

DER ER SPORT I FYSIK giver eleverne en konkret indgang til fysik, da bogen udnytter elevernes interesse for og kendskab til forskellige sportsgrene. Bogen viser, hvordan fysikkens love bestemmer alle sportspræstationer. Ved at forstå den fysik, der knytter sig til en bestemt sportsgren, får man som tilskuer eller udøver en større indsigt i sportens teknik.

De enkelte kapitler afsluttes med en faktablok, opgaver og forsøg.



9 788700 469969

Býarbókasavnið
Boks 358
FO-110 Tórshavn



000001851691

GYLDENDAL UDDANNELSE

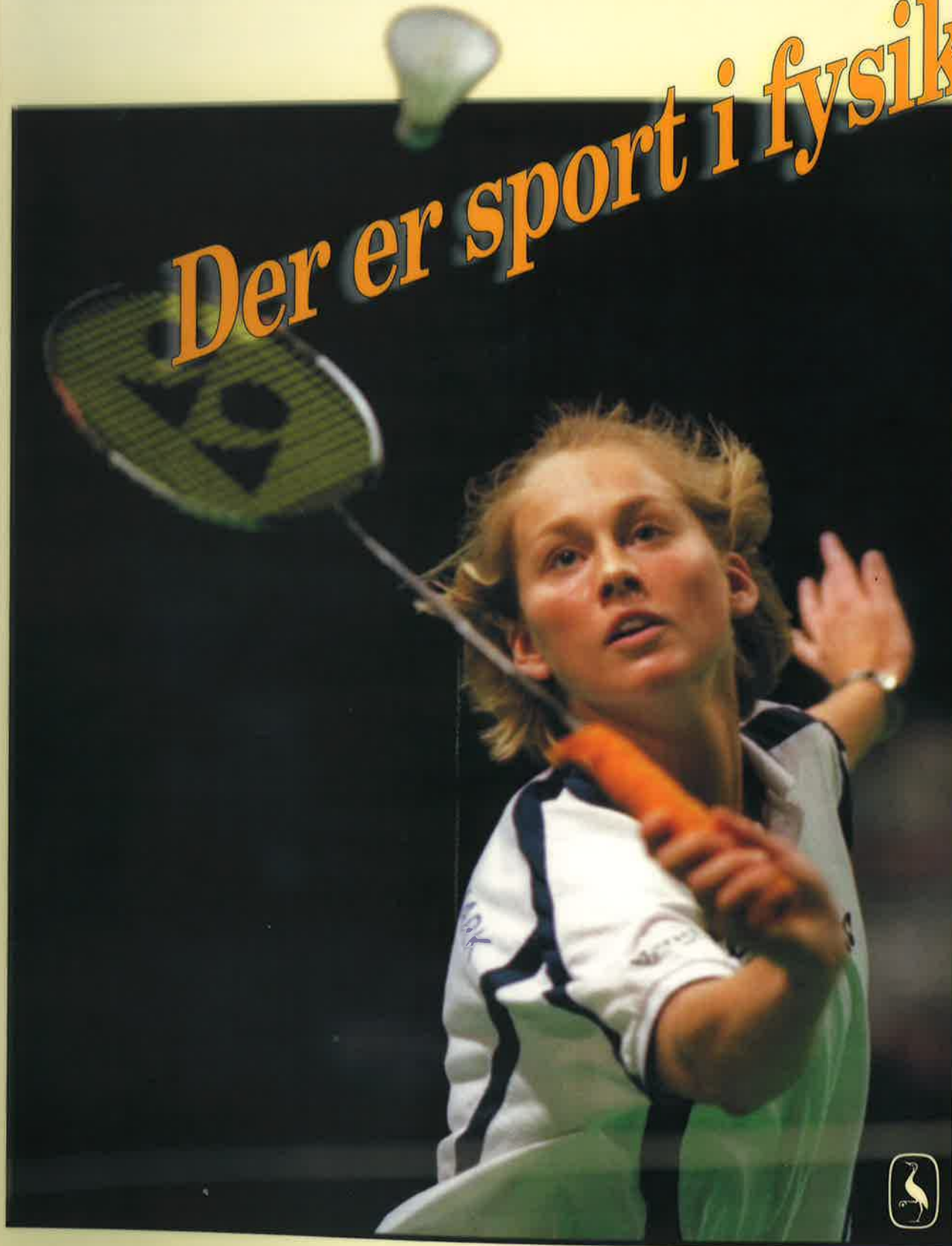


53.08

Henning Henriksen: Der er sport i fysik

HENNING HENRIKSEN

Der er sport i fysik



NY FYSIK/KEMI TEMA

Der er sport i fysik
Ny fysik/kemi – Tema

© 2000 by Gyldendalske Boghandel,
Nordisk forlag A/S, Copenhagen
Tilrettelæggelse og omslag: Martin Bassett
Tegninger: Martin Bassett og Lars Ole Nejtgaard
Omslagsfoto: Polfoto/Morten Bjørn Jensen
Forlagsredaktion: Søren Lundberg
Kopiering fra denne bog må kun finde sted på
institutioner, der har indgået aftale med Copy-Dan,
og kun inden for de i aftalen nævnte rammer.
Illustrationer scannet hos: Narayana Press, Gylling
Bogen er sat med New Century Schoolbook og
trykt hos Narayana Press, Gylling
1. oplag
Printed in Denmark 2000
ISBN 87-00-46996-3

gyldendal-uddannelse.dk

Billedliste:

Nordfoto/Corbis, s. 4, 42
Nordfoto/Sebastian Starr, s. 7
Nordfoto/Reuters, s. 5, 62
Polfoto/Jens Dresling, s. 8, 76
Nordfoto/Morten Juhl, s. 16
Thorkild Jensen, s. 18, 23, 41, 51, 54, 57, 64 n., 74, 77
Nordfoto/AP, s. 20, 21, 26, 49, 56, 64 ø., 73
Polfoto/AFP, s.22, 44, 60, 66, 68
Polfoto/Peer Pedersen, s. 24
NASA, s. 25
Polfoto/Lars Poulsen, s. 28
Tony Stone, s. 31
Nordfoto/Preben Søborg, s. 37
Polfoto/Morten Berger, s. 45
Polfoto/Lars Hansen, s. 46
Gyldendals billedbibliotek, s. 47, 55
Polfoto/Preben Benny Søborg, s. 48
Polfoto/Mads Winther, s. 50
Polfoto/Lars Poulsen, s. 53 ø.
Polfoto/Jasper Simonsen, s. 53 n.
Polfoto/Lars Skaaning, s. 58
Polfoto/Henie Petersen, s. 59
Polfoto/Ole Steen, s. 61
Polfoto, s. 70
Nordfoto, s. 71 ø.
Polfoto/EPA, s. 71 n.
Polfoto/Thomas Wilmann, s. 79

15 JUNI 2001

Indhold

	Forord	4
1	Der skal kræfter til	5
2	Kampen mod tyngdekraften	7
3	Vi udregner tyngdekraften	9
4	Sport i rummet	11
5	I fysik kan man tegne en kraft	13
6	Flere kræfter giver en resulterende kraft	16
7	Fra pedal til baghjul – flytning af kraft	18
8	Hvor nøjagtigt måler man tiden?	20
8	Mod målstregen – i fuld fart	22
10	Vi vælger en enhed for fart	24
11	I fysik bruges formelsprog	26
12	Et løb kan tegnes som en graf	29
13	Hurtigt fra start – med stor acceleration	31
14	Op og ned i fart – acceleration og deceleration	34
15	Vi udregner accelerationen med Newtons 2. lov	37
16	Vi finder accelerationen, når der er flere kræfter	40
17	Hvor langt falder man – sekund for sekund?	42
18	Du falder hurtigere og hurtigere	44
19	Boldens ideelle bane – en kaste-parabel	46
20	Når vi er glade for friktion	50
21	Når vi ikke er glade for friktion	53
22	Luftmodstanden – medspiller eller modspiller?	56
23	Lufttryk og andre tryk	60
24	Op ad bakke skal der ydes et arbejde	64
25	Bolden har kinetisk energi	68
26	Gå op ad trappen og få potentiel energi	70
27	Højt at flyve, dybt at falde – fra én type energi til en anden	73
28	Kan man springe højere end 1 meter?	76

Forord



De olympiske lege har et internationalt slogan: "Citius, altius, fortius". Det er latin, og betyder: hurtigere, højere, stærkere. Disse tre begreber er ikke kun vigtige inden for sportens verden, men er også vigtige begreber fra fysikkens verden.

Sport og fysik er nemlig tæt forbundet. Ved at forstå den fysik, der knytter sig til en bestemt sportgren, kan man som tilskuer få en større indsigt i sportens teknik. Ved at blive klogere på fysikken kan man som sportsudøver lettere overskue de enkelte dele af en bestemt bevægelse. Herved kan man tilrettelægge øvelser, der er mere effektive.

Læren om kroppens bevægelse, den såkaldte biomekanik, studeres meget i disse år. Man laver analyser af kroppens bevægelse, når den er udsat for tyngdekraft, luftmodstand og vindmodstand. Når man bruger fysikkens love og kender den menneskelige krops opbygning

og funktion, kan man finde ud af, hvordan sportsfolk kan forbedre deres præstationer, og hvordan man kan forbedre sportsudstyr og redskaber. Læger og fysioterapeuter interesserer sig også for dette område, for vi er alle afhængige af, at vores krop bevæger sig på en hensigtsmæssig måde. I denne bog vises, hvordan bestemte idrætsøvelser kan forklares ved hjælp af fysikkens love. Samtidig indlæres fysik på en meget konkret måde.

Ved arbejdet med bogen er det en fordel at bruge et kladdehæfte eller en samlemappe til udregning af opgaver og til journalføring af forsøg. Flere af forsøgene kan udmærket vises som demonstration for klassen af læreren eller af nogle elever. Der er så mange forsøg i bogen, at læreren må vælge de forsøg ud, som passer bedst til den pågældende klasse.

Henning Henriksen



Der skal kræfter til

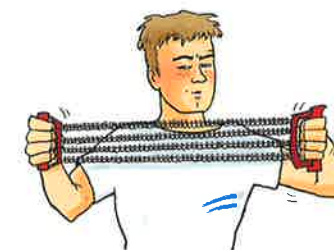
Russeren Andrei Tjemerkin er netop blevet verdens stærkeste mand ved verdensmesterskaberne i Athen i 1999. Tavlen på væggen viser, at han har løftet 257,5 kg.

1

Når man dyrker sport bruger man sine kræfter, og i nogle sportsgrene som fx vægtløftning er det nødvendigt med stor muskelstyrke. I andre former for sport, som fx gymnastik, kan man klare sig med mindre. Her er det til gengæld nødvendigt, at man har stor kontrol over sine muskler.

Ud fra de mange forskellige sportsgrene, kunne det se ud til, at der er mange forskellige måder at bruge kræfterne på, men fysikerne ved, at det er der ikke. De kræfter, man bruger i sportens verden kan fysik nemt beskrive. Kræfter kan klare netop 3 forskellige opgaver:

1. Kræfter kan få en genstand til at ændre form.
2. Kræfter kan ændre farten af en genstand.
3. Kræfter kan få en genstand, der bevæger sig, til at ændre retning.



Når man træner sine muskler med en expander bruger man kræfterne på at ændre fjederens form.



For at få en bold til at bevæge sig skal bolden påvirkes af en kraft. Kraften kommer fra foden.



Kraften fra tennisketcheren får bolden til at ændre retning.

Størrelsen af en kraft måles i enheden newton, der forkortes til N.

Hvor stor er kraften én newton?

Apparatur: forskellige kraftmålere, sytråd, elastikker.

Hvor stor en kraft skal der til for at trække en sytråd over? Hvor stor kraft skal der til, for at trække to tråde over? Hvordan går det med elastikker?

Hvor godt sidder et hår fast i hovedbunden? Prøv med forskellige elever, så I kan se, om hårene sidder lige godt fast hos alle.

Med hvor stor kraft kan I trække med det yderste led af lillefingeren.

Er 1 N en stor eller en lille kraft?



Vores kraftmåler kaldes også for en fjedervægt, for den er opbygget af to rør, der holdes sammen af en fjeder. Kraftmåleren virker på samme måde som en expander, men der er en skala på, så vi kan aflæse kraften.

En fjeder er velegnet som kraftmåler, for den har den egenskab, at den strækker sig et stykke, når man trækker i den. Bruger man den dobbelte kraft, så strækker fjederen sig det dobbelte, men denne sammenhæng gælder kun, når fjederen kun forlænges lidt. Hvis man strækker fjederen for meget, så kan den ikke trække sig helt sammen igen. Derfor må man ikke trække fjederen for langt ud; det ødelægger kraftmåleren.

FAKTA

De olympiske mestre i vægtløftning kan løfte ca. 3 gange deres egen vægt, men en myre kan løfte ca. 50 gange sin egen vægt. Det vil for et menneske svare til at løfte en elefant.

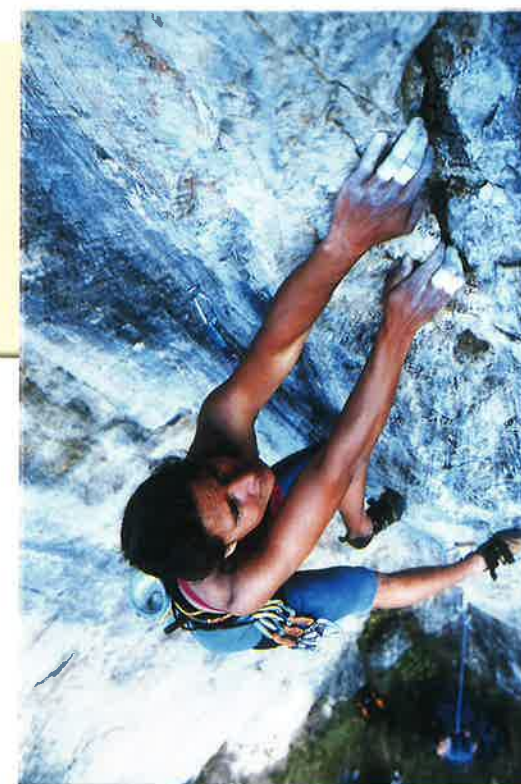
Den første gang en kvinde kunne løfte det dobbelte af sin egen vægt var i 1988.

OPGAVER

1. Hvad hedder det instrument, der kan måle størrelsen af en kraft?
2. Gør følgende sætning færdig: Jo mere fjederen udvider sig, des større ...
3. Med hvilken enhed måles en krafts størrelse?
4. Når en fodboldspiller "header" til en bold, påvirkes bolden af en kraft. Den kommer fra hovedet, og kraften kan påvirke bolden på tre måder. Hvilke?
5. Giv nogle eksempler på kræfter. I hvert eksempel skal du gøre dig klart:
 - a) Hvem yder kraften?
 - b) Hvad virker kraften på?
 - c) Hvad bliver virkningen af kraften?

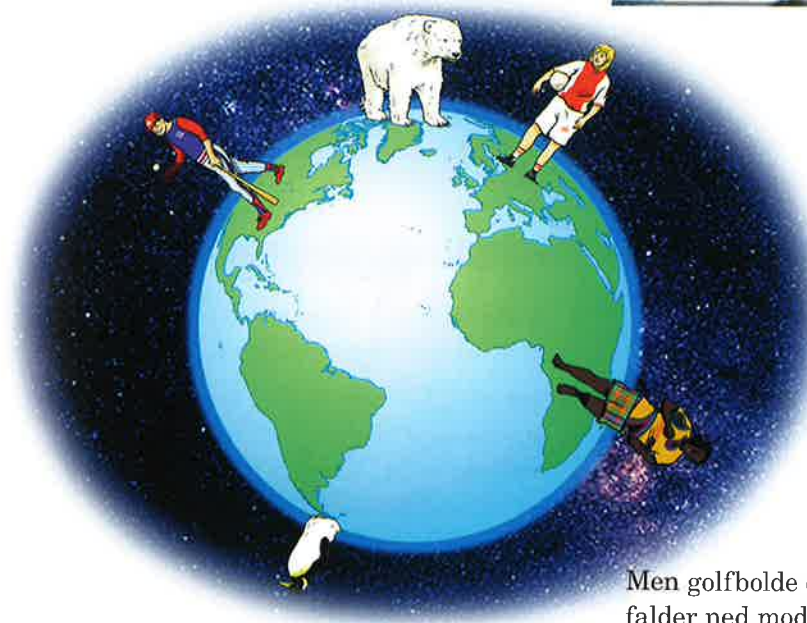
Kampen mod tyngdekraften

Det er anstrengende at bestige et bjerg, for tyngdekraften trækker hele tiden den modsatte vej.



2

Når man springer op i luften, hvorfor falder man så ned igen; hvorfor kan man ikke bare fortsætte opad? Og når en golfspiller slår hårdt til en golfbold, flyver den fremad, mens den stiger, men til sidst – måske 250 meter ude – falder den alligevel ned på jorden.



Men golfbolde er ikke det eneste, der falder ned mod jorden, det gælder alle genstande. Det kan være højdespringeren, det kan være spyddet – alt ender til sidst nede på Jordens overflade, og denne tiltrækning af alle genstande ned mod Jorden kaldes Jordens tyngdekraft. Det er jordklodens enorme masse, der trækker alle andre genstande her på Jorden ind mod Jordens centrum.

Når vægtløfteren løfter vægtstangen, skal han overvinde tyngdekraften på vægtstangen. Vægtløfteren trækker opad, men Jordens masse medfører en tyngdekraft, der trækker nedad. Hvis vægtstangen skal op, skal vægtløfteren yde en kraft, der er større end tyngdekraften, ellers bliver vægtstangen liggende på gulvet.



I forsøg 2 fandt vi tyngdekraftens størrelse på et 1 kg-lod. En nøjagtig kraftmåler vil vise 9,8 N (newton). Tyngdekraftens styrke er altså 9,8 N pr. kg. Denne størrelse har fået navnet tyngdeaccelerationen, og den betegnes med bogstavet "g". Det vil altså sige, at tyngdeaccelerationen g svarer til tyngdekraften på 1 kilogram; $g = 9,8 \text{ N pr. kg}$.

FORSØG 2

Hvor stor er tyngdekraften på ét kilogram?

Apparatur: forskellige kraftmålere, nogle lodder, bl.a. et 1 kg-lod.

Hvor stor en kraft skal en kraftmåler yde for at bære et 1 kg-lod? Hvor stor bliver kraften ved et lod på 500 g og et på 2 kg?



FAKTA

Kraften 1 newton svarer til tyngdekraften på et lod med massen 102 g.

Selv når vi står helt stille, må vores krop arbejde for at overvinde tyngdekraften. I hvert hjerteslag skal der pumpes blod fra hjertet op til hovedet.

Vi udregner tyngdekraften

3

Hænger vi et 10 kg-lod op i en kraftmåler, vil vi måle 98 N, og med et 100 g lod vil vi kun måle 0,98 N. På grund af denne sammenhæng er det nemt at beregne tyngdekraften på en hvilken som helst genstand. Vi skal bare vide, hvor stor massen af genstanden er, dvs. kende antal kilogram af genstanden. Vi sætter det op i en formel:



tyngdekraften = massen · tyngdeaccelerationen

eller skrevet med symboler

$$F = m \cdot g$$

F står for tyngdekraften (F kender vi fra det engelske ord "Force"), m står for massen og g står for tyngdeaccelerationen.

For at bruge formlen skal en genstands masse måles i kilogram (kg).

Vi kan fra formlen se, at vi kan udregne tyngdekraften på en genstand ved at gange massen af genstanden med 9,8. Og vi har set, at kraften for at holde et lod på 1 kilogram er ca. 10 newton. Derfor kan vi bruge en badevægt og en køkkenvægt som kraftmålere. Det antal kilogram, som vægten viser, skal vi gange med 10 for at finde ud af, nogenlunde hvor stor kraften er målt i newton. Hvis vi vil udregne kraften helt nøjagtigt, skal vi gange med 9,8.

OPGAVER



- Hvor stor er tyngdekraften på følgende genstande:
 - et menneske på 100 kg.
 - en bordtennisbold med massen 2,5 g.
- Hvor stor er Jordens tyngdekraft på dig?
- Forklar hvordan en badevægt og en køkkenvægt kan bruges som kraftmålere. Hvor stor en kraft bliver der trykket med på de to vægte?
- Vi har en sten og en gren. På stenen virker en tyngdekraft på 29,4 N. Grenen har massen 2,8 kg. Hvilken genstand har størst masse?

er ikke lige stor alle steder

på en genstand varierer lidt forskellige steder. Da Jorden er lidt fladtrykt, er Jordens tyngdekraft mindre end radius til Sydpolen og Sydpolen mindre end radius til Nordpolen. Derfor er tyngdekraften størst ved polerne og mindst ved ækvator.

Hvis du går fra Nordpolen til ækvator, vil du blive lettere – men det vil ikke svare til at tage et æble. I Danmark er tyngdekraften på et 1 kg lod omkring 9,818 N. I Danmark er tyngdekraften i Rom kun 9,803 N.

Hvis du går mod ækvator bliver tyngdekraften mindre. I Berlin er tyngdekraften på et 1 kg lod omkring 9,818 N. I Rom er tyngdekraften kun 9,803 N.



Hvis vi bevæger os opad, bliver tyngdekraften mindre. I en højde på fx 100 km er tyngdekraften på et 1 kg-lod faldet til 9,50 N.

De fleste byer ligger i højde med havoverfladen, men hovedstaden i Mexico, der hedder Mexico City, ligger oppe i 2200 meters højde. Da Mexico City yderligere ligger ved ækvator bliver tyngdekraften der særlig lav. Tyngdekraften på et 1 kg lod er kun 9,78 N.

I 1968 blev de olympiske lege afholdt i Mexico City, og der var op til olympiaden stor spænding med hensyn til, hvor mange rekorder der ville blive slået. Det kunne der være to grunde til. For det første var tyngdekraften mindre, så springerne ville få det lettere. For det andet er luften tyndere i så stor højde, så vindmodstanden ved løb m.m. er mindre.

Der blev sat en bemærkelsesværdig rekord i længdespring. Amerikaneren Bob Beamon sprang i længdespring 8,90 m. Det var en helt fantastisk forbedring af den tidligere verdensrekord på ikke mindre end 55 cm.

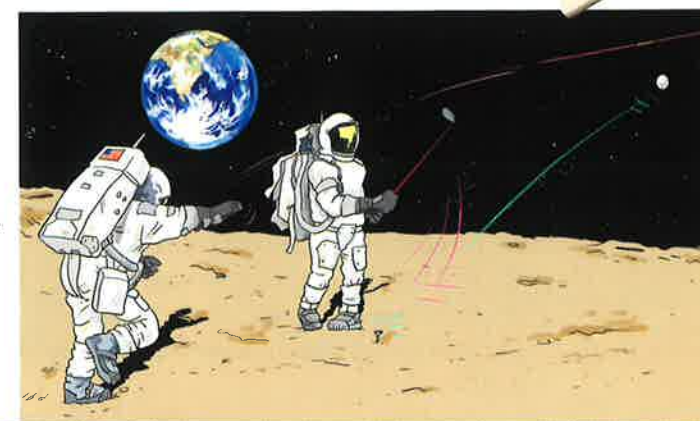
Fysikerne har regnet på, hvor meget den mindre tyngdekraft og den tyndere luft betød for Bob Beamon. Formentlig har det kun betydet en forbedring på 10-15 cm, så man sige, at det var et fantastisk spring på det rette tidspunkt. Det gav selvfølgelig guldmedaljen.

Sport i rummet

4

FAKTA

I 1971 var astronauterne Shepard og Mitchell landet på Månen. Shepard slog golfbolde langt hen over Månens overflade og Mitchell kastede spyd langt over verdensrekorden her på Jorden. De forsøgte også at hoppe højt, men deres rumdragter medførte, at de kun kunne hoppe op til 10-20 cm. Når de hoppede, sad personalet på kontrolcenteret i USA og bed negle af angst for, at astronauterne skulle falde og slå hul i rumdragten.

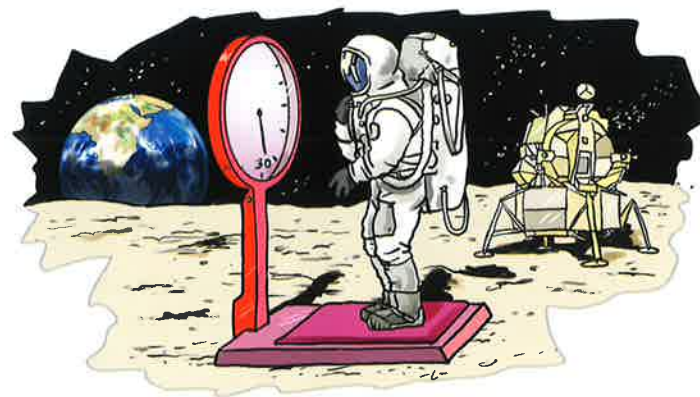
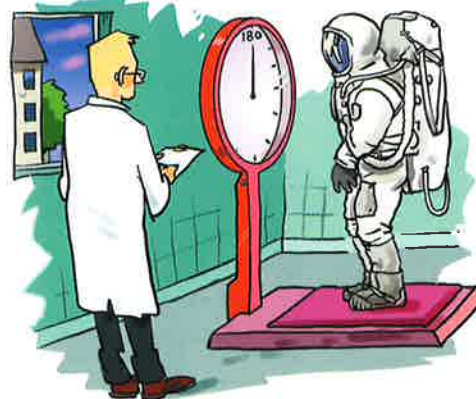


Alle genstande tiltrækker hinanden

Tyngdekraft er ikke kun et fænomen, der kendes her på Jorden. Faktisk tiltrækker en genstand alle andre genstande bl.a. os, men vi mærker det ikke, for tiltrækningskræfterne er meget små. De bliver kun store, når massen af genstanden er stor, og på Jorden er det kun Jordens masse, der er så stor, at den bevirker en væsentlig tiltrækningskraft, nemlig Jordens tyngdekraft.

Det er nemt at observere, at tyngdekraften virker, og vi har set, at det ikke er svært at måle og beregne, hvor stor tyngdekraften er. Størrelsen af Jordens tyngdekraft afhænger af Jordens masse og massen af den genstand, der tiltrækkes. Det ved fysikerne, men de kan ikke forklare, hvordan kraften opstår.

På Månen er der også en tyngdekraft. Men den er kun en sjettedel af tyngdekraften på Jorden, for Månen er mindre end Jorden. En astronauts dragt og udstyr vejer ca. 90 kg, og ved træning på Jorden er det meget tungt, men på Månen svarer det til kun at bære en sjettedel, dvs. 15 kg.



Hvis der var luft på Månen, så vi kunne opholde os der, kunne vi på grund af den mindre tyngdekraft springe højere, slå golfbolde længere og løfte tungere vægte end her på Jorden.

Da det er planetens masse, der er årsag til tyngdekraften, er tyngdekraften større på planeter, der er tungere end Jorden. På solsystemets største planet Jupiter er tyngdekraften tre gange så stor som her på Jorden.

Ude i verdensrummet langt fra planeter og stjerner er tyngdekraften fra disse så svag, at genstande kan svæve rundt uden "at falde ned" – de er vægtløse. At de er vægtløse betyder altså, at de ikke er påvirket af nogen væsentlig tyngdekraft.

Kommende astronauter trænes i at opleve en situation uden tyngdekraft i en stor flyvemaskine. Når maskinen dykker kraftigt med stor fart ned mod Jorden, bliver passagererne "vægtløse" og svæver rundt i flyet. Maskinen kan dog kun holde til det kraftige dyk i op til 10 sekunder.

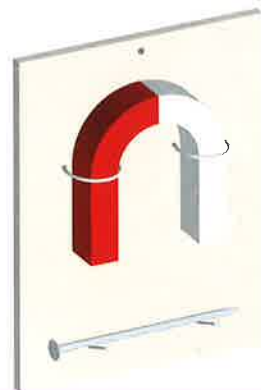
Vi skal bygge et apparat, der viser denne form for vægtløshed.

FORSØG 3

Hvordan man kan blive vægtløs

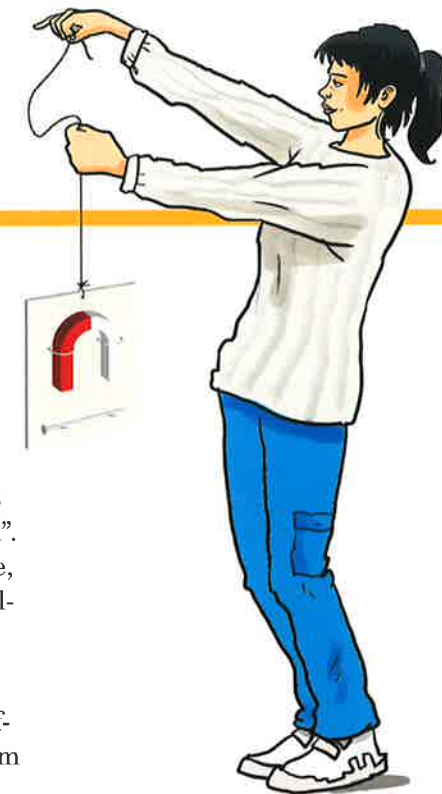
Der skal bruges bl.a.: en træplade, en hesteskomagnet, et stort søm, to små søm og et stykke snor.

Byg apparatet som tegningen viser.



Hold apparatet i den ene hånd og lad det falde. Det store søm er "astronauten". Forklar hvordan vi kan se, at "astronauten" under faldet har oplevet at være "vægtløs".

Finjustér apparatet, så afstanden fra magnet til søm bliver størst mulig.



OPGAVER

1. Hvis din masse er 60 kg, hvor meget ville du så veje på Månen?
2. Er du stærk nok til at kunne gå, hvis du var et sted, hvor tyngdekraften er lige så stor som på planeten Jupiter?
3. Når vi bruger udtrykket verdensrekorden i vægtløftning, mener vi egentlig "Jordrekorden". Ville du på Månen kunne slå russeren Andrei Tjmerkins verdensrekord i vægtløftning?

I fysik kan man tegne en kraft

5



En kraft tegnes som en pil, en kraftpil. →

En kraftpil skal vise 3 ting om en kraft:

1. Hvilken retning kraften har; (pilens retning).
2. Hvilken genstand kraften virker på; (pilens startpunkt kaldes kraftens angrebspunkt).
3. Hvor stor kraften er; (pilens længde).

For at bære en håndvægt skal man yde en kraft.

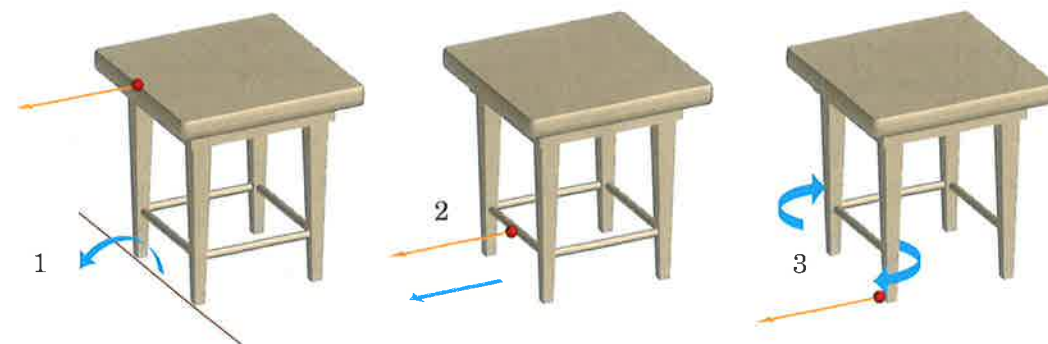


- Kraftpilen viser, at kraften fra hånden går opad.
- Vi kan se, at kraften virker på håndvægten, for pilens startpunkt er på håndvægten.
- Længden af kraftpilen viser, hvor mange newton kraften er på. Vi kan måle os frem til kraften, hvis vi for denne tegning har vedtaget, at 1 cm svarer til 10 N.

Selv om vi fastholder kraftens størrelse og retning, så bliver virkningen af kraften en helt anden, hvis kraftens angrebspunkt ændres. Det kan vi se af følgende tegning:

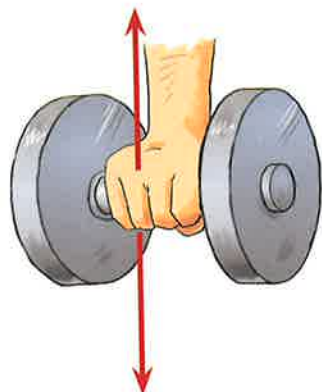
1. Trækker du i taburettens sæde, vil taburetten vippe.
2. Trækker du i tværstangen mellem taburettens ben, vil taburetten rutsje hen over gulvet.
3. Trækker du i det højre ben vil taburetten dreje sig.

I hvert tilfælde bliver taburetten sat i bevægelse, men kraftens angrebspunkt afgør, hvordan bevægelsen bliver.

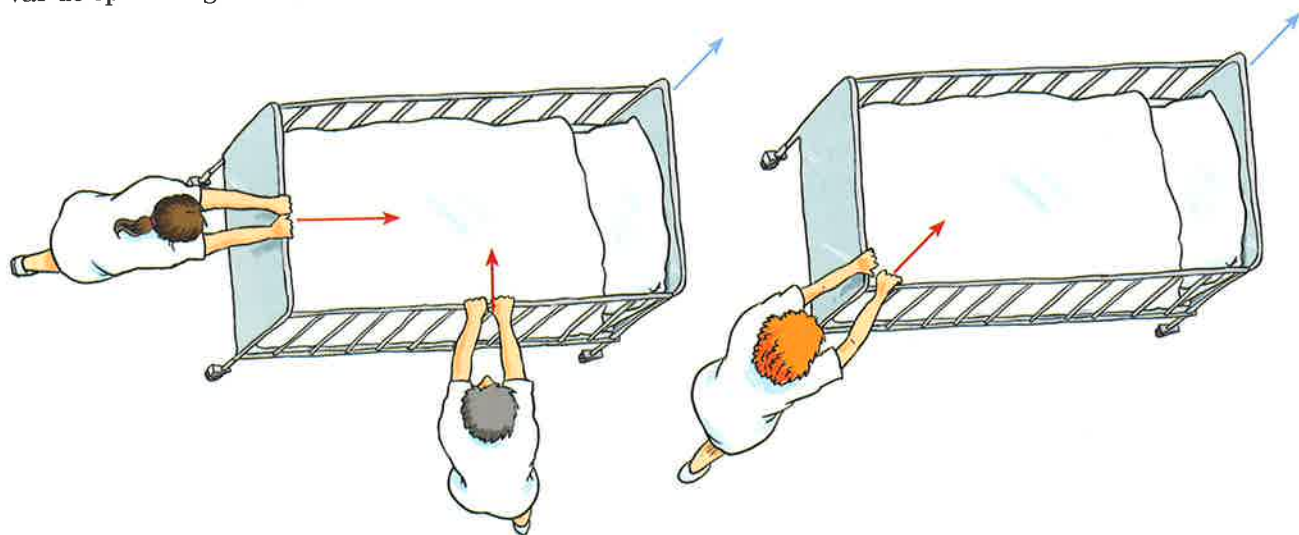


Ofte er der mange kræfter på en genstand, og det kan virke forvirrende, hvis man tegner dem alle. Men de er sjældent lige vigtige, så derfor kan man ofte nøjes med at tegne de vigtigste kræfter.

Her kan vi se, at der faktisk er to kræfter, der virker på håndvægten: Kraften fra sportsmanden og tyngdekraften. Begge kræfter virker på håndvægten, og vi kan se, at tyngdekraften trækker nedad.



Ofte er der flere kræfter på en genstand, og disse kræfter kan have forskellige retninger, men disse kræfter kan ofte erstattes med bare én enkelt kraft, så genstanden stadig vil bevæge sig i samme retning. Hvis vi udskifter de oprindelige kræfter med *den resulterende kraft*, så vil genstanden opføre sig, som om det var de oprindelige kræfter, der virkede.



Eksempel

Når to kræfter virker i samme retning kan de udskiftes med en enkelt kraft, der er lig summen af de to første kræfter. Den resulterende kraft bliver på 4 N.



Kræfterne går i modsat retning og ophæver hinanden. Den resulterende kraft bliver på 0 N.



Vi vælger retningen til højre som positiv. Den resulterende kraft bliver på 3 N, og den er rettet mod højre.

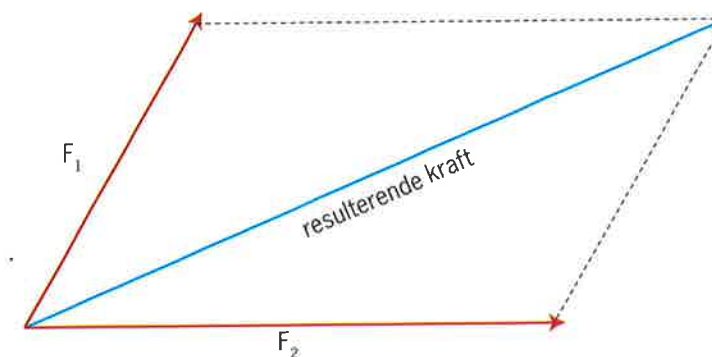


Tre personer skubber en bobslæde igang. Den første yder en kraft på 240 N, den anden 180 N, den tredje 100 N. Den resulterende kraft på bobslæden bliver 520 N.

Når to kræfter ikke ligger i forlængelse af hinanden, kan man finde den resulterende kraft ved hjælp af **kræfternes parallelogram** (et parallelogram er en firkant, hvor de modstående sider er parallelle).

Kræfternes parallelogram

Når to kræfter F_1 og F_2 , der virker på en genstand, skal udskiftes med en resulterende kraft, tegnes først de stiplede hjælpelinier. I deres skæringspunkt ligger spidsen af den resulterende kraft. Den tegnes som diagonalen i parallelogrammet. Den resulterende kraft kan erstatte de to oprindelige kræfter.

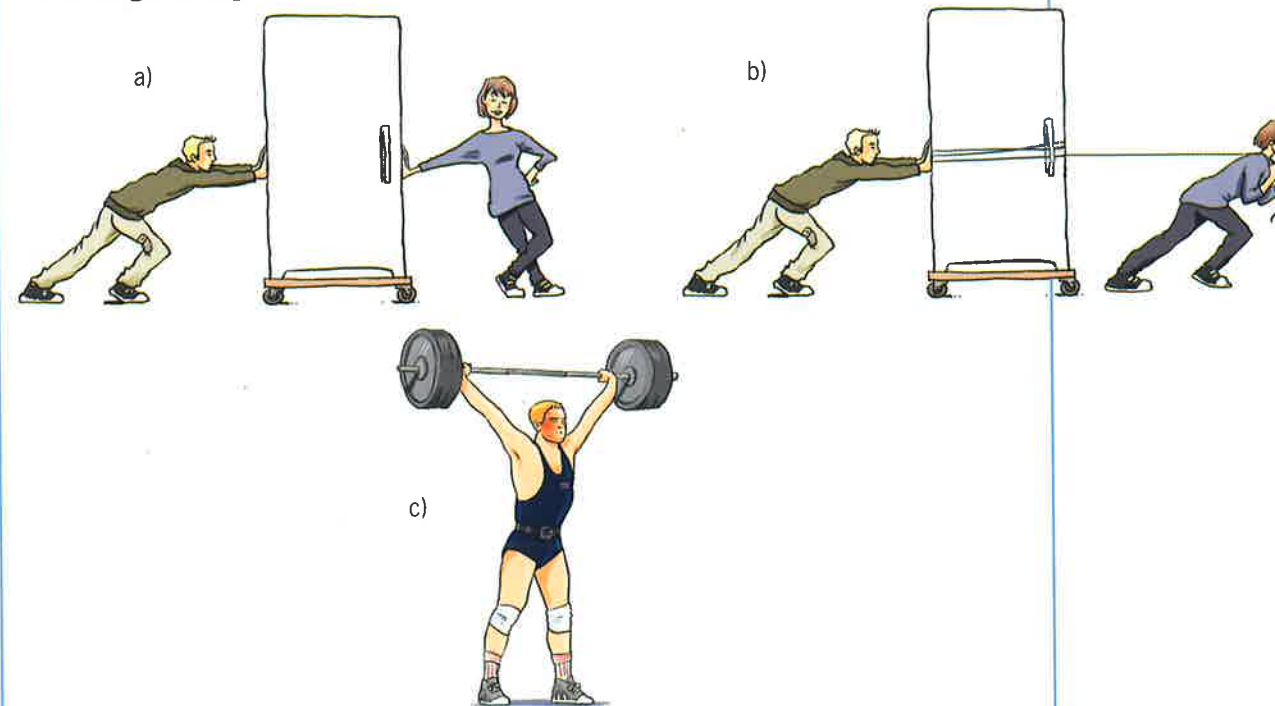


OPGAVER

1. Hvordan skal tyngdekraften tegnes ind på disse tre lodder?



2. Indtegn kraftpile i de tre viste situationer?



3. Hvor stor en kraft bruger Andrei Tjemerkin i sit verdensmesterskabsløft til at holde de 257,5 kg oppe?

6

Flere kræfter giver en resulterende kraft

Det britiske hold starter bobslæden ved vinter-OL i 1998. For hurtigt at få fart i bobslæden løber deltagerne i starten ved siden af slæden, og hver af dem skubber med al kraft på sidestængerne. Når slæden har fået fart, springer den forreste op i slæden, derefter springer den næste op og til sidst bageste mand.



Resultatet af forsøget kan skrives i en fysisk sætning:

Når en genstand er påvirket af flere kræfter, kan man ved at finde summen af kræfterne finde ud af, hvordan genstanden vil bevæge sig. Summen af kræfterne kaldes den resulterende kraft.

Når vi skal finde summen af flere kræfter, skal kræfter, der går i samme retning, lægges sammen. Kræfter, der går i modsatte retninger, skal trækkes fra hinanden. Vi kan i hvert forsøg selv bestemme, i hvilken retning en kraft skal være positiv.

Hvis summen af kræfterne bliver positiv, vil genstanden bevæge sig i den positive retning, som vi har valgt. Hvis summen af kræfterne bliver negativ, vil genstanden bevæge sig modsat den positive retning. Hvis summen af kræfterne er nul, kan genstanden ligge stille. Summen af de tre kræfter på 1 kg-loddet er netop nul, og loddet hænger da også helt stille.

FORSØG 4

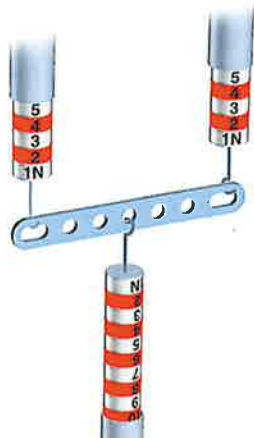
Når der virker flere kræfter

apparat: 2 kraftmålere, 1 kg-lod, snor og forsøgsstativ.

1-kg-loddet er påvirket af i alt tre kræfter. Tegn en skitse af opstillingen og indtegn alle tre kraftpile. Forklar virkningen af kræfterne på 1 kg-loddet.



Når to kræfter virker i samme retning, "hjælper" de hinanden. I forsøget med 1 kg-loddet vil hver af de to kraftmålere vise ca. 5 N. Summen af de to opadrettede kræfter giver netop 10 N. Det svarer til værdien af tyngdekraften på loddet. Forsøget svarer helt til den viste opstilling med 3 kraftmålere.



FORSØG 5

Vi finder den resulterende kraft

Tegn tre vilkårlige retninger ud fra ét punkt på et stykke papir.

Sæt tre kraftmålere sammen og træk ud i de retninger, der er indtegnet på papiret. Sørg for at kraftmålerens samlingspunkt ligger lige over linierens skæringspunkt. Aflæs og skriv ned, hvor mange newton der trækkes med i de forskellige retninger.

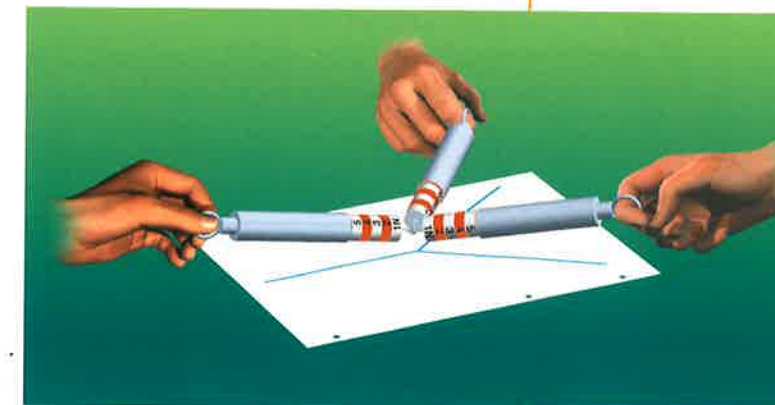
Fjern kraftmålerne.

Vi skal tegne kraftpile, så vælg en fornuftig længde, der skal svare til kraften 1 N.

Indtegn kræfterne F_1 , F_2 og F_3 som kraftpile. Kraftpilene skal have deres an-grebspunkt i linierens skæringspunkt.

Vælg to af kræfterne fx F_2 og F_3 . Tegn kræfternes parallelogram for disse to kræfter, og find den resulterende kraft, der kan erstatte disse to kræfter.

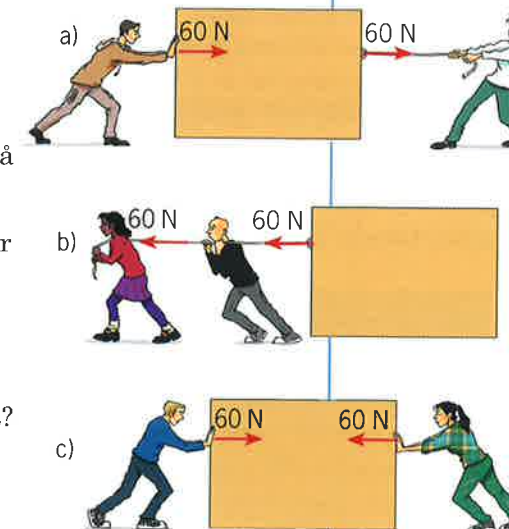
Sammenlign denne resulterende kraft med den sidste kraft, F_1 . Hvilken retning har disse to kræfter og hvor store er de?



OPGAVER

Vi udregner den resulterende kraft

- Hvad er summen af kræfterne i de tre viste situationer?
- Two kræfter virker på en genstand. Den ene kraft er på 5 N; den anden er på 10 N.
 - Hvor stor bliver den største resulterende kraft, der kan opnås?
 - Hvor lille kan den resulterende kraft blive?
 - Brug papir, lineal og blyant til at løse dette problem. Hvis der er 90 graders vinkel mellem de to kræfter, hvor stor bliver så den resulterende kraft?
- Anders, Bo og Claus trækker i en ring. Anders trækker mod nord med en kraft på 90 N. Bo trækker mod øst med en kraft på 120 N.
 - Hvor stor er den resulterende kraft, der kan sættes i stedet for kræfterne, som Anders og Bo trækker med?
 - Claus trækker så kraftigt, at ringen ikke flytter sig. Hvilken kraft trækker Claus med?



7

Fra pedal til baghjul – flytning af kraft

Antallet af gear på en cykel udregnes ved at gange antallet af tandhjul på bagakslen med antallet ved pedalerne.



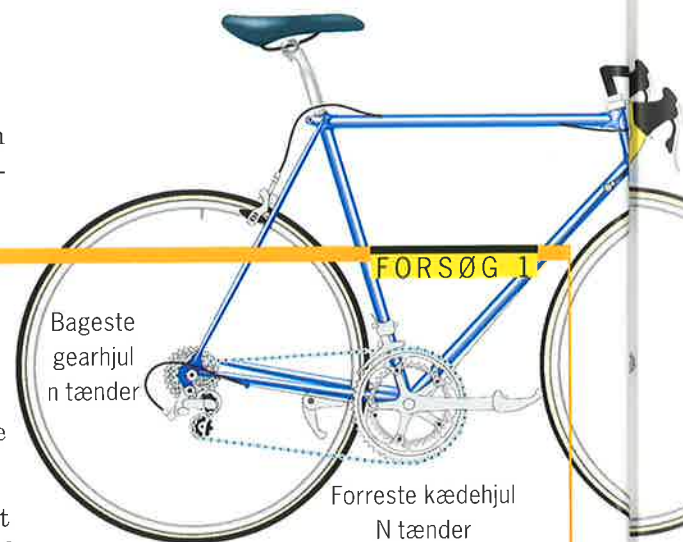
Når en cykelrytter træder i pedalen med en bestemt kraft, overføres kraften på pedalen fra kædehjulet til kæden, hvor kraften videre overføres til baghjulet gennem bageste gearhjul. Til sidst får vi en kraft fra baghjulet ned på vejen. Størrelsen af kraften fra baghjulet ned på vejen bestemmes af forholdet mellem radius på kædehjulet og radius på gearhjulet.

Hvor mange gear har cyklen egentlig?

I skal bruge et målebånd på fx 20 m, og I skal bruge en cykel med udvendigt gear. Hvis cyklen har 10 gear har kædehjulet to klinger (tandhjul), og bageste tandkrans har fem gearhjul.

Tæl antallet af tænder på alle tandhjul, og opskriv et skema med de 10 forskellige mulige kombinationer af antal tænder på kædehjul og bageste gearhjul.

N antal tænder på forreste gearhjul	n antal tænder på bageste gearhjul	N/n forholdet mellem antal tænder på forreste og bageste gearhjul	kørelængde for én pedalomdrejning



Sæt en kridtstreg på dækket af baghjulet og sæt en kridtstreg på gulvet. For hver af jeres kombinationer skal I lade cyklen rulle én pedalomdrejning frem. Start med de to kridtstreger lige over hinanden. Kør cyklen fremad ved at dreje med hånden på en pedal. Pas på, at cyklen ikke ruller fremad i frihjul. Mål hver gang længden, som cyklen flytter sig på én pedalomdrejning. Når I har udfyldt skemaet, kan I vurdere, om cyklen i praksis har 10 gear.

FORSØG 7

Pedalkraften bliver til cykelkraft

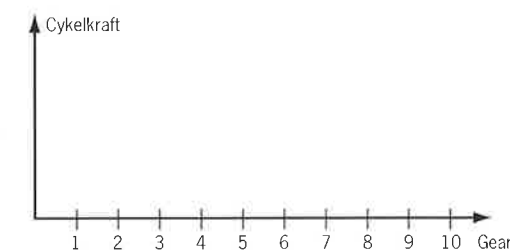
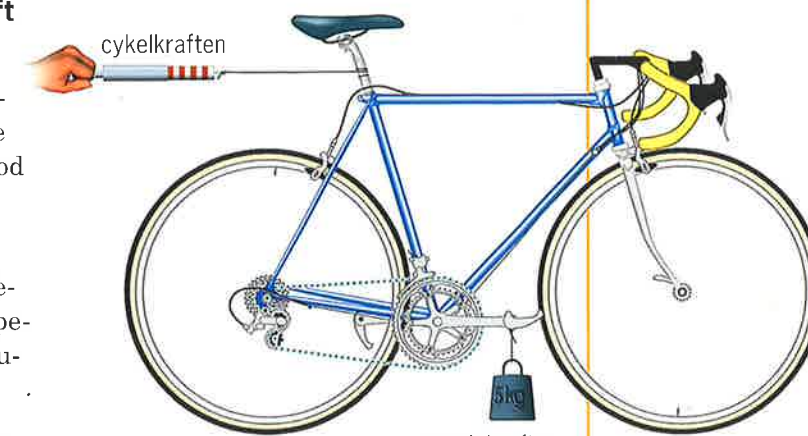
Sæt gearet på cyklen i et af de mellemste gear, og fastgør en kraftmåler bag sadlen. Stil pedalarmerne vandret og hæng et 2 eller et 5 kg-lod på den forreste pedal.

I forsøget er pedalkraften lig med tyngdekraften på loddet. Da tyngdekraften på ét kilogram er 10 N, er pedalkraften lig med 50 N, hvis vi bruger 5 kg-loddet.

Du kan nu måle cykelkraften. Det er den kraft, som dækket på baghjulet skubber mod jorden med. Den kan du måle med kraftmåleren, der hindrer cyklen i at køre fremad. Men husk, at pedalarmerne med loddet skal være vandret.

Prøv at udvide jeres forsøg ved at måle pedalkraft og cykelkraft i forskellige gear. Tegn et skema og indsæt jeres tal i skemaet.

Kan man ud fra resultaterne se, hvorfor en cykelrytter ofte skifter til et lavere gear i en spurt?

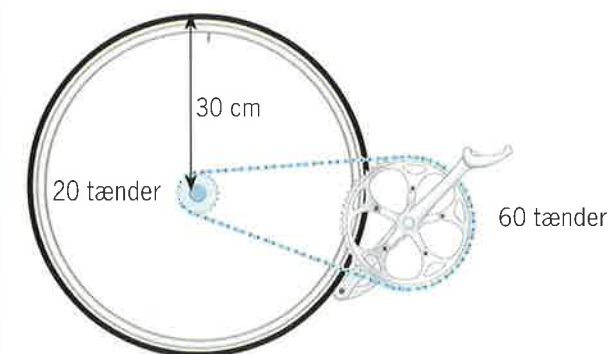


FAKTA

Man har bygget en cykel til et rekordforsøg, hvor cyklen skal kunne køre mere end 320 km/t. Cyklen skal trækkes af en Formel-1 racerbil op til dennes topfart på 320 km/t. Her slippes rebet, og ideen er, at cyklisten nu skal accelerere op til racerbilen gennem racerbilens slipstrøm. Cyklen vejer kun 5 kg. Den er bygget af kulfiber. Kædehjulet er 60 cm i diameter og tre omdrejninger af pedalerne bringer cyklen 100 meter frem.

ØP-GAVE

En cykel er opbygget på den viste måde.

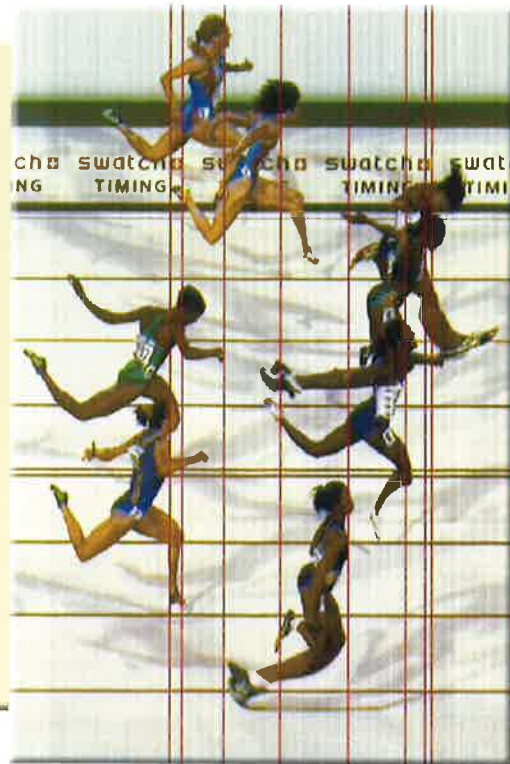


- Hvor mange gange drejer hjulet rundt for hver omdrejning af pedalerne?
- Hvor langt kører cykelrytteren for hver omdrejning af pedalerne?

8

Hvor nøjagtigt måler man tiden?

Amerikaneren Gail Devers vinder kvindernes 100 m finale ved de olympiske lege i Atlanta i 1996. Gail Devers vinder med 4 cm foran Merlene Ottey fra Jamaica. De 4 cm svarer til 0,05 sekunder. Gail Devers er øverst til højre med Merlene Ottey lige nedenunder. Når brystkassen passerer målstregen, måles tiden. Man kan se, at Merlene Ottey er lige ved at vinde, selv om Devers har et helt ben inde over målstregen.



Selv om man sagtens kan måle tiden mere nøjagtigt, vil man kun måle med 1/100 sekund, så selv om to løbere i samme løb noteres for samme tid, kan man ud fra fotoet næsten altid se, hvem der passerer mållinien først.

Lad os se på en 100 m løber, der løber på 10 sekunder rent. Et ur kan sagtens måle tiden med en nøjagtighed på 1/1000 sekund, men hvor langt flytter løberen sig på 1/1000 sekund?

Løberen løber:

- 10 m på 1 sek.
- 1 m på 1/10 sek.
- 10 cm på 1/100 sek.
- 1 cm på 1/1000 sek.

Det er ikke meget mere, end hvad en knap på trøjen fylder.

I svømning har man tidligere målt tiderne med en nøjagtighed på tusindedele af et sekund, og fx blev guldmedaljen i 400 m medley i 1972 vundet med bare to tusindedel sekund. Så lang tid tager det at svømme 3 mm, så det var en fordel at have lange negle. Nu måler man i svømning også med en nøjagtighed på kun 1/100 sekund, men man afgør stadig, hvem der kommer først, ud fra en større målenøjagtighed end 1/100 sekund, så det er en fordel med lange fingre og lange negle.

Mette Jacobsen vinder guldmedalje til Danmark i 200 m butterfly ved europamesterskaber i Istanbul 1999. Mette Jacobsen har vundet 25 EM- og VM-medaljer.



Når man skal måle små tidsrum, kan man ikke bruge et almindeligt stopur med visere, men i fysiklokalet har vi et apparat, der kaldes en timer. Den måler tiden i 1/100 sekund. Når man trækker en papirstrimmel gennem timeren, afsættes der en prik på strimlen for hvert 1/100 sekund. Vi vil bruge timeren til næste forsøg.

FORSØG 8

Vi måler i hundrededele af et sekund

Hver elev kan fx få sin egen timerstrimmel, der kan være fx 60 cm lang.

Sæt den ene ende af timerstrimlen ind i timeren, og tag fat i strimlen. Lad en kammerat starte timeren og træk til.

Timeren sætter en prik på strimlen for hvert 1/100 sekund, så når du har talt op, hvor mange prikker, der er på strimlen, så ved du, hvor langt tid det tog at hive strimlen ud af timeren.

Hvor mange sekunder tog det at hive strimlen ud?

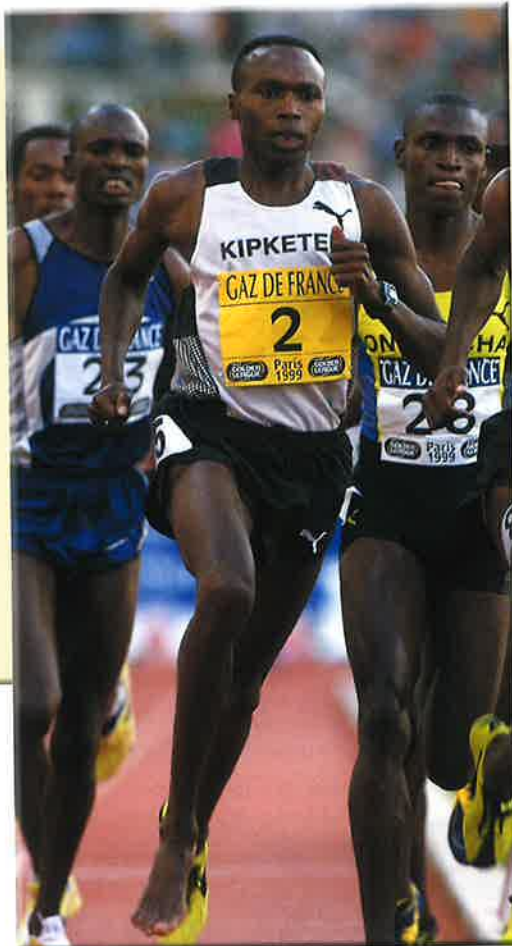
Hvem kan gøre det hurtigst?



9

Mod målstregen – i fuld fart

Wilson Kipketer er formentlig alle tiders bedste 800 m løber. Han er født i Kenya, men har boet i Danmark siden 1990. Fra 1995 til 1998 vandt han 33 på hinanden følgende løb. Han fik guldmedalje ved verdensmesterskaberne i 1995, 1997 og 1999 og har verdensrekorden på 800 m med tiden 1 minut 41,11 sekunder. På billedet vinder Kipketer endnu et 800 m løb i Paris i 1999, på trods af at han havde tabt den ene sko.



Først den sidste dag af de olympiske lege afholdes finalen i mændenes 800 m løb. Her er altid mange tilskuere, og løbet ses af millioner af seere over hele verden. Kun 100 m løbet er lige så spændende. Her afgøres, hvem der bliver verdens hurtigste mand. Til i dag er der ingen, der har løbet 100 m hurtigere end 9,79 sekunder. Kvindernes rekord på 100 m er 10,4 sekunder; det er mindre end ét sekund langsommere. Hvor hurtigt løber de egentlig? Vi vil finde farten, de løber med:

For at udregne gennemsnitsfarten i et løb skal vi kende to ting:

1. længden af løbet
2. hvor lang tid det har taget

Gennemsnitsfarten findes ved følgende formel:

$$\text{gennemsnitsfarten} = \frac{\text{længden}}{\text{tiden}}$$

Når længden måles i meter og tiden i sekunder fås farten i meter pr. sekund, der skrives kort som m/sek.

For et 100 m løb på 9,83 sekunder får vi

$$\begin{aligned} \text{gennemsnitsfarten} &= \frac{100 \text{ m}}{9,83 \text{ sek.}} \\ &= 10,2 \text{ m/sek.} \end{aligned}$$

Hvis man kunne starte et 100 m løb med denne fart (flyvende start) og holde samme fart under hele løbet, ville man passere målstregen efter netop 9,83 sek. I virkeligheden starter løberne med farten 0 m/sek, og i den første del af løbet er farten mindre end gennemsnitsfarten, men til gengæld er farten lige før målstregen større end gennemsnitsfarten.

Vi har udregnet gennemsnitsfarten, men for at finde den øjeblikkelige fart, må man bruge måleudstyr. En moderne cykelcomputer måler, hvor hurtigt forhjulet drejer rundt, og når computeren samtidig ved, hvor stor omkredsen af hjulet er, dvs. hvor langt hjulet ruller på én omdrejning, så kan computeren ved hjælp af det indbyggede ur udregne farten, du netop nu kører med. Computeren kan også vise, hvor langt du har kørt, og med et tryk på en tast kan den vise din gennemsnitsfart.

FORSØG 9

Vi måler en gennemsnitsfart

På skolens sportsplads kan en elev løbe 100 m, mens andre med et stopur måler tiden det tager.

Man kan måle, hvor langt tid det tager: når man går 100 m, når man løber roligt, eller når man løber lige så hurtigt man kan.

Udregn gennemsnitsfarten i de enkelte tilfælde.



FAKTA

Endnu har ingen dansker løbet et godkendt 100 m løb på under 10,35 sekunder.

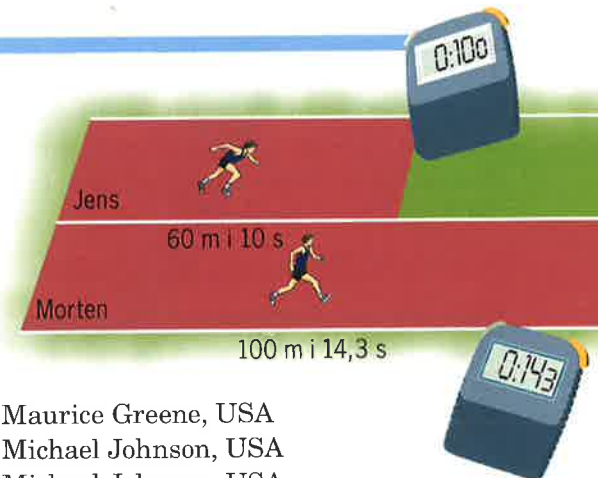
En gepard kan løbe 100 m på 3 sekunder.

OPGAVER

1. Ved et skolestævne løber Jens 60 m på 10,0 sekunder. Morten, der er et år ældre, deltager i et 100 m løb. Mortens tid blev 14,3 sekunder. Hvem løb med den største gennemsnitsfart?
2. Her er nogle verdensrekorder for mænd:

100 m løb	9,79 sek.	1999	Maurice Greene, USA
200 m løb	19,32 sek.	1996	Michael Johnson, USA
400 m løb	43,18 sek.	1999	Michael Johnson, USA
800 m løb	1 min 41,11 sek.	1997	Wilson Kipketer, Danmark

Udregn gennemsnitsfarten i disse løb. Tegn de udregnede værdier som et søjlediagram med søjlerne lige ved siden af hinanden. Kan du forklare forskellen i gennemsnitsfarten?



10

Vi vælger en enhed for fart

I 1968 satte den danske cykelrytter Ole Ritter ny verdensrekord for 100 km på cykel, og denne rekord står stadig. Han brugte i alt 2 timer 14 minutter og 2,51 sekunder.

Ved et sådant løb er det rimeligt at udregne en gennemsnitsfart, for kort efter starten prøver cykelrytteren at holde samme høje fart hele løbet.



Farten kan måles i meter pr. sekund, men ofte bruger vi kilometer i timen, og fx viser speedometeret i en bil farten i kilometer i timen. Vi vil bruge forkortelsen km/t, selv om den helt korrekt burde skrives km/h, hvor h er forkortelsen for det latinske ord for time, "hora".

Vi læser de fysiske betegnelser således:

km/t læses kilometer i timen eller kilometer pr. time og m/sek. læses meter pr. sekund.

I fysik måler vi ofte farten i meter pr. sekund (m/sek.), for denne enhed passer ind i fysikernes formler, men det er ofte nyttigt at omregne farten målt i m/sek. til km/t for bedre at forstå, hvor stor en bestemt fart er.

EKSEMPEL

En cykelrytter cykler i 1 time med en fart på 10 m/sek. Hvert sekund kører han altså 10 meter. Vi skal nu vide, hvor mange sekunder der er på 1 time: Der er 60 sekunder på 1 minut, og der er 60 minutter på 1 time. Det giver $60 \cdot 60 = 3600$ sekunder på 1 time. Cykelrytteren kører altså på 1 time $3600 \cdot 10 = 36000$ meter på 1 time. Da 1 km er 1000 m kører cykelrytteren med en fart på 36 km/t.

Heraf har vi følgende sammenhæng:

$$1 \text{ m/sek} = 3,6 \text{ km/t}$$

OPGAVER

Udregn gennemsnitsfarten i Ole Ritters rekordløb.

1. Udregn først, hvor mange meter Ole Ritter kørte.
 - a. Udregn, hvor mange meter han kørte på ét sekund. Det er gennemsnitsfarten.
 - b. Hvor høj en gennemsnitsfart målt i km/t holdt Ole Ritter?
2. Find farten i m/sek. i følgende opgaver.
 - a. En fodgænger går 5,4 km på en time.
 - b. En cyklist kører med 36 km/t.
3. I et byområde er hastighedsbegrænsningen for trafikken på 60 km/t. Hvor mange meter er det pr. sekund?

FORSØG 10

Hvor hurtigt kan du gå?

Det hurtigste du kan cykle er nok omkring 40 km/t. Du kan nok løbe 20 km/t over en kort strækning, men hvor mange kilometer kan du gå på en time? Men vi kan ikke vente en time på at få svaret.

Ude på gangen foran fysiklokalet opmåles en strækning på fx 20 m. En elev skal gå denne strækning, mens der tages tid med et stopur. Find ud af, hvordan man bedst kan afgøre, hvornår stopuret skal startes og stoppes.

Udregn din gå-fart målt i m/sek og omregn herefter værdien til km/t.

FAKTA

Menneskets topfart ved løb ligger på omkring 44 km/t.

For at sende en raket ud i rummet skal farten nå op på ca. 11 km pr. sekund, ellers vil raketten falde ned på Jorden igen.

Englænderen Bryan Allen var den første, der alene ved muskelkraft fløj over den Engelske kanal mellem England og Frankrig. Ved at træde i pedalerne i et specialbygget let fly holdt han en gennemsnitsfart på 13,2 km/t.



11

I fysik bruges formelsprog

I håndbold bruges der oftest to slags kast. Kast over skulderen og kast omkring hoften. Ved kast over skulderen får bolden den største fart på op til 30 m/sek. Vi vil beregne, hvor lang tid der går, før bolden er i målet, når Danmarks bedste håndboldspiller Anja Andersen kaster 8 m fra målet.



I kapitel 2 udregnede vi tyngdekraften ved hjælp af formlen $F = m \cdot g$, hvor m er massen, g er tyngdeaccelerationen. Formlen er opskrevet med de internationale symboler.

På samme måde vil vi opskrive formlen for udregning af gennemsnitsfarten ved at bruge:

- v for fart (på latin hedder fart *velocitas*)
- s for længde (på latin hedder længde *spacium*)
- t for tid

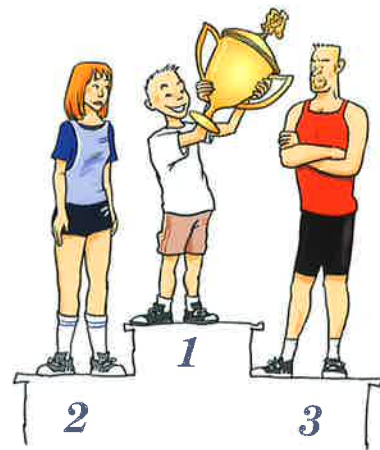
formlen til udregning af gennemsnitsfarten kan da skrives på følgende måde:

$$v = \frac{s}{t}$$

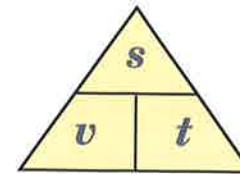
Hvis man kender farten, og ved hvor lang tid man løber, så kan man udregne, hvor langt man har løbet ved at bruge formlen:

$$s = v \cdot t$$

En nem måde at huske disse formler på er ved at huske "sejrsskamlen"



Vi tegner den lidt forenklet:



Når man skal udregne s , står v og t ved siden af hinanden. s kan altså udregnes ved v gange t .

Dvs. $s = v \cdot t$

Når man vil udregne v , står t under s , derfor udregnes v ved s divideret med t .

Dvs. $v = \frac{s}{t}$

På samme måde ses det, at t kan udregnes ved s divideret med v .

Dvs. $t = \frac{s}{v}$

Nu kan vi udregne, hvor lang tid der går, før håndbolden fra indledningsfoet når målet.

$$t = \frac{s}{v} = \frac{8 \text{ m}}{30 \text{ m/s}} = 0,27 \text{ sekunder}$$

FAKTA

En bordtennisbold kan smashes op til en fart på 170 km/t.

I tennis har man målt server med en fart på over 225 km/t.

For golfbolde har man målt op til 273 km/t.

Men hurtigst er det baskiske boldspil, pelota, hvor bolden kan nå en fart på over 300 km/t.



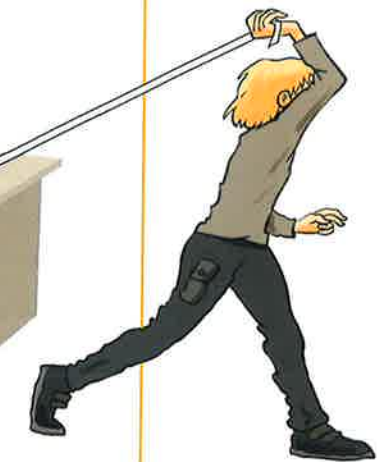
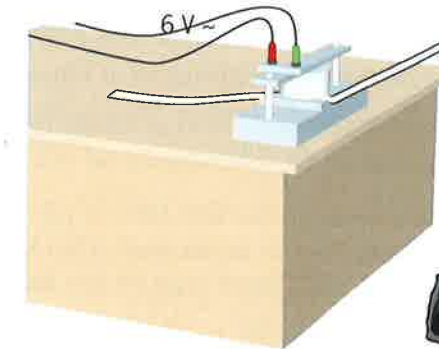
FORSØG 11

Hvor stor fart kan du kaste med?

Som håndboldspiller eller spydkaster skal du bevæge din arm så hurtigt som muligt for at kaste langt. Hånden skal have størst mulig fart i det øjeblik, bolden slippes. Hvor stor er den største fart, du kan klare uden tilløb?

Vi bruger en timer og en timerstrimmel. Sæt timeren fast og brug en strimmel på 1-2 meters længde. Hold den ene ende af strimlen i hånden. Lad en kammerat starte timeren og "kast spyddet".

Find den største afstand mellem to prikker. Her har du den største hastighed. Mål længden mellem de to prikker. Timeren satte en prik på strimlen for hvert 1/100 sekund, så mellem de 2 prikker er der gået 1/100 sekund. Hvor mange meter pr. sekund svarede det til? Det var din største kastefart.



Brug formelsprog når følgende opgaver skal regnes.

1. I fodbold tages straffespark fra 11 meters afstand. Målmanden skal under sparket stå på målstregen. Et hårdt straffespark kommer med 100 km/t. Har målmand Peter Schmeichel en reel chance for at se i hvilken retning bolden sparkes og derefter kaste sig i den rigtige retning?



2. På den tyske racerbane Nürburgring kan privatbilister køre en rundtur på banen for lidt under 100 kr. Banen er 0,8 km lang og den har 170 sving. Hvor lang tid tager turen, hvis man kan holde en fart på 150 km/t? Hvor lang tid har man gennemsnitligt til at klare hvert sving?
3. Verdensrekorden i 1500 m løb for mænd tilhører Saïd Aouita. Han løb på 3 minutter og 29 sekunder. Hvad var hans gennemsnitsfart?
4. I 1962 kørte J. Meiffret 1000 m på cykel med flyvende start og med motorpace, dvs. bag en motorcykel. Han kørte de 1000 m med en gennemsnitsfart på 204,8 km/t. Hvor lang tid var han om at køre den ene kilometer?
5. Den danske professionelle cykelrytter Hans Henrik Ørsted er blevet nr. 2 i det professionelle verdensmesterskab i 5 km individuelt forfølgelsesløb. Her starter cykelrytterne samtidig, men på hver sin side af cykelbanen. Den første, der har kørt 5 km, har vundet.

Hans Henrik Ørsted tabte med mindre end ét sekund; helt nøjagtigt kun 43 hundrededele af ét sekund. Hvis vi antager, at farten til sidst var 50 km/t, hvor langt bagefter var Hans Henrik Ørsted?

Et løb kan tegnes som en graf

12



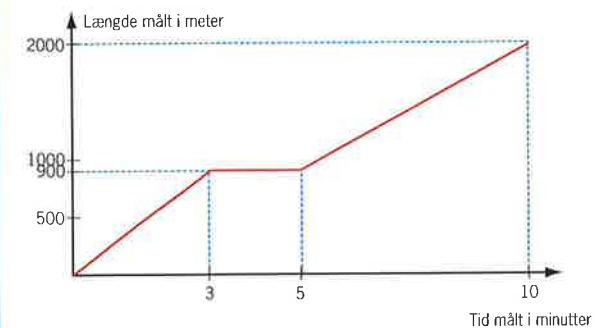
På strækningen fra Dalby til Højbjerg går det op og ned ad bakke. Kun her og der er der et stykke med vandret vejbane. På en cykeltur vil man derfor køre med meget forskellig fart. Efter hele turen kan man selvfølgelig udregne gennemsnitsfarten, men hvor man har kørt ned ad bakke, har farten været meget højere, til gengæld har farten været

mindre, når man kæmper sig op ad bakkerne. Farten på et bestemt sted kaldes for øjeblikksfarten, og den kan fx måles med en cykelcomputer.

Det er ofte lettere at overskue et løb, hvis man tegner en (*tid-vejlængde*)-graf. Dvs. en (*t, s*)-graf, der viser hvor langt man er kommet efter et stykke tid.

EKSEMPEL

En motionsløber løber først 900 m på 3 minutter. Derefter må han vente 2 minutter ved en jernbaneoverskæring, før han yderligere løber 1100 m på 5 minutter.



(*t, s*)-graften viser løbeturen.

Vi udregner først løberens gennemsnitsfart for de første 3 minutter.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{900 \text{ m}}{3 \text{ min}} = 300 \text{ m pr. minut.}$$

Derefter udregner vi løberens gennemsnitsfart for de sidste 5 minutter.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{1100 \text{ m}}{5 \text{ min}} = 220 \text{ m pr. minut.}$$

Løberen løb altså stærkest før jernbaneoverskæringen.

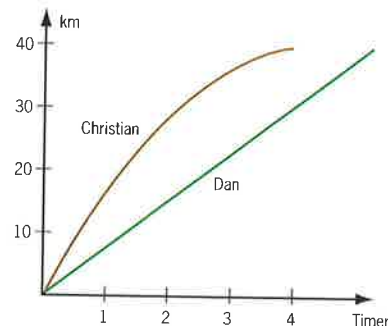
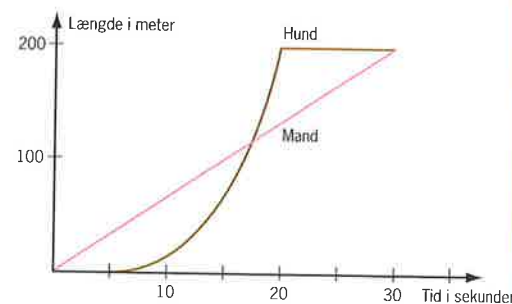
Det kan vi også se på grafen, for her går kurven mere stejlt opad for turen før jernbaneoverskæringen end efter.

OPGAVER

- En mand løber om kap med en hund. Grafen viser, hvor langt de har løbet til bestemte tider.
 - Hvor langt var løbet?
 - Hvor mange sekunder havde hunden løbet, før den overhalede manden?
 - Hvor langt fra start overhalede hunden manden?
 - Hvor lang tid var hunden om om løbet?
 - Hvad var mandens gennemsnitsfart?
- Christian, Dan og Helle har tilmeldt sig et marathnløb (42 km 195 m). Graferne viser, hvordan Christian og Dan løb.
 - Hvilken af løberne løb med en konstant fart? Forklar dit svar.
 - Udregn Christians gennemsnitsfart?

Damerne startede 1 time efter mændene, og Helle løb hele turen med en konstant fart på 15 km/t.

 - Hvilken tid fik Helle for marathnløbet?
 - Tegn en linie, der viser Helles løb. Hvor langt havde Helle løbet, da hun overhalede Dan?



Hurtigt fra start – med stor acceleration

13

I Amerika er der racerløb over en længde på 400 meter med nogle specielle biler, såkaldte dragsters. Bilerne har stående start, men allerede efter 1 sekund er farten 160 km/t. Bilerne når målstregen efter omkring 6 sekunder. Farten er her omkring 500 km/t.

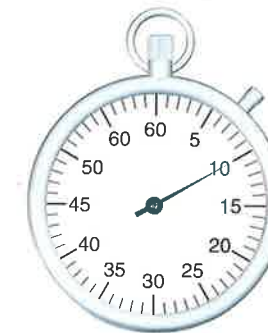
Som en kører siger: "Accelerationen er så voldsom, at det føles som at få en bowlingkugle i brystet. Man kan ikke trække vejret og ikke læne sig frem".



Ved starten af et motorløb for biler eller motorcykler gælder det om at komme op i fart så hurtigt som muligt for at slippe væk fra konkurrenterne – køretøjerne accelererer, og accelerationen skal være stor.

Nogle biler har en turbo koblet på motoren, men en bil kører ikke stærkere fordi den har fået monteret en turbo. Fordelen ved at have turbo er, at bilen kan få en større acceleration. Det er af betydning for sikkerheden ved overhalinger; for de kan gøres meget hurtigere. Ofte reklamerer bilforhandlerne med, hvor få sekunder bilen er om at nå fra 0-100 km/t. Det er et mål for, hvor stor en acceleration bilen kan yde.

En sportsbil kan fra start nå en fart på 100 km/t på måske 10 sekunder. En almindelig bil når evt. kun op på 50 km/t efter 10 sekunder. Her er sportsbilens acceleration dobbelt så stor som den almindelige bils.

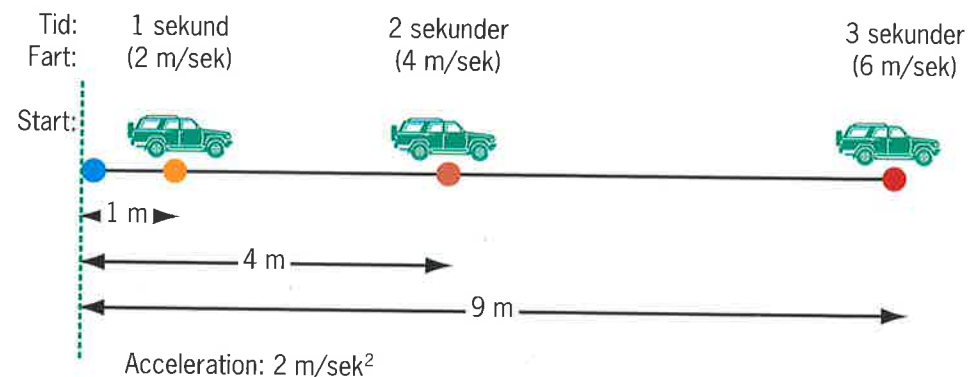


For sportsbilen stiger farten i løbet af 10 sekunder fra 0 til 100 km/t. Fartændringen er 10 km/t pr. sekund. Det er accelerationen for sportsbilen.

Accelerationen fortæller, hvor meget farten ændrer sig pr. sekund

EKSEMPEL

En bil starter og hvert sekund øges farten med 2 meter pr. sekund. Efter 1 sekund har bilen en fart på 2 m/sek. Efter 2 sekunder er farten 4 m/sek., og efter 3 sekunder 6 m/sek. Hvert sekund øges farten med 2 m/sek. – vi siger, at accelerationen er 2 m/sek². Det læses som “2 meter pr. sekund i anden”



Ved måling af fart bruger fysikerne oftest enheden m/sek.

Ved måling af acceleration bruger de enheden m/sek², der læses “meter pr. sekund i anden”.

Acceleration kan udregnes således:

$$\text{acceleration} = \frac{\text{fart-ændring}}{\text{den tid fart-ændringen varer}}$$

EKSEMPEL

Nu kan vi udregne accelerationen for sportsbilen, der nåede en fart på 100 km/t i løbet af 10 sekunder.

Farten 100 km/t svarer nogenlunde til 28 m/sek. Dvs. bilen har en fartændring fra 0 til 28 m/sek. på 10 sekunder.

$$\text{accelerationen} = \frac{28 \text{ m/sek}}{10 \text{ sek}} = 2,8 \text{ m/sek}^2$$

FAKTA

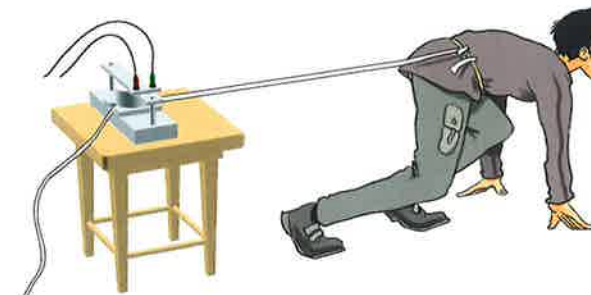
Vores evne til at sans acceleration ligger gemt i det indre øre. Her sidder nogle små væskefyldte blærer med lidt “grus” i. En forøgelse af farten mærkes ved, at gruset flytter sig i blærene.

Indtil 1970 var alle atletikbaner i Danmark belagt med en slags grus. De moderne kunststofbaner er nemmere at vedligeholde, og løberne kan opnå en større acceleration, fordi fødderne ikke skrider i afsættet.

Paavo Nurmi fra Finland er måske den mest succesfulde løber. Fra 1920 til 1932 satte han 20 verdensrekorder, og han vandt ni guldmedaljer ved de olympiske lege.

FORSØG 12**Hvor stor en acceleration kan du klare?**

Flere elever kan konkurrere mod hinanden. Klip nogle ca. 3 m lange timerstrimler ud. Strimlen trækkes gennem timeren og fastspændes til et bælte eller en livrem. Der skal være ca. 2 m strimmel der kan løbe gennem timeren. Timeren startes og løberen kan herefter selv vælge starttidspunktet.



Bagefter findes et punkt så tæt på startpunktet som muligt med punkterne klart adskilte. Sæt her en streg på tværs af strimlen. Her kan farten sættes lig nul.

Tæl op til prik nr. 100 og sæt her en streg på tværs af strimlen. Den forbrugte tid udregnes på denne måde: Antallet af prikker mellem de to streger fortæller, hvor mange hundrededele sekunder, der er brugt. Da der er talt op til prik nr. 100, er der gået netop 1 sekund.

Vi vil finde farten til tidspunktet, når der netop er gået 1 sekund.

Denne “slut”-fart udregnes ved at måle afstanden mellem to prikker ved den sidste streg, og dividere med den tid der er gået fra den første prik til den anden prik blev sat. Tiden mellem to på hinanden følgende prikker er 1/100 sekund.

Vi vælger prik nr. 99 og prik nr. 101. Mål afstanden mellem disse to prikker. Det har taget 0,02 sekunder for løberen at flytte strimlen fra prik nr. 99 til 101.

Farten ved prik nr. 100 er altså afstanden mellem prik nr. 99 og prik nr. 101 divideret med 0,02 sekunder.

Fartændringen bliver lig med farten ved prik nr. 100, for begyndelses-farten var nul.

Da fartændringen er sket på netop 1 sekund, så er accelerationen lig med denne værdi.

Strimlerne kan evt. gemmes til forsøg 13, i kapitel 14, *Op og ned i fart-acceleration og deceleration*.

OPGAVER

- På 10 sekunder speeder en bil op fra stilstand til farten er 25 m/sek. Hvor stor er accelerationen?
- Brug oplysningerne til indledningsfotoet fra dragster-racet til at udregne accelerationen af en dragster.
- En racerbil kommer ud af et sving med en fart på 40 m/sek. Herefter træder føreren på speederen, så bilen efter yderligere 10 sek. har en fart på 70 m/s. Hvor stor er racerbilens acceleration efter svinget?

- Tegningerne nedenunder viser speedometeret i en racerbil fra starten af et løb. For hver tegning er der netop gået 1 sekund. Hvor stor er accelerationen?



14

Op og ned i fart – acceleration og deceleration

Da der bliver grønt lys, accelererer motorcyklisten. Efter et stykke tid er farten konstant. Den hverken stiger eller falder. Da der bliver rødt lys, opbremses motorcyklen, og til sidst står motorcyklen stille.

Acceleration



Konstant fart



Deceleration

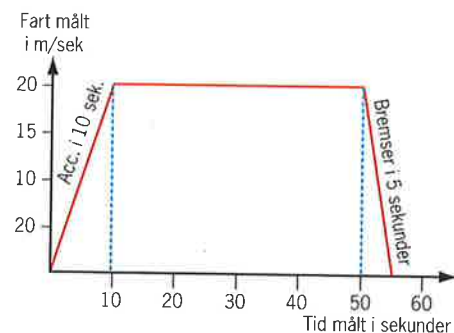


Når farten bliver større, er der en acceleration, men når man bremses motorcyklen, og farten derfor bliver mindre, siger vi, at der er en deceleration. Og lige som vi kan bruge ordet "accelerere", kan vi også sige "decelerere".

Vi opdeler bevægelse i tre typer:
acceleration: farten bliver større
konstant fart: farten ændres ikke
deceleration: farten bliver mindre

Man kan vise bevægelsen af en bil, en motorcykel eller hvad som helst, der bevæger sig, i en (tid-fart)-graf, en (t, v)-graf. Dvs. en graf der viser, hvad farten er til bestemte tidspunkter. På denne måde bliver bevægelsen lettere af overskue.

Her er tegnet en (t, v)-graf for den tidligere nævnte motorcykel.

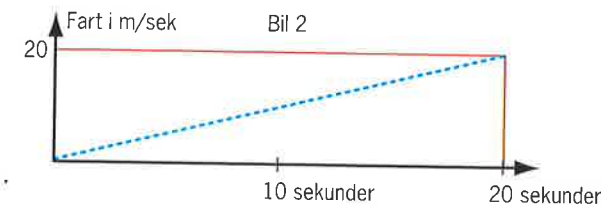
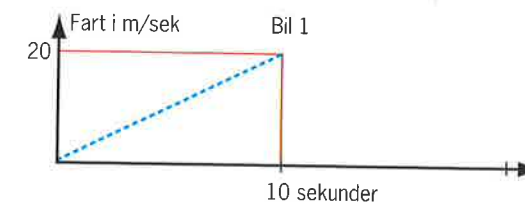


Først holder motorcyklen for rødt lys. Her er farten 0 m/sek. Derefter accelererer motorcyklen i 10 sekunder, indtil farten bliver 20 m/sek. I de næste 40 sekunder kører motorcyklen med konstant fart, nemlig 20 m/sek. Til sidst bremses motorcyklen i 5 sekunder, hvorefter den igen står stille.

De to figurer viser (tid-fart)-grafer for to biler, der accelererer.

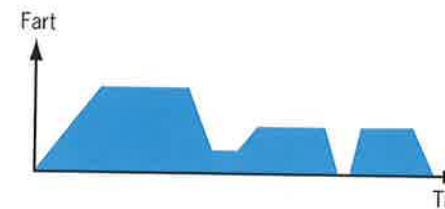
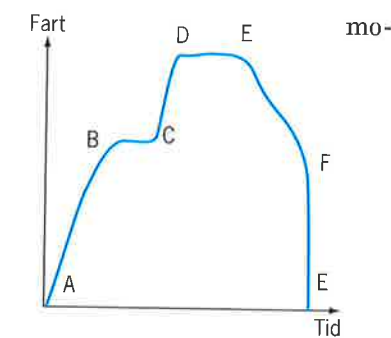
Bil 1 har en stejlere graf end bil 2, dvs. bil 1 når en fart på 20 m/sek. på 10 sekunder. Bil 1 har derfor en acceleration på 2 m/sek^2 .

Bil 2 bruger 20 sekunder for at nå samme fart, 20 m/sek. Bil 2 har derfor accelerationen 1 m/sek^2 . På de to grafer kan vi se, at jo hurtigere grafen stiger, jo større er accelerationen.



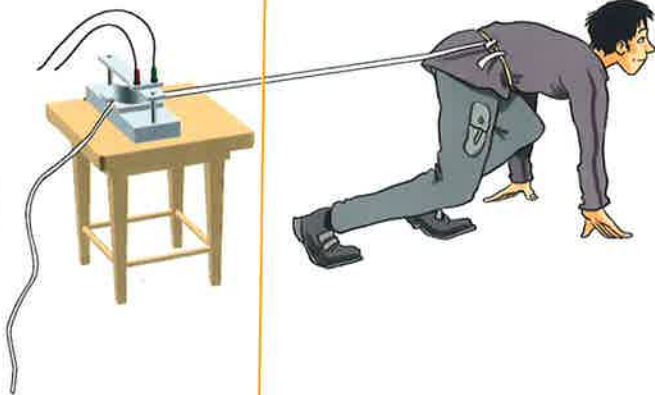
OPGAVER

- Grafen viser forløbet af en køretur på en torcykel.
 - Mellem hvilke punkter er motorcyklens acceleration størst?
 - Hvor kører motorcyklen hurtigst?
 - Hvor begynder motorcyklisten at bremse?
 - Hvad kan der være sket i punktet F?
- Tegn en (t, v)-graf for din morgen: Du går hjemmefra hen til et busstoppested og venter lidt på bussen. Stiger på bussen, står af og går hen til skolen.
- En lærer kører hjemmefra til skole om morgenen. På landkortet ses lærerens hus og skole. Køreturen er optegnet i en (t, v)-graf. Hvilken vej kørte læreren til skole? Forklar dit valg.



- En bil øger sin fart med 2 m/sek . Bilen står stille ved starten. Hvilken fart har bilen efter 1 sekund, 2 sekunder og for hvert sekund op til 10 sekunder? Hvad er farten efter 10 sekunder?
- Et tog kører ind til en station med en fart på 36 km/t svarende til 10 m/sek . Toget bremses og taber fart. Decelerationen er på $1 \text{ m/sek. pr. sekund}$. Hvor mange sekunder tager det for toget at stoppe?

Vi undersøger forløbet af accelerationen

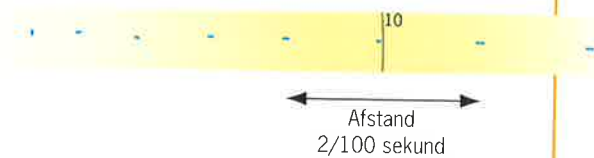


I kan evt bruge en strimmel fra forsøg 12 *Hvor stor en acceleration kan du klare?* i kapitel 13, ellers skal I bruge samme opstilling som i forsøg 12.

Find et punkt så tæt på startpunktet som muligt, men hvor punkterne er klart adskilte. Sæt en streg på tværs af strimlen. Her sættes farten lig nul.

Tæl prikker og sæt en streg på tværs af strimlen ved hver tiende prik. Ved siden af strengen skrives prikkens nummer, dvs. 10, 20, 30 osv.

Som vist på tegningen måles afstanden mellem prikken før strengen og prikken efter strengen. Det har taget 2/100 sekund at flytte strimlen denne længde, derfor kan vi finde farten ved hver streg som denne afstand divideret med 2/100 sekund.



Farten ved prik nr. 0 er nul. Find farten ved prik nr. 10, 20, 30 osv., dvs. til tidspunkterne 0,1 sek., 0,2 sek. osv.

Tegn et søjlediagram, der viser, hvilken fart løberne havde til tidspunkterne: 0 sekunder, 0,1 sekund, 0,2 sekund osv. Højdeforskellen fra en søjle til den næste angiver størrelsen af accelerationen til dette tidspunkt. Har accelerationen været konstant?

Forslag til tabel til brug ved forsøget

prik nr.	Denne prik passeret timeren efter	Opmålt længde omkring prikken. Omregnet til meter.	Tiden for den opmålte længdes passage gennem timeren	Farten ved prikken
0	0 sekunder			0 m/sek
10	0,1 sekund		0,02 sekunder	___ m/sek
20	0,2 sekund		0,02 sekunder	___ m/sek
30	0,3 sekund		0,02 sekunder	___ m/sek
40	0,4 sekund		0,02 sekunder	___ m/sek

Vi udregner accelerationen med Newtons 2. lov

15



Verdensmesteren i 100 m løb for kvinder, amerikaneren Marion Jones, klar til start. Almindelige menneskers reaktionstid ligger på omkring 0,3 sekund, men 100 meter løbere har en meget kort reaktionstid, den når næsten ned på 0,1 sekund. Det tager man hensyn til ved kontrol af tyvstart. Der er følere i startblokkene, der kan registrere, om løberen sætter af for tidligt. Der er tyvstart, hvis der 0,1 sekund efter startskuddet er en kraft på startblokken på 350 N.

Ved længere konkurrenceløb, dvs. fra 800 m og opefter, starter løberne stående, men ved kortere distancer starter de fra startblokke. Her kan løberne sætte af med en større kraft. Det medfører, at de får en større acceleration.

Som I måske så i kapitel 13 i forsøg 12 *Hvor stor en acceleration kan du klare?*, er det ikke altid de største og stærkeste, der kan opnå den største acceleration. Det er fordi, massen af personen spiller en vigtig rolle. Når personens masse bliver større, bliver accelerationen tilsvarende mindre. Denne sammenhæng ses i alle bevægelser. Selv om motoren i en lastbil er stærkere end motoren i en sportsbil, så får lastbilen mindre acceleration, fordi den har så stor masse.

Disse erfaringer passer ind i en fysisk lov, som vi kalder Newtons 2. lov. Loven er opkaldt efter den engelske fysiker Newton, der fandt denne sammenhæng.

Newtons 2. lov

Accelerationen af en genstand = kraften på genstanden divideret med massen af genstanden

Det kan skrives i formelsprog:

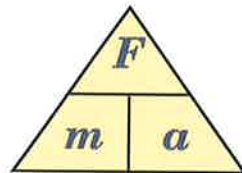
$$a = \frac{F}{m}$$

Når kraften, *F*, måles i newton og massen, *m*, i kilogram får vi værdien af accelerationen, *a*, i enheden m/sek².

Ved hjælp af Newtons 2. lov kan man udregne accelerationen af en genstand, når man kender genstandens masse og kraften på genstanden. Og genstanden behøver ikke at være en død ting, det kan også være dig. Der kræves altså en kraft for at give en genstand en acceleration, og accelerationen går i kraftens retning.

For at racerbiler kan accelerere så hurtigt som muligt, bruger man en meget kraftig motor, der kan dreje hjulene med en stor kraft. Yderligere laves bilerne så lette som muligt, så er massen mindre, og accelerationen bliver større. Almindelige biler laves også så lette som muligt, men det er der også en anden årsag til. Når bilen er lettere kan man nøjes med at sætte en mindre motor i. Den kan selv med sin mindre motorkraft få bilen til at accelerere tilstrækkeligt til almindelig kørsel. Men den vigtigste årsag til at gøre personbilerne lette er, at bilen ikke bruger så meget benzin.

Når startskuddet går, så vil en løber med en stor kropsvægt ofte få mindre acceleration end en lille let løber. Hvis den tunge løber skal have samme acceleration som en mindre løber, så skal den store løber bruge en tilsvarende større kraft, men det er jo også muligt, at den større løber har stærkere muskler end den mindre løber.



Newtons 2. lov kan også opskrives ved hjælp af "sejrsskamlen".

Det kræver kræfter at være tung

Dette forsøg kan udføres i gangen foran fysiklokalet.

Sammenlign accelerationen, når du starter på en cykel alene, og når du har en anden elev siddende på bagagebæreren. Du skal bruge al din kraft i begge tilfælde. Forsøget udføres på samme måde som forsøg 12, *Hvor stor en acceleration kan du klare?*

Når du cykler, er massen, der skal accelereres, summen af din og cyklens masse. Når du har en person siddende på bagagebæreren, er den samlede masse selvfølgelig summen af din, cyklens og passagererens masse. Brug en badevægt til at finde masserne. Hvordan passer de målte accelerationer og de tilsvarende masser ind i Newtons 2. lov?

Hvis man ved, hvor stor en acceleration man vil give en genstand med en bestemt masse, kan man ved hjælp af Newtons 2. lov udregne, hvor stor en kraft man skal påvirke genstanden med. Vi omskriver Newtons 2. lov til:

$$F = m \cdot a$$

EKSEMPEL

Hvis vi vil give en genstand med en masse på 2 kg en acceleration på 3 m/sek², skal vi bruge en kraft på 6 N, men er massen det dobbelte, skal vi bruge 12 N.

FAKTA

I kuglestød støder kvinderne næsten lige så langt som mændene, men mændenes kugle er næsten dobbelt så tung.

I spydkast fandt man på at give spyddene en bedre strømlet form, men så blev man nødt til at gøre spyddene tungere, for at de ikke skulle ende oppe på tilskuerrækkerne.

En Formel-1 racerbil vejer ca. 780 kg, mens en almindelig personbil vejer omkring 1000 kg. Motoren i racerbilen er dog 10 gange så kraftig som personbilens.

FORSØG 14



OPGAVER

1. En rulleskøjtevoan trækkes med en eller flere elastikker. Der kan lægges lodder på vognen.

a. Der trækkes med én elastik, så kraften på vognen bliver 1 N. Vognen vejer 1 kg. Ifølge Newtons 2. lov bliver accelerationen 1 m/sek².

b-e. Hvad bliver accelerationen i forsøgene b, c, d og e, hvor antallet af elastikker og massen af vognen ændres.



2. Hvem får den største acceleration?

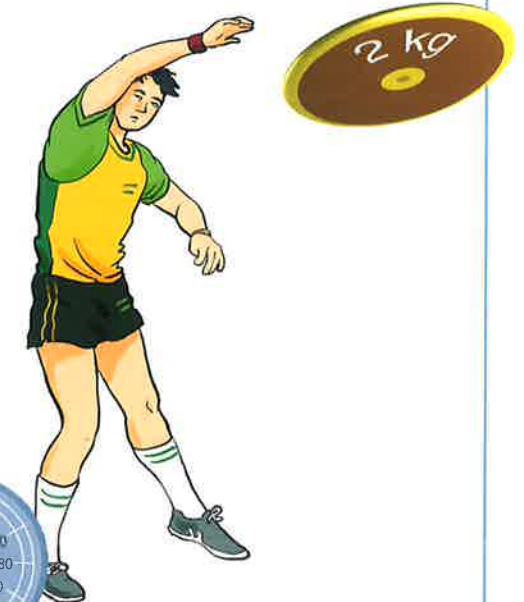
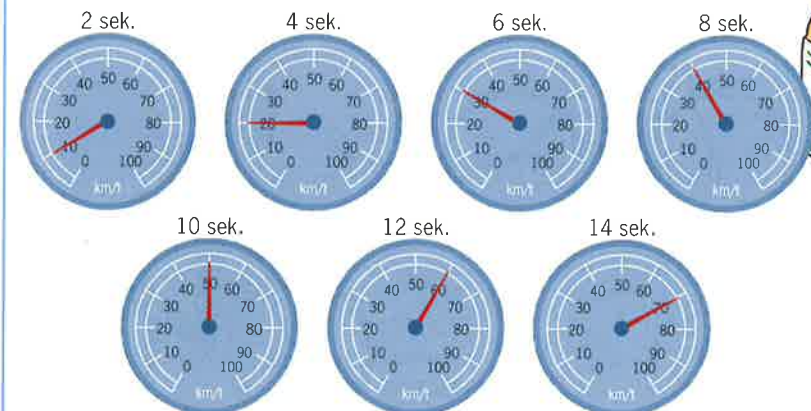
En motorcyklist på en Harley Davidson. Fører plus motorcykel har massen 300 kg. Motor-kraften er på 3000 N.

En cykelrytter med cykel har massen 90 kg. Kraften, der overføres til baghjulet, er på 135 N.

3. Hvilken kraft er nødvendig for at få en diskos på 2 kg til at accelerere med 2 m/sek²?

4. En bil starter fra hvile. Tegningerne viser speedometeret for hver 2 sekunder efter start.

- Hvad var bilens begyndelsesfart?
- Hvad var bilens største fart?
- Hvor lang tid tog det at opnå den største fart?
- Opskriv en tabel, der viser farten som tiden gik.
- Indsæt værdierne fra tabellen i en (t, v)-graf.
- Har bilens acceleration været konstant?



16

Vi finder accelerationen, når der er flere kræfter

Når en genstand er påvirket af flere kræfter, kan man finde den resulterende kraft, og det er denne resulterende kraft, der skal indsættes i Newtons 2. lov.

Newtons 2. lov skrives således:

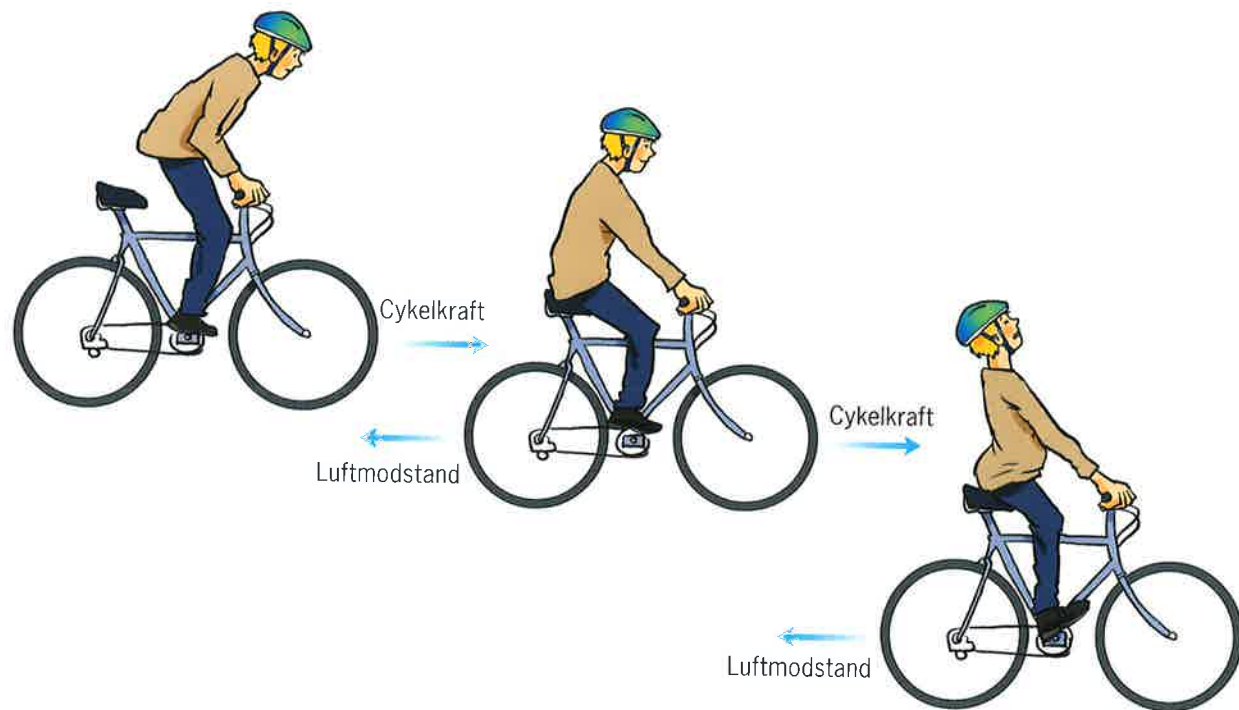
$$a = \frac{F_{\text{resulterende}}}{m}$$

Når vi kører på cykel er der luftmodstand. Det er en kraft. Lad os se på anvendelsen af Newtons 2. lov på en cykelrytter.

Når en cykelrytter starter, bruger han kræfter for at få hjulene til at dreje rundt. Cykelrytteren får en acceleration fremad, dvs. cykelrytteren kører hurtigere og hurtigere. Men som farten stiger, øges luftmodstanden. Den virker som en

kraft, der skubber imod cykelrytteren. Luftmodstanden stiger med farten, og på et tidspunkt er kraften fra luftmodstanden blevet lige så stor, som den kraft cykelrytteren kan yde. Nu er den samlede kraft (den resulterende kraft) på cykelrytteren lig nul, og ifølge Newtons 2. lov bliver accelerationen derfor også nul. Farten ændres derfor ikke, og cykelrytteren har hermed nået sin topfart.

Når cykelrytteren holder op med at træde i pedalerne, bliver luftmodstanden der stadig. Den virker bagud, og giver ifølge Newtons 2. lov en acceleration. Men fordi kraften virker bagud, giver denne accelerationen ikke en fartforøgelse, men en fartformindskelse, dvs. en deceleration. Farten bliver mindre.



Tyngdekraften giver en acceleration

FORSØG 15

Tilrettelæg et forsøg, der skal vise noget om Newtons 2. lov. I skal bruge nogle kageforme af papir. Undersøg, hvordan det går, når du lader én papirkageform falde, og når du sætter 2, 3, 4 eller flere inden i hinanden og lader dem falde samtidig. Hvad giver den største acceleration?



Find en metode til at starte kageformene samtidig. Du kan evt. finde inspiration til dette i forsøg 18, *Faldtiden afhænger kun af højden* i kapitel 19, *Boldens ideelle bane – en kasteparabel*.

Luftmodstanden spiller også ind i forsøget. Hvordan mon luftmodstanden virker på de forskellige fald?

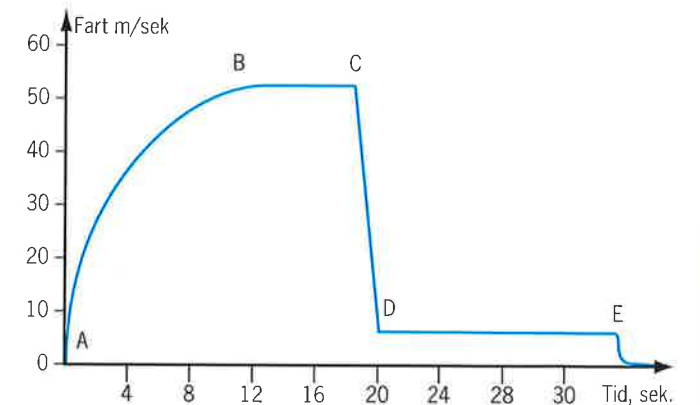
Kan du i forsøget finde en situation, hvor den resulterende kraft er nul?

OPGAVE

Grafen viser (t, v)-graf for et faldskærmsudspring, fra springet ud af flyet til jorden rammes.

Hvad sker der ved punkterne: A, B, C, D og E?

På de vandrette stykker B-C og D-E er farten konstant. Forklar hvad der sker fra B til C. Hvad sker fra D til E?



Hvor langt falder man – sekund for sekund?

I bungee jumping springer man ud fra fx en bro med en elastik bundet til benene. Fra 50 meters højde har man 3 sekunder til at nyde suset, inden elastikken bremser faldet.



der langsomt. Hvis man derefter pumper røret lufttomt og gentager forsøget, vil mønten og fjeren falde lige hurtigt.

Vi vil undersøge, hvor hurtigt man falder i et frit fald.



Når luftmodstanden ved et fald er så lille, at den ikke er af betydning, kalder vi et sådant fald for "et frit fald". Et frit fald eksisterer kun, hvis luftmodstanden fjernes helt, og i en sådan situation vil alle genstande falde lige hurtigt. En let og en tung genstand vil følges ad i faldet, og formen af genstanden spiller ingen rolle. På mange skoler har man et apparat, der kan vise et frit fald. Det er et glasrør med fx en mønt og en fjer inden i. Når røret vendes på hovedet, vil mønten og fjerens begynde at falde. Mønten falder hurtigt, mens fjerens fal-

Det frie fald er en accelereret bevægelse

Vi vil lade et 1 kg-lod falde. Loddet er så lille og dog så tungt, at luftmodstanden ikke når at bremse loddet på det lille stykke, det skal falde. Derfor kan vi opfatte loddets fald som "et frit fald".

Sæt timeren op i nogle lange stativstænger som vist på billedet. Der skal være en faldlængde på ca. 1,5 m. Sæt en kasse med noget blødt materiale i til at opfange loddet, inden det rammer gulvet. Timerstrimlen fastgøres i loddet og strimlen sættes gennem timeren. Hold strimlen fast; start timeren og slip strimlen.



FORSØG 16

Evt. kan hver elev få sin faldstrimmel. Efter forsøget skal du gemme din strimmel, for den skal bruges til forsøg 17, *Hvor stor er farten i et fald*, i kapitel 18.

Timeren sætter en prik for hvert 0,01 sekund. Sæt en streg på tværs af strimlen ved prik nr. 0, 10, 20, 30, 40 og 50. Opskriv en tabel, der viser, hvor langt loddet er faldet efter 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 og 0,5 sekunder.

Kan du ud fra resultaterne finde ud af, hvor langt loddet falder på 1 sekund?

Den italienske fysiker Galilei, der levede for omkring 500 år siden, var den første, der fandt en formel, der viser sammenhængen mellem faldlængde og tid. Denne formel kaldes for "Galileis faldlov", og ved hjælp af formelen kan vi udregne den længde, s , en genstand er faldet efter et stykke tid.

Galileis faldlov

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Tiden, t , skal måles i sekunder, og g er tyngdeaccelerationen. Når vi udregner værdien af faldlængden, s , får vi resultatet i meter.

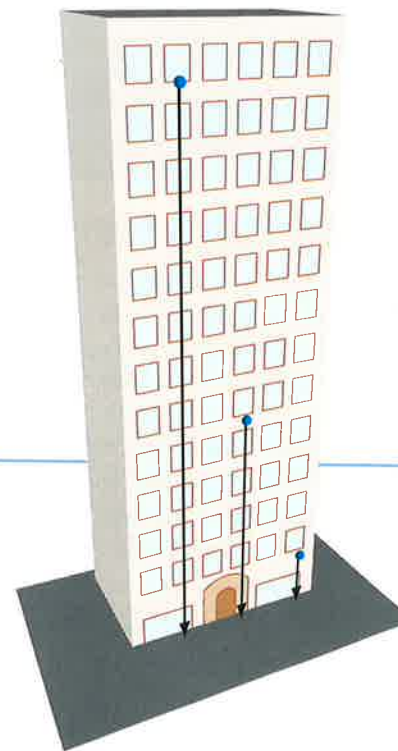
Tyngdeaccelerationen, g , kender vi fra kapitel 2, *Kampen mod tyngdekraften*. Her fik vi værdien af g til 9,82 N/kg. I Galileis faldlov bruger vi samme værdi, men sætter en anden enhed på: 9,82 m/sek². De to enheder er selvfølgelig identiske, men det passer bedst at bruge den nye enhed her.

Når vi regner opgaver ved vi godt, at tyngdeaccelerationen er omkring 9,82 m/sek², men det er nemmere i udregninger at bruge værdien 10 for g . Herved får vi en fejl på omkring 2 % i forhold til det rigtige resultat, men det er ofte så lidt, at det ikke betyder noget.

Egentlig må vi kun bruge Galileis faldlov ved et frit fald, dvs. i et lufttomt rum, men vi kan alligevel ofte anvende faldloven ved et fald gennem luften. Det forudsætter dog, at luftmodstanden er meget lille, og det er den, hvis genstanden er meget tung og meget lille, og hvis farten ikke bliver for stor.

OPGAVER

- På tegningen af huset får man et indtryk af, hvor langt en genstand falder på 1, 2 og 3 sekunder, men det er selvfølgelig kun for genstande med en meget lille luftmodstand, dvs. en tung genstand med lille overflade.
- Brug Galileis faldlov til at udregne, hvor langt en genstand falder på 1 sekund, 2 og 3 sekunder.
- Her er en lidt sværere opgave. Hvor langt tid er en genstand om at falde 100 m?



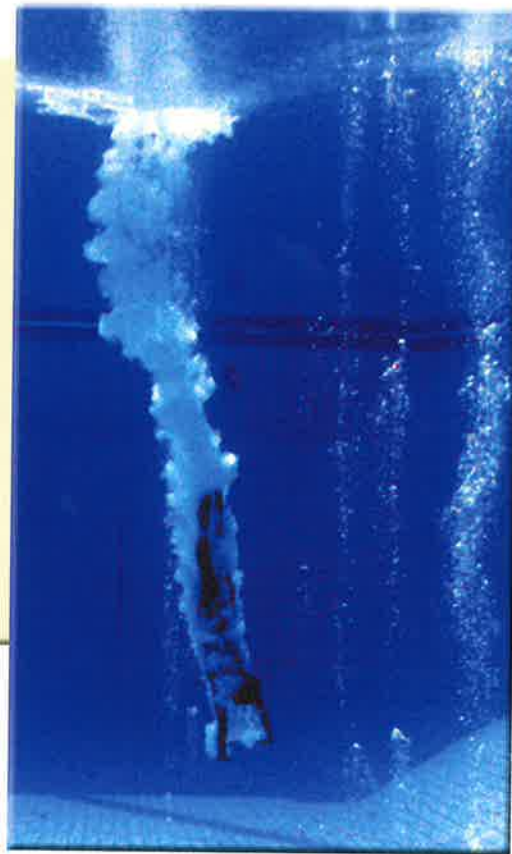
FAKTA

Da astronauten Alan Shepard var på Månen lavede han et fysikforsøg, der blev videofilmet. Han holdt en fjer og en hammer op, og lod dem falde samtidig. Da der ikke er luft på Månen, ramte de måneoverfladen samtidig.

18

Du falder hurtigere og hurtigere

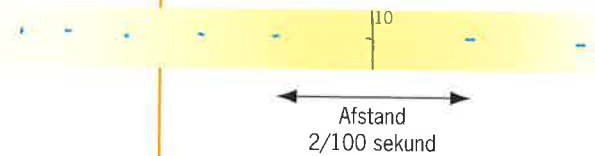
I svømmesporten kalder man et ud-spring fra 10 m et tårnspring. Faldet ned mod vandoverfladen er en accelereret bevægelse, dvs. farten bliver større og større. Når springeren rammer vandet er farten omkring 60 km/t, så det er ikke fra 10 m vippen, man skal tage en "maveplasker".



Ved et fald bliver farten større og større. Vi vil finde ud af, hvor hurtigt det går, og til det skal vi bruge timerstrimlen fra forsøg 16, *Det frie fald er en accelereret bevægelse*, i kapitel 17.

Hvor stor er farten i et fald

I kapitel 17 forsøg 16 målte vi, hvor langt en genstand var faldet efter 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 og 0,5 sekunder. Vi skal bruge strimlen fra dette forsøg for at finde ud af, hvor stor farten var til disse tidspunkter.



For at udregne loddets fart efter 0,1 sekund, dvs. ved prik nr. 10, måler vi afstanden mellem prik nr. 9 og prik nr. 11. Det er vejlængden, som loddet er faldet i løbet af 0,02 sekunder. Farten ved prik nr. 10 er derfor denne vejlængde divideret med 0,02 sekunder. Udregn på samme måde farten efter 0,2, 0,3, 0,4 og 0,5 sekunder.

Husk at måle afstanden i meter.

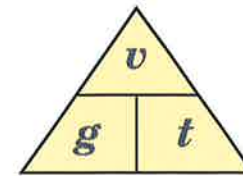
Faldtid	Afstand mellem prikkerne (målt i meter)	Farten Afstanden mellem prikkerne divideret med 0,02 sekunder
0,1 sekund	9 og 11	9 og 11
0,2 sekund	19 og 21	19 og 21
0,3 sekund	29 og 31	29 og 31
0,4 sekund	39 og 41	39 og 41
0,5 sekund	49 og 51	49 og 51

FORSØG 17

Vi ser fra forsøget, at farten stiger med stort set samme værdi i hvert tidsrum. Det kan vi skrive som en formel.

For at gøre regningerne lettere, sætter vi igen g til 10 m/sek^2 . Efter 1 sekund bliver farten 10 m/sek , efter 2 sekunder 20 m/sek . For hvert sekund stiger farten altså med 10 m/sek . Hvis vi regner med en mere nøjagtig værdi for tyngdeaccelerationen, er farten efter 1 sekund $9,8 \text{ m/sek}$, efter 2 sekunder $19,6 \text{ m/sek}$ osv.

Sammenhængen mellem v , g og t kan skrives i vores "sejrsskammel".



En faldskærmspringers fart stiger i starten med 10 m/s i sekundet, dvs. farten øges med 36 km/t for hvert sekund.

Hvis man gerne vil opleve et faldskærmspring, men er bange for at springe selv, kan man komme med i et tandemspring, hvor man er spændt fast på brystet af en erfaren springer. Her sættes højderekord for tandemspring i Danmark.

Ved et frit fald kan man udregne farten, v , efter at loddet er faldet i t sekunder.

$$v = g \cdot t$$

Farten, v , udregnes i m/sek , når tiden, t , måles i sekunder. g er tyngdeaccelerationen.



OPGAVE

I kapitel 17, *Hvor langt falder man – sekund for sekund*, udregnede vi, hvor langt en genstand faldt på 1, 2 og 3 sekunder. Det var ca. 5 m, 20 m og 45 m. Hvilken fart målt i km/t har genstanden til disse tidspunkter?

FAKTA

Australieren Alex Wickman sprang i 1918 på hovedet i vandet fra en klippe. Højden var 62 m. Han blev slået bevidstløs, men overlevede.

Franskmænden Olivier Favre sprang 72 m ned i et svømmebassin. Han blev alvorligt skadet og måtte sidde tre år i rullestol. Farten, da han ramte vandet, var over 130 km/t .

Boldens ideelle bane – en kaste-parabel



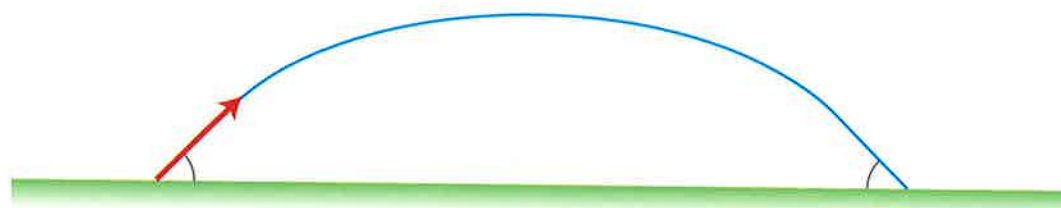
En moderne bueskytte sigter altid mod centrum på skiven, men buen er indstillet, så pilen affyres i retning over centrum. Jo længere væk man står, jo højere må pilen sigte over målet.

Når vi skyder med bue og pil eller slår en bold op i luften vil tyngdekraften trække den ned mod jorden. Den kurve, som pilen eller bolden laver i luften, kaldes pilens/boldens bane.

Det er let at forestille sig en pils bane, og det er heller ikke svært at forestille sig en bolds bane, for selv om bolden måske snurrer omkring sig selv, vil de fleste opfatte boldens bane, som bevægelsen af boldens centrum. Det er langt sværere at beskrive banen for en længdespringer, men heldigvis har fysikerne opfundet begrebet tyngdepunkt, så man lettere kan beskrive, hvad der sker i et længde- eller et højdespring. For enhver genstand kan vi bestemme genstandens tyngdepunkt, men i virkeligheden eksisterer et tyngdepunkt slet ikke, men kroppens bevægelse kan beskrives, som om tyngdekraften kun virker på tyngdepunktet. Vi skal altså vide, hvor tyngdepunktet ligger i forskellige genstande, som fx en bold, et spyd eller et menneske.

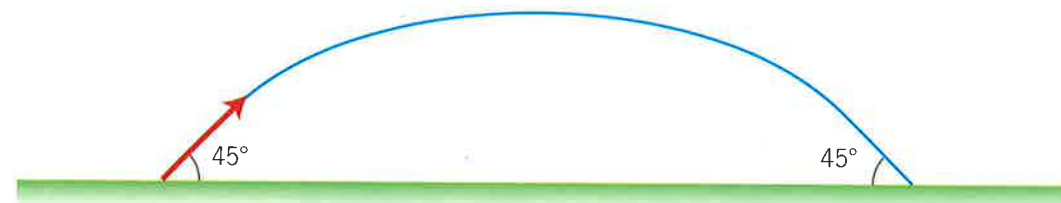
Tyngdepunktet for en bold ligger midt inde i bolden. Tyngdepunktet af et menneske ligger midt inde i kroppen. For et voksent menneske, der står med armene ned langs siden, ligger kroppens tyngdepunkt ofte et par centimeter under navlen.

Hvis der ikke var nogen luftmodstand vil boldens bane altid være en såkaldt parabel. Det gælder ikke kun for bolde til fx tennis, bordtennis, golf, fodbold og basket, men også for et spyd og for en længdespringer. Uden luftmodstand vil tyngdepunktet for en genstand altid følge en parabel. Det er en kurve, som man kan beskrive med en bestemt matematisk formel.

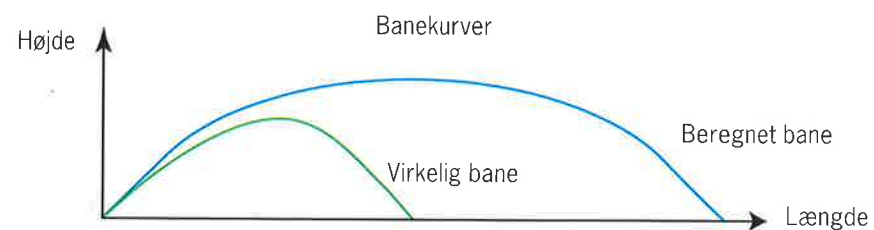


Ved udspring når luftmodstanden ikke at spille nogen rolle. Derfor følger springerens tyngdepunkt en parabel.

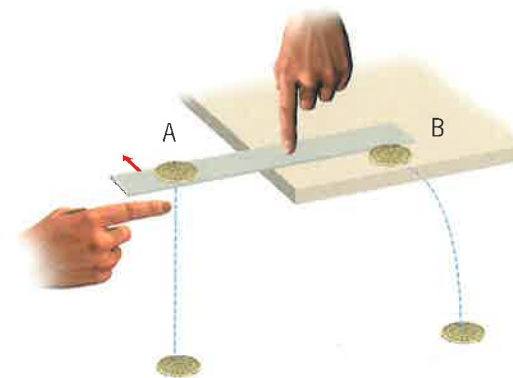
Hvis der ikke er luftmodstand vil kastet få størst længde, hvis bolden starter med en vinkel på 45° i forhold til jorden. Bolden vil følge parabelen hele vejen.



Desværre er de virkelige forhold med luftmodstand svære af beskrive. Den virkelige banekurve for en tennisbold bliver kortere, og boldens bane er heller ikke symmetrisk omkring toppunktet.



Faldtiden afhænger kun af højden



Uanset om en genstand falder lodret ned eller kastes vandret, vil den ramme jorden efter samme tidsrum. Uanset hvor langt en genstand flyver i vandret retning, før den rammer jorden, vil flyvetiden være den samme, som hvis genstanden var faldet lige ned fra samme starthøjde.

Brug en lineal og to mønter til opstillingen som vist på tegningen. Slå til enden af linealen, så mønt A falder lodret ned og mønt B slås vandret ud til siden. Lyt til mønterne, når de rammer jorden. Rammer de på samme tidspunkt?

I nogle sportsgrene kan man dog godt regne med, at kastet følger en parabel. I kuglestød er kuglen så tung og kastet så kort, at luftmodstanden stort set ikke får betydning. Derfor får man i kuglestød den største kastelængde, når startvinklen er næsten 45°.



I længdespring er situationen en anden end ved kuglestød, for fra springets begyndelse, hvor atleten løber oprejst, til landingen, er der en højdeforskel for tyngdepunktet på ca. 1 m. Det sænker den optimale springvinkel til omkring 20°. Men når springeren har sat af, følger springerens tyngdepunkt en parabel, uanset hvordan springeren flytter arme og ben under springet. Parablen er fastlagt i det øjeblik, fødderne slipper underlaget, og banekurven kan derfor ikke ændres, når der først er sat af.

Den danske deltager i længdespring for kvinder Renata Pytelewska ved verdensmesterskaberne i Athen 1997. Selv om banekurven ikke kan ændres under springet, kan springeren flytte arme og ben for at få en mere fordelagtig kropstilling til landingen. Ved afsættet kastes armene højt, men lige før landing sænker atleten armene. Herved løftes resten af kroppen en smule, mens tyngdepunktet stadig følger banekurven. Denne flytning af armene giver en forøgelse af springet på omkring 10 til 15 cm.

I basketball er præcisionen af kastet afgørende. Basket-spillerne lærer af erfaring, hvilken fart og hvilken vinkel kastet skal have i bestemte afstande fra kurven, men det kan fysikerne faktisk regne ud for dem. Det vil vi ikke gå i detaljer med, men kun se på det vigtigste. Det mest sikre kast, det der oftest får bolden i kurven, og det kast man derfor skal træne, er: til enhver afstand at kaste med den mindst mulige fart. Det kan man også se på gode spilleres kast. Der er ingen, der kaster bolden højere op, end det er nødvendigt. Det er blandt andet derfor, at det er en fordel at være høj, når man spiller basket. For som høj spiller kan du nøjes med at give bolden mindre fart – den skal nok nå op alligevel.

FAKTA

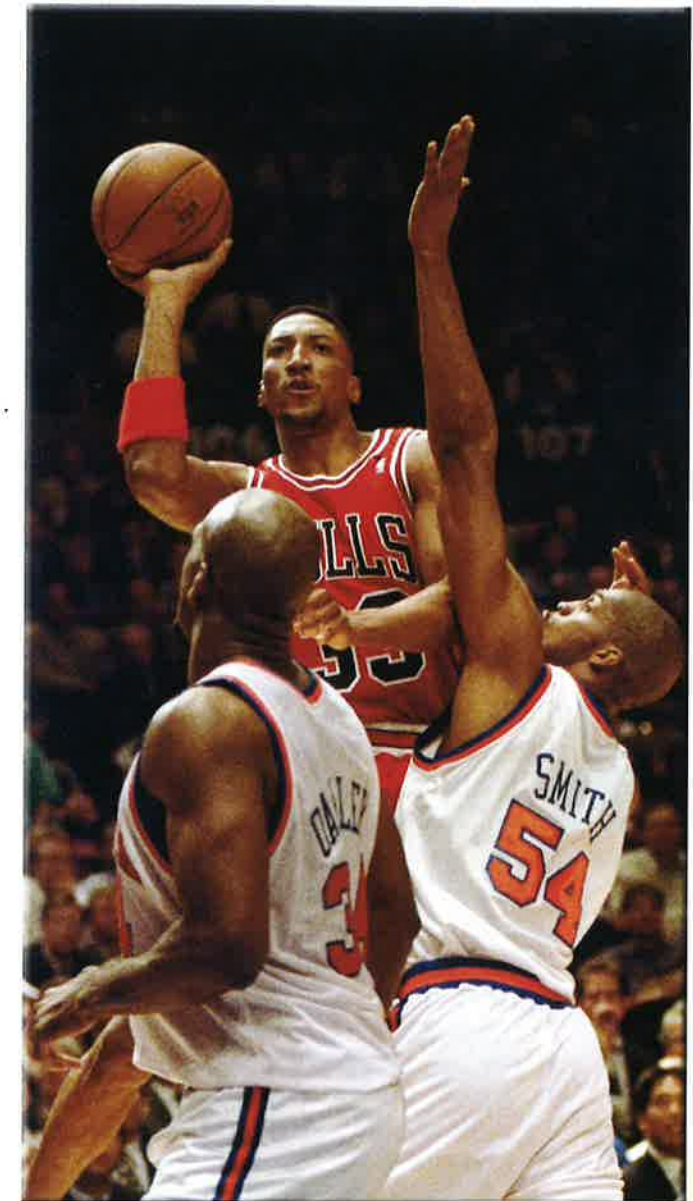
I længdespring er vi mennesker faktisk gode i forhold til de store dyr. Verdensrekorden i længdespring er omkring 9 m, en hest kan springe ca. 11 m, en kænguru næsten 13 m.

Men i forhold til de små dyr er vi mennesker elendige til længdespring. I flere lande har man konkurrencer i længdespring for frøer. Det længste spring, man har målt i en konkurrence for frøer, er 10,3 m.

Det længste længdespring for et menneske er ca. 5 gange kroppens højde. En kanin springer ca. 11 gange sin kropslængde, men en loppe kan springe op til 200 gange sin kropslængde. Det ville svare til, at et menneske kunne springe mere end 300 m.

I golf slår gode spillere så hårdt til bolden, at den får en fart på over 200 km/t. Det længste slag, der er målt i en konkurrence, er på 471 m.

Den bedste kaster i basketball er Ted St. Martin fra Florida i USA. Den 25. juni 1977 scorede han på 2036 på hinanden følgende straffekast.



Den kendte basketballspiller Scottie Pippen fra Chicago Bulls i perfekt position til kast. Han er hoppet så højt op, at bolden kun skal have lidt fart for at nå kurven.

Når vi er glade for friktion

Den danske mester i badminton, Peter Gade, i kamp i Copenhagen Masters 1999. Peter Gade har kræfterne og hurtigheden til hurtigt at nå fra baglinjen op til nettet. Men det kan ikke lade sig gøre, hvis ikke sålerne på skoene griber godt fat i gulvet.



Friktion er et internationalt ord for gnidningsmodstand (gnidningskraft). Disse gnidningskræfter gør, at vi kan gå og løbe. Uden friktion mellem fødder og jord ville vi ligne Bambi på isen i Walt Disneys kendte julefilm. En badminton- eller håndbold-spiller, der sætter af, skal have maksimal friktion. Der er ikke tid til, at foden skrider på gulvet. Derfor er det vigtigt at bruge det rigtige fodtøj. Det skal give en god friktion mellem gulv og skosål.

Friktion opstår, når to genstande glider hen over hinanden, og friktionen bevirker, at genstandenes bevægelse bremses. For faste stoffer opstår friktionen ved, at overfladerne ikke er glatte. Når to overflader glider mod hinanden, vil ujævnhederne gribe fat i hinanden og bremse bevægelsen. Det er friktion.

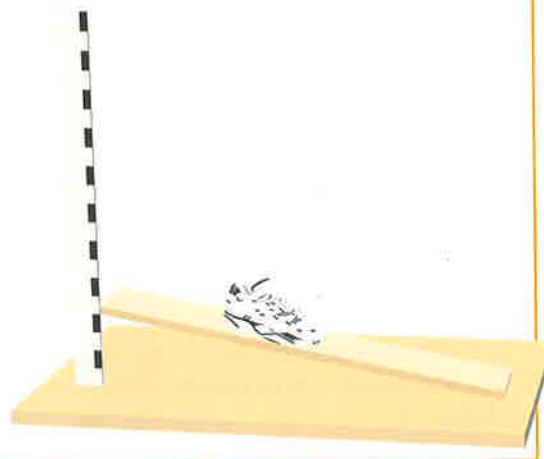


FORSØG 19

Hvilken sportsko har den største friktion?

Vi vil undersøge, hvilken af klassens skosåler, der har den største friktion på et trægulv. Skoen anbringes på et bræt, som vist på tegningen. For skoen med størst friktion kan brættet vippe mest, før skoen glider ned ad brættet. For hver sko skal vi måle, hvor højt brættet kan løftes, før skoen glider ned.

En sportskofabrikant kan på denne måde måle, om et bestemt materiale er velegnet til sål på en sportssko.



Selv på to overflader, der er slebet og poleret helt glatte, er overfladen ikke helt flad, for kigger man gennem et mikroskop på en tilsyneladende helt glat overflade, kan man se, at overfladen alligevel er ujævn.

Når vi vil opbremse en bil eller en cykel bruger vi friktion. En cykel bremses på grund af friktionen mellem bremseklodserne af gummi og fælgen på cykelhjulet. Hvis fælgen er snavset, nedsættes bremseevnen betydeligt, for bremseklodserne vil glide hen over metallet.



FORSØG 20

Friktionens størrelse afhænger af, hvilke to flader der gnider mod hinanden

Brug en kraftmåler til at trække en klods med konstant fart. Mål kraftens størrelse, når underlaget er bordpladen eller et stykke sandpapir.

Vi kan måle gnidningskraftens størrelse på denne måde, for klodsen vil først bevæge sig, når kraften, vi trækker med, er mindst lige så stor som gnidningskraften.



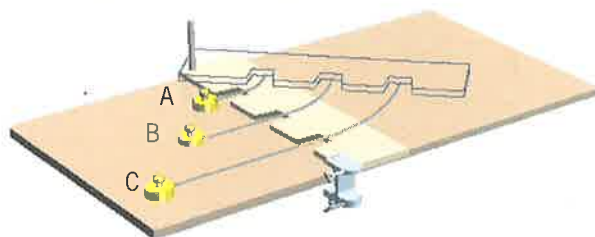
Det ville være helt umuligt at køre bil eller cykel uden friktion. Bildækkene skaber friktion mod asfalten, så bilen kan accelerere, dreje og bremse. Vi er vant til friktionen, og vi forventer, at den er der. Derfor bliver vi overraskede, når friktionen lige pludselig er mindre, end vi forventer, og så sker ulykkerne. Det gælder for cyklisten, der i et sving kører ind over noget grus på vejbanen, eller en bilist der kører ind på et stykke vej, der er is på. Hvis friktionen en dag helt forsvandt, ville vi ikke kunne holde fast i ting, alt ville glide ud af hænderne på os. Lagde vi noget fra os på en skrå flade, ville det straks rutsje ned.

Uden friktion kunne vi ikke gå – vi ville falde og ikke kunne rejse os igen. Og vi kunne ikke skrive et brev og bede om

hjælp, for blyanten ville ikke skrive på papiret. Først når der igen var friktion, kunne vi skrive et brev, for når vi skriver med en blyant på et stykke papir, så bevirker friktionen mellem blyanten og papiret, at der rives milliarder af små kulstykker af blyanten. De bliver hængende som skrift på papiret.



Hvor meget større bliver bremselængden for en racerbil, når farten sættes op fra 80 km/t til 240 km/t?

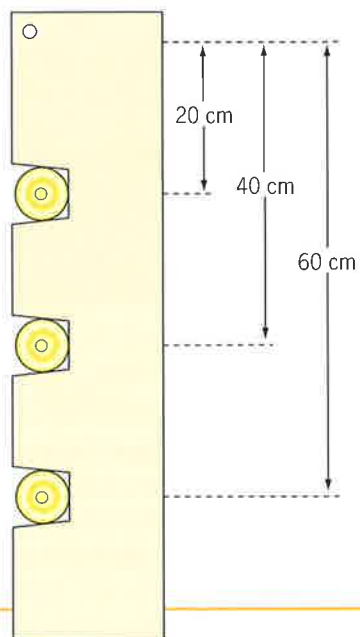


Det kan vi undersøge i et modelforsøg ved hjælp af 3 ens 200 g-lodder og et bræt, som er tilskåret som vist på tegningen. Omdrejningshullet sættes ned over en stativstang. Lodderne placeres i hvert sit hak, og brættet svinges, til det rammer forhindringen i den anden side.

Bremselængderne for de tre lodder måles og forholdet mellem længderne findes.

Lod b vil have en fart, der er dobbelt så stor som lod a's, mens lod c vil have en fart, der er 3 gange større end a's. Det kan forstås ved følgende: Da radius i svingbanen for b er dobbelt så stor som a's, så vil banen for en hel omdrejning (omkredsen = $2\pi r$) være dobbelt så stor for b som for a. Da a og b selvfølgelig følges ad, må b bevæge sig dobbelt så hurtigt som a. Tilsvarende for c og a, hvor c's fart er tre gange så stor som a's.

Der kan udføres flere forsøg, hvor lodderne får forskellig startfart. Forholdet mellem loddernes startfart er 1: 2: 3. Hvad bliver forholdet mellem bremselængderne?



Normalt vil det være sådan, at når farten øges til det dobbelte, stiger bremselængden til det ca. firedobbelte. Hvis farten tredobles, stiger bremselængden til det ni-dobbelte. Denne sammenhæng kan udtrykkes generelt ved sætningen: "bremselængden øges med kvadratet på farten". Denne regel gælder ikke kun racerbiler, men også almindelige biler, motorcykler og cykler.

OPGAVE

Nogle bilister mener, at en fornuftig sikkerhedsafstand op til en forankørende bil er at holde samme afstand i m til bilen, som den fart man kører i km/t. Det er ikke nogen helt dårlig regel, men den har et fysisk problem. Hvilket?

FAKTA

Når en bil kører ind i noget vand, der ligger på vejbanen, kan man risikere aqua-planing – bilens dæk løftes af vandet, så dækkene mister kontakten med vejen. Nu kan bilen ikke styres og heller ikke bremses. For at undgå dette er der lavet riller i bildækkene. Vandet skal ledes gennem rillerne væk fra dækket, så bilens dæk ikke løftes af vandet. I regnvejr er det mange liter pr. sekund, der skal ledes væk fra dækkene. Det er årsagen til, at det er ulovligt at køre med nedslidte dæk.

Det længste bremsespor i verden blev lavet ved en ulykke. Bilen kørte 160 km/t, da føreren trådte på bremsen. Bremsesporet var 290 m langt – det svarer til længden af tre fodboldbaner.

Når vi ikke er glade for friktion

I mange sportsgrene gælder det om at mindske friktionen. Når en skiløber har sat af, skal skien helst glide så let som muligt hen over sneen. Bl.a. derfor smører man skienes underside. Her styrter nordmanden Bjørn Dæhlie ind over målstregen og vinder guld i 50 km langrend ved vinter-OL i 1998.



For at mindske gnidningen mellem to overflader kan man ved at smøre med olie eller fedt udfylde de små fordybninger i overfladen. Herved løftes de to flader lidt væk fra hinanden, så de ikke gnider mod hinanden, men kun mod fedtet eller olien. Gnidningsmodstanden bliver meget mindre, fordi fedt- og oliemolekyler let glider forbi hinanden.

En skiløber kan dog ikke bare smøre skiene, så gnidningen mod sneen bliver så lille som muligt. For at komme fremad, skal der sættes af, og her skal skien helst ikke glide tilbage. Det klares på følgende måde:

Skien buer en lille smule op på midten, og når skiløberen sætter hårdt af med det bageste ben, trykkes den midterste del af skien ned i sneen. Derfor smøres skien på midten med en voks, der kan holde fast i sneen, så skien ikke glider. Efter afsættet får skien sin normale krumning og gliddet foregår på den forreste og den bageste del af skien. Her smøres skien derfor med en voks, der giver det bedst mulige glid. Faktisk er det en hel videnskab at smøre ski, for

afhængig af sneens temperatur vælger man en voks, der netop giver det bedste glid ved den aktuelle temperatur.



I bowling skal man skrue bowlingkuglen, så banen bliver kurvet. Herved kan kuglen komme ind mod keglerne fra siden, og chancen for en "strike", hvor alle kegler vælter, er størst. Men banen er så lang, at kuglen normalt vil nå at skrue helt ud af banen. Derfor smører man de første 10 m af banen med olie. Når kuglen er kastet, vil den på det første stykke snurre rundt, men den vil ikke gribe fat i banen. Det sker først på det sidste



stykke, hvor friktionen mellem banen og den spinnende kugle presser kuglen ind i en kurve.

Man kan altså mindske gnidningen mellem to flader ved at smøre mellemrummet med olie eller fedt, men luft er endnu bedre. Vi laver et lille forsøg:

FORSØG 22

Luft er det bedste smøremiddel



Forsøget viser princippet i luftpude-fartøjer og græsslåmaskiner, der svæver på en "luftpude". I disse maskiner trækker en stor ventilator luft ind foroven og blæser det ud for neden. Vores ballon blæser luften ud gennem et lille hul, så pladen glider på et tyndt lag luft.

I cykler m.m., hvor der er hjul, der skal dreje rundt, bruges kuglelejer. De er smurt med fedt, og den glidende bevægelse mellem to flader er afløst af en rulle af kuglerne hen over en flade.



FORSØG 23

Princippet i et kugleleje

Giv en bog et skub. Hvor langt rutsjer den hen over bordet? Drys nogle hagl ud på bordet, men læg først nogle store trælinealer langs kanten af bordet, så haglene ikke triller på gulvet. Læg bogen oven på haglene, og giv bogen et skub.



Når en cykel klargøres til et cykelløb, skal den selvfølgelig være smurt, så alle dele løber let, men den skal også pumpes korrekt, så rullemodstanden bliver så lille som mulig.

Hvis trykket i dækket er lavt, vil dækket hele tiden presses sammen, hvor det rører jorden. Når hjulet ruller frem, vil dækket straks rettes ud igen. Kræfterne til at presse dækket sammen kommer fra cykelrytteren, og det er spildte kræfter. Derfor pumpes dækket så hårdt op, at det lige netop stadig kan virke afjedrende.



FORSØG 24

Vi undersøger rullemodstanden

Pump dækkene på en cykel hårdt op. I forsøget skal cyklen startes på en lille bakke. Sæt et mærke på jorden med kridt, så cyklen hver gang starter samme sted. Lad cyklen køre i frihjul. Markér med kridt og mål, hvor langt cyklen rullede. Luk noget luft ud af dækket og prøv igen. Hvor langt kommer du denne gang?

Kan der vises en sammenhæng mellem lufttrykket i dækket og rullemodstanden?



OPGAVER

1. Hvorfor bruger sportsdansere sko med lædersåler, mens håndboldspillere bruger sko med gummisåler?
2. Hvorfor ser man aldrig cykelryttere med hår på benene?
3. Nogle mandlige konkurrencesvømmere har lige inden konkurrencen det, de kalder "den hvide time". De smører sig ind i barber-skum, hvorefter de barberer hårene af kroppen og af hovedet. Hvorfor gør de det?

FAKTA

Hastighedsrekorden på ski er 242 km/t. I olympisk styrtløb når farten "kun" sjældent 150 km/t.

Det faste stof, der giver mindst gnidning over for andre stoffer er teflon. Det bruges bl.a. til meget dyre ski. Vi kender teflon fra de stegepander, hvor maden ikke kan brænde på. Her ligger et tyndt lag teflon på panden.





Luftmodstanden – medspiller eller modspiller

Nu kom endelig det ventede "Go", og hurtigt springer alle ud efter hinanden. Hvis de ikke kommer hurtigt ud af flyet, vil afstanden mellem springerne blive for stor, så kan de ikke nå at samles, inden faldskærmene skal udløses. Men i dag skal det lykkes at danne den store formation, som de har øvet flere gange nede på græsset på flyvepladsen.

"Go" råber instruktøren og Camilla springer. Det er hendes første spring.

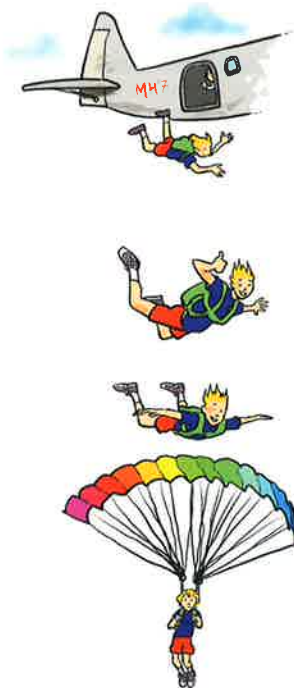
Camilla lægger sig straks i x-stillingen med armene og benene ud til siderne. Tyngdekraften trækker i hende. Tyngdekraften trækker Camilla ned.

Efterhånden som farten stiger øges luftmodstanden, men tyngdekraften er stadig den største kraft. Luftmodstanden virker opad. Den bremser faldet. Luftmodstanden bliver større, når farten bliver større.

Efter ca. 15 sekunder er farten blevet 200 km/t. Nu øges farten ikke længere. Nu er kraften fra luftmodstanden på Camilla blevet lige så stor som tyngdekraften. Den resulterende kraft er nul, og Camilla falder med en konstant fart.

Det giver et ryk i Camilla, da skærmen folder sig ud, for med den store skærm bliver luftmodstanden meget større end tyngdekraften. Camilla bremses op, og farten falder hurtigt.

Nu er det en herlig oplevelse. Farten er kun omkring 20 km/t på resten af turen. Ved den fart er luftmodstanden p.g.a. faldskærmen netop lige så stor som tyngdekraften. Når kræfterne ophæver hinanden, falder man med en konstant fart.



Vi har tidligere set, at en genstand kun kan opbremses eller øge farten, hvis den er påvirket af en kraft. Hvis genstanden er påvirket af flere kræfter, ved vi, at den resulterende kraft skal være forskellig fra nul, hvis genstanden skal accelereres eller decelereres. Når en genstand derimod falder med konstant fart eller i det hele taget bevæger sig med konstant fart, er den enten *ikke påvirket af kræfter* eller *den er påvirket af kræfter, der netop ophæver hinanden*. Hvis kræfterne på en genstand netop ophæver hinanden, så den resulterende kraft er lig med nul, vil genstanden holde sin fart.

Fysikerne udtrykker dette ved Newtons 1. lov:

Newtons 1. lov:

En genstand, der ikke er påvirket af kræfter eller er påvirket af kræfter, der ophæver hinanden, vil enten ligge stille eller bevæge sig med konstant fart.

En bevægelse med konstant fart og i samme retning kalder vi en jævn bevægelse. Det gælder fx en rumraket. Når den først er kommet væk fra Jorden, kan man stoppe raketmotoren, og raketten vil fortsætte med samme fart og i samme retning. Herude er raketten næsten ikke påvirket af kræfter.

Her på Jorden er en genstand altid påvirket af kræfter, bl.a. tyngdekraften, så her kan vi kun få en jævn bevægelse, når genstanden er påvirket af flere kræfter, der ophæver hinanden. Det er der mange eksempler på.

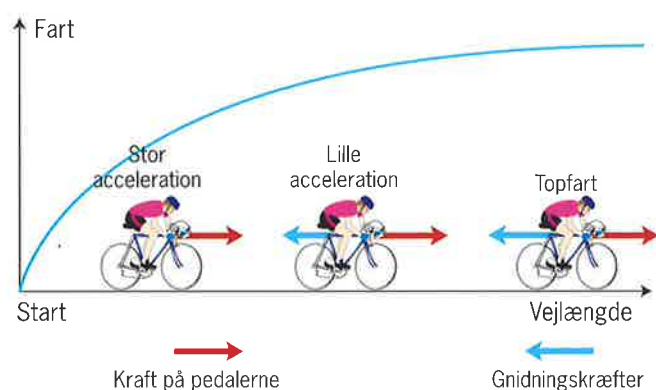
Et fald med konstant fart



I kapitel 16 forsøg 15 *Tyngdekraften* giver en *acceleration* undersøgte vi virkningen af tyngdekraften på faldende papirkageforme. Hvis der på skolen er en trappeskakt, eller hvis der er højt til loftet, kan I undersøge bevægelsen, når luftmodstanden er blevet lige så stor som tyngdekraften.

Tilrettelæg et forsøg, hvor I finder farten ved fald af papirkageforme. I skal måle faldlængden og faldtiden. Lige i starten er bevægelsen accelereret, så der vil være en fejl i jeres beregninger. Tilrettelæg forsøget, så denne fejl bliver så lille som mulig. Undersøg om det er en jævn bevægelse, fx ved at undersøge om faldtiden bliver det dobbelte, når faldlængden bliver dobbelt så stor.

For en faldskærmsspringer er luftmodstanden nødvendig, men ofte er luften den største modstander ved sportgrene, hvor der skal opnås en stor fart. Fx har alle biler en topfart, men hvorfor egentlig? Man kan ikke bare sætte flere gear i, for årsagen er luftmodstanden. Den stiger nemlig voldsomt, når farten stiger.



Af samme grund har den enkelte cykelrytter også sin topfart. Den nås, når gnidningsmodstanden i lejer og hjul plus luftmodstanden er blevet lige så stor som den kraft, cykelrytteren kan yde. Efterhånden som man kører stærkere og stærkere øges luftmodstanden. Til sidst bruges alle kræfterne på at overvinde luftmodstanden. Nu kører cykelrytteren med konstant fart, topfarten.

For cykelrytterne er luftmodstanden den største hindring. Når farten øges, stiger luftmodstanden. Hvis vi på cykel fordob-

ler farten ved at sætte farten op fra 20 km/t til 40 km/t, bliver luftmodstanden fire gange større. Allerede ved en fart på 30 km/t bruger cykelrytteren 90 % af sine kræfter på at overvinde luftmodstanden.

Ved jordoverfladen vejer en kubikmeter luft 1,2 kg og en cykelrytter, der kører bare 30 km/t, skal skubbe 500 kg luft til side hvert minut. Alle, der vil bevæge sig hurtigt, må derfor forsøge at mindske tværsnitsarealet. Når styrtløbere sætter sig helt ned på hug i "æggestillingen", gør de deres tværsnitsareal mindre.

Hvis man derfor kan gøre luftmodstanden mindre, kan man opnå større topfart, og det kan fysikerne hjælpe sportsfolkene med, for luftmodstanden afhænger af, hvor glat genstanden er, og hvordan overfladen er udformet. For at få større fart bruger styrtløberne og cykelrytterne de såkaldte fantomdragter, der har en meget glat overflade. Når racerbiler og bobslæder har en aerodynamisk form, er det også for at mindske luftmodstanden.

Danskeren Hans Henrik Ørsted blev verdensmester i 4 km forfølgelsesløb i 1985. Cyklen er aerodynamisk med pladehjul. Cykelhelmen er aerodynamisk og cykeldragten er helt glat.



Ved Tour de France i 1989 blev franskmændene Laurent Fignon nr. 2 med kun 8 sekunder op til nr. 1. Laurent Fignon var let genkendelig, fordi han havde langt hår bundet i en hestehale. Fysikere har udregnet, at luftmodstanden på hestehalen har øget Fignons tid med omkring 10 sekunder, og dermed har hestehalen kostet ham sejren. Men måske har hestehalen haft en psykologisk styrkende funktion på Fignon. Det kan fysikere ikke finde ud af.



OPGAVER

1. Hvordan kan faldskærmsudspringere variere deres faldhastighed, inden faldskærmen foldes ud?
2. Hvor meget større bliver luftmodstanden, når man på cykel sætter farten op fra 10 til 20 km/t?
3. Hvor mange gange bliver luftmodstanden større, når man på cykel sætter farten op fra 10 til 40 km/t?
4. Hvor mange gange stiger luftmodstanden, når man i en bil sætter farten op fra 10 til 80 km/t?

FAKTA

Når faldskærmsudspringere vil opnå en faldhastighed større end 200 km/t, indtager de den såkaldte "delta-stilling". Kroppen strækkes, armene holdes strakte ned langs kroppen i en lille vinkel ud på ryggen, og de dykker med hovedet nedad. Farten kan blive næsten 300 km/t. Faldskærmsudspringernes delastilling har fået sit navn efter det græske bogstav delta, Δ , der svarer til det danske D.

Det højeste faldskærmsudspring er udført af en amerikaner i 1960. Han sprang ud fra en luftballon i 30 kilometers højde. Han faldt 26 km, før faldskærmen foldede sig ud. Faldet varede i alt 13 minutter og 45 sekunder.

Det hurtigste en cykelrytter har kørt på en flad vej uden hjælp er 105,4 km/t, men man mener, at man måske kan nå op på omkring 150 km/t med en ultralet cykel og indpakning af cyklen med en aerodynamisk skærm, der omslutter både cykelrytter og cykel.



Lufttryk og andre tryk

Amerikaneren Michelle Kwan fik i 1998 den højeste karakter nogensinde for dette løb.

Michelles vægt bæres af det lille smalle stykke is under skøjten. Da denne flade er så lille, bliver trykket på isen så stort, at isen under skøjten smelter, og der dannes et ganske tyndt lag vand. Derfor kan skøjten glide fremad næsten uden gnidning, for vandmolekylerne opfører sig som små kugler, hvorpå skøjten ruller. Skøjten styres af kanterne af isen, der ikke er smeltet.

Det er tyngdekraften på skøjteløberen, der gør, at der virker en kraft ned på isen. Trykket afhænger af, hvor stort et areal kraften virker på. Derfor defineres tryk således:

$$\text{tryk} = \frac{\text{kraft}}{\text{areal}}$$

Når kraften måles i Newton og arealet måles i m² kaldes enheden for tryk pascal, der forkortes Pa. Enheden er opkaldt efter den franske fysiker Blaise Pascal.

Vi vil lave et forsøg, der viser, hvordan is smelter ved højt tryk.

Man ser, at tråden langsomt bevæger sig ned gennem isen. Under tråden, hvor trykket er stort, smelter isen. Smeltet vandet fryser igen oven over jerntråden, hvor trykket igen er normalt.

FORSØG 26

Is smelter under højt tryk

Et 5 kg lod hænges op i en smal isklods ved hjælp af en 0,35 mm jerntråd som tegningen viser.



Når man står på ski, glider man også uden stor friktion. Men skienes underside er så stor, at trykket er alt for lille til, at sneen kan smelte. Men gnidningen mellem ski og sne udvikler varme, så noget af sneen vil smelte. Det er dog ikke en vandflade, man glider på, men derimod en hel masse små vanddråber med en diameter på kun omkring en tusindedel millimeter. Årsagen til, at man glider så let på ski, er altså ligesom ved løb på skøjter, at man faktisk glider på vand.

En gruppe cykelryttere kan begrænse luftmodstanden ved at udnytte forskelle i lufttryk. Det gør de, når de kører tæt sammen i en lang række.

Den forreste cykelrytter skubber luften til side. Herved opstår der bag ryggen på ham et område med et lavere lufttryk. Luften strømmer ind i dette område og trækker cykelrytteren bagved med frem. Derfor ser vi ofte cykelrytterne køre på én lang linie, tæt på hinanden. Det er hårdt at være den forreste, så det skiftes de til, men for en cykelrytter, der kører lige efter en anden, er luftmodstanden faldet med omkring 40%. På grund af denne forskel ender soloudbrud ofte med, at udbryderen bliver indhentet af feltet.



Cykelrytterne fra det danske professionelle cykelhold Memorycard Jack & Jones kører stærkt. De skiftes til at tage føringen, så de andre kan ligge i læ. 4. etape i Tour de France 2000.

FORSØG 27

En gruppe cykelryttere kører lige efter hinanden

- Vi sætter to stearinlys fast på et bræt. Tænd stearinlysene. De skal forestille vores cykelryttere. Skub brættet, så cykelrytterne "cykler". Hvilken vej virker vindmodstanden på cykelrytterne?
- Nu monterer vi et paprør lige foran det ene stearinlys. Det skal forestille en cykelrytter, som vores ene rytter (det ene stearinlys) kører lige bagefter. Det andet stearinlys skal ikke have nogen rytter foran sig.



Skub igen brættet fremad. Hvordan er luftmodstanden nu på de to cykelryttere (stearinlysene)?

En Formel-1 racerbil er motorsportens konge. Bilernes udformning skaber et undertryk i luften under bilen, så luften trykker bilen ned mod kørebanen. Herved får dækkene ekstra godt fat. Trykket på bilen er så stort, at bilerne ved en fart på 280 km/t faktisk ville kunne køre på undersiden af for eksempel Storebæltsbroen – uden at falde ned.

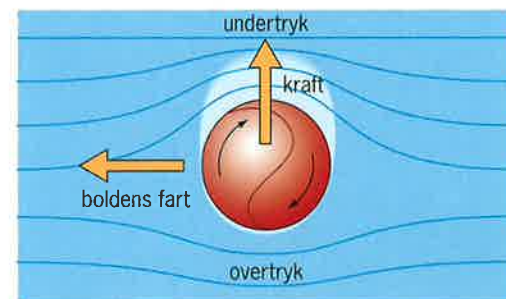
Den danske kører Jan Magnussen i sin Formel-1 racer i racerbil i Monaco i 1998.



I fodbold kan man "skrue" et hjørnespark, så bolden går ud over banen og derefter drejer ind i målet. Det kan gøres, hvis man kan få bolden til at rotere, "spinne", omkring sig selv. Det at få bolden til at dreje i luften, kendes fra flere sportsgrene. I cricket og baseball kan kasteren få bolden til at dreje til venstre eller højre i luften. Tennisspillere kan slå en bold med topspin, så bolden hurtigt falder ned mod jorden. Hvis bolden derimod slås med backspin (underskrue), vil den flyve længere end den ellers ville have gjort. Når man slår til en golfbold, får bolden kraftigt underskrue; derfor vil bolden blive ved med stige, indtil den til sidst falder mere lodret ned.

Når en bold ikke roterer i flugten, flyver den lige ud, for luften strømmer helt symmetrisk forbi bolden, men når en bold roterer i flugten, vil den dreje ud

til siden. Det skyldes, at lufttrykket på den ene side af bolden bliver mindre end på den anden side, så forskellen i lufttryk flytter bolden sidelæns. Forskellen i lufttryk opstår, fordi en roterende bold vil trække lidt luft med rundt, og derfor vil luften strømme hurtigere forbi bolden på den ene side end på den anden. Lufttrykket bliver mindst, hvor luften strømmer hurtigst, og bolden vil blive presset den vej.



FAKTA

Cykelryttere, der vil sætte rekord i hurtigkørsel, fx den såkaldte timerekord, har kørt på højtliggende cykelbaner, hvor luften er tyndere. I 1968 holdt man olympiske lege i Mexico i 2 km's højde. Her er luftens massefylde kun 4/5 af massefylden ved jordoverfladen.

I 1985 blev rekorden for den største fart på en cykel på flad vej opnået. Cyklisten kørte lige bagefter en bil, der bagpå havde påmonteret en stor lodret skærm. Cykelrytteren lå tæt bag skærmen, og han kunne følge bilen, til farten var 245 km/t.

I golf kan man slå med et 5-jern. Det er ikke det jern, man slår længst med, men det slår længere end de jern, der bruges til korte, præcise indspil. Når man slår til bolden med et 5-jern, får bolden backspin. Lige efter slaget har bolden en rotation på omkring 100 omdrejninger i sekundet.

FORSØG 28

En underskruet "bold"

Klip en lang strimmel papir fra fx en avis og læg det nogle gange om paprøret fra en køkkenrulle. Træk i strimlen. Hvilket spin får "bolden"? Hvordan flyver den i luften?



OPGAVER

1. Udregn, hvor stort et tryk du påvirker gulvet med. Du skal kende 3 ting for at løse opgaven: din masse, værdien af tyngdeaccelerationen og arealet af dine skosåler.

Arealet af dine skosåler kan findes på flere måder. Her er to:

Tegn omridset af en sko på ternet papir. Optæl antal tern og gang med arealet af en tern.

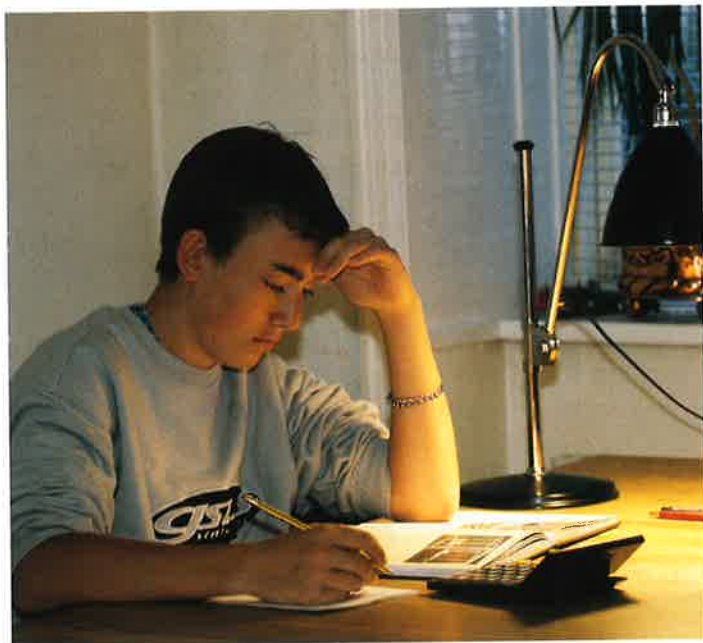
Tegn omridset af en sko på et ark papir. Find arealet af hele arket og vej hele arket. Klip derefter tegningen af skosålen ud af papi-

ret og vej det. Nu kan man udregne, hvor mange procent tegningen af skosålen udgør af hele papiret. Herefter kan skosålens areal udregnes.

2. Hvad gør mest ondt? At blive trådt over tærne af en elefant, eller af hælen på en kvindelig sportsdancers højhælede sko. Du skal anslå værdien for flere ting for at løse opgaven. Blandt andet: Hvor meget vejer en elefant? Hvor stor er elefantens fod, og hvor stort er arealet af hælen på en højhælet sko.

Op ad bakke skal der ydes et arbejde

I 1996 vandt Bjarne Riis som den første dansker verdens mest prestigefyldte cykelløb, Tour de France. Løbets mest frygtede stigning er på bjerget Mont Tourmalet. Stigningen er så voldsom og turen så lang, at her ser man, hvilke ryttere der kan yde det største arbejde. I 1995 kom Bjarne Riis (rød trøje), spanieren Indurain (gul trøje) og schweizeren Alex Zülle først over toppen.



Mange sportsgrene kræver, at man yder et stort arbejde, og efter konkurrencen er man meget træt. Men i dagligdagen bruger vi også udtrykket "at vi arbejder" selv om vi ikke bliver fysisk udmattede af dette arbejde. Når folk taler om at arbejde, så kan det altså betyde flere ting. En arkitekt tegner et hus, en operasanger synger og én sidder ved en computer, men selv om de er trætte, når de går hjem fra jobbet, så har en stor del af det arbejde, de har præsteret, ikke været det, en fysiker kalder arbejde.

At læse en stor lektie føles som et stort arbejde, men efter fysikkens definition bliver der ikke ydet et arbejde. For i fysik udføres der kun arbejde, når en kraft flytter en genstand.

Lad os se på en vægtløfter. Hvornår udfører han egentlig et arbejde i fysisk forstand? Vi vil se på tre situationer:



Vægtløfteren har netop løftet vægten op fra gulvet og står nu og samler kræfter til at løfte vægten helt op i strakte arme. Selv om vægten er tung, udfører han ikke noget arbejde, for vægten flyttes ikke



Vægtløfteren løfter vægten op. Nu udfører han et arbejde.



Nu er vægten helt oppe, og selv om det er meget anstrengende at holde vægten deroppe, så udfører vægtløfteren ikke noget arbejde i fysisk forstand, for vægten flyttes ikke.

Det kan undre, at vægtløfteren ikke udfører noget fysisk arbejde i den første og den sidste situation, for man kan se, han anstrenger sig; sveden springer frem og armene ryster. Han bliver træt, fordi han udfører et biologisk arbejde, hvor musklerne arbejder.

Årsagen til, at fysikerne har valgt, at der kun udføres arbejde, når en kraft flytter en genstand, ses af dette:



Pigen dyrker vægttræning. Hun holder en håndvægt ud i strakt arm. Musklerne er spændte og hun bliver træt, men hun har ikke ydet noget fysisk arbejde, for håndvægten har ikke flyttet sig. Pigen kunne lige så godt have lagt vægten på en hylde, så var den også blevet samme sted, og hun var ikke blevet træt.

Hvis vi skal løfte en kasse, og det viser sig, at den er så tung, at vi ikke kan løfte den fra gulvet, så har vi ikke udført noget arbejde, selv om vi anstrengte os. Kassen blev ikke løftet.

Hvis vi vil skubbe en bil i gang, men bilen bliver stående, selv om vi skubber af al kraft, så har vi ikke udført noget arbejde, for bilen flyttede sig ikke. Kun hvis vores kraft får bilen til at flytte sig et stykke, har vi udført et arbejde.

Størrelse af arbejdet afhænger af

- størrelsen af kraften
- længden af det stykke som genstanden er flyttet.

Arbejdets størrelse fås ved at multiplicere kraften og vejlængden.

$$\text{arbejde} = \text{kraften} \cdot \text{vejlængde}$$

eller skrevet med symboler

$$A = F \cdot s$$

Kraften, F , skal måles i newton og vejlængden, s , skal måles i meter.

Arbejdet, A , måles i enheden joule, der forkortet kan skrives J. Ordet joule udtales *dju:l*. Enheden joule er opkaldt efter den engelske fysiker Joule, der døde i 1889. Han var den første, der viste og beregnede, hvordan energi kan skifte fra en form til en anden.

Af formelen for arbejde kan vi se, at arbejdet bliver større, jo større kraften er, og jo længere genstanden flyttes.

Arbejdet bliver netop 1 joule, når kraften 1 newton flytter en genstand 1 meter.

En joule er en meget lille enhed, og vi vil ofte bruge enheden kilojoule, kJ, der betyder 1000 joule

I et 100 m løb yder løberen et arbejde på 50 000 J. Det kan også skrives som 50 kJ.

Amerikaneren Maurice Greene sætter ny verdensrekord i mændenes 100 m løb. Han løb på 9,79 sek., og blev herved den første, der kom under 9,80 sek. Maurice Green vandt guld ved de olympiske lege i Sydney år 2000.



Vi skal se nogle eksempler på udregning af arbejde.

EKSEMPEL 1

En mand skubber en bil 10 m. Han må bruge en kraft på 300 newton for at overvinde friktionskræfterne. Vi udregner arbejdet, han har ydet.

$$\text{Arbejdet} = \text{kraft} \cdot \text{vejlængde} = 300 \text{ N} \cdot 10 \text{ m} = 3000 \text{ J}$$

3000 J kan også skrives som 3 kJ.



EKSEMPEL

En vægtløfter løfter 100 kg op i 2 meters højde. For at løfte lodet skal vægtløfteren yde en kraft, der er mindst lige så stor som tyngdekraften. Vi regner med, at han netop bruger så stor en kraft.

Tyngdekraften på 100 kg er lig med massen gange med tyngdeaccelerationen, dvs.

$$100 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 981 \text{ N.}$$

$$\begin{aligned} \text{Vægtløfterens arbejde} &= \\ \text{kraft} \cdot \text{vejlængde} &= \\ 981 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} &= \\ 1962 \text{ J} \text{ eller } 1,962 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

OPGAVER

1. Udfører du arbejde i disse situationer?
 - a. Du går op ad en trappe.
 - b. Du lærer formelen for udregning af arbejde.
 - c. Du læser i fysikbogen.
 - d. Du holder fast i hunden, der vil løbe efter en kat.
2. For at trække en 25 kg tung kasse hen over et gulv, skal der bruges en vandret kraft på 100 N. Hvor meget arbejde er der blevet udført, når kassen er flyttet 2 meter?
3. Hvor meget arbejde har du udført i følgende situationer?
 - a. Du skubber en indkøbsvogn 100 m med en kraft på 60 N.
 - b. Du lukker en skuffe i med en kraft på 5 N. Skuffen glider 40 cm ind.
 - c. Du løfter en 20 kg tung kuffert op på taget af en bil. Bilen er 1,60 m høj.

FORSØG 29

Hvor stor et arbejde udfører vi ved push-ups?

Mål længden af din arm fra håndledet til din skulder. Opskriv resultatet i meter. Læg dig på gulvet med hænderne på en badevægt og stræk armene, så brystet kommer fri af gulvet. Hvor meget viser badevægten. Kraften, som dine arme yder, er dette tal gange med 10.



Flyt badevægten og udfør hurtigt 10 push-ups med strakt ryg og udregn derefter arbejdet, som du har ydet.

FAKTA

Amerikaneren Russell Gill løb og gik 55 gange i træk op ad de 835 trappetrin i Rhodes State Office Tower i byen Columbus i Staten Ohio i USA. Det tog 9 timer, 16 minutter og 24 sekunder. I alt blev det til 44 255 trappetrin med en samlet højde på 8142 m. Der er kun ganske få bjerge, der er højere end dette. Det skal dog nævnes, at Gill tog elevatoren ned hver gang.

120 744 sving blev det til i udholdenhedsrekorden i sjipling. Det varede 12 timer og 8 minutter i USA i 1981.

Hvis man på en cykel udskifter så meget metal som muligt med det lette metal aluminium, så falder vægten af cyklen med ca. 28 %. Hvis man pumper dækkene op med den lette luftart helium i stedet for almindelig luft, falder vægten yderligere 0,3 %. Det har vist sig, at man i et 1000 m cykelløb på denne måde kan forbedre tiden med omkring 1 sekund.

25



Bolden har kinetisk energi

Danmarks bedste tennisspiller, Kenneth Carlsen, i match i US Open i 1999. I det korte øjeblik, hvor ketcheren har kontakt med bolden, overføres der energi til bolden. Når bolden har sluppet ketcheren, har bolden fået større fart og dermed større energi. Denne energi kaldes kinetisk energi.

Mens ketcheren rører bolden, er bolden påvirket af en kraft fra ketcheren, og da bolden samtidig flyttes et stykke, udfører ketcheren et arbejde på bolden. Dette arbejde bliver til energi, og det er bolden, der får energien. Denne energi kaldes med et internationalt navn for kinetisk energi. På dansk kaldes den kinetiske energi for bevægelsesenergi, for ordet kinetik betyder bare "bevægelse".

Ved bobslædekørsel gælder det om at nå ned over målstregen på kortest mulige tid. Selv om isen er meget glat, skal slæden dog påvirkes med en kraft for at få fart. Det sker ved i starten at skubbe slæden. Mens kørerne skubber, flyttes slæden et stykke, og hermed er der ydet et arbejde. Det bliver til kinetisk energi.



Enhver genstand, der bevæger sig, har kinetisk energi. Størrelsen af den kinetiske energi afhænger af genstandens masse og fart.

En genstand, der ikke bevæger sig, har ingen kinetisk energi.

Den kinetiske energi er defineret ved:

Ved kørsel har en racerbil mere kinetisk energi end en familiebil, fordi racerbilen kører hurtigt. På landevejen har en lastbil mere kinetisk energi end familiebil, for lastbilen er meget tung.

EKSEMPEL

En bil vejer 1500 kg og kører med en fart på 72 km/t. Det svarer til 20 m/sek.

Den kinetiske energi bliver:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{kinetisk}} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m/sek})^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot 400 \text{ (m/sek)}^2 \\
 &= 300000 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Her er nogle typiske værdier for den kinetiske energi ved elitepræstationer:

OPGAVER

1. En cykelrytter kører med 54 km/t; det svarer til 15 m/sek. Den samlede masse af rytter og cykel er 85 kg. Hvor stor kinetisk energi har cykelrytteren?
2. En pige, som vejer 50 kg, løber et 60 m løb på 10 sekunder. Hvor stor er pigens kinetiske energi, mens hun løber?



Den kinetiske energi = $\frac{1}{2} \cdot \text{massen} \cdot \text{farten i 2. potens}$ dvs.

$$E_{\text{kinetisk}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Massen skal måles i kg og farten i m/sek. Energi måles i joule.

sport	kinetisk energi målt i joule
hammerkastning	3000
kuglestød	800
en højdespringers krop i opspringet	700
en fodbold i fuld fart	200

FAKTA

I tennis sender verdens hårdeste server bolden afsted med omkring 230 km/t, men på grund af luftmodstanden er farten ved nettet nede på 170 km/t, og når bolden har ramt jorden i servefeltet, er farten helt nede på 70 km/t.

I 1941 måtte nogle russiske flyvere i næsten 7 kilometers højde springe ud af et brændende bombefly uden faldskærme. De var brændt. En flyver overlevede. Han havde først ramt de tynde grene på nogle grantræer og derefter et tykt lag sne på en skråning.

26

Gå op ad trappen og få potentiel energi

Udspring fra 10 m-tårnet ved de olympiske lege i 1992. Ved at gå op ad trappen til toppen af vippen har pigen ydet et arbejde. Når hun står klar, har dette arbejde givet hende potentiel energi. Denne energi omdannes under nedturen til større og større kinetisk energi – farten bliver større og større.



En genstand der ligger på jorden har en potentiel energi på nul.

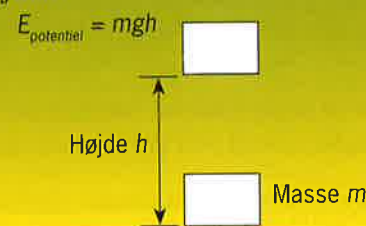
Når vi løfter genstanden højere op, får den potentiel energi. Jo højere vi løfter genstanden, desto mere potentiel energi får den.

Størrelsen af den potentielle energi udregnes på denne måde:

Potentiel energi = massen · tyngdeaccelerationen · højden
eller skrevet med symboler

$$E_{\text{potentiell}} = m \cdot g \cdot h$$

m er massen af genstanden, h er højden som genstanden løftes op, og g er tyngdeaccelerationen. Massen skal måles i kilogram, højden i meter, og enheden for potentiel energi måles i joule (J).



EKSEMPEL

En vægtløfter løfter 100 kg op til en højde på 2 m.

Den potentielle energi bliver:

$$\begin{aligned} E_{\text{potentiell}} &= m \cdot g \cdot h \\ &= 100 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 2 \text{ m} \\ &= 1960 \text{ J} \end{aligned}$$

Potentiel energi kan opfattes som oplagret energi, dvs. noget energi, der venter på at blive omdannet til en anden energiform. Den potentielle energi, som en genstand får ved at blive løftet op, kan man kalde potentiel energi i forhold til tyngdekraften.

På billederne ser vi en anden form for potentiel energi. Det er elastisk potentiel energi.

I tilløbet får stangspringeren kinetisk energi. Når han sætter stangen i hullet i jorden, bøjes glasfiberstangen, så der oplagres elastisk potentiel energi i stangen. Når stangen retter sig ud løfter den springeren op.



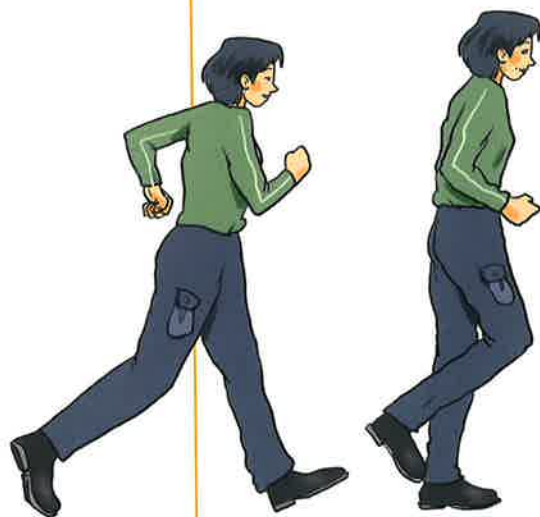
Til sidst, når stangen har rettet sig ud, er springeren nået højest op og har fået potentiel energi.

Vi kender også elastisk potentiel energi fra bueskydning. Når man spænder buen, oplagres der potentiel energi i den spændte bue, og når pilen slippes, overføres den potentielle energi i buen til kinetisk energi i pilen.

Får vi potentiel energi, når vi går hen ad vejen?

Umiddelbart er svaret nej. For hvis vejen er vandret, så er højden, vi løfter os, lig nul, men lad os se lidt nøjere på, hvad der sker, når vi går.

Når vi går, hæves og sænkes kroppen. Derfor yder vi et løftearbejde, når vi går. I skal bestemme, hvor stort dette løftearbejde er.



Bestem først kroppens løftehøjde ved et enkelt skridt: Tag et kridt i hånden, og gå med store skridt hen langs en

mørk flade, fx tavlen. Hold kridtet ind mod fladen og hold hele tiden armen i samme position i forhold til kroppen – det kan fx være i strakt arm med hånden mod hoften. Mens du går, vil linien, der tegnes, bugte sig op og ned. Find største og laveste højde. Forskellen mellem dem er løftehøjden, h.

Udregn den potentielle energi, som kroppen får, når den løftes denne højde.

Gå fx 10 skridt. Mål hvor langt du har gået og udregn længden af dine skridt. Udregn hvor mange skridt du skal bruge for at gå 1 km, og udregn derefter det samlede løftearbejde ved at gå 1 km.

Hvis man sammenligner resultater for flere i klassen, kan man så finde ud af, om kroppens størrelse spiller en rolle for løftearbejdet? Er der forskel på løftearbejdet for drenge og piger?

Vores udregninger er ikke dårlige, men der er dog flere steder, hvor vi ikke er nøjagtige. Kan du finde nogle?

OPGAVER

1. Hvor stor potentiel energi får en dreng på 50 kg, der går 12 meter op ad en trappe?
2. Hvor meget energi skal der til for at kaste en 150 g tung cricketbold op til en højde på 20 m?
3. Hvor meget energi overføres der til en cykel, fra du står på én pedal i topstilling, til pedalen er drejet ned i bundstillingen?

FAKTA

Indtil 1960 var stængerne til stangspring af metal eller træ. De var stive og kunne ikke bøjes. Da glasfiber blev opfundet, blev det hurtigt brugt til stænger til stangspring, og det bevirkede, at springene blev betydeligt højere.

I stangspring er det forbudt at kravle op ad stangen. Hændernes position på stangen må ikke ændres under springet.

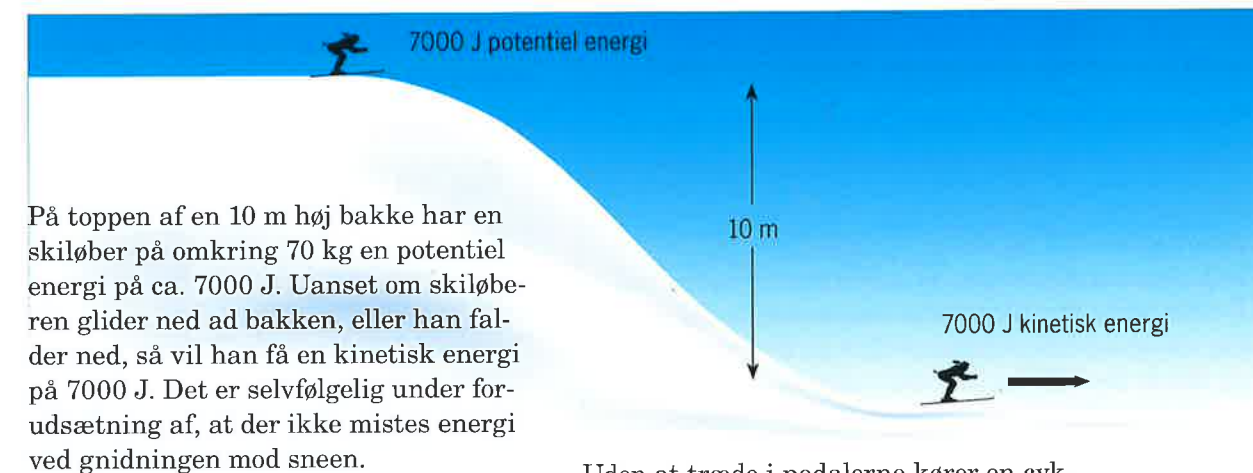
Det længste skud med en pil fra en bue er på 1,6 km.

Højt at flyve, dybt at falde – fra én type energi til en anden

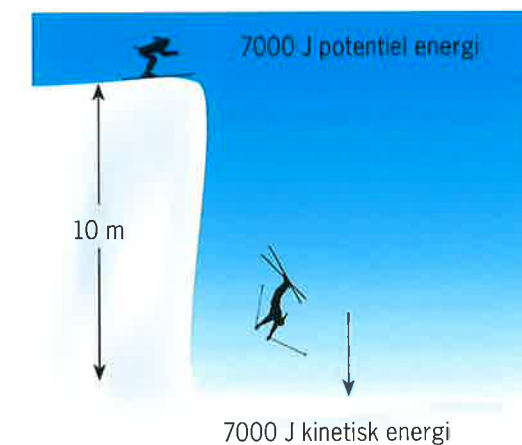
En skihopper suser gennem luften over byen Innsbruck i Østrig. På toppen af skibakken har skihopperen potentiel energi. Den omdannes under nedturen til kinetisk energi. Skihopperen kan overleve nedslaget, fordi landingsområdet skråner kraftigt nedad.



27



På toppen af en 10 m høj bakke har en skiløber på omkring 70 kg en potentiel energi på ca. 7000 J. Uanset om skiløberen glider ned ad bakken, eller han falder ned, så vil han få en kinetisk energi på 7000 J. Det er selvfølgelig under forudsætning af, at der ikke mistes energi ved gnidningen mod sneen.



Potentiel energi omdannes således til kinetisk energi.

Uden at træde i pedalerne kører en cyklist ned og derefter op af en bakke. På toppen af bakken har cyklisten potentiel energi, men på vej ned ad bakken omdannes den potentielle energi efterhånden til kinetisk energi. I bunden er den potentielle energi nul, alt er nu overført til kinetisk energi.



På vej op ad bakken omdannes den kinetiske energi, som cyklisten havde i bunden, lidt efter lidt til potentiel energi.



Hvis der ikke tabes energi undervejs til fx gnidning mod luften, mod vejen og cyklens mekaniske dele, så vil cykelrytteren nå samme højde, som han startede fra. Det gælder, uanset hvordan formen af bakken er.

Ofte har man en situation, hvor gnidningen kan regnes som værende meget lille, og derfor kan man regne med, at der ikke tabes energi under bevægelsen. Det er derfor, at det er vigtigt at kunne regne med kinetisk og potentiel energi.

EKSEMPEL

Hvilken fart får man på en vandrutsjebane?

Vi ser på en vandrutsjebane, der er 5 meter høj. Vi lader en pige med en masse på 40 kg rutsje ned.

Når pigen er på toppen af rutsjebanen har hun potentiel energi. På grund af vandet, der strømmer ned af vandrutsjebanen, er gnidningen næsten nul. Derfor tabes der ikke energi undervejs, og pigen har for enden af rutsjebanen fået en kinetisk energi, der er lige så stor som den potentielle energi, hun har mistet.

Vi vil finde pigens fart for enden af rutsjebanen. For at få nemme udregninger sætter vi tyngdeaccelerationen, $g = 10 \text{ N/kg}$.

$$\begin{aligned} \text{Den potentielle energi på toppen} &= m \cdot g \cdot h \\ &= 40 \cdot 10 \cdot 5 = 2000 \text{ J} \end{aligned}$$

Da der ikke tabes energi, må den kinetiske energi for enden af rutsjebanen være på 2000 J.

Ud fra den kinetiske energi kan vi udregne farten:

$$\begin{aligned} E_{\text{kinetisk}} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ 2000 \text{ J} &= \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot v^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vi får} \\ v^2 &= 100 \\ v &= 10 \text{ m/s} \end{aligned}$$

I tennis er det vigtigt, at bolden hopper godt. Ifølge de internationale regler for godkendelse af tennisbolde skal en tennisbold, når den slippes fra en højde på 2 meter og 54 centimeter ned på et betongulv hoppe op til mindst 135 cm og højst 147 cm.

Når bolden ikke hopper op til samme højde, som den startede på, skyldes det, at den taber energi. Ved sammenstødet med gulvet trykkes bolden sammen, og når den retter sig ud igen, springer bolden op. Mens bolden stiger til vejrs, vil den vibrere, indtil den efterhånden falder til ro i sin normale kugleform.

Noget af boldens energi mistes ved sammenstødet med gulvet og ved boldens vibrationer. Denne energimængde omdannes til varme i bolden, og på grund af den tabte energi, når bolden ikke den højde, hvor den startede.

FORSØG 31

Kan din tennisbold godkendes?

Sæt et stykke tape på væggen i højden 2,54 m og sæt en lang lineal fast på væggen med tape, så linealen måler fra højden 1 m over gulvet. Afmærk højderne 1,47 m og 1,35 m med tape på linealen.

Bolden slippes 10 gange fra den foreskrevne højde, og det noteres, om opspringshøjden ligger inden for det angivne interval.

Hvor mange af resultaterne ligger inden for det godkendte interval for opspring?

Kan bolden godkendes?



I dag er verdensrekorden i stangspring på 6,14 m. Kan man forestille sig, at man kan udvikle en så god stang til en stangspringer, at man kan springe over en overligger i 10 meters højde?

Det spørgsmål kan vi besvare ud fra vores fysiske viden. Den potentielle energi, som en stangspringer har, idet overliggeren passerer, kan kun komme fra den kinetiske energi, som stangspringeren har i afsættet. Den elastiske energi, som oplagres i stangen, kommer også fra denne kinetiske energi, for i det øjeblik stangen sættes i jorden, er den helt lige og uden elastisk potentiel energi.

Vi forestiller os, at man i tilløbet kan opnå en fart på 36 km/t, men faktisk har ingen endnu nået så stor en fart, når man skal løbe med en lang stang i hænderne. Farten 36 km/t svarer til 10 m/s. Lad os sætte springerens masse til 60 kg.

Den kinetiske energi i afsættet bliver

$$\begin{aligned} E_{\text{kinetisk}} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 10^2 = 3000 \text{ J} \end{aligned}$$

De 3000 J er altså den største kinetiske energi, man kan opnå i tilløbet. Hvis der slet ikke tabes noget energi under springet, vil man på toppen have en potentiel energi på 3000 J og ud fra formlen for potentiel energi kan vi finde højden:

$$\begin{aligned} \text{Den potentielle} \\ \text{energi på toppen} &= m \cdot g \cdot h \\ 3000 \text{ J} &= 60 \cdot 10 \cdot h \end{aligned}$$

heraf udregner vi h til 5 m.

Det er springerens tyngdepunkt, der løftes 5 m, og for et normalt bygget menneske ligger kroppens tyngdepunkt i en højde på ca. 1 m over gulvet. Det vil sige, med en hoppehøjde på 5 m kan en overligger i 6 meters højde passerer.

Der er yderligere to teknikker, der kan øge højden. Den ene er, at springeren i afsættet kan springe opad, men det er svært, når man samtidig skal løbe

hurtigst muligt. Vi kan dog sætte dette bidrag til fx 1 m. Så er vi oppe på 7 m.

Det sidste bidrag til større springhøjde får man, hvis springeren efter afsættet kan hæve sig op i armene. Men det er svært at forestille sig, at man ved at bruge armmusklerne kan løfte kroppen yderligere 3 m. Vi kan derfor fastslå, at 10 m aldrig vil kunne nås, uanset hvor gode stænger man kunne fremstille. Vi har endda i vore udregninger ikke taget hensyn til, at noget af den kinetiske energi tabes, så den potentielle energi vil blive mindre, end vi har regnet med.

Vore overvejelser fortæller os dog, hvordan den ideelle stangspringer skal se ud. I dag er en stangspringer en meget høj person med lange arme, og han skal kunne løbe meget hurtigt.

OPGAVER

- En bold på 400 g kastes lodret op med en begyndelsesfart på 20 m/s.
 - Hvor stor er den kinetiske energi lige efter kastet?
 - Hvor højt kan bolden stige? (Udnyt, at når bolden er allerhøjest, så er dens kinetiske energi omdannet til potentiel energi).
- Udregn, hvor meget en tennisbold taber i energi, når den slippes fra højden 2,54 m og hopper op til højden 1,47 m.

Hvor mange procent af energien er gået tabt ved opspringet.

FAKTA

Verdensrekorden i skihop er på 224,5 m.

Det højeste udspring af svømmere foregår ved Acapulco i Mexico. Udspringet sker fra en klippe i 27 meters højde. Det er dog et farligt spring, for klipperne ved vandet rager næsten 7 meter frem, og vandybden er under 4 meter.

Kan man springe højere end 1 meter?

Verdensrekorden i højdespring blev sat i 1993. Cubaneren Javier Sotomayor sprang 2,45 m.



FORSØG 32

Sæt et mærke på væggen i højden 2,45 m. Kan du springe op, så du kan røre mærket med hænderne?



Ved de olympiske lege i Mexico i 1969 rejste tilskuerne sig fra sæderne i forbløffelse. For første gang så de en højdespringer passere overliggeren med ryggen til. Endnu større blev overraskelsen, da springeren, Dick Fosbury, fra USA vandt guld. Indtil 1968 sprang alle væltespring, hvor man har maven mod stangen, idet man passerer den. Fosburys nye teknik – Fosbury-flop – blev hurtigt kopieret af andre springere, og i dag benytter alle elitespringere Fosbury-flop.

Ligesom stangspringerne forsøger højdespringerne at springe højt, dvs. de skal begge opnå så stor en potentiel energi

som muligt. Det sker på hver deres måde. Som vi har set, sprinter stangspringeren hen mod stangen for at få så stor en kinetisk energi som muligt. Denne kinetiske energi omdannes under springet til potentiel energi, idet springeren løftes af stangen. Højdespringeren løber derimod ganske roligt hen mod stangen. De må i afsættet yde det arbejde, som kan give dem en opadrettet fart. Springeren bruger sit "bedste ben" til afsættet, dvs. det ben, der kan yde den største kraft i det korte tidsrum, som afsættet varer. Kraften fra foden ned på jorden varer fra foden på springbenet i sidste skridt sættes i jorden til foden i opspringet slipper jorden.

Hvor stor er din springkraft?

Ved højdespring er benenes springkraft vigtig, dvs. hvor stor kraft musklerne i benene kan yde. Vi vil finde din springkraft ved et spring uden tilløb.

Mål din masse på en badevægt.

A. Stil dig foran en væg med strakte ben og stræk begge arme så højt op du kan. Sæt et mærke på væggen ved fingerspidserne.



B. Bøj i benene netop så meget at du føler, at det vil give dig det højeste spring. Spring så højt du kan og sæt hænderne mod væggen. Sæt et mærke ud for fingerspidserne, hvor du nåede højest op. Gør flere forsøg, hvor du bøjer benene mere eller mindre i afsættet.



C. Når du har fundet den bøjning af benene, der giver den største opspringshøjde, skal du sætte et mærke ud for fingerspidserne, når du står med bøjede ben og strakte arme.



Mål afstanden mellem de to nederste mærker. **Det er bedste benbøjningsdybde, b .**

Mål afstanden mellem de to øverste mærker. **Det er største springhøjde, s .**



Lidt forenklet kan vi sige, at din krop i springet er løftet stykket $b + s$, og du har herved givet din krop potentiel energi.

Din potentielle energi i det højeste punkt i dit spring er

$$E(\text{pot}) = m \cdot g \cdot (b + s)$$

Udregn denne potentielle energi.

Husk, m måles i kg, b og s i meter.

Den potentielle energi er kommet fra det arbejde, som musklerne i benene har udført. Muskelkraften fra dine ben kalder vi $F(\text{ben})$. Denne kraft forestiller vi os som værende konstant, fra du er i bedste benbøjningsdybde, til dine fødder slipper gulvet.

Benmusklernes arbejde kalder vi A , og da arbejdet kan udregnes som kraften gange vejlængden, får vi

$$A = F(\text{ben}) \cdot b$$

Vi kender størrelsen af arbejdet, for det er netop blevet til den potentielle energi. Vi kender også b , men vi kender ikke benkraften. Derfor omskriver vi formlen til

$$F(\text{ben}) = \frac{A}{b} \text{ der bliver til } F(\text{ben}) = \frac{E(\text{pot})}{b}$$

Udregn din maksimale benmuskkelkraft.

Forsøget kan udvides på flere måder: Man kan få muskerne til at yde en større kraft ved at starte fra stående stilling, bukke ned og med det samme springe op igen. Hvor stor en springkraft kan du opnå på denne måde?

Sammenlign din værdi med andres. Kan man se nogen sammenhæng mellem højde, vægt, køn.

Gentag evt. forsøget med hop på kun et ben.

Målinger har vist, at elitespringere har en springkraft på omkring 2500 newton, og de kan nå at skubbe kroppen omkring 35 cm opad, inden foden slipper jorden. Vi kan på samme måde som i sidste forsøg udregne det arbejde, som springeren udfører med springbenet.

$\text{arbejde} = \text{kraften} \cdot \text{vejlængde}$
 eller skrevet med symboler $A = F \cdot s$

$\text{Springerens arbejde} = \text{kraften} \cdot \text{vejlængde}$
 $= 2500 \text{ N} \cdot 0,35 \text{ m} = 875 \text{ J}$

Det er dette arbejde, der kan omsættes til potentiel energi, og herved kan vi udregne, hvor højt springeren kan nå op.

De 875 J er altså den største energi, springeren opnår i opspringet, og derfor kan springeren på toppen maksimalt have en potentiel energi på 875 J. Vi antager, at springeren har en masse på 70 kg, og vi kan nu ved at bruge formlen for potentiel energi udregne springhøjden.

$\text{Den potentielle energi på toppen} = m \cdot g \cdot h$
 $875 \text{ J} = 70 \cdot 10 \cdot h$
 heraf udregner vi h til 1,25 m.

Her skal vi huske, at springeren brugte 35 cm til afsættet, og det sker jo ved, at springeren inden afsættet bøjer i benene, så kroppen synker lidt ned. Kroppen løftes derfor ikke 1,25 m fra sin oprindelige stilling, men 35 cm mindre. Det bliver en springhøjde på 90 cm – mindre end 1 meter!

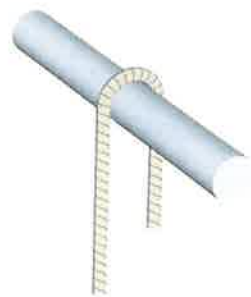
Et spring på 90 centimeter lyder jo ikke imponerende, og det er da også rigtigt, at hvis man skulle springe lodret op og passere stangen i strakt stilling med fødderne nederst, så ville verdensrekorden ligge under 1 m. Når en højdespringer alligevel kan springe højere, skyldes det, at de 90 cm er det stykke, som springerens tyngdepunkt løftes, og for en højdespringer ligger tyngdepunktet omkring 1,1 m over jorden, dvs. med denne "tyvstarthøjde" kan springerens tyngdepunkt løftes til en højde på 2 m.

Hvordan er det så muligt, at en højdespringer kan nå endnu højere op? Det skyldes to teknikker, som springerne benytter sig af.

I afsættet løfter springeren armene og det andet ben, så springeren "står på tå". Herved løftes tyngdepunktet til ca. 1,4 m over jorden. Sammen med løftehøjden på 90 cm kan vor springer nu klare 2,30 m. For at nå det sidste stykke bringes den anden teknik i anvendelse.

Man skulle tro, at springerens tyngdepunkt skulle følge med kroppen henover stangen. Men med moderne springteknik, kan springeren få kroppen over stangen, mens tyngdepunktet passerer under stangen.

Det kan lyde umuligt, men tænk på hvordan man kan få et reb over en stang. Rebet kan glide hen over stangen med enderne hængende nedad på hver sin side af stangen. Mens rebet glider op i den ene side og ned på den anden side, vil tyngdepunktet for rebet hele tiden være under stangen.



Det er denne metode, som anvendes i moderne springteknik. Når springeren når op til stangen, bukker springeren sig bagover, så overkroppen begynder at falde ned, mens benene stadig kan komme lidt højere op. Som en tommelfingerregel kan man regne med, at tyngdepunktet for en elitespringer i et godt spring ikke kommer over stangen. Stangspringere er endnu bedre end højdespringere til at komme over stangen med tyngdepunktet under stangen.



Stangspringere vender maven mod stangen, og da fødderne kommer over først, kan de bukke kroppen helt omkring stangen.

Fysikken viser os, hvad også erfaringen viser, at en ideel højdespringer skal have stor springkraft i benet. Springeren skal veje så lidt som muligt, men samtidig skal springeren være høj og med en kropsbygning, så springerens tyngdepunkt ligger højt.

FORSØG 34

Ved DM i 1997 springer højdespringeren Pia Zinck. Springer hun "over" eller "under" stangen?

Det afhænger af, hvor hendes tyngdepunkt ligger. Det vil vi finde ud af ved en lidt grov metode.

Brug en fotokopieringsmaskine til at forstørre billedet af højdespringeren. Klæb fotokopien op på et stykke stift karton, og klip omridset af springeren ud. Nu skal du klæbe et ganske tyndt papir på, så der er papir i området mellem springerens ryg og ben.

Brug en syl til at bore tre huller i kartonstykket. Sørg for, at der er stor afstand mellem hullerne, så bliver nøjagtigheden ved bestemmelsen af tyngdepunktet større.

Hæng "højdespringeren" op i et af hullerne, og sæt lodsnoren på stiften, så snoren er tæt på pappladen. Når snoren og papstykket er faldet til ro, skal I sætte et mærke med en blyant på pappladen, så lodlinien kan tegnes.

Hæng derefter pappladen op i de andre huller, og tegn de tilsvarende lodlinier. De tre liniers skæringspunkt er pladens tyngdepunkt.



Hvor ligger tyngdepunktet for højdespringeren?

Ved bestemmelse af tyngdepunktet ser du, at tyngdepunktet ikke behøver at ligge i selve genstanden.

Kig på fotoet og besvar spørgsmålet: Passerer springerens tyngdepunkt over eller under stangen?



Hvor højt kan man springe på Månen?

Af og til bliver det diskuteret, hvilke rekorder man kunne sætte på Månen, hvor tyngdekraften kun er $1/6$ af værdien på Jorden. Derfor hører man ofte, at hvis man som højdespringer kan klare verdensrekorden på 2,45 m, så kunne man på Månen springe 6 gange så højt dvs. 14,7 m. Men det er helt galt – selv hvis man fik bygget en rumstation på Månens overflade, hvor man indendørs kunne løbe rundt uden rumdragt.

Vi har udregnet, at en højdespringer på Jorden kan løfte sit tyngdepunkt 1,25 m, og det er denne værdi, der på Månen bliver seksdoblet til 7,5 m. Dvs. på Månen kunne man springe ca. $7,5 \text{ m} + 1,1 \text{ m} = 8,6 \text{ m}$. Månerekorden vil altså blive 8,6 m.

Verdensrekorden på 2,45 m burde vi vel kalde Jordrekorden. Hvis man bliver i stand til at lande på nogle af de små måner, som findes omkring nogle af de andre planeter i vores solsystem, så vil man kunne springe nogle helt fantastiske højdespring, for nogle af månerne er så små, at tyngdekraften er meget lille. Værdien af et højdespring på en sådan måne kunne man kalde en verdensrekord.

Nogle af disse måner er så små, at deres tyngdekraft er så lille, at man ved et spring fra dem vil forsvinde ud i verdensrummet.

OPGAVE

En loppe kan hoppe 200 gange sin egen højde. Hvis du kunne hoppe tilsvarende, kunne du så hoppe over: Rundetårn, Rådhusårnet i København, Eiffeltårnet i Paris?

FAKTA

En højdespringer kan opnå en lodret fart i afsættet på næsten 5 m/s.

Jesper Tørring har den danske rekord i højdespring, og det er en af de ældste rekorder i Danmark. Jesper Tørring blev europamester i 1974 med et spring på 2,25 m.



53.08

Henriksen, Henning
Der er sport i fysik

ex.

T2 322 829 7 00/50

