

Kā jau nodaļā 2.1.1. noskaidrojām, tad ķermenis kustās vienmērīgi tikmēr, kamēr citu ķermeņu iedarbības uz šo ķermeni ir līdzsvarotas — to kopīgo iedarbību raksturojošais spēks $F = 0$. Ja kāda ķermeņa iedarbība šo līdzsvaru izjauc, tad kopīgo iedarbību raksturojošais spēks vairs nav vienāds ar nulli $F \neq 0$ un mainās ķermeņa kustības ātrums.

Taisnlīnijas kustības saglabāšanās gadījumā, līdzsvaru izjaucošā iedarbības rezultātā ķermeņa kustības ātrums vai nu pieaug vai samazinās, bet kustības virziens nemainās. Piemēram, nospiežot automašīnas gāzes pedāli, dzinējs sāk griezt riteņus ātrāk — automašīnas ātrums pieaug, bet nospiežot bremzes pedāli, bremzes riteņu griešanās ātrumu samazina — automašīnas ātrums samazinās.

Ir noskaidrots, ka kustības ātruma izmaiņa Δv ir proporcionāla iedarbību raksturojošam spēkam F un šīs iedarbības ilgumam Δt . Vēl ņemot vērā, ka proporcionalitātes koeficientu nosaka ķermeņa masa m , varam uzrakstīt matemātisku formulu, kura apraksta novērojamās ātruma izmaiņas. Šī ļoti nozīmīgā formula ir pazīstama kā otrais Ņūtona likums.

Otrais Ņūtona likums $\Delta v = \frac{kF}{\Delta t} = \frac{F\Delta t}{m}$, kur proporcionalitātes koeficients $k = \frac{1}{m}$

Δv — ķermeņa kustības ātruma izmaiņa

F — ātruma izmaiņu nosakošo izmaiņu raksturojošais spēks, kurš nemaina kustības virzienu

Δt — iedarbības ilgums

Uzskatāmi otro Ņūtona likumu jeb kustības ātruma izmaiņas cēlonības aprakstu ilustrē grafiks numur ..., kurā attēlota kustības ātruma izmaiņa Δv , ja kustības solī, kura ilgums ir Δt īstenojas iedarbība, kuru raksturo spēks F .

ATTĒLS, kur redzams GRAFIKS delta v(t)=kFdeltat

Jau aplūkojot nevienmērīgas taisnlīnijas kustības faktoloģiju (kā ķermenis kustas), šo kustību sadalījām atsevišķos soļos: kustības nevienmērība izpaudās kā šo ātrumu atšķirības — šo ātrumu mainība. Arī tagad, aplūkojot vienmērīgi mainīgas (vienmērīgi paātrinātas vai vienmērīgi palēninātas) tasinlīnijas kustības cēlonību, ir jāpievērš uzmanība kustības soļiem — ātruma izmaiņai katrā no tiem.

Ja katrā solī ātruma izmaiņas ātrums jeb paātrinājums a ir vienāds, tad tas nozīmē, ka katrā solī īstenotās iedarbības raksturlielums – F ir nemainīgs. Citiem vārdiem, vienmērīgi mainīgas kustības cēlonis ir visā kustības laikā ir nemainīga lieluma iedarbība, kuru raksturo spēks — F .

Ja katrā kustības solī ātruma izmaiņas ātrums jeb paātrinājums a ir atšķirīgs, tad tas nozīmē, ka katrā solī īstenojas dažāda lieluma iedarbība un kustība nav vienmērīgi mainīga ($a \neq const.$). Līdz ar to varam dot nevienmērīgas kustības vispārīgo raksturojumu

Nevienmērīga taisnlīnijas kustība tās cēlonības aspektā ir kustība, kura sastāv no soļiem, kuru laikā darbojas dažādi iedarbību raksturojošie spēki.

Šo vispārīgo nevienmērīgas kustības gadījumu varam raksturot ar trīs soļu kustības uzdevuma piemēru, kas grafiski ilustrēts attēlā.

3. uzdevums. Nvienmērīga auto kustība

Pirmajā kustības posmā — solī ar ilgumu $\Delta t_1 = 30s$, pa taisnu ceļu braucošs auto vienmērīgi palielina savu ātrumu no $v_0 = 60km/h$ līdz $v_1 = 90km/h$. Nākamais kustības solis ar ilgumu $\Delta t_2 = 15min$ norit vienmērīgi ar iepriekš sasniegto ātrumu $v = 90km/h = const.$ Kustības noslēguma posmā — solī ar ilgumu $\Delta t_3 = 15s$ auto kustība tiek vienmērīgi bremsēta, kustības ātrumam samazinoties līdz $v_3 = 40km/h$. Kopumā ir īstenota trīs dažādu kustības soļu veidota nevienmērīga taisnlīnijas kustība.

Kad esi iepazinies ar kustību raksturojošiem grafikiem, sagatavo atbildes uz šādiem jautājumiem:

1. Kāds bija kustības paātrinājums pirmajā kustības posmā?
2. Cik lielu ceļu veica auto pirmajā kustības posmā?
3. Cik lielu ceļu veica auto kustības otrajā kustības posmā?
4. Kāds bija kustības ātruma izmaiņas ātrums trešajā kustības posmā?
5. Cik garu ceļu veica auto trešajā kustības posmā?
6. Kāds ir ceļa garums visā kustības laikā?
7. Kāds bija veiktās kustības vidējais ātrums?

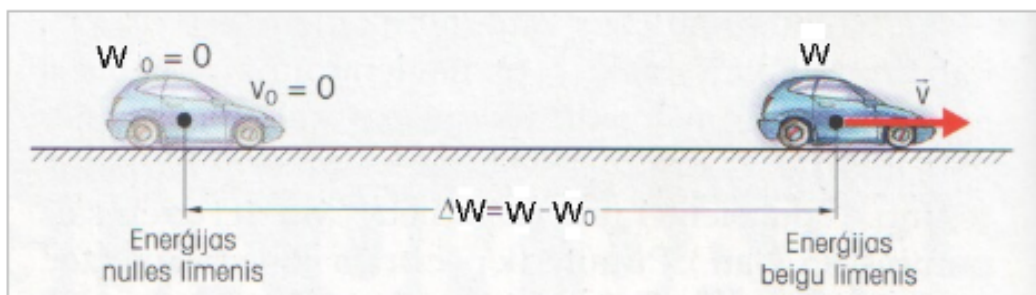
Savas iegūtās atbildes vari salīdzināt ar ... attēlā dotajām pareizajām atbildēm.

ATTĒLS - 5 ar uzdevuma atrisinājumu

Līdzīgi kā vienmērīgas kustības cēlonības dinamiskajā skaidrojumā iepazīnām pirmo Ņūtona likumu, bet enerģētiskajā skatījumā šīs kustības kinētiskās enerģijas nemainību, tagad otrā Ņūtona likuma iepazīšanu papildināsim ar nevienmērīgas kustības enerģētisko raksturojumu

Nevienmērīgas kustības cēlonības skaidrošanai izmantojot enerģijas jēdzienu, atcerēsimies jau teikto darba 2.1.2 nodaļā. Proti, ķermeņa kustības (kustības ātruma) izmaiņa ir aplūkojama kā šī ķermeņa kinētiskās enerģijas izmaiņa, kura notiek, iedarbības avotam atdodot noteiktu daudzumu savas enerģijas, lai izmainītu novērojamā ķermeņa ātrumu. Citiem vārdiem, ķermeņa kustības ātruma skaitliskas vērtības v izmaiņa notiek iedarbības procesā, kura apjomu raksturo iedarbības avota veiktais darbs A , kas savukārt ir vienāds ar novērojamā ķermeņa atbilstošu kinētiskās enerģijas izmaiņu $\Delta W_k(\Delta t)$.

Kinētiskās enerģijas izmaiņa $\Delta W_k(\Delta t) = W(t) - W_0(t_0)$ ir ķermeņa B enerģiju starpība starp enerģiju procesa beigās un sākumā. Piemēram, ja novērotais ķermenis B ir automašīna, tad $W_0(t_0)$ ir automašīnas kinētiskā enerģija, tai uzsākot braukt vai sākotnēji braucot ar kādu noteiktu ātrumu v_0 , bet $W(t)$ — enerģija pēc tam, kad laika momentā t automašīna ir sasniegusi ātrumu v . Automašīnas kustības ātruma izmaiņai ir patērēta enerģija $\Delta W_A(\Delta t)$, kuras avots ir automašīnas dzinējs (motors) kā enerģijas avots — ķermenis A.



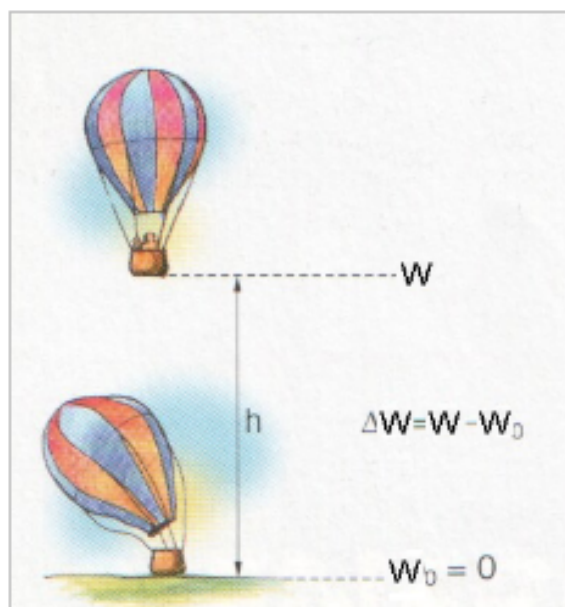
Att. 20: Kinētiskās enerģijas aprēķināšana zinot sākuma un beigu enerģijas līmeni

Nevienmērīgas kustības gadījumā ķermeņa kinētiskā enerģija ir mainīga, jo mainīga ir šī ķermeņa kustības ātruma skaitliskā vērtība v :

$$W_k(t) = \frac{mv^2}{2} \neq \text{const}$$

Cits piemērs: gaisa balona kustība, paceloties virs zemes augstumā h , kas arī ir nevienmērīgas kustības piemērs. Šajā gadījumā ķermeņa kustības sākuma un beigu ātrumi ir nulle un procesa apjomu jeb darbu A nosaka kā balona cēlējspēka veikto darbu Zemes gravitācijas iedarbības apstākļos.

Ja W_0 ir gaisa balona enerģija uz zemes, bet W ir ķermeņa (gaisa balona) enerģija pēc pacelšanās augstumā $\Delta s = h$, tad pacelšanās procesa apjoms jeb cēlējspēka veiktais darbs ir $A = F\Delta s = Fh = \Delta W(\Delta t) = W(t) - W_0(t_0)$



Att. 21: Enerģijas aprēķināšanas piemēram par gaisa baloniem nepieciešamais attēls

Šādos gadījumos balona enerģiju sākuma stāvoklī var pieņemt par nulli un, rakstot W_0 , to

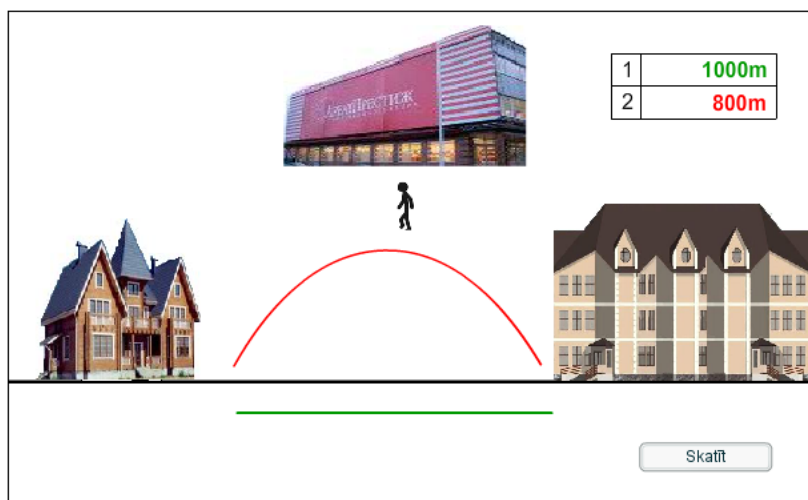
sauc par balona enerģijas nulles līmeni.

Ja esi izpratis ķermeņu vienmērīgas un nevienmērīgas taisnlīnijas kustību, tad varam sākt ķermeņu vienmērīgas un nevienmērīgas līklīnijas kustību apzināšanu.

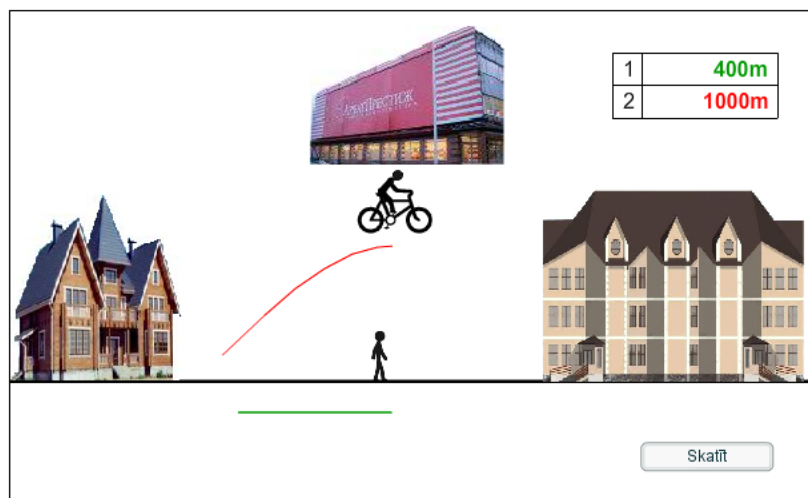
Abos piemēros novērojamā ķermeņa nevienmērīga kustība raksturojas kā noteikta šī ķermeņa enerģijas izmaiņa, atbilstošajiem iedarbības avotiem veicot noteiktu darbu — zaudējot enerģiju, kuru savukārt iegūst mūsu novērojamais kustošais ķermenis.

3 Līklīnijas kustība

Tagad, kad esi iemācījies(-jusies) atpazīt taisnlīnijas kustību no līklīnijas kustības un esi papildinājis(-jusi) savas zināšanas par taisnlīnijas kustību daudzveidību un to raksturojošajiem lielumiem. Nākamais solis būtu ar salīdzināt taisnlīnijas kustību un līklīnijas kustību — noteikt kopīgās un atšķirīgās iezīmes, tādā veidā nostiprinot zināšanas par taisnlīnijas kustību un apgūstot jaunas zināšanas par līklīnijas kustībām. Šim nolūkam piedāvāju atkārtoti aplūkot animāciju (6 att.), kā arī iepazīties ar divām jaunām animācijām (22 att. un 23 att.).



Att. 22: Animācija, kurā salīdzināts ceļa garums taisnlīnijas un līklīnijas kustībā



Att. 23: Animācija, kurā dažādi ceļa garumi tiek veikti vienā laikā

Ja esi noskatījies Tev piedāvātās animācijas, vai padomāji kuras ir tās raksturīgās iezīmes, kas ir vienādas un kuras atšķirīgas, salīdzinot ķermeņus, kuri kustās taisnā virzienā un tos, kuri apraksta līklīnijas ķermeņu kustību.

Kad esi padomājis(jusi), tagad palīdzēšu Tev saprast, ko animācijās vajadzēja pamanīt.

Animācijā, kurā automašīna kustas pa diviem dažādiem ceļa posmiem AB – taisns ceļš un BC – līkumots ceļš, uzmanību vajadzēja pievērst tam, kā mašīna kustas un kādu līniju atstāj mašīnas riepu nospiedumi.

Animācijā, kurā skolēns iet uz skolu pa taisnu ceļu un atpakaļ uz mājām atgriežas pa līkumotu ceļu lai ieietu veikalā, uzmanību vajadzēja pievērst ceļa garumam – protams, ka otrā gadījumā ceļš mājup ir garāks, jo tiek veikta līklīnijas kutība. Tu noteikti domāsi, ka jo garāks ceļš, jo ilgāks laiks paiet, kamēr ķermenis nonāk galapunktā. Nekā!

... animācijā, kurā vienlaicīgi no mājas pagalma iziet cilvēks pa taisnu ceļu un velosipēdists brauc pa līkumotu ceļu, parāda, ka abus divus ceļa posmus ir iespējams veikt vienādā laikā.

Ar šo animāciju palīdzību Tev tiek parādīts, ka atšķirīgais taisnlīnijas un līklīnijas kustībā ir līnija pa kuru kustas ķermeni. Posmā AB automašīnas kustību apraksta taisna līnija, bet posmā BC – izliekta līnija. Tāpat atšķirīgs arī būs ceļa garums ja ķermenis uz vienu un to pašu objektu ies pa taisnu ceļu un pa līkumotu ceļu. Līkumota ceļa gadījumā, ceļš neapšaubāmi būs garāks. Savukārt neskatoties uz dažādajiem ceļa garumiem, laiks kādā tiek veikti ceļa posmi var būt arī vienādi, ja izvēlas pareizu ķermeņa kustības ātrumu. Ja ceļa garumi ir atšķirīgi, bet laiki, kuros tiek veikti šie ceļa posmi ir vienādi, tad varam secināt, ka ātrumi ar kādiem tiek veikts katrs ceļa posms arī ir dažādi.

Jāpiebilst, ka ne vienmēr ķermenim veicot līklīnijas kustību tieši apttēlojas līnija, kā tas bija redzams 6, 22 un 23 animācijās. Lai novērotu netiešu līnijas kustību atkārtoti aplūko animāciju 2 attēlā, uzmanību pievēršot cilvēka izmestā kociņa kustības ceļa veidam.

Kad esi vērojis dažādu ķermeņu kustības, kuras tieši un netieši apraksta līklīnijas kustību, padomā, kā Tu ar saviem vārdiem varētu pateikt, kas ir līklīnijas kustība

Kad esi to izdomājis, salīdzini sevis izdomāto aprakstu ar šādu līklīnijas definīciju.

Līklīnijas kustība ir tāda kustība, kurā ķermenis kustas pa līkumotu ceļu, atbilstoši tam mainot kustības virzienu. Matemātiski kustību pa līkumotu ceļu apraksta tam atbilstoša līkne.

Viena no ļoti nozīmīgām līklīnijas kustībām ir ķermeņa kustība pa riņķa līniju. Riņķa līnija ir noslēgta līkne, kuras sākumpunkts ir savienots ar beigu punktu, tādā veidā ļaujot ķermenim kustību vēlreiz un vēlreiz atkārtot pa vienu un to pašu ceļu. Kā piemēru var aplūkot animāciju 3 attēlā, ja vairākas reizes atkārtotam animāciju, tad novērojam ka raķete kustas pa riņķa līniju un raķetes kustības sākumpunkts sakrīt ar raķetes kustības galapunktu.

3.1 Vienmērīga līklīnijas kustība

3.1.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts

Salīdzinot ķermeņa taisnlīnijas un līklīnijas kustības kā vienmērīgās un nevienmērīgās kustības, šīs kustības to faktoloģiskajā aspektā ir līdzīgas. Universiāla ir arī tasinlīnijas un līklīnijas kustību apzināšanas metode — kustības soļu izdalīšana un kopsaistīšana.

Kā piemēru no dabas var minēt Zemes kustību ap Sauli, kura aptuveni vienādus ceļa gabalus veic vienādos laika intervālos, tātad Zemes kustība ap Sauli ir vienmērīga līklīnijas kustība. Tehnikā šādas vienmērīgas līklīnijas piemērs ir pulksteņa rādītāja kustība. Šādu kustību Tu vari aplūkot video 24.

Vērojot video 24 attēlā, redzam, ka pulksteņa sekunžu rādītājs kustas vienmērīgi pa riņķa līniju. Kas mainās ķermeņa kustības gadījumā?



Att. 24: Ķermeņa-pulksteņa rādītāja vienmērīga līklīnijas kustība

Vienmērīgā kustībā pa riņķa līniju, kustības ātrums skaitliski nemainās, taču ik solī mainās kustības virziens.

Kā Tu aprēķinātu cik garu ceļu veica video 24 attēlā redzamais ķermenis?

Lai aprēķinātu ceļa garumu kādu ir veicis ķermenis kustoties pa riņķa līniju, mums ir jāzin izveidojušās riņķa līnijas rādiuss — R . Ja tas ir zināms, tad riņķa līnijas garumu jeb kustības ceļa garumu pa riņķa līniju aprēķina $l = 2\pi R$

Ķermeņa vienmērīga kustība pa riņķa līniju ir periodiska kustība (kustība, kas atkārtojas vairākas reizes pa vienu un to pašu riņķa līniju). Viena apriņķojuma ilgumu sauc par kustības periodu T , kuru var aprēķināt, izsakot no formulas $v = \frac{2\pi R}{T}$. Šo formulu vēl var pārrakstīt $v = \frac{l}{T}$.

Zinot šīs sakarības, aprēķini šādu uzdevumu:

4. uzdevums. Pulksteņa sekunžu rādītāja galapunkta un viduspunkta kustības ātrums

Ar kādu ātrumu kustas pulksteņa sekunžu rādītāja galapunkts un viduspunkts, ja rādītāja garums 10 cm?

Kad esi aprēķinājis(-jusi), salīdzini kāds ir pulksteņa rādītāja viduspunkta un galapunkta ātrums. Kurš ir lielāks? Kurš lielums to ietekmē?

Izrisinot uzdevumu vajadzēja iegūt, ka pulksteņa rādītāja viduspunkts, kurš atrodas 5 cm attālumā no pulksteņa rādītāju sākumpunkta, kustas ar ātrumu aptuveni $0,017\pi \text{ m/s}$, bet rādītāja galapunkts, kurš atrodas 10 cm attālumā no pulksteņa rādītāju sākumpunkta, kustas ar ātrumu aptuveni $0,033\pi \text{ m/s}$. No aprēķiniem izriet iepriekš uzdoto jautājumu atbildes. Palielinot riņķa līnijas rādiusu R , bet saglabājot kustības perioda lielumu T , kustības ātrums aug.

Ja, izrisinot uzdevumu, Tu ieguvi šādus rezultātus un varēji atbildēt uz jautājumiem, tad vari pāriet pie nākamā piemēra. Ja šādus rezultātus neieguvi, tad 25 attēlā apskaties, kā tos varēja iegūt.

Savienojot definīciju par līklīnijas kustību un atziņu, kas ir vienmērīga kustība, iegūstam vienmērīgas līklīnijas kustības definīciju faktoloģiskajā aspektā.

Vienmērīga līklīnijas kustība faktoloģiskajā aspektā tā ir kustība, kurā nemainās ķermeņa kustības ātruma skaitliskā vērtība, bet mainās ķermeņa kustības virziens.

Dots:			
$l_g = 10 \text{ cm}$	$0,10 \text{ m}$	$\omega = \frac{2\pi R}{T}$	$\omega_g = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,1}{60} \approx 0,0105 \text{ rad/s}$
$l_v = 5 \text{ cm}$	$0,05 \text{ m}$		
$T = 60 \text{ s}$		$R_g = l_g = 0,1 \text{ m}$	$\omega_v = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,05}{60} \approx 0,0052 \text{ rad/s}$
		$R_v = l_v = 0,05 \text{ m}$	
$\omega_g = ?$			
$\omega_v = ?$			

Att. 25: Ķermeņa-pulksteņa rādītāja vienmērīga līklīnijas kustība

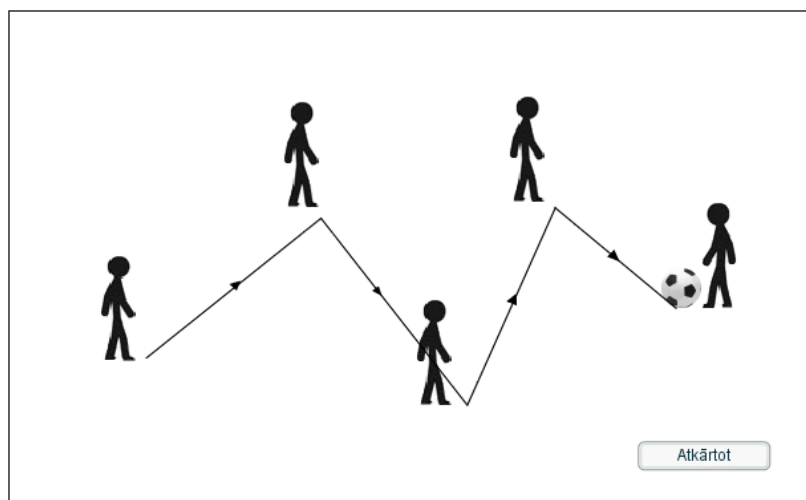
Izrisinot uzdevumu un salīdzinot taisnlīnijas kustību un līklīnijas kustību, būtiska atšķirība starp abiem kustību veidiem parādās tikai cēlonības aspektā — novērojamā ķermeņa kustības izmaiņas, kuru izraisa citu ķermeņu iedarbība, kas maina šīs kustības virzienu. Citiem vārdiem, mainīga virziena iedarbības uz novērojamo ķermeni ir šī ķermeņa līklīnijas kustības cēlonis.

3.1.2 Kāpēc ķermenis kustās likumoti un vienmērīgi — kustības cēlonības aspekts?

vienmērīgas taisnlīnijas apskatā noskaidrojām, ka viemērīgi kustēsies visi ķermeņi, kamēr nenotiks papildus mijiedarbība ar citiem ķermeņiem. Savukārt, ja mēs gribam izskaidrot kāpēc ķermeņi ne vienmēr kustēsies taisni, ir jāapskata divi gadījumi. Šim nolūkam vēlreiz aplūko ... un ... attēlu. Padomā, kādi kopīgi un atšķirīgi spēki iedarbojas uz abiem attēlos esošajiem ķermeņiem.

Vispirms izanalizēsim ... attēlā redzamo automašīnu, kura kustas pa likumotu ceļu. Kādi spēki darbojas uz šo automašīnu? Kā jau pie taisnlīnijas kustības tika pieminēts, tad uz automašīnu, kura kustās ar dzinēja darbības palīdzību, noteikti darbosies dzinējspēks. Tāpat arī noskaidrojām, ka dabā uz jebkuru ķermeni darbojas arī berzes spēks. Bet abi šie spēki darbojas arī taisnlīnijas kustības gadījumā, tad kas būs tas, kas automašīnai liks kustēties likumoti? Kā jau iepriekš minējām tad likumotu ceļu var iztēloties, kā dažādos leņķos saliktus taisnus ceļa posmus. Vai esi kādreiz padomājis, kāpēc automašīnu inženieri, ir izdomājuši stūri? Tas arī mums pasaka, lai ķermenis varētu kustēties pa likumotu ceļa posmu, automašīnas kustības laikā neatņemama sastāvdaļa ir autovadītājs jeb tautā sauktais šoferis, kurš skatoties uz ceļu pa kuru kustas automašīna, ar stūres palīdzību maina riteņu stāvokli tā, lai nodrošinot automašīnas kustību pa likumotu ceļu. Pretējā gadījumā, ja nebūtu kas maina šos atbilstošos stāvokļus, automašīna brauktu tikai taisni vai uz ceļa atrodošos ķermeņu radītajā mijiedarbībā mainītu virzienu patvaļīgi (neatkarīgi no šofera vēlmēm). Vai vari iedomāties, kā kustētos automašīna, ja tai nebūtu stūres un šoferis to nevadītu? Šo pašu ideju tu pats vari pārbaudīt braucot ar velosipēdu, kad esi sasniedzis nelielu velosipēda kustības ātrumu, mēģini atlaist stūri. Kas no tā sanāks? Visticamāk, Tu pirmajā likumā iebrauki grāvī.

Tāpat, lai arī citi ķermeņi mainītu kustības virzienu, ir nepieciešama mijiedarbība ar kādu



Att. 26: Animācija, kurā ķermeņu iedarbības dēļ mainās kustības virziens

citu ķermeni. Kā piemēru, aplūko animāciju numur ...

Tāpat izanalizēsim ... attēlā(video) jau iepriekš vēroto izmesta ķermeņa kustību. Kādi spēki darbojas šajā gadījumā? Pirmkārt, lai norisinātos kustība, ķermenim ir jābūt mijiedarbībā ar kādu citu ķermeni, rezultātā šis cits ķermenis (cilvēka roka) pieliekot spēku, izraisa (bumbiņas) kustību. Kā jau pirmīt minējām, tad kustība nevar norisināties bezgalīgi ilgi, jo dabā uz visiem ķermeņiem darbojas kustību bremzējoš spēks. Šinī gadījumā tā ir gaisā esošo daļiņu radītā pretestība. Ja uz (bumbiņu) iedarbotos tikai šie divi spēki, tad viņa lidotu taisni, bet kā jau attēlā redzam dabā tā nenotiek. Tātad uz kustībā esošo bumbiņu darbojas arī vēl kas cits, bet kas tad? Uz jebkuru ķermeni, kurš atrodas uz Zemes vai kādā noteiktā augstumā virs tās, darbojas Zemes pievilkšanas spēks jeb smaguma spēks. Zeme pievelk visu kas ir ap to. Tieši šī spēka rezultātā ķermeņi atrodas savās vietās un, ja uz tiem neiedarbojās citi spēki, nemaina savu sākotnējo atrašanās vietu. Tātad arī mūsu gadījumā uz (bumbiņu) papildus darbojas arī zemes pievilkšanas spēks, kurš bumbiņai liek tuvojies Zemei.

Vienmērīga līklīnijas kustībatās no cēlonības aspektā tā ir kustība, kurā uz kustošos ķermeni nav iedarbības, kas maina šīs kustības ātruma skaitlisko vērtību, bet ir iedarbības, kas maina šīs kustības virzienu.

3.2 Nevienmērīga līklīnijas kustība

3.2.1 Kā ķermenis kustas — kustības faktoloģiskais aspekts?

Kā jau noskaidrojām, tad likumoti kustās visi ķermeņi, kas izsviesti slīpi pret horizontu (piemēram, izsviests akmens, futbolbumbas lidojums pāri futbola laukuma, basketbola bumba, kas tiek no attāluma mesta grozā un daudzi citi) vai arī tie ķermeņi, kuri mijiedarbības rezultātā maina kustības virzienu.

5. uzdevums. Automašīnas kritiens no aizs

Pa Zemes virsmu horizontālā taisnlinijā kustībā braucošai automašīnai zūd pamats un tā krīt dziļā aizā. Ar videoieraksta palīdzību iegūtie dati par auto kā punktveida ķermeņa kustību jeb kritienu dziļā aizā apkopoti 4 tabulā.

Tabulā $t(s)$ ir laika momenti, $s_x(m)$ — kustības stāvokļi horizontālā virzienā un $s_y(m)$ — kustības stāvokļi vertikālā virzienā

Uzzīmē automašīnas kritiena ceļa grafiku $s(t)$ un grafiku, kurš parādītu automašīnas krišanas ceļu kā līniju, kurā būtu redzami krītošā ķermeņa stāvokļi. Tāpat kā tas tika darīts otrajā tabulā, nosakot atbilstošo raksturlielumu skaitliskās vērtības, nosaki šīs saliktās kustības raksturu. Pieņemot, ka kustības raksturs nemainas, nosaki, kur atradīsies un kāds būs krītošā ķermeņa ātrums pēc 7 sekundes no kritiena sākuma? Kāda ir dotās kustības dinamika?

Tabula 4: Auto kritiens dziļā aizā

$t(s)$	$s_x(m)$	$s_y(m)$
$t_0 = 0$	$s(x_0) = 0$	$s(y_0) = 0$
$t_1 = 1$	$s(x_1) = 28$	$s(y_1) = -5$
$t_2 = 2$	$s(x_2) = 56$	$s(y_2) = -20$
$t_3 = 3$	$s(x_3) = 84$	$s(y_3) = -45$
$t_4 = 4$	$s(x_4) = 112$	$s(y_4) = -80$
$t_5 = 5$	$s(x_5) = 140$	$s(y_5) = -125$

Analizējot uzdevumu tiek iegūts sekojošs $s(t)$ grafiks, kurš redzams ... attēlā un grafiks $s_x(s_y)$, kurš parāda automašīnas krišanas ceļu kā līniju, kurā ir redzami krītošā ķermeņa stāvokļi. Aprēķinot kustības rakstura noteikšanai nepieciešamās raksturlielumu skaitliskās vērtības, tiek secināts, ka automašīnas krišanas raksturs ir nevienmērīga līklīnijas kustība. To var novērot arī grafikā $s_x(s_y)$.

Ja Tu iegūvi šādu uzdevuma atrisinājumu, tad vari iepazīties ar nevienmērīgas līklīnijas kustības definīciju. Ja šādus rezultātus nēguvi, aplūko 5 tabulu, kurā parādīta risināšanas gaita.

Tabula 5: Uzdevuma “Automašīnas kritiens no aizs” risinājuma gaita

$t_i(s)$	$s_{x_i}(m)$	$s_{y_i}(m)$	$\Delta s_{x_i} = s_{x_i} - s_{x_{i-1}}(m)$	$\Delta s_{y_i} = s_{y_i} - s_{y_{i-1}}(m)$	$s_i = \sqrt{\Delta s_{x_i}^2 + \Delta s_{y_i}^2}(m)$
$t_0 = 0$	$s_{x_0} = 0$	$s_{y_0} = 0$	$\Delta s_{x_0} = 0$	$\Delta s_{y_0} = 0$	$s_0 = 0$
$t_1 = 1$	$s_{x_1} = 28$	$s_{y_1} = -5$	$\Delta s_{x_1} = 28$	$\Delta s_{y_1} = -5$	$s_1 \approx 28$
$t_2 = 2$	$s_{x_2} = 56$	$s_{y_2} = -20$	$\Delta s_{x_2} = 28$	$\Delta s_{y_2} = -15$	$s_2 \approx 32$
$t_3 = 3$	$s_{x_3} = 84$	$s_{y_3} = -45$	$\Delta s_{x_3} = 28$	$\Delta s_{y_3} = -25$	$s_3 \approx 38$
$t_4 = 4$	$s_{x_4} = 112$	$s_{y_4} = -80$	$\Delta s_{x_4} = 28$	$\Delta s_{y_4} = -35$	$s_4 \approx 45$
$t_5 = 5$	$s_{x_5} = 140$	$s_{y_5} = -125$	$\Delta s_{x_5} = 28$	$\Delta s_{y_5} = -45$	$s_5 \approx 53$

Nevienmērīga līklīnijas kustība no faktoloģijas aspekta ir tāda ķermeņa kustība, kad ķermenis kustas, mainot kustības virzienu, un visi šī ceļa posmi tiek veikti ar dažādiem ātrumiem.

3.2.2 Kāpēc ķermenis kustas likumoti un nevienmērīgi — kustības cēlonības aspekts

Noteikti, ikdienā esi novērojis(-jusi), ka automašīnas vadītājs pirms līkuma samazina auto kustības ātrumu. Kāpēc? Kāpēc automašīna visu laiku nevar kustēties ar 100 km/h

Ja uzmanīgi iepazīties ar nevienmērīgas taisnlīnijas kustības cēlonības aspektu un iepazīties, tad noteikti vari secināt, ka arī nevienmērīgā līklīnijas kustībā kustības soļu ātrumi ir dažādi (vienāda ilguma soļiem neatbilst vienādi soļu garumi). $v_1 \neq v_2 \neq v_3 \neq \dots \neq v_n$. Tāpat taisnlīnijas kustības cēlonības aspekts bija ķermeņu kustībā nemainīgie virzieni. Tātad līklīnijas kustības gadījumā kustības virzieniem ir jāmainās.

Kā tiek mainīti kustības virzieni, varēji noskaidrot līklīnijas kustības ievada daļā

Kad esi iepazīties (-nudies) ar cēlonības aspektiem, lai ķermenis kustētos pa līklīnijas kustību, gan lai kustība būtu nevienmērīga, varam definēt ķermeņa nevienmērīgu kustību.

Nevienmērīga līklīnijas kustība no cēlonības aspekta ir tāda ķermeņa kustība, kad ķermenis kustas mainot kustības virzienu un visi šī ceļa posmi tiek veikti ar dažādiem ātrumiem, ķermeņa mijiedarbības rezultātā ar citiem ķermeņiem.

Kad esi iepazīties ar vienmērīgu un nevienmērīgu taisnlīnijas un līklīnijas kustību, mēģini atbildēt uz šiem jautājumiem, lai noskaidrotu, vai esi izpratis šos ķermeņu kustības veidus un iemeslus.

Jautājumi:

1. Kas izraisa ķermeņu kustību?
2. Ar ko atšķirās taisnlīnijas kustība no līklīnijas kustības?
3. Kas mainās, ja ķermenis vairs nekustas taisni?
4. Ar ko atšķirsies vienmērīga kustība no nevienmērīgas?
5. Kā var izraisīt ķermeņa vienmērīgu kustību un kā nevienmērīgu kustību?

4 Nobeigums

Ja varēji atbildēt uz visiem jautājumiem, tad tālāk mēģini atrisināt testu, kurš pilnībā parādīs vai esi izpratis(usi) šo tēmu. Ja tomēr uz kādu jautājumu atbildēt nevarēji, tad atgriezies pie tēmas, kurā ir par to pastāstīts un mēģini atrast atbildes. Kad to esi izdarījis, izpildi testu.

Tests

1. Kas mainās ķermeņu kustības laikā?
 - a. tilpums un masa
 - b. attālums, virziens un novietojums
 - c. ķermeņa ārējais izskats
2. Vai, ja uz ķermeni darbojas spēki, tas vienmēr kustēsies?
 - a. jā
 - b. nē
3. Ja automašīna kustas pa horizontālu ceļa posmu, ar izslēgtu dzinēju, tad tās ātrums ar laiku:
 - a. palielināsies
 - b. paliks nemainīgs
 - c. samazināsies
4. Kāds likums pasaka, ka ķermenis paliks miera stāvoklī vai veiks vienmērīgu kustību, kamēr uz to neiedarbosies cits spēks?
 - a. Pirmais Ņūtona likums
 - b. Otrais Ņūtona likums
 - c. Trešais Ņūtona likums
5. Vai uz ķermeni, kurš kustas ar vienmērīgu ātrumu, darbojas tikai viens spēks?
 - a. jā
 - b. nē
6. Kādi spēki darbojas uz no ābeles krītošu ābolu?
 - a. smaguma un berzes spēks
 - b. vilcējspēks un elastības spēks
 - c. Berzes spēks un Arhimēda spēks

Ja Tev izdevās pareizi atbildēt uz visiem testa jautājumiem, Tu esi ļoti uzmanīgi un labi apguvis šo vielu un droši vari pāriet uz 2. pakāpi, par ķermeņu mehāniku, kurā Tu jau sīkāk tiks iepazīstināts ar sīkāku kustību iedalījumu un kustību raksturojošiem likumiem, vai ja vēl nejuties tam gatavs — turpini apgūt citas tēmas 1. pakāpē.

Ja nesanāca tik veiksmīgi, neskumsti, Tev ir divas iespējas, atgriezties sākumā un vēlreiz izskatīt visu uzmanīgi un rūpīgi. Vai arī paskaidro ar piemēriem savam draugam vai mazajam brālim vai mātai, kas ir ķermeņu kustība, kas ir vienmērīga un nevienmērīga taisnlīnijas kustība, kas ir vienmērīga un nevienmērīga līklīnijas kustība, kāpēc ķermeņi var kustēties vienmērīgi un nevienmērīgi, kāpēc likumoti. Ja tas Tev izdevās, vari droši iet tālāk. :)