

Kraft og bevegelse

Newtons lover, friksjon, sirkelbevegelse og energi

KM10 – Kraft og bevegelse

■ Newton og eplet – myten bak tyngdeloven

Historien om Newton og eplet er berømt, men overdrevet. Det var neppe et eple som traff ham i hodet. I 1666 trakk Newton seg tilbake til Woolsthorpe Manor under pestepidemien og funderte over: hva holder Månen i bane? Det var ikke et eple, men den enkle analogien mellom et fallende eple og en fallende Måne som overbeviste ham. Begge 'faller' mot Jorda – men Månens horisontale hastighet er stor nok til at den hele tiden faller 'rundt' Jorda i stedet for ned i den.

Newton ventet 20 år med å publisere. Grunnen? Han klarte ikke å bevise matematisk at en kule kule kan behandles som om all massen sitter i sentrum. Først da han hadde beviset (1684) publiserte han *Principia Mathematica* (1687) – som mange regner som den viktigste boken i vitenskapens historie.

Kraft og Newtons lover

En **kraft** er en påvirkning som kan endre et legemes fart, retning eller form. Kraft er en vektorstørrelse – den har både størrelse og retning. Enheten er **Newton (N)**: 1 N = den kraften som gir 1 kg en akselerasjon på 1 m/s². Krefter kan være kontaktkrefter (friksjon, normalkraft) eller fjernkrefter (tyngdekraft, elektromagnetisme).

Tabell 1: Newtons tre bevegelseslover

Lov	Formulering	Hva den betyr i praksis
Newtons 1. lov (inertilov)	Et legeme fortsetter i ro eller rettlinjet bevegelse med konstant fart hvis ingen resulterende kraft virker	Uten kraft: ingen endring. Bil som bremses: passasjer fortsetter fremover
Newtons 2. lov	$F = m \times a$ (resulterende kraft = masse $\times$ akselerasjon)	Dobbel masse $\rightarrow$ halv akselerasjon for samme kraft
Newtons 3. lov (aksjon-reaksjon)	For enhver kraft finnes en like stor, motsatt rettet motkraft	Rakett: gass ut bak = skyvekraft frem

Newtons 2. lov – $F = ma$ i detalj

$F = ma$ er den mest brukte formelen i mekanikk. F er den **resulterende kraften** (summen av alle krefter i en retning). Dersom to krefter virker i samme retning: $F_{\text{res}} = F_{\blacksquare} + F_{\blacksquare}$. Motstridende

retninger: $F_{\text{res}} = F_{\blacksquare} - F_{\blacksquare}$. Kun resulterende kraft bestemmer akselerasjonen.

■ Viktige formler – kraft og bevegelse

$F = m \times a$ (kraft = masse $\times$ akselerasjon) [$N = \text{kg} \times \text{m/s}^2$]

$G = m \times g$ (tyngde = masse $\times$ gravitasjonskonstant) [$g = 9,81 \text{ m/s}^2$]

$v = v_{\blacksquare} + a \times t$ (fart etter akselerasjon)

$s = v_{\blacksquare}t + \frac{1}{2}at^2$ (strekning ved konstant akselerasjon)

$v^2 = v_{\blacksquare}^2 + 2as$ (fart-strekning-relasjon uten tid)

$F_{\text{friksjon}} = \mu \times N$ (friksjonskraft = friksjonsk. $\times$ normalkraft)

Tyngdekraft og fri fall

Tyngdekraften på Jorda gir alle legemer en akselerasjon på $9,81 \text{ m/s}^2$ (g) – uavhengig av masse. Galileo demonstrerte dette på 1590-tallet (ifølge legenden ved å slippe kuler fra Pisas skjeve tårn). En fjær og en hammer sluppet i vakuum faller like raskt – demonstrert av Apollo 15-astronauten David Scott på Månen i 1971.

I fri fall er den eneste kraften tyngden. Men i praksis virker luftmotstand: en fallskjermhopper akselererer til **terminal hastighet** der luftmotstand = tyngde og akselerasjon = 0. Terminal hastighet i fri bane er ca. 190 km/h . Med åpen fallskjerm: ca. 20 km/h . Styrt base-jump fra stor høyde: Felix Baumgartner nådde 1358 km/h i 2012.

■ Voyager 1 – 45 år i rommet og fremdeles sending

Voyager 1 ble skutt opp i 1977 og er nå det fjerneste menneskeskapte objektet: over 23 milliarder kilometer fra Jorda. Den siste offisielle kommunikasjonen (2025) bekreftet at den fremdeles sender data – riktignok med 22 timer forsinkelse hver vei.

Newtons lover gjør det mulig å forutsi nøyaktig hvor Voyager 1 er til enhver tid, basert på de kraftene som virket ved oppskyting og under de tyngdekraft-assisterte flybyene forbi Jupiter og Saturn. Drivstoffet tok slutt for lenge siden – nå er det bare tyngdekraft og inert i som styrer. Newtons lover i praksis, 45+ år etter.

Friksjon

Friksjon er en kontaktkraft som motvirker relativ bevegelse mellom to overflater. Den oppstår fordi overflatene på mikroskopisk nivå er ru og interlåser med hverandre. Friksjonskraften er proporsjonal med normalkraften ($F_f = \mu N$) og avhenger av overflatene – ikke av kontaktareal (overraskende for mange!).

Tabell 2: Typiske friksjonskoeffisienter

Overflatepar	Statisk $\mu_{\blacksquare}$	Kinetisk $\mu_{\blacksquare}$	Kommentar
Gummi på tørr asfalt	0,7–0,8	0,5–0,6	God bremseeffekt

Overflatepar	Statisk μ	Kinetisk μ	Kommentar
Gummi på is	0,05–0,1	0,02–0,05	Farlig glatt
Stål på stål	0,5–0,8	0,4–0,6	Varierer mye
Smurt metall på metall	0,1	0,05	Smøring reduserer sterkt
Teflon på teflon	0,04	0,04	Laveste friksjon av faste stoffer

Sirkelbevegelse og sentripetalkraft

Et objekt i sirkelbevegelse endrer hele tiden retning – det vil si at det akselererer selv om farten er konstant. Denne akselerasjonen peker mot sentrum av sirkelen: **sentripetaltillerasjon** $a = v^2/r$. Sentripetalkraften ($F = mv^2/r$) er alltid rettet mot sentrum og leveres av en annen kraft – tau, normalkraft eller tyngdekraft.

Eksempler: en bil i en kurve (normalkraft fra veibanen leverer sentripetalkraft), et speilbilde på en snor (snortensjon), en planet i bane (tyngdekraft), en vaskemaskin (trommelen tvinger klesvask sentripetal inwards). Mange forveksler sentripetal med "sentrifugal kraft" – sentrifugalkraft er en *fiktiv* kraft som oppleves i et roterende referansesystem.

Arbeid, energi og effekt

Mekanisk arbeid utføres når en kraft virker over en strekning i kraftens retning: $W = F \times s$ (Joule). Arbeid kan også uttrykkes som energioverføring. **Kinetisk energi** er bevegelsesenergi: $E = \frac{1}{2}mv^2$. **Potensiell energi** (i tyngdefelt): $E = mgh$. Energibevaring: total mekanisk energi er konstant uten friksjon.

■ Forsøk 1: Newtons 2. lov – kraft og akselerasjon

Mål: Verifisere $F = ma$ eksperimentelt ved å variere kraft og masse.

Utstyr: Trillebane (skrått plan), tralle/vogn, vekter, streng, trinse, stoppeklokke eller fotoporte.

Fremgangsmåte:

→ Sett opp et horisontalt spor med en trinse i enden. Heng en kjent vekt over kanten.

→ Mål akselerasjonen til trallen med stoppeklokke ($s = \frac{1}{2}at^2 \rightarrow a = 2s/t^2$).

→ Dobbel hengevekten (dobbel kraft). Mål ny akselerasjon. Er den dobbelt så stor?

→ Tilbake til original kraft, men dobbel trall-masse. Mål akselerasjon.

→ Tegn grafer: a vs F (konstant m) og a vs $1/m$ (konstant F). Hva er formen?

Forventet resultat: a er proporsjonal med F og omvendt proporsjonal med m – bekrefter $F = ma$.

■ Forsøk 2: Friksjonsmåling

Mål: Bestemme statisk og kinetisk friksjonskoeffisient for ulike overflatepar.

Utstyr: Treblokkier (ulike overflater), fjærbalanse (Newton-meter), diverse overflater.

Fremgangsmåte:

- Legg en treblokk (kjent masse) på bordet. Mål normalkraften $N = mg$.
- Dra blokken med fjærbalanssen. Les av statisk friksjon (maks kraft FØR glidning starter).
- Dra blokken med jevn fart. Les av kinetisk friksjon.
- Beregn $\mu_s = F_s/N$ og $\mu_k = F_k/N$.
- Gjenta med sandpapir under og med smør. Sammenlign μ -verdiene.

Forventet resultat: $\mu_s > \mu_k$ alltid. Sand øker μ , smør reduserer. Bekrefter at kontaktareal ikke påvirker friksjonskraft.

■ Forsøk 3: Sentripetalkraft med kule på snor

Mål: Undersøke sammenhengen mellom radius, fart og sentripetalkraft.

Utstyr: Gummiball, snor (~1 m), linjal, stoppeklokke. Utomhusareale.

Fremgangsmåte:

- Fest ballen i snoren. Sving den i horisontale sirkler.
- Mål perioden T (tid for ett omløp) og radius r .
- Beregn farten $v = 2\pi r/T$ og sentripetalkraften $F_s = mv^2/r$ (mål ballens masse).
- Dobbel radius (lengre snor). Mål ny T og beregn F_s . Hva skjedde?
- Diskuter: hva leverer sentripetalkraften her? Hva ville skje om snoren knakk?

Forventet resultat: $F_s = mv^2/r$. Større radius med samme fart → lavere F_s . Snorkraft holder ballen i sirkelbane.

■ Oppgaver

■ Oppgave 1 (basis)

Formuler Newtons tre lover med egne ord. Gi ett eksempel fra hverdagen for hver lov.

■ Oppgave 2 (basis)

En bil på 1200 kg akselererer fra 0 til 90 km/t på 9 sekunder. Beregn akselerasjonen og kraften fra motoren (ignorer luftmotstand og friksjon).

■ Oppgave 3 (basis)

Hva er friksjon? Forklar forskjellen mellom statisk og kinetisk friksjon. Hvorfor er det lettere å holde noe i bevegelse enn å sette det i gang?

■ Oppgave 4 (middels)

En stein kastes horisontalt fra en klippe på 80 m med 20 m/s. Beregn (a) tid til landing, (b) horisontal avstand fra klippen, (c) fart ved landing.

■ Oppgave 5 (middels)

En kule på 0,5 kg svinger i en horisontalt sirkel med radius 1 m og perioden 2 s. Beregn sentripetalkraften og snorens spenning.

■ Oppgave 6 (middels)

Forklar terminal hastighet. En fallskjermhopper (80 kg) faller med terminal hastighet 55 m/s. Hva er luftmotstandskraften? Hva skjer med terminal hastighet hvis personen tar en tettere stilling?

■ Oppgave 7 (avansert)

Newtons gravitasjonslov: $F = G \times m_1 \times m_2 / r^2$. Jorda har masse 6×10^{24} kg, Månen $7,3 \times 10^{22}$ kg, og avstanden mellom dem er $3,84 \times 10^8$ m. Beregn gravitasjonskraften mellom dem. Bruk $F = mv^2/r$ til å verifisere Månens omløpstid (~27 dager).

■ Oppgave 8 (avansert)

En bil med masse 1500 kg kjører rundt en flatbue med radius 200 m. Koeffisienten for statisk friksjon er 0,6. Hva er maksimal tillatt hastighet? Hva skjer hvis banen er islagt ($\mu = 0,05$)?

■ Oppsummering

Viktige punkter fra dette kapitlet:

- Newtons 1. lov: uten resulterende kraft → ingen akselerasjon (inerti).
- Newtons 2. lov: $F = ma$. Resulterende kraft = masse × akselerasjon.
- Newtons 3. lov: aksjon-reaksjon. For enhver kraft finnes en lik, motsatt motkraft.
- Fri fall: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Alle legemer faller like fort i vakuum.
- Terminal hastighet: friksjon = tyngde → akselerasjon = 0.
- Friksjon: $F_f = \mu N$. Statisk $\mu_s >$ kinetisk μ_k . Avhenger av overflater, ikke areal.
- Sentripetalkraft: $F = mv^2/r$, peker mot sentrum. Leveres av snor, normalkraft eller tyngde.