

F0004T

Fysik 1

Kurskompendium från Pelles Moln · 17 noter · 2026-10-19
pellesmoln.org/kurser/F0004T

Innehåll

Mekanik

Kinematik	3
Experimentell metodik	9
Cirkelrörelse	12
Relativ rörelse	17
Newtons lagar	20
Friktion	26
Arbete och kinetisk energi	31
Potentiell energi och energibevarande	38
Rörelsemängd och kollisioner	40
Kraftmoment och jämvikt	46

Termodynamik

Temperatur och värme	52
Värmetransport	54
Medieegenskaper	60
Termodynamikens första huvudsats	61
Ideala gaser	66
Kretsprocesser och värmemaskiner	73
Termodynamikens andra huvudsats	81

Kinematik

19 okt. 2026, 4 min läsning

UTKAST

#mekanik #kinematik

Kapitel: 2.1–2.6 · Kurs: F0004T Förkunskaper: Integraler

1. Grundläggande begrepp

1.1 Definition

Definition: Kinematik

Kinematik är läran om hur saker rör sig — utan att ta hänsyn till *varför* de rör sig. Man studerar position, hastighet och acceleration, men ignorerar krafter.

1.2 Fart kontra hastighet

En av de viktigaste distinktionerna i mekanik:

Storhet	Typ	Beskrivning
Fart	Skalär	Alltid positiv, $\ v\ $
Hastighet	Vektor	Kan vara negativ, har riktning
Acceleration	Vektor	Hastighetsförändring per tid

Intuition: Fart vs hastighet

En bil som kör i en cirkel med konstant fart 50 km/h ändrar ändå hela tiden sin *hastighet*, eftersom riktningen ändras. Farten är storleken av hastighetsvektorn.

1.3 De grundläggande sambanden

Hastighet är derivatan av position, och acceleration är derivatan av hastighet:

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Integrering ger den omvända riktningen:

- Integrera $a(t) \rightarrow$ hastighetsändring
- Integrera $v(t) \rightarrow$ förflyttning

2. När ökar och minskar farten?

2.1 Teckensregeln

v_x och a_x	Resultat	Fysikalisk tolkning
Lika tecken	Farten ökar	Accelerationen förstärker rörelsen
Olika tecken	Farten minskar	Accelerationen motverkar rörelsen

☰ Exempel: Teckentolkning

- $v_x > 0$ och $a_x > 0$: Rör sig framåt och gasar — farten ökar.
- $v_x > 0$ och $a_x < 0$: Rör sig framåt men bromsar — farten minskar.
- $v_x < 0$ och $a_x < 0$: Backar och “gasar bakåt” — farten ökar (backar snabbare).
- $v_x < 0$ och $a_x > 0$: Backar men bromsas — farten minskar.

3. Formler vid konstant acceleration

3.1 De tre rörelseekvationerna

Dessa tre samband gäller *enbart vid konstant acceleration*. Motivera alltid att accelerationen är konstant innan du använder dem.

$$v = v_0 + at$$

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

Den tredje formeln är "tidlös" – den kopplar samman hastigheter och sträcka utan att tidpunkten t behöver vara känd.

Välja rätt formel

Lista vad du vet och vad du söker:

- Vet du t ? → Använd formel 1 eller 2.
- Saknar du t ? → Använd formel 3.
- Saknar du a ? → Kombinera formlerna.

Vanligt misstag: Villkoren glöms bort

Dessa formler gäller **bara vid konstant acceleration**. Elfgren betonar: "Gör till vana att alltid motivera val av formel." Om en formel hämtas från formelsamlingen (Fysika FB2), ange det.

Exempel: Bromsande bil

En bil kör med $v_0 = 30 \text{ m/s}$ och bromsar med $a = -6,0 \text{ m/s}^2$.

Hur lång bromssträcka behövs för att stanna?

Sökt: x då $v = 0$.

Välj formel 3 (tidlös):

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

$$0 = (30)^2 + 2(-6,0)(x)$$

$$x = \frac{900}{12} = 75 \text{ m}$$

4. Grafiska samband

4.1 Att läsa av grafer

Från → Till	Operation	Grafisk tolkning
$x-t \rightarrow v-t$	Derivera	Lutningen på $x-t$ -kurvan = hastigheten
$v-t \rightarrow a-t$	Derivera	Lutningen på $v-t$ -kurvan = accelerationen
$a-t \rightarrow v-t$	Integrera	Arean under $a-t$ -kurvan = hastighetsändring
$v-t \rightarrow x-t$	Integrera	Arean under $v-t$ -kurvan = förflyttning

4.2 Igenkänning av grafter

Graf	Form	Vad det innebär
$x-t$	Horisontell linje	Stillastående ($v = 0$)
$v-t$	Horisontell linje	Konstant hastighet ($a = 0$)
$v-t$	Rät linje	Konstant acceleration
$x-t$	Parabel	Konstant acceleration

Intuition: Arean som förflyttning

Arean under en $v-t$ -graf har enheten $\text{m/s} \times \text{s} = \text{m}$, vilket är en sträcka. Det är inte en tillfällighet — det följer direkt ur att förflyttning är integralen av hastighet.

Läsning

- [Chapter 2 Motion Along a Straight Line](#)
- [Chapter 3 Motion in Two or Three Dimensions](#)

Se även

- [Vektorer och rörelse](#) — kinematik i 2D och 3D
- [Cirkelrörelse](#) — acceleration utan fartändring

- [Newtons lagar](#) — varför saker rör sig som de gör
-

Resurser

Videor

- [Khan Academy — 1D Kinematics](#) — grundlig genomgång av rätlinjig rörelse

Wikipedia

- [Kinematics](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 2
 - Fysika upplaga 5, kap 2
-

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-03, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-11-03 – MEK1

Kinematik = hur saker rör sig

Rätlinjig rörelse (1D)

- **Fart** är alltid positiv (skalär storhet)
- **Hastighet** kan vara negativ (vektorstorhet)

Teckensregel för fart

Relation	Resultat
v_x och a_x lika tecken	Farten ÖKAR
v_x och a_x olika tecken	Farten MINSKAR

Samband mellan graferna

Från → Till	Operation	Resultat
x-t → v-t	Derivera (beräkna lutning)	Hastighet
v-t → a-t	Derivera (beräkna lutning)	Acceleration
a-t → v-t	Integrera (beräkna area)	Hastighetsförändring
v-t → x-t	Integrera (beräkna area)	Förflyttning

Exempel: Konstant acceleration från vila

Graf	Form	Formel
x-t	Parabel	$x = \frac{1}{2}at^2$
v-t	Rät linje	$v = at$
a-t	Horisontell linje	$a = \text{konstant}$

Gäller alltid: $v = \frac{dx}{dt}$, $a = \frac{dv}{dt}$

Vid konstant acceleration: $v = v_0 + at$ $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$ $v^2 = 2a(x - x_0) + v_0^2$

Om man använder en formel som endast gäller vid konstant acceleration är det viktigt att markera villkoren. "Gör till vana att alltid motivera val av formel."

Rekomenderat upplägg vid problemlösning (Elfgren)

- **Givet:** Rita skiss, tilldela variabler
- **Sökt:** Vad är det vi vill nå
- **Lösning:** Hur kommer vi till det vi vill nå → **Svar**

Experimentell metodik

19 okt. 2026, 2 min läsning

UTKAST

#fysik #mätteknik #laboration

Kurser: F0005T, F0051T, F0004T

1. Definition

Systematiskt arbetssätt för att planera, utföra och analysera fysikaliska experiment så att resultatet blir reproducerbart och mätosäkerheten kan kvantifieras.

2. Dimensionsanalys

Fysikaliska samband måste vara dimensionellt konsistenta. Från en antagen potensansats

$$t = C l^b g^c m^d$$

kan exponenterna bestämmas genom att kräva att båda leden har samma dimension (och C blir dimensionslös).

Metoden utvecklas i **dimensionsanalysen**, och det systematiska sättet att reducera variabelantalet är **π -grupper** via **strykmetoden**.

3. Linjärisering via logaritm

Vid potenssamband $y = ax^b$ ger logaritmering

$$\ln y = \ln a + b \ln x$$

dvs en rät linje i log-log-plot med lutning b och interceptet $\ln a$. Det är därför exponenten bestäms grafiskt: lutningen i en logaritmerad plot är exponenten.

4. Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-05, F0004T

4.1 2025-11-05 – EM2

Repetition från EM1 (dimensionsanalys). Läs EM1 Almas anteckningar för fullständiga noteringar om dimensionsanalys.

Metod för Labb

1. Planera

- Definiera problem
- Utrustning
- Variabellista
- Planera mätningar

2. Experiment

- ≥ 4 olika värden $\Rightarrow$ datatabell + konstanta data (t.ex. $m = 32$ g)

3. Data

- Rita graf
- Ansats: potensfunktion $t = a \cdot l^b$
- Logaritmera: $\ln t = \ln a + b \ln l$
- Rita graf av logaritmerade värden (Excel)
- Bestäm lutning, dvs exponent $b \approx 0,6$ och avrunda $b \approx 0,5$
- Om ej rät linje: prova annan funktion (kompendium s 5–6)

4. Repetera

- Repetera steg 2–3 för varje variabel som kan varieras

5. Ansats

- Potensfunktion med alla variabler: $t = C \cdot l^b \cdot g^c \cdot m^d$
- Kontrollera att C är dimensionslös

Se även

- Dimensionsanalys
- Dimensionshomogenitet
- Pi-grupper
- Strykmetoden
- Funktionsapproximationer

Cirkelrörelse

19 okt. 2026, 4 min läsning

UTKAST

#mekanik #kinematik #rotation

Kapitel: 3.4, 5.4 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Vektorer och rörelse, Newtons lagar

1. Naturliga koordinater

1.1 Definition

Definition: *n-t*-koordinater

Vid rörelse längs en krökt bana används koordinater som följer med objektet:

- ***t*-riktning (tangent):** Längs rörelseriktningen, i den riktning objektet rör sig just nu.
- ***n*-riktning (normal):** Vinkelrätt mot rörelsen, riktad *in mot centrum* av krökningsradien.

Dessa kallas även *naturliga koordinater* eller *nt-koordinater*.

2. Radiell (centripetal) acceleration

2.1 Definition och formel

Definition: Radiell acceleration

Accelerationen riktad mot rörelsebanans centrum kallas radiell eller centripetal acceleration:

$$a_n = a_{rad} = \frac{v^2}{R}$$

där v är farten och R är krökningsradien.

Accelerationen är alltid riktad mot centrum — “centrum-sökande” (centripetal = “mot centrum”).

Intuition: Varför v^2/R ?

- Högre fart → riktningen ändras snabbare → mer acceleration behövs.
- Mindre radie (skarpare kurva) → mer acceleration behövs.
- Båda effekterna är proportionella, och kombinationen ger v^2/R .

2.2 Samband med periodtid

Vid konstant fart och periodtid T (tid för ett helt varv):

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

Kombineras med $a_n = v^2/R$:

$$a_n = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

Exempel: Pariserhjul

Ett pariserhjul har radien $R = 25$ m och gör ett varv på $T = 60$ s.

Farten: $v = \frac{2\pi \times 25}{60} \approx 2,62$ m/s

Centripetal acceleration: $a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(2,62)^2}{25} \approx 0,274$ m/s²

Alternativt direkt: $a_n = \frac{4\pi^2 \times 25}{60^2} \approx 0,274$ m/s²

3. Tangentiell acceleration

3.1 Definition

Om farten *inte* är konstant (gasar eller bromsar i kurvan) tillkommer en tangentiell acceleration:

$$a_t = \frac{dv}{dt}$$

Den totala accelerationsvektorn är vektorsumman:

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$$

⚠ Vanligt misstag: Glömma radiell acceleration vid rak rörelse

Den radiella accelerationen $a_n = v^2/R$ gäller för *all* rörelse längs en krökt bana, inte bara cirklar. Vid rak rörelse ($R \rightarrow \infty$) gäller $a_n = 0$.

4. Dynamik vid cirkulär rörelse

4.1 Centripetalraften – Newtons 2:a lag i n -led

Det krävs en nettokraft riktad mot centrum för att ett objekt ska hålla sig på en cirkulär bana:

$$\sum F_n = ma_n = m \frac{v^2}{R}$$

Vad som *utgör* centripetalraften beror på situationen:

Situation	Centripetalraften ges av
Bil i kurva	Friktionskraften mot vägen
Satellit i omlopps bana	Gravitationskraften
Boll i snöre	Spännkraften i snöret
Bil i doserad kurva	Komponent av normalkraften

☰ Exempel: Bil i horisontell kurva

En bil kör i en horisontell kurva med radien $R = 50 \text{ m}$ och farten $v = 20 \text{ m/s}$.

Friläggning (bakifrån): tyngdkraft mg nedåt, normalkraft N uppåt, friktion f inåt.

- Vertikalt: $N = mg$
- Horisontellt (n -led): $f = m \frac{v^2}{R}$

Maximal fart utan glidning ($f_{\max} = \mu_s N = \mu_s mg$):

$$v_{\max} = \sqrt{\mu_s g R}$$

Läsning

- [3.4 Motion in a Circle](#)
- [5.4 Dynamics of Circular Motion](#)

Se även

- [Vektorer och rörelse](#) — hastighets- och accelerationsvektor i 2D
- [Newtons lagar](#) — friläggning och kraftekvationer
- [Rotation](#) — rotationsdynamik för stelkroppar

Resurser

Videor

- [Khan Academy — Circular Motion](#) — centripetal acceleration och kraft

Wikipedia

- [Circular motion](#)
- [Centripetal force](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 3.4 och 5.4
- Fysika upplaga 5, kap 3–4

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-06, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-11-06 – MEK2

Vektorer och rörelse i 2D/3D (Young & Freedman 3.1–3.2)

En vektor har både storlek och riktning: $\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$

Hastighet: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = (v_x, v_y, v_z)$

Acceleration: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = (a_x, a_y, a_z)$

Fart = storleken på $\vec{v}$: $v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

Exempel: En bil i en kurva – ändring av hastighetsvektorn: $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 \implies \vec{a}_{medel} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$

Likformig cirkulär rörelse (3.4)

Vid cirkulär rörelse används naturliga koordinater (nt -koordinater):

- n -riktning: riktad in mot centrum ("Normalriktningen")
- t -riktning: riktad i rörelseriktningen ("Tangentriktningen")

Den radiella accelerationen: $a_{rad} = a_n = \frac{v^2}{r}$

Om periodtiden är T och farten konstant: $v = \frac{2\pi R}{T} \implies a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$

Exempel: pariserhjul, satellit.

Icke-likformig cirkulär rörelse

När farten ej är konstant tillkommer tangentiell acceleration: $a_t = \frac{dv}{dt}$

Fortfarande gäller: $a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}{R}$

Relativ rörelse (3.5)

Om tre kroppar rör sig med hastigheterna v_A, v_B, v_C : $\vec{v}_{AC} = \vec{v}_{AB} + \vec{v}_{BC} = -\vec{v}_{CA}$

Exempel: Flygplan p flyger norrut med $v_{pl} = 240$ km/h relativt luften l . Luften blåser österut med $v_{lj} = 100$ km/h relativt jorden j .

$\vec{v}_{pl} = (0, 240, 0)$ km/h, $\vec{v}_{lj} = (100, 0, 0)$ km/h $\vec{v}_{pj} = \vec{v}_{pl} + \vec{v}_{lj} = (100, 240, 0)$ km/h

Relativ rörelse

19 okt. 2026, 2 min läsning

UTKAST

#mekanik #kinematik

Kapitel: 3.5 · Kurs: F0004T Förkunskaper: Vektorer och rörelse

1. Grundprincipen

1.1 Definition

Definition: Relativ rörelse

Hur snabbt ett objekt rör sig beror alltid på vem som observerar. En hastighetsbeskrivning är bara meningsfull relativt ett *referenssystem*.

1.2 Formel för tre referenssystem

För tre objekt/referenssystem A, B och C gäller:

$$\vec{v}_{AC} = \vec{v}_{AB} + \vec{v}_{BC}$$

Läs det som: "A:s hastighet relativt C = A:s hastighet relativt B, plus B:s hastighet relativt C."

Intuition: Kedjeindexering

Indexen fungerar som en kedja — "mittentermen" B försvinner när du adderar. Kontrollera att indexen är konsekventa: v_{AC} ska ha A som täljare och C som nämnare hela vägen.

1.3 Symmetri

Om A rör sig med hastigheten $\vec{v}_{AB}$ relativt B, rör sig B med exakt den omvända hastigheten relativt A:

$$\vec{v}_{AB} = -\vec{v}_{BA}$$

2. Tillämpning

2.1 Klassiskt exempel: Flygplan i vind

☰ Exempel: Flygplan och vind

Ett flygplan P flyger norrut med hastigheten $v_{PL} = 240 \text{ km/h}$ relativt luften L .

Vinden blåser österut med $v_{LJ} = 100 \text{ km/h}$ relativt jorden J .

Sök: Planets hastighet relativt jorden, $\vec{v}_{PJ}$.

Lösning:

$$\vec{v}_{PL} = (0, 240, 0) \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\vec{v}_{LJ} = (100, 0, 0) \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\vec{v}_{PJ} = \vec{v}_{PL} + \vec{v}_{LJ} = (100, 240, 0) \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Planets faktiska bana är snedstreckad österut. Det tar *inte* den kortaste vägen rakt norrut.

Farten relativt marken: $|\vec{v}_{PJ}| = \sqrt{100^2 + 240^2} \approx 260 \text{ km/h}$

⚠ Vanligt misstag: Felaktig indexordning

Blanda inte ihop $\vec{v}_{AB}$ och $\vec{v}_{BA}$ — de är varandras negativa. Skriv alltid ut indexen tydligt och kontrollera att **kedjeregeln** är uppfylld.

Läsning

- [3.5 Relative Velocity](#)

Se även

- [Vektorer och rörelse](#) — vektoraddition och komponentuppdelning

- [Kinematik](#) — hastighet och acceleration i 1D
-

Resurser

Wikipedia

- [Relative velocity](#)[↗]
- [Frame of reference](#)[↗]

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 3.5
 - Fysika upplaga 5, kap 3
-

Newtons lagar

19 okt. 2026, 5 min läsning

UTKAST

#mekanik #dynamik #krafter

Kapitel: 4.1–4.6 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Vektorer och rörelse, Kinematik

1. Newtons första lag – Tröghetslagen

1.1 Formulering

Newtons 1:a lag (NI)

Om ingen nettokraft verkar på ett föremål behåller det sitt rörelsetillstånd — det förblir stilla eller rör sig med konstant hastighet (konstant fart och riktning).

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (\text{jämvikt})$$

I komponentform: $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum F_z = 0$

Intuition: Kraft ändrar rörelse — inte upprätthåller den

Aristoteles trodde att kraft behövdes för att hålla något i rörelse. Newton insåg att kraft krävs för att *ändra* rörelse. En hockeypuck på friktionsfri is glider för evigt utan att någon kraft behövs.

Tröghet är föremålets “motvilja” att ändra sin rörelsetillstånd. Tyngre föremål har mer tröghet.

2. Newtons andra lag – Grundekvationen

2.1 Formulering

Newtons 2:a lag (NII)

Nettokraften på ett föremål är proportionell mot föremålets acceleration och massa:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

I komponentform: $\sum F_x = ma_x$, $\sum F_y = ma_y$, $\sum F_z = ma_z$

Enhetssamband: $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

Intuition: Vad NII säger

- Dubbla kraften → dubbel acceleration (med samma massa).
- Dubbla massan → halv acceleration (med samma kraft).
- Nettokraften bestämmer *hur* föremålet accelererar — inte om det rör sig.

2.2 Allmän form med rörelsemängd

Newton formulerade faktiskt lagen i termer av rörelsemängd:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

För konstant massa ger detta $\sum \vec{F} = m\vec{a}$.

3. Newtons tredje lag – Aktion-Reaktion

3.1 Formulering

Newtons 3:e lag (NIII)

Om kropp A verkar på kropp B med kraften $\vec{F}$, verkar B på A med kraften $-\vec{F}$ — lika stor men motriktad.

Viktigt att förstå:

- Kraft och motkraft verkar på **olika** kroppar.
- De uppstår alltid i par och samtidigt.
- De tar **inte** ut varandra (de verkar på skilda objekt).
- I kontaktytor gäller alltid NIII — används utan motivering.

 Vanligt misstag: NIII gäller EJ mellan tyngdkraft och normalkraft

Tyngdkraften och normalkraften på en bok som ligger på ett bord är *inte* ett NIII-par. De är olika typer av krafter (gravitation vs kontakt) och verkar råkar vara lika stora. Tyngdkraftens NIII-par är jordens acceleration mot boken — omärkbar i praktiken.

4. Massa kontra tyngd

Storhet	Symbol	Enhet	Egenskap
Massa	m	kg	Konstant — samma på jordklotet, månen och i rymden
Tyngd	$G = mg$	N	Beror på gravitationen, varierar med plats

Exempel:

	Jordens yta ($g = 9,82 \text{ m/s}^2$)	Månens yta ($g = 1,62 \text{ m/s}^2$)
Massa	80 kg	80 kg
Tyngd	785 N	130 N

5. Friläggning – Att isolera ett objekt

5.1 Metodik

Friläggning är konsten att isolera ett enskilt objekt och rita ut *alla* krafter som verkar på det. Det är det grundläggande första steget i de flesta mekanikproblem.

1. **Välj ett objekt** att frilägga (andra kroppar ritas som streckade).

2. Rita alla krafter som verkar på objektet:

- *Fjärrverkande krafter*: tyngdkraft $\vec{G} = m\vec{g}$ (alltid rakt nedåt från masscentrum), elektriska och magnetiska krafter.
- *Kontaktkrafter* i alla kontaktytor: normalkraft $\vec{N}$ (vinkelrätt från ytan), friktionskraft $\vec{f}$ (parallell med ytan, mot rörelsen), spännkraft i rep.

3. Välj koordinatsystem — ofta smart att ha en axel längs rörelseriktningen.**4. Ställ upp NII** i varje led: $\sum F_x = ma_x$, $\sum F_y = ma_y$.**5.2 Vanliga misstag****⚠ Vanliga misstag vid friläggning**

- Glömma tyngdkraften — den finns alltid!
- Rita krafter som inte existerar, t.ex. en “rörelseriktningskraft”.
- Förväxla N och mg — de är bara lika stora på horisontellt underlag utan extra vertikala krafter.
- Rita NII-par på *samma* kropp — de verkar alltid på *olika* kroppar.

☰ Exempel: Låda på lutande plan

En låda glider nedför ett lutande plan med vinkeln θ . Friktionskoefficient μ_k .

Friläggning med koordinater längs planet (x) och vinkelrätt mot det (y):

- Tyngdkraft: mg rakt nedåt $\rightarrow$ komponenter $mg \sin \theta$ längs planet, $mg \cos \theta$ vinkelrätt.
- Normalkraft N vinkelrätt ut från planet.
- Kinetisk friktion $f_k = \mu_k N$ längs planet, uppåt (mot rörelsen).

$$\text{NII: } \sum F_x = mg \sin \theta - \mu_k N = ma \quad \sum F_y = N - mg \cos \theta = 0 \implies N = mg \cos \theta$$

$$\text{Sätt in: } a = g \sin \theta - \mu_k g \cos \theta = g(\sin \theta - \mu_k \cos \theta)$$

Läsning

- Chapter 4 Newton's Laws of Motion
- Chapter 5 Applying Newton's Laws

Se även

- [Friktion](#) — statisk och kinetisk friktionskraft
 - [Arbete och energi](#) — energiperspektiv på krafter och rörelse
 - [Kraftmoment och statik](#) — jämvikt för stelkroppar med rotation
 - [Cirkelrörelse](#) — Newtons lagar tillämpade på cirkulär rörelse
-

Resurser

Videor

- [Khan Academy — Newton's Laws](#) — alla tre lagar med exempel

Wikipedia

- [Newton's laws of motion](#)
- [Free body diagram](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 4–5
 - Fysika upplaga 5, kap 4–5
 - Kompendium i Komplettering till Fysik 1: Friläggning (kap 3)
-

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-10, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-11-10 – MEK3

Newtons 1:a lag (NI)

Om ingen nettokraft verkar på ett föremål, rör det sig med konstant hastighet (fart, riktning) – accelererar ej. Detta kallas även **jämvikt**: $\sum \vec{F} = 0$, $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum F_z = 0$

Newtons 2:a lag (NII)

Om en nettokraft påverkar en kropp accelererar kroppen i nettokraftens riktning: $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$

Exempel: Fallande låda – friläggning, NII i y-led: $\sum F_y = m \cdot a_y \implies a_y = -g = -9,82 \text{ m/s}^2$

Massa och tyngd (kap 4.4)

Massa är en egenskap hos en kropp (kropp = föremål). Tyngden beror på gravitationen (mg , $g = 9,82 \text{ m/s}^2$ i Sverige).

	Jordens yta	Månens yta
Massa (kg)	80	80
Vikt (N)	$80 \times 9,82$	$80 \times 1,62$

Newtons 3:e lag (NIII)

Om kropp A verkar på kropp B med kraft $\vec{F}$, verkar kropp B på A med $-\vec{F}$.

- Kraft och motkraft verkar på **olika** kroppar
- I kontaktytor gäller alltid NIII (utan motivering)
- NIII gäller **ej** mellan tyngdkraft och normalkraft

Friläggning

- Man frilägger en del i taget (andra kroppar kan streckas)
- Alla krafter som verkar på delen ritas ut:
 - Fjärrverkande krafter (tyngdkraft, magnetiska- och elektriska krafter)
 - Kontaktkrafter i alla kontaktytor mot omgivningen (N, f)
- Lägg in lämpligt koordinatsystem

Friktion

19 okt. 2026, 3 min läsning

UTKAST

#mekanik #dynamik #friktion

Kapitel: 5.3 · Kurs: F0004T Förkunskaper: Newtons lagar

1. Statisk friktion

1.1 Definition

Definition: Statisk friktion

Statisk friktion är den kraft som hindrar ett stilla objekt från att börja glida. Den anpassar sig till den applicerade kraften upp till ett maximalt värde:

$$f_s \leq \mu_s N$$

På gränsen till *glidning* ("fullt utbildad friktion"):

$$f_s = \mu_s N$$

där μ_s är den statiska friktionskoefficienten och N är normalkraften.

Intuition: Friktion som reaktionskraft

Statisk friktion beter sig som en reaktion — den är exakt lika stor som den applicerade kraften ända tills den inte längre kan hålla emot. Sedan börjar objektet glida.

2. Kinetisk friktion

2.1 Definition

Definition: Kinetisk friktion

Kinetisk friktion är den kraft som verkar på ett objekt i *rörelse* mot underlaget:

$$f_k = \mu_k N$$

Här gäller ett *likhetstecken* — kinetisk friktion har ett bestämt värde, till skillnad från statisk friktion.

3. Viktiga observationer

3.1 Statisk vs kinetisk friktionskoefficient

Nästan alltid gäller:

$$\mu_k < \mu_s$$

Det är svårare att *starta* rörelsen än att *hålla* den igång.

Intuition: ABS-bromsar

ABS-bromsar (Anti-lock Braking System) håller hjulen precis på gränsen till låsning. Anledningen är att $\mu_s > \mu_k$ — rullande friktion (statisk) ger mer bromsverkan än glidande (kinetisk). Låser hjulen tappar du styrning *och* bromseffekt.

3.2 Friktionskraftens riktning

Friktionskraften är alltid riktad **mot rörelsen** (kinetisk) eller mot *tendensen* till rörelse (statisk).

3.3 Vad friktionen beror (och inte beror) på

Beror på

Beror EJ på

Normalkraften N

Kontaktytans storlek (förvånande!)

Beror på**Beror EJ på**Materialens egenskaper (μ)

Hastigheten (för kinetisk friktion, approximativt)

⚠ Vanligt misstag: Större yta ger mer friktion

Intuitionen säger att mer kontaktyta ger mer friktion, men det stämmer inte för de flesta material. Det som räknas är normalkraftens storlek, inte hur stor ytan är. (Undantag finns vid mycket mjuka material eller extremt höga kontakttryck.)

4. Tillämpning

4.1 Låda som puttats på ett horisontellt underlag

≡ Exempel: Gränsen till glidning

En låda med massan $m = 10$ kg ligger på ett golv. Den statiska friktionskoefficienten är $\mu_s = 0,40$.

Vilken kraft krävs för att börja flytta lådan?

Normalkraft: $N = mg = 10 \times 9,82 = 98,2$ N

Maximal statisk friktion: $f_{s,max} = \mu_s N = 0,40 \times 98,2 = 39,3$ N

Det krävs en kraft större än 39,3 N för att börja flytta lådan.

Läsning

- 5.3 Friction Forces

Se även

- **Newtons lagar** — friläggning och kraftekvationer
- **Arbete och energi** — friktion utför negativt arbete och omvandlar rörelseenergi till värme

- [Kraftmoment och statik](#) — friktion i statikproblem

Resurser

Wikipedia

- [Friction](#) [↗]
- [Coefficient of friction](#) [↗]

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 5.3
- Fysika upplaga 5, kap 5

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-11, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-11-11 – MEK4

Jämvikt (repetition)

Kan något vara i jämvikt men ändå i rörelse? **Ja** – om $\sum F_x = \sum F_y = 0$.

Exempel (5.3): Ring med tre snören: $\sum F_x = 0 \implies T_2 = T_3 \cos x$ $\sum F_y = 0 \implies T_1 = T_3 \sin x$

Statisk friktion (5.3, ingen rörelse)

Stillastående låda som putttas med kraft F , hålls av friktionskraft f : $f \leq \mu_s N$

“Fullt utbildad friktion” (på gränsen till att glida): $f = \mu_s N$ där μ_s = statisk friktionskoefficient

Kinetisk friktion (vid rörelse)

$f = \mu_k N$ där μ_k = kinetisk friktionskoefficient

Allmänt

Oftast gäller $\mu_k < \mu_s$ – därför finns ABS-bromsar (maximerar bromsverkan genom att hålla μ_s aktivt).

Friktionskraft är alltid riktad **mot rörelsen** (eller tendensen till rörelse).

Dynamik vid cirkulär rörelse (5.4)

nt -koordinater vid cirkulär rörelse: $a_n = \frac{v_L^2}{R}$

NII i normalriktning: $\sum F_n = m \cdot a_n = m \cdot \frac{v_L^2}{R}$

Exempel (5.21): Bil som svänger – rita koordinatsystem i masscentrum med n -axel riktad in mot rotationscentrum och y -axel rakt uppåt (vid friläggning bakifrån).

Arbete och kinetisk energi

19 okt. 2026, 4 min läsning

UTKAST

#fysik #mekanik #energi #arbete

Kapitel: 6.1–6.4, 7.1–7.4 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Newtons lagar, Integraler

1. Mekaniska energiprincipen

1.1 Den grundläggande satsen

Mekaniska energiprincipen

Den totala mekaniska energin bevaras om inga “övriga” (icke-konservativa) krafter utför arbete:

$$K_1 + V_{g1} + V_{e1} = K_2 + V_{g2} + V_{e2} + W_{\text{övr}}$$

utan övriga krafter:

$$K_1 + V_1 = K_2 + V_2$$

Termer som räknas som “övriga krafter” och ger $W_{\text{övr}} \neq 0$: friktion, luftmotstånd, motorer, muskler.

Intuition: Energibokföring

Energi kan inte skapas eller förstöras — bara omvandlas. Mekanisk energiprincipen är ett “bokslut” mellan olika energiformer. Friktion omvandlar kinetisk energi till värme, varför den hamnar på höger sida som en “kostnad”.

2. Energiformer

2.1 Kinetisk energi

Definition: Kinetisk energi

Rörelseenergi för ett föremål med massa m och fart v :

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

Notera att v är kvadrerad — dubbla hastigheten ger fyra gånger så mycket kinetisk energi.

2.2 Gravitationspotentiell energi

Definition: Gravitationspotentiell energi

Energi lagrad i ett föremåls läge i ett gravitationsfält:

$$V_g = mgh$$

där h är höjden mätt från en vald referensnivå.

Välj referensnivån ($h = 0$) så att beräkningarna blir så enkla som möjligt — det spelar ingen roll var du sätter den, bara att du är konsekvent.

2.3 Elastisk energi (fjäder)

Definition: Elastisk potentiell energi

Energi lagrad i en deformerad fjäder:

$$V_e = \frac{1}{2}kx^2$$

där k är fjäderkonstanten (N/m) och x är utdragningen från jämviktsläget.

3. Arbete

3.1 Definition

Definition: Mekaniskt arbete

Arbete är hur energi överförs till eller från ett system via en kraft.

Konstant kraft:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos \phi$$

där ϕ är vinkeln mellan kraftriktningen och förflyttningen.

Tre viktiga specialfall:

Vinkel ϕ	Arbete	Tolkning
0°	$W = F s > 0$	Kraft i rörelseriktningen — energi tillförs
90°	$W = 0$	Kraft vinkelrätt mot rörelsen — inget arbete
180°	$W = -F s < 0$	Kraft mot rörelsen — energi bortförs

3.2 Varierande kraft

$$W = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

3.3 Arbete-energisatsen

Arbete-energisatsen

Det totala arbetet på ett objekt är lika med förändringen i dess kinetiska energi:

$$W_{\text{netto}} = \Delta K = K_2 - K_1$$

4. Hookes lag och fjäderarbete

4.1 Hookes lag

Definition: Hookes lag

En fjäders återställande kraft är proportionell mot utdragningen:

$$F = -kx$$

Minustecknet visar att kraften alltid pekar mot jämviktsläget.

4.2 Arbete för att töja en fjäder

$$W = \int_{x_1}^{x_2} kx \, dx = \frac{1}{2}kx_2^2 - \frac{1}{2}kx_1^2$$

Från jämviktsläget till utdragning x : $W = \frac{1}{2}kx^2 = V_e$

Exempel: Boll fälls från en höjd

En boll med massan $m = 0,5 \text{ kg}$ fälls från höjden $h = 5,0 \text{ m}$. Ingen luftmotstånd. Vad är farten precis innan den träffar marken?

Välj referensnivå vid marken. Tillstånd 1 = toppen, tillstånd 2 = marken.

Energibevarande ($W_{\text{övr}} = 0$):

$$K_1 + V_{g1} = K_2 + V_{g2}$$

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + 0$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,82 \times 5,0} \approx 9,9 \text{ m/s}$$

5. Effekt

5.1 Definition

Definition: Effekt

Effekt är arbete per tidsenhet — hur snabbt energi överförs:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Enhet: Watt [W] = J/s

Om kraft och hastighet är parallella:

$$P = Fv$$

Exempel: Effekt mot luftmotstånd

En bil kör med farten $v = 30 \text{ m/s}$ mot ett luftmotstånd på $F_{\text{luft}} = 500 \text{ N}$.

Effekten som behövs bara för att övervinna luftmotståndet:

$$P = Fv = 500 \times 30 = 15\,000 \text{ W} = 15 \text{ kW}$$

Läsning

- [Chapter 6 Work and Kinetic Energy](#)

Se även

- [Newtons lagar](#) — kraftperspektiv på rörelse
- [Friktion](#) — friktionens roll som förlust av mekanisk energi
- [Rörelsemängd och impuls](#) — alternativt perspektiv på kraftens verkan
- [Termodynamikens första lag](#) — energibevarande i termodynamiken

Resurser

Videor

- [Khan Academy — Work and Energy](#) — arbete, kinetisk energi och energibevarande

Wikipedia

- [Work \(physics\)](#)
- [Kinetic energy](#)
- [Potential energy](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 6–7
- Fysika upplaga 5, kap 6–7

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-14, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-11-14 – MEK6

Mekaniska energiprincipen (Energisatsen)

$$K_1 + U_{g1} + U_{e1} = K_2 + U_{g2} + U_{e2} + W_{\text{övr}}$$

Arbete av övriga krafter: $W_{\text{övr}} = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$ (friktionskraft, luftmotstånd, spännkraft m.fl.)

6.1 Arbete

$$W = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F \cdot s \cdot \cos \phi$$

Skalarprodukten kan tolkas som kraftens komponent i sträckans riktning (eller vice versa). Om kraften är motriktad mot sträckan → negativt arbete.

6.2 Arbete-energisatsen (härledning)

Från rörelselagen vid konstant acc: $v_2^2 = v_1^2 + 2as$, ger $a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$.

NII multiplicerat med sträcka s : $\sum F_x \cdot s = m \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \implies W = K_2 - K_1$

6.3 Arbete vid varierande kraft – Fjäder

Hookes lag: $F = -kx$

Arbete från x_1 till x_2 : $W = \int_{x_1}^{x_2} kx \, dx = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}$

Från ospänt läge ($x_1 = 0$): $W = \frac{kx^2}{2} = U_e$

6.4 Effekt

$$P = \frac{W}{t} = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Enhet: Watt (W) = J/s. Vid parallell kraft och hastighet: $P = F \cdot v$.

Potentiell energi och energibevarande

19 okt. 2026, 1 min läsning

UTKAST

#fysik #mekanik #energi

Kurser: F0004T, F0006T **Förkunskaper:** Arbete och kinetisk energi

Konservativa krafter

En kraft $\vec{F}$ är **konservativ** om arbetet är oberoende av väg. Då finns en potentiell energi U med

$$\vec{F} = -\nabla U$$

Vanliga potentialer

- Tyngdkraft nära jorden: $U = mgh$
- Fjäder: $U = \frac{1}{2}kx^2$
- Gravitation: $U = -Gm_1m_2/r$

Energibevarande

Om alla verkande krafter är konservativa:

$$E = K + U = \text{konst.}$$

Vid närvarande icke-konservativa krafter (friktion) ges

$$W_{\text{icke-kons}} = \Delta(K + U)$$

Läsning

- Chapter 7 Potential Energy and Energy Conservation

Se även

- Arbete och kinetisk energi
- Newtons lagar

- Gravitation
-

Rörelsemängd och kollisioner

19 okt. 2026, 4 min läsning

UTKAST

#fysik #mekanik #dynamik #kollisioner

Kapitel: 8.1–8.4 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Newtons lagar, Arbete och energi

1. Rörelsemängd

1.1 Definition

Definition: Rörelsemängd

Rörelsemängden är produkten av massa och hastighet — en vektor i rörelsens riktning:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

1.2 Newtons 2:a lag i rörelsemängdsform

Newton formulerade ursprungligen sin andra lag som:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

“Kraft är ändringshastigheten av rörelsemängd.” För konstant massa ger detta $\sum \vec{F} = m\vec{a}$.

2. Impuls

2.1 Definition

Definition: Impuls

Impulsen $\vec{J}$ är den totala “knuffen” ett objekt får från en kraft under en tidsperiod:

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F} dt = \Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

Vid konstant kraft:

$$\vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Intuition: Varför airbags fungerar

Vid en krock måste rörelsemängden ändras från mv till 0 – impulsen Δp är bestämd. Med en airbag tar det *längre tid* (Δt ökar), vilket innebär att kraften $F = \Delta p / \Delta t$ minskar. Minskad kraft = minskad skada.

Stötkrafter kan försumma andra krafter

Under en stöt är kontaktkrafterna enorma och verkar under kort tid. Det innebär att tyngdkraft och friktion ofta kan försummas under själva stöten – rörelsemängden bevaras ändå approximativt.

3. Rörelsemängdens bevarande

3.1 Bevarandelagen

Rörelsemängdens bevarandes

Om nettot av yttre krafter på ett system är noll, är systemets totala rörelsemängd konstant:

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0 \implies \vec{p}_{tot} = \text{konstant}$$

Det vill säga:

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}$$

Exempel: Gevär och kula

Ett gevär med massan $m_g = 3,00 \text{ kg}$ avlossar en kula med massan $m_k = 5,00 \text{ g} = 0,005 \text{ kg}$ och farten $v_{k2} = 300 \text{ m/s}$.

Systemet (gevär + kula) är i vila vid $t = 0$, så $\vec{p}_1 = 0$.

Rörelsemängden bevaras ($\sum F_{ext} \approx 0$ under skottet):

$$0 = m_g v_{g2} + m_k v_{k2}$$

$$v_{g2} = -\frac{m_k}{m_g} v_{k2} = -\frac{0,005}{3,00} \times 300 = -0,5 \text{ m/s}$$

Geväret rekylar bakåt med $0,5 \text{ m/s}$.

4. Stötar

4.1 Fullständigt inelastisk stöt

Definition: Fullständigt inelastisk stöt

Kropparna *fastnar* i varandra efter stöten och rör sig med gemensam slutfart:

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = (m_A + m_B) \vec{v}_2$$

Rörelsemängden bevaras, men kinetisk energi bevaras EJ — en del omvandlas till värme, ljud och deformation.

4.2 Elastisk stöt

Definition: Elastisk stöt

Stöt utan energiförlust — *båda* rörelsemängd och kinetisk energi bevaras:

$$\vec{p}_{A1} + \vec{p}_{B1} = \vec{p}_{A2} + \vec{p}_{B2} \quad K_{A1} + K_{B1} = K_{A2} + K_{B2}$$

Viktigt resultat: Vid elastisk stöt i 1D byter den relativa hastigheten tecken:

$$v_{B2} - v_{A2} = -(v_{B1} - v_{A1})$$

Specialfall — B i vila före stöt:

$$v_{A2} = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v_{A1}, \quad v_{B2} = \frac{2m_A}{m_A + m_B} v_{A1}$$

Massförhållande	Konsekvens
$m_A = m_B$	A stannar helt, B får all rörelse (biljard!)
$m_A \gg m_B$	A nästan opåverkad, B flyger iväg snabbt
$m_A \ll m_B$	A studsar tillbaka, B knappt påverkad

4.3 Stöttal – Verkliga stötar

$$e = \frac{\text{relativ hastighet efter stöt}}{\text{relativ hastighet före stöt}}$$

Stöttal e	Typ av stöt
$e = 0$	Fullständigt inelastisk
$e = 1$	Elastisk
$0 < e < 1$	Delvis elastisk (de flesta verkliga stötar)

☰ Exempel: Biljard

I biljard är stötarna nästan perfekt elastiska ($e \approx 1$) och massorna är lika ($m_A = m_B$). Resultatet är att bollen som träffar stannar (nästan helt) och den träffade bollen tar all rörelse. Klassiskt resultat av elastisk stöt med lika massor!

Läsning

- Chapter 8 Momentum, Impulse, and Collisions

Se även

- [Newtons lagar](#) — kraftlagarna bakom impuls och bevarandet
- [Arbete och energi](#) — energi vid stötar

Resurser

Videor

- [Khan Academy — Momentum](#) — rörelsemängd, impuls och stötar

Wikipedia

- [Momentum](#)
- [Elastic collision](#)
- [Inelastic collision](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 8
- Fysika upplaga 5, kap 8

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-18, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-11-18 – MEK7

8.1 Rörelsemängd och impuls

$$\vec{p} = m\vec{v} \implies p_x = m \cdot v_x, \quad p_y = m \cdot v_y$$

$$\text{Allmän form av NII: } \sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\text{Om } m = \text{konst: } \implies \frac{dm}{dt} = 0 \implies \sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\text{Impuls: } \vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F} dt = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta \vec{p}$$

$$\text{Vid konstant nettokraft: } \vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

En kraft som verkar under en viss tid ändrar rörelsemängden ($m \cdot v$).

Stötkrafter är enorma $\rightarrow$ man kan oftast försumma andra krafter under stöten.

8.2 Rörelsemängdens bevarande

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0 \implies \frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \implies \vec{p} = \text{konstant}$$

Exempel – Gevär: $m_g = 3,00 \text{ kg}$, $m_k = 5,00 \text{ g}$, $v_{k2} = 300 \text{ m/s}$

Gevär rekylar fritt ($\sum \vec{F}_{ext} = 0$): $m_g v_{g2} + m_k v_{k2} = 0 \implies v_{g2} = -0,5 \text{ m/s}$

8.3 Fullständig inelastisk stöt

Kropparna fastnar vid stöten: $(m_A + m_B)\vec{v}_2 = m_A\vec{v}_{A1} + m_B\vec{v}_{B1}$

Obs: Kinetisk energi bevaras ej.

8.4 Elastisk stöt

Ingen energiförlust:

- $K_{A1} + K_{B1} = K_{A2} + K_{B2}$ (rörelsemängd)
- $\vec{p}_{A1} + \vec{p}_{B1} = \vec{p}_{A2} + \vec{p}_{B2}$ (rörelsemängden)

Specialfall 1D: Den relativa hastigheten byter tecken: $v_{B2} - v_{A2} = -(v_{B1} - v_{A1})$

Specialfall – B i vila: $v_{A2} = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} \cdot v_{A1}$, $v_{B2} = \frac{2m_A}{m_A + m_B} \cdot v_{A1}$

Stöttal (verkliga stötar): $e = \frac{\text{relativ hastighet efter stöt}}{\text{relativ hastighet före stöt}}$

- $e = 0 \implies$ fullständigt inelastisk stöt
- $e = 1 \implies$ elastisk stöt
- $0 \leq e \leq 1$ för verkliga stötar

Kraftmoment och jämvikt

19 okt. 2026, 5 min läsning

UTKAST

#fysik #mekanik #statik #rotation

Kapitel: 11.1–11.3 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Newtons lagar, Friktion

1. Kraftmoment

1.1 Definition

Definition: Kraftmoment

Kraftmomentet M_A av en kraft F kring en rotationspunkt A mäter kraftens förmåga att orsaka rotation:

$$M_A = F \times l_{\perp}$$

där $l_{\perp}$ är *momentarmen* — det vinkelräta avståndet från rotationspunkten till kraftens *verkningslinje*.

1.2 Två beräkningsmetoder

Metod 1 — Tangentiell kraftkomponent:

Dela upp kraften i en komponent längs radien och en vinkelrätt (tangentiell). Bara den tangentiella komponenten bidrar till rotation:

$$M = F_t \times r = F \cos \alpha \times r$$

Metod 2 — Momentarm:

Förläng kraftens verkningslinje. Mät det vinkelräta avståndet från rotationspunkten till denna linje:

$$M = F \times d_{\perp}$$

Metoderna är ekvivalenta — välj den som är enklast för det specifika problemet.

1.3 Tecken för kraftmoment

Välj en positiv rotationsriktning (konventionellt: moturs är positivt). Moment som ger rotation i den positiva riktningen är positiva, övriga negativa.

2. Jämviktsvillkor för stelkroppar

2.1 De tre villkoren

Jämviktsvillkor

För att en stelkropp ska vara i fullständig jämvikt (varken linjär- eller rotationsacceleration) måste tre villkor vara uppfyllda:

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum M_A = 0$$

Momentekvationen $\sum M_A = 0$ kan skrivas kring *valfri* punkt — smart val förenklar beräkningarna.

Val av momentpunkt

Välj momentpunkten där det finns många *okända* krafter som angriper — de ger då inga bidrag till momentekvationen och faller bort ur ekvationen.

3. Speciella begrepp

3.1 Kraftpar

Definition: Kraftpar

Ett kraftpar är två lika stora, motriktade krafter med *olika* verkningslinjer. Nettokraften är noll, men kraftparet ger ett nettomoment oberoende av vald momentpunkt.

Betecknas $\curvearrowright$ (eller M om momentets storlek anges).

Exempel: Vrida en ratt, skruva loss ett lock.

3.2 Tvåkraftsdel

Definition: Tvåkraftsdel

Om exakt två krafter verkar på en kropp i jämvikt, måste krafterna:

- Vara lika stora och motriktade.
- Ha en gemensam verkningslinje (annars uppstår ett nettomoment).

Tvåkraftsdelar är användbara för att snabbt bestämma krafterns riktning i konstruktioner.

4. Problemlösningsmetodik för statik

1. **Gör en skiss** med mått och ange alla kända storheter.
2. **Identifiera** vad som söks.
3. **Bestäm** om hela systemet eller ett delsystem ska friläggas (om inre krafter söks, måste systemet delas).
4. **Frilägga:**
 - Rita *enbart* externa krafter på den valda delen.
 - Lägg in koordinatsystem.
5. **Välj momentpunkt** — välj en punkt där okända krafter angriper.
6. **Ställ upp jämviktsekvationer:** $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M_A = 0$.
7. **Lös** ekvationssystemet.
8. **Utvärdera:** Är enheterna korrekta? Är svaret rimligt i storlek och tecken?

Exempel: Balk på stöd

En horisontell balk med längden $L = 4,0$ m och vikt $G = 200$ N är upplagd på stöd vid ena änden (A) och på ett stöd vid $x = 3,0$ m (B).

Välj momentpunkt vid A ($\sum M_A = 0$):

$$N_B \times 3,0 - G \times 2,0 = 0$$

$$N_B = \frac{200 \times 2,0}{3,0} = 133 \text{ N}$$

Från $\sum F_y = 0$:

$$N_A + N_B = G \implies N_A = 200 - 133 = 67 \text{ N}$$

⚠ Vanligt misstag: Fel verkningslinje

Det är kraftens *verkningslinje* som avgör momentarmen — inte var kraften angriper. Förläng alltid kraftpilen till en linje och mät det vinkelräta avståndet från rotationspunkten till den linjen.

Läsning

- [10.1 Torque](#)
- [Chapter 11 Equilibrium and Elasticity](#)

Se även

- [Newtons lagar](#) — friläggning och kraftekvationer
- [Friktion](#) — friktionens roll i statikproblem
- [Rotation](#) — rotationsdynamik när systemet inte är i jämvikt

Resurser

Wikipedia

- [Torque](#)
- [Static equilibrium](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 11
- Fysika upplaga 5, kap 11
- Kompendium i Komplettering till Fysik 1: K3.1–K3.3 (kraftpar, tvåkraftsdel, delsystem)

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-24 och 2025-11-25, F0004T Föreläsare: Erik Elfgrén

2025-11-24 – MEK8: Kraftmoment och statik**Kraftmoment**

$$M_A = F \times l$$

Metod 1 – Tangentiell komponent: $F_t = F \cos \alpha \implies M_A = F_t \times r = F \cos \alpha \times r$

Metod 2 – Det vinkelräta avståndet till kraftens verkningslinje: $M_A = F \times d_{\perp}$

11.3 Problemlösning statik (statik = jämvikt)

1. Gör en skiss av problemet och sätt ut mått
2. Vad efterfrågas?
3. Kan man frilägga problemet i sin helhet? Eller måste man dela upp i separata friläggningar?
 - Om något inne i systemet söks: Frilägga delen
 - a) Rita bara externa krafter på delen; tänk på kontaktytor mot omgivning; sätt ut koordinatsystem
 - b) Beräkna komponenter (vid behov)
 - c) Bestäm momentpunkt (välj ofta en punkt med okända/ointressanta krafter)
 - d) Ställ upp och räkna jämvikt: $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M_A = 0$
 - e) Utvärdera svaret: värdesiffror, enhet, rimlighet

2025-11-25 – MEK9: Kraftpar, tvåkraftsdel, delsystem (Kompendium K3)**K3.1 Kraftpar**

Två lika stora och motriktade krafter som **ej** har samma verkningslinje. Den resulterande kraften är noll, men kraftparet ger ett resulterande moment oberoende av momentpunktens placering. Betecknas $\curvearrowright$.

Exempel 3.1 – Hjul mot golv med statisk friktionskoefficient $\mu_s = 0,40$, massa $m = 25$ kg:

Friläggning ger: $\sum \tau_B = 0 \Rightarrow \tau - mgr + Nr - fr = 0 \quad (1) \quad f = \mu_s N \quad (2)$

Med $N = \frac{mg}{1 + \mu_s \tan \theta}$ och numeriska värden: $\tau \approx 19,81 \text{ N} \cdot \text{m} \approx 20 \text{ N} \cdot \text{m}$

K3.2 Tvåkraftsdel

Om exakt två krafter verkar på en kropp i jämvikt:

- Krafterna är lika stora men motriktade
- Krafterna har en gemensam verkningslinje

K3.3 Uppdelning i delsystem

Tekniska konstruktioner består ofta av flera delar som måste friläggas separat.

Exempel 3.3 – Ram med belastning 600 N, beräkning av krafter i leder:

Frilägg hela ramen ($\sum \tau_A = 0$): $F_E \cdot 0,6 - 600 \cdot 0,4 = 0 \implies F_E = 900 \text{ N}$

Frilägg del CD ($\sum \tau_D = 0$): $C_x \cdot 0,2 - 600 \cdot 0,4 = 0 \implies C_x = 1200 \text{ N}$

Frilägg del ABC och beräkna: $C_y = 1800 \text{ N}$

Total kraft i led C: $F_C = \sqrt{1200^2 + 1800^2} = 2160 \text{ N} \approx 2,2 \text{ kN}$

Temperatur och värme

19 okt. 2026, 1 min läsning

UTKAST

#fysik #termodynamik

Kurs: F0004T

Temperatur

Mått på partiklarnas genomsnittliga rörelseenergi. SI-enhet: kelvin (K).

$$T_K = T_{\text{°C}} + 273,15$$

Värme

Värme Q är energi som överförs på grund av temperaturskillnad. Enhet: joule (J).

Värmekapacitet

$$Q = mc\Delta T$$

där c är specifik värmekapacitet.

Fasövergångar

$$Q = mL$$

där L är smält- eller förångningsvärme.

Läsning

- Chapter 17 Temperature and Heat

Se även

- Ideala gaser
- Värmetransport

- Termodynamikens första huvudsats
-

Värmetransport

19 okt. 2026, 4 min läsning

UTKAST

#fysik #termodynamik #värmeöverföring

Kapitel: 17.1–17.4 · Kurs: F0004T Förkunskaper: Integraler

1. Tre mekanismer för värmeöverföring

Mekanism	Beskrivning	Kräver medium?	Exempel
Ledning	Molekyler överför energi via kollisioner	Ja	Spisplatta → kastrull
Konvektion	Varm materia förflyttar sig fysiskt	Ja (fluid)	Fjärrvärme, havsströmmar
Strålning	Elektromagnetiska vågor	Nej	Solen, eld, kroppsvärme

2. Värmeledning

2.1 Fouriers lag

Definition: Värmeflöde vid ledning

Värmeflödet (energi per sekund) genom ett material:

$$H = \frac{Q}{\Delta t} = kA \frac{T_H - T_L}{L} = -kA \frac{dT}{dx}$$

där:

- H = värmeflöde [W]
- k = värmeledningsförmåga [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] – materialegenskap
- A = tvärsnittsarea [m^2]
- L = materialets tjocklek [m]
- $T_H - T_L$ = temperaturdifferens [K]

Värmeflödet är proportionellt mot temperaturdifferensen och arean, och omvänt proportionellt mot tjockleken.

2.2 Termisk resistans

Definition: Termisk resistans

Analogt med elektrisk resistans definieras termisk resistans:

$$R = \frac{L}{k} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Värmeflödet skrivs då:

$$H = \frac{A}{R}(T_H - T_L)$$

Jämför med Ohms lag: $I = V/R$. Temperaturdifferens driver värmeflöde precis som spänning driver ström.

2.3 Seriekoppling

För lager i serie (t.ex. vägg med isolering):

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Intuition: Flaskhals vid seriekoppling

Vid seriekoppling begränsar det lager med högst R (lägst k) hela flödet. Stål leder värme mycket bättre än glas – kombineras de i serie är det glaset som begränsar. Lösa problem med termisk resistans är ofta enklare än att använda grundformeln direkt.

☰ Exempel: Dubbelglasruta

En dubbelglasruta har två glasskivor ($k = 0,8 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, $L = 4 \text{ mm}$ vardera) med ett luftmellanrum ($k = 0,025 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, $L = 12 \text{ mm}$).

$$R_{glas} = \frac{L}{k} = \frac{0,004}{0,8} = 0,005 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{luft} = \frac{0,012}{0,025} = 0,48 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{tot} = 2 \times 0,005 + 0,48 = 0,49 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Luftmellanrummet dominerar totalt — det är isoleringseffekten.

3. Konvektion

3.1 Grundläggande egenskaper

Konvektion innebär att varm materia *fysiskt förflyttas* och tar med sig energi.

Två typer:

- **Påtvungad konvektion:** Pump, fläkt, hjärtat — en extern mekanism driver flödet.
- **Naturlig (egna) konvektion:** Varm luft stiger (lägre densitet), kall sjunker — densitetsskillnader driver flödet.

Kvalitativa samband: Värmeöverföringen är:

- Proportionell mot kontaktarean.
- Större vid stor temperaturdifferens.
- Mer effektiv vid påtvungad konvektion.

Konvektion är matematiskt komplex att beräkna exakt och behandlas kvalitativt i kursen.

4. Strålning

4.1 Stefan-Boltzmanns lag

Definition: Strålning

Alla fysikaliska kroppar med temperatur $T > 0$ sänder ut elektromagnetisk strålning. Värmeflödet ut från en kropp ges av:

$$H = Ae\sigma T^4$$

där:

- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – Stefan-Boltzmanns konstant
- e = emissivitet ($0 \leq e \leq 1$)
- T = **absolut temperatur i Kelvin** (ej Celsius!)

Emissivitet e Vad det innebär

$e = 1$	Svart kropp – perfekt strålare och absorbator
$e = 0$	Perfekt reflektor

4.2 Nettostrålning

En kropp tar också emot strålning från omgivningen. Nettoflödet ut:

$$H_{\text{netto}} = Ae\sigma(T^4 - T_{\text{omg}}^4)$$

Temperatur i Kelvin!

Stefan-Boltzmanns lag kräver *absolut temperatur* i Kelvin. Att använda Celsius är ett vanligt fel som ger helt fel svar.

Intuition: T^4 är dramatiskt

Strålningen ökar med *fjärde potensen* av temperaturen. Dubbla den absoluta temperaturen $\rightarrow$ 16 gånger mer strålning. Det förklarar varför strålning dominerar vid höga temperaturer (t.ex. solen, ugnar) medan ledning och konvektion dominerar vid lägre temperaturer.

Läsning

- 17.6 Mechanisms of Heat Transfer

Se även

- [Ideala gaser](#) — temperatur och energiinnehåll i gaser
- [Termodynamikens första lag](#) — energibalansen för värmeförfärd

Resurser

Wikipedia

- [Heat transfer](#)
- [Thermal conduction](#)
- [Stefan–Boltzmann law](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 17
- Fysika upplaga 5, kap 17

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-11-28, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-11-28 – TERM02

Tre mekanismer (kap 17)

1. Ledning: $H = \frac{Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \frac{(T_H - T_L)}{L} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$ k = värmeledningsförmåga [W/(m · K)]

Termisk resistans: $R = \frac{L}{k}$, seriekoppling: $R_{tot} = R_1 + R_2 + \dots$

Flaskhalsen: vid seriekoppling begränsar materialet med högst R hela flödet. Lösa med termisk resistans är ofta enklare.

2. Konvektion:

- Påtvingad: pump, fläkt, hjärtat
- Egen: vind, havsström (densitetsskillnad) Proportionell mot area, grösse $\Delta T \rightarrow$ mer effektiv; påtvingad > naturlig.

3. Strålning: $H = A \cdot e \cdot \sigma \cdot T^4$, $H_{netto} = A \cdot e \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_{omgivning}^4)$ $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, e = emissivitet ($0 \leq e \leq 1$), temperatur i kelvin!

Strålning dominerar vid mycket höga temperaturer.

Medieegenskaper

19 okt. 2026, 1 min läsning

UTKAST

#fysik #elektromagnetism #material

Kurs: F0051T **Förkunskaper:** Fysikaliska samband och Maxwells ekvationer

Hur ett material påverkar EM-fält beskrivs av tre parametrar:

Parameter	Storhet	Tolkning
$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$	Permittivitet	Respons mot elektriskt fält
$\mu = \mu_r \mu_0$	Permeabilitet	Respons mot magnetfält
σ	Konduktivitet	Ledningsförmåga

Vågutbredning

I ett linjärt medium rör sig EM-vågor med hastighet

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

Brytningsindex: $n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} \approx \sqrt{\varepsilon_r}$ för ickemagnetiska material.

Se även

- Fysikaliska samband och Maxwells ekvationer
- Hur fungerar en antenn

Termodynamikens första huvudsats

19 okt. 2026, 4 min läsning

UTKAST

#fysik #termodynamik #energi

Kapitel: 19.1–19.5 · Kurs: F0004T Förkunskaper: Ideala gaser, Integraler

1. Grundprincipen

1.1 Formulering

Första huvudsatsen (1:a HS)

Energi kan varken skapas eller förstöras — den kan bara omvandlas. För ett termodynamiskt system:

$$Q = \Delta U + W$$

- Q = värme som tillförs systemet [J]
- ΔU = ändring i inre energi [J]
- W = arbete utfört av systemet [J]

1.2 Teckenkonvention

Storhet	Positivt (> 0)	Negativt (< 0)
Q	Värme tillförs systemet	Värme bortförs
W	Systemet utför arbete (expansion)	Arbete utförs på systemet (kompression)
ΔU	Inre energi ökar	Inre energi minskar

⚠ Teckenkonventionen varierar

I vissa böcker och ingenjörssapplikationer skrivs 1:a HS som $Q = \Delta U + W$ (Freedman) och i andra som $\Delta U = Q - W$. Kontrollera vilken konvention som används. I kursen gäller: $W > 0$ när arbete utförs av systemet.

2. Volymändringsarbete

2.1 Arbete i en cylinder

När en gas expanderar eller komprimeras mot ett kolv:

$$dW = p dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

🔗 Grafisk tolkning: Areal i pV-diagrammet

Arbetet som utförs av gasen är arean under kurvan i ett pV -diagram. En expansion ($V_2 > V_1$) ger positivt arbete; en kompression ger negativt arbete.

3. Inre energi för en ideal gas

3.1 Beroende enbart av temperatur

📋 Nyckelresultat

För en ideal gas beror den inre energin **enbart** på temperaturen:

$$U = U(T)$$

$$\Delta U = nC_V \Delta T$$

Motivering: I en ideal gas finns ingen potentiell energi mellan molekylerna (de interagerar inte). All inre energi är kinetisk energi i molekylernas translationer (och rotationer), och denna bestäms av temperaturen.

Konsekvens: $\Delta U = nC_V \Delta T$ gäller alltid för en ideal gas, oavsett vilken process som utförs — även isobar och adiabatisk.

4. Inre energi som tillståndsfunktion

Inre energin U är en *tillståndsfunktion* — den beror bara på systemets aktuella tillstånd (T, V, p) , inte på hur systemet kom dit.

Däremot är Q och W *processberoende* — de beror på vilken väg man tar i pV -diagrammet.

≡ Exempel: Isoterm expansion

En ideal gas expanderar isoterimiskt (konstant T). Vad händer med inre energin?

Eftersom T är konstant och U bara beror på T för en ideal gas:

$$\Delta U = nC_V \Delta T = 0$$

Från 1:a HS:

$$Q = \Delta U + W = 0 + W = W$$

All tillförd värme omvandlas direkt till arbete vid isoterm expansion.

≡ Exempel: Isokor (konstant volym)

En gas värms i en sluten behållare ($V = \text{konstant}$). Kolven rör sig inte, så $W = \int p dV = 0$.

Från 1:a HS:

$$Q = \Delta U + 0 = \Delta U = nC_V \Delta T$$

All tillförd värme går till att öka den inre energin (molekylernas rörelseenergi).

Läsning

- [Chapter 19 The First Law of Thermodynamics](#)

Se även

- [Ideala gaser](#) — ideala gaslagen, C_V , C_p , frihetsgrader
- [Termodynamiska processer](#) — isoterm, isobar, isokor, adiabatisk: formler för W , Q , ΔU
- [Termodynamikens andra huvudsats](#) — vad 1:a HS inte berättar
- [Arbete och energi](#) — energibevarande i mekaniken

Resurser

Wikipedia

- [First law of thermodynamics](#)
- [Internal energy](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 19
- Fysika upplaga 5, kap 19 (Fa5: formelblad)

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-12-09, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-12-09 – TERM05

19.0 Första termodynamiska lagen

Teckentkonvention: $Q > 0$ (tillförs), $W > 0$ (när arbete utförs av systemet) $Q = \Delta U + W$

19.2 Volymändringsarbete

$Tryck = \frac{Kraft}{Yta}$ – om en yta rör sig utförs ett arbete av tryckkraften: $dW = F dx = pA dx = p dV$ ($dV = A dx$)

- $T = \text{konst}$ = isoterm
- $p = \text{konst}$ = isobar
- $V = \text{konst}$ = isokor

19.3 Banor mellan olika tillstånd

Arbetet beror på banan i pV -diagrammet (arean under kurvan).

19.4 Inre energi

$$\Delta U = Q - W$$

Ändring i molekylernas kinetiska och potentiella energi. Den totala mekaniska potentiella energin (ex. tyngdenergi) ändras ej.

19.5 Olika typer av processer

Process	Villkor	Konsekvens
Adiabatisk	$Q = 0$	$\Delta U = -W$; expansion $\rightarrow$ temp sjunker, kompression $\rightarrow$ temp stiger
Isokor	$V = \text{konst},$ $W = 0$	$\Delta U = Q$
Isobar	$p = \text{konst}$	$W = p(V_2 - V_1)$
Isoterm	$T = \text{konst}$	$\Delta U = 0 \implies Q = W$ (för idealgas)

Ideala gaser

19 okt. 2026, 5 min läsning

UTKAST

#fysik #termodynamik #idealgas #kinetisk-teori

Kapitel: 18.1–18.6 · Kurs: F0004T Förkunskaper: Integraler

1. Ideala gaslagen

1.1 Definition

Definition: Ideala gaslagen

En *ideal gas* är en teoretisk modell där molekylerna är punktformiga och inte interagerar med varandra (utom vid perfekt elastiska kollisioner). Sambandet mellan tillståndsvariabler ges av:

$$pV = nRT$$

- p = tryck [Pa]
- V = volym [m^3]
- n = substansmängd [mol]
- $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ – allmänna gaskonstanten
- T = temperatur i **Kelvin** (aldrig Celsius!)

1.2 Alternativa former

Med gasmassa m och specifik gaskonstant $R_s = R/M$ (molmassa M i kg/mol):

$$pV = mR_sT$$

Densitet:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p}{R_sT}$$

Vid konstant massa (jämföra två tillstånd):

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

När fungerar ideala gaslagen?

Modellen fungerar bra vid normala förhållanden — inte vid extremt högt tryck (molekylerna är nära varandra) eller extremt låg temperatur (nära kondensation).

1.3 Van der Waals ekvation

En bättre modell som korrigerar för molekylernas storlek och attraktiva krafter:

$$(p + a \frac{n^2}{V^2})(V - nb) = nRT$$

- $a \frac{n^2}{V^2}$: Korrigering för intermolekylär attraktion (ökar "effektivt" tryck).
- nb : Korrigering för molekylernas volym (minskar tillgänglig volym).

2. Kinetisk gasteori

2.1 Temperatur = molekylernas rörelseenergi

Revolutionär insikt

Temperaturen är ett mått på molekylernas genomsnittliga kinetiska *translationsenergi*.

Per molekyl (enatomig gas):

$$K_{tr,m} = \frac{3}{2}k_B T = \frac{1}{2}m\langle v^2 \rangle$$

Per mol:

$$K_{tr} = \frac{3}{2}nRT$$

där $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K är Boltzmanns konstant (sammankopplad med R via $k_B = R/N_A$).

2.2 RMS-fart

Definition: RMS-fart

Root-Mean-Square-farten är ett mått på den typiska molekylhastigheten:

$$v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Faktor	Effekt på v_{rms}
Högre temperatur T	v_{rms} ökar (proportionellt mot $\sqrt{T}$)
Tyngre molekyler (större M)	v_{rms} minskar (proportionellt mot $1/\sqrt{M}$)

Exempel vid rumstemperatur: kväve $N_2 \approx 500$ m/s, väte $H_2 \approx 1900$ m/s.

2.3 Fri medelväglängd

$$\lambda = \frac{k_B T}{4\pi\sqrt{2} r^2 p}$$

Genomsnittlig sträcka en molekyl rör sig mellan kollisioner, där r är molekylradien.

3. Molär värmekapacitet och frihetsgrader

3.1 Frihetsgrader

Varje frihetsgrad hos en molekyl bidrar med $\frac{1}{2}R$ till den molära värmekapaciteten vid konstant volym:

$$C_V = \frac{f}{2}R$$

Gastyp	Frihetsgrader f	C_V	$C_p = C_V + R$	$\gamma = C_p/C_V$
Monoatomär (He, Ar)	3	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{5}{3} \approx 1,67$
Diatomär (N_2 , O_2)	5	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{7}{5} = 1,40$
Fleratomär (CO_2)	6+	$3R+$	$4R+$	$\approx 1,33$

Frihetsgraderna för diatomära molekyler:

- 3 translationsriktningar (x, y, z)
- 2 rotationsaxlar (tredje axeln längs bindningen ger försumbart bidrag)
- Vibration tillkommer vid höga temperaturer

🔗 Intuition: Fler "konsumenter" av energi

Ju fler frihetsgrader, desto fler sätt energin kan fördelas — och desto mer energi krävs för att höja temperaturen. Det förklarar varför mer komplexa molekyler har högre värmekapacitet.

4. Faser och fasdiagram

4.1 Fasövergångar

Övergång	Namn	Energi
Fast → Flytande	Smältning	Tillförs (smältvärme)
Flytande → Gas	Förångning	Tillförs (ångbildningsvärme)
Fast → Gas	Sublimering	Tillförs
Gas → Flytande	Kondensation	Frigörs
Flytande → Fast	Stelning	Frigörs

4.2 pT-diagrammet

Ett fasdiagram med tryck på y-axeln och temperatur på x-axeln visar i vilka regioner varje fas är stabil.

Speciella punkter:

- **Tripelpunkten:** Den unika kombinationen av p och T där alla tre faser samexisterar i jämvikt.
- **Kritiska punkten:** Ovanför denna existerar ingen distinkt gräns mellan vätska och gas — de smälter samman till en superkritisk fluid.

Läsning

- Chapter 18 Thermal Properties of Matter

Se även

- **Termodynamikens första lag** — värme, arbete och inre energi
- **Termodynamiska processer** — isotherm, isobar, isokor, adiabatisk

- [Värmeöverföring](#) — hur värme transporteras

Resurser

Wikipedia

- [Ideal gas law](#)
- [Kinetic theory of gases](#)
- [Phase diagram](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 18
- Fysika upplaga 5, kap 18 (Tg3: specifika gaskonstanter, Te: R-värdet)

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-12-03 och 2025-12-04, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-12-03 – TERM03: Termiska materieegenskaper (kap 18)

18.0 Makro ↔ Mikro

Termodynamik kopplar mikro-egenskaper (molekylernas massa, hastighet, kinetisk energi, rörelsemängd) till makro-egenskaper (temperatur, tryck, volym, massa).

18.1 Tillståndsekvationer (EOS)

Ett materials tillstånd beskrivs av trycket p , temperaturen T , volymen V och massan m .

Fasta material: $V = V_0(1 + \beta(T - T_0) - k(p - p_0))$ β = expansionskoefficient, k = kompressibilitet (materialberoende)

Gaser – Ideala gaslagen (IG): $pV = nRT$ $R = 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ (allmänna gaskonstanten, se Fysika Te)

Elfgrens trick: "pv lika med nrt" – sång för att minnas IG

IG fungerar bra när temperatur ej är extremt låg och trycket ej extremt högt (molekylerna långt ifrån varandra).

Med gasmassa m : $pV = mR_sT$, $R_s = R/M$ (specifik gaskonstant, se Fysika Tg3)

Om massan är konstant: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

Van der Waals ekvation (inkluderar molekylstorlek och krafter): $(p + a \cdot \frac{n^2}{V^2})(V - nb) = nRT$ a, b är materialberoende konstanter.

pV- och TV-diagram

- **Konstant temperatur** (isoterm): $pV = \text{konst}$
- **Konstant tryck** (isobar): $T \propto V$
- Fasdiagram för icke-ideal gas visar fas-regioner och tripelpunkt

18.2 Molekylära egenskaper

Gaser: molekylerna rör sig nästan obehindrat; vätskor: attraktiva krafter håller ihop; fasta material: molekylerna hårt bundna.

Kinetik för ideala gaser:

Kinetisk medeltranslationsenergi (enatomig gas): $K_{tr} = \frac{3}{2}nRT$

Per molekyl: $K_{tr,m} = \frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}m\langle v^2 \rangle$ k = Boltzmanns konstant = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

RMS-fart (Root-Mean-Square-fart): $v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

- Högre temperatur $\rightarrow$ snabbare molekyler (v_{rms} ökar)
- Tyngre molekyler (större M) $\rightarrow$ långsammare (v_{rms} minskar)

2025-12-04 – TERM04: Fri medelväglängd, värmekapacitet, faser

Fri medelväglängd

Genomsnittlig sträcka en molekyl rör sig innan kollision: $\lambda = \frac{kT}{4\pi\sqrt{2}r^2p} N$ = antal molekyler, r = molekylradie

Molär värmekapacitet (C_V vid konstant volym)

$$dQ = nC_V \cdot dT$$

Varje frihetsgrad bidrar med $\frac{1}{2}R$ till C_V :

Gastyp	Frihetsgrader	C_V
Enatomig	3 (translation)	$\frac{3}{2}R$

Gastyp	Frihetsgrader	C_V
Diatomig	5 (+ 2 rotation)	$\frac{5}{2}R$
Fleratomig	6+	$3R$ eller mer

För diatomiga molekyler (t.ex. O_2): $dQ = dK_{\text{translation}} + dK_{\text{rotation}} + dK_{\text{vibration}}$

Intuition: Desto fler frihetsgrader som ska dela på energin, desto högre värmekapacitet.

Fasta ämnen: 3 vibrationsriktningar + 3 potentiella fjäderenergier $\rightarrow C_V = 3R$. (Slå upp C_p i tabell 1–3 för verkliga värden.)

18.6 Faser och fasövergångar

pT -diagram visar fasregioner: fast, flytande, gas.

Övergång	Namn
Fast $\rightarrow$ Gas	Sublimering
Flytande $\rightarrow$ Gas	Förångning
Fast $\rightarrow$ Flytande	Smältning

- **Tripelpunkten** – fast, flytande och gas möts
- **Kritiska punkten** – bortom denna saknas distinkt gräns gas/vätska

Kretsprocesser och värmemaskiner

19 okt. 2026, 5 min läsning

UTKAST

#fysik #termodynamik #processer

Kapitel: 19.5–19.8 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Termodynamikens första lag, Ideala gaser, Integraler

1. Översikt av de fyra processerna

Process	Villkor	Karakteristik i pV-diagram	Minnesknep
Isoterm	$T = \text{konst}$	Hyperbel ($pV = \text{konst}$)	<i>Iso</i> -therm = samma <i>temperatur</i>
Isobar	$p = \text{konst}$	Horisontell linje	<i>Iso</i> -bar = samma <i>bar</i> (tryck)
Isokor	$V = \text{konst}$	Vertikal linje	<i>Iso</i> -kor = samma <i>volym</i>
Adiabatisk	$Q = 0$	Brant hyperbel ($pV^\gamma = \text{konst}$)	Inga värmeutbyten

2. Isoterm process ($T = \text{konstant}$)

2.1 Analys

Gasen expanderar (eller komprimeras) i termisk jämvikt med omgivningen – temperaturen hålls konstant.

- $\Delta U = nC_V \Delta T = 0$ (inga temperaturändringar)
- Från 1:a HS: $Q = W$
- Arbete: $W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$

Intuition: Isoterm

All tillförd värme omvandlas till arbete – ingen energi “stannar kvar” i gasen. $pV = nRT = \text{konst}$ ger en hyperbelkurva i pV-diagrammet.

≡ Exempel: Isoterm expansion

0,100 mol av en ideal monoatomär gas vid $T = 300 \text{ K}$ expanderar från $V_1 = 2,50 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ till $V_2 = 5,00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = 0,100 \times 8,314 \times 300 \times \ln(2) \approx 173 \text{ J}$$

$$\Delta U = 0, \quad Q = W = 173 \text{ J}$$

3. Isobar process ($p = \text{konstant}$)**3.1 Analys**

Gasen expanderar eller komprimeras vid konstant tryck, t.ex. kolv med konstant vikt ovanpå.

- $W = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = nR\Delta T$ (rektangelarea i pV-diagram)
- $Q = nC_p\Delta T$
- $\Delta U = nC_V\Delta T$

🔗 Intuition: Isobar

En del av den tillförda värmen går till att expandera gasen (arbete), resten till att höja temperaturen. Därför behövs C_p och inte C_V — det är mer energikrävande att värma vid konstant tryck.

4. Isokor process ($V = \text{konstant}$)**4.1 Analys**

Gasen värms eller kyls i en sluten, stel behållare.

- $W = 0$ (ingen volymändring, inget arbete)
- $Q = \Delta U = nC_V\Delta T$
- Trycket ändras: $p/T = \text{konst}$

Intuition: Isokor

Eftersom ingen expansion sker behöver all tillförd värme bara höja molekylernas rörelseenergi — därav C_V .

5. Adiabatisk process ($Q = 0$)

5.1 Grundprincip

Definition: Adiabatisk process

En adiabatisk process utbyter **inget värme** med omgivningen — antingen pga perfekt isolering eller pga att processen sker för snabbt.

$$Q = 0 \implies \Delta U = -W$$

Konsekvenser:

Händelse	Orsak	Effekt
Expansion ($W > 0$)	Gasen gör arbete	$\Delta U < 0 \rightarrow$ temperaturen sjunker
Kompression ($W < 0$)	Arbete utförs på gasen	$\Delta U > 0 \rightarrow$ temperaturen stiger

Intuition: Diesel-antändning

En dieselmotor komprimerar luften adiabatiskt tills temperaturen är hög nog att antända bränslet — utan tändstift. Kompressionen värmer luften dramatiskt.

5.2 Poissons lagar

Poissons lagar för adiabatisk process

För en ideal gas vid adiabatisk process gäller:

$$pV^\gamma = \text{konstant}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{konstant}$$

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{konstant}$$

där $\gamma = C_p/C_V$ är adiabatindex (beror på gastyp).

Jämförelseform (tillstånd 1 $\rightarrow$ tillstånd 2):

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma, \quad T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

5.3 Arbete vid adiabatisk process

$$W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} = nC_V(T_1 - T_2)$$

5.4 Adiabatan är brantare än isothermen

I ett pV-diagram:

- Isoterm: $p \propto V^{-1}$
- Adiat: $p \propto V^{-\gamma}$ (brantare, eftersom $\gamma > 1$)

Intuition: Varför brantare?

Vid adiabatisk expansion kyls gasen (ingen värme tillförs). Lägre temperatur $\rightarrow$ lägre tryck vid samma volym. Kurvan faller därför snabbare än en isoterm.

6. Sammanfattning: formler för alla processer

Process	W	Q	ΔU
Isoterm	$nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$= W$	0
Isobar	$p\Delta V = nR\Delta T$	$nC_p\Delta T$	$nC_V\Delta T$
Isokor	0	$nC_V\Delta T$	$= Q$
Adiabatisk	$\frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1}$	0	$nC_V\Delta T$

☰ Checklista: Lösa termodynamikproblem

1. Identifiera vilken process: T , p , V konstant, eller $Q = 0$?
2. Skriv upp rätt samband för processen.
3. Använd ideala gaslagen $pV = nRT$ vid behov.
4. Använd 1:a HS: $Q = \Delta U + W$.
5. Kom ihåg: $\Delta U = nC_V \Delta T$ **alltid** för ideal gas.
6. Kontrollera enheter och rimlighet!

Läsning

- 20.2 Heat Engines
- 20.6 The Carnot Cycle

Se även

- **Termodynamikens första lag** — $Q = \Delta U + W$ och inre energi
- **Ideala gaser** — ideala gaslagen, C_V , γ
- **Termodynamikens andra huvudsats** — värmemaskiner och Carnot-cykeln

Resurser

Interaktiva verktyg

- [PhET — Gas Properties](#) — visualisering av gasprocesser

Wikipedia

- [Thermodynamic process](#)
- [Adiabatic process](#)
- [Isothermal process](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 19
- Fysika upplaga 5, kap 19 (Fa5: formelblad)

Föreläsningsanteckningar

Från föreläsning: 2025-12-10 och 2025-12-12, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-12-10 – TERM06: Termodynamik för ideala gaser (kap 19)

19.6 Inre energi för en ideal gas

Temperaturen är ett mått på molekylernas genomsnittliga kinetiska energi: $K_{tr} = \frac{3}{2}k_B T$, $k_B = R/N_A$

Den inre energin för en ideal gas beror **enbart på temperaturen**: $U = U(T)$, $\Delta U = nC_V \Delta T$

Konsekvens: Vid isoterm expansion ($T = \text{konst}$): $\Delta U = 0 \implies Q = W$.

19.7 Värmekapacitet för ideal gas

$$Q = nC\Delta T$$

Vid konstant volym (C_V): Gasen kan ej expandera $\rightarrow$ all tillförd värme $\rightarrow$ inre energi: $Q_V = \Delta U$

Vid konstant tryck (C_p): Gasen expanderar $\rightarrow$ värme måste räcka till BÅDE inre energi OCH arbete $\rightarrow$
 $C_p > C_V$

Sambandet $C_p = C_V + R$ (härlledning via 1:a HS + ideala gaslagen): $dQ_p = dU + dW = nC_V dT + nR dT = n(C_V + R) dT$

Adiabatindex: $\gamma = \frac{C_p}{C_V} > 1$

Gastyp	Frihetsgrader	C_V	C_p	γ
Monoatomär (He, Ne, Ar)	3	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{5}{3} \approx 1.67$
Diatomär (N ₂ , O ₂ , H ₂)	5	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{7}{5} = 1.40$
Fleratomär (CO ₂ , H ₂ O)	6	$3R$	$4R$	$\frac{4}{3} \approx 1.33$

19.8 Adiabatiska processer

Poissons lagar: $pV^\gamma = \text{konst}$, $TV^{\gamma-1} = \text{konst}$

$$\text{Arbete: } W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} = nC_V(T_1 - T_2)$$

Adiabatan är **brantare** än isotermer ($p \propto V^{-\gamma}$ vs $p \propto V^{-1}$, och $\gamma > 1$).

Övning 19.32 – 0.100 mol monoatomär gas, $p_1 = 10^5$ Pa, $V_1 = 2.50 \times 10^{-3}$ m³:

Process	T_2 (K)	p_2 (kPa)
Isoterm	300.7	50.0
Isobar	601.4	100
Adiabatisk	189.5	31.5

2025-12-12 – TERM07: Andra huvudsatsen och värmemaskiner (kap 20)

20.0 Andra huvudsatsen

Entropi (oordning) ökar alltid.

20.1 Processers riktning

I verkligheten är alla processer irreversibla. I ideala situationer kan vi ha reversibla processer (nära jämvikt). I en reversibel process kan en liten systemändring byta riktning.

Irreversibla processer: Friktion, blandning av vätskor, värmeöverföring med icke-försumbar temp-skillnad.

20.2 Värmemaskiner

Värme $\Rightarrow$ Arbete

Värmemaskiner är ofta cykliska: $\Delta U_{tot} = 0$

1:a HS: $Q_{tot} = W_{tot}$ ($Q_H > 0$, $Q_C = Q_L < 0$)

En del värme går alltid till spillo ($Q_L \neq 0$). Verkningsgrad: $e = \frac{W}{Q_H} = 1 + \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \left| \frac{Q_L}{Q_H} \right| < 1$

20.3 OTTO-cykeln (bensinmotorer)

Tolkning av stegen:

- 6 $\rightarrow$ 3: Kompression (adiabatisk)
- 3 $\rightarrow$ 4: Värmetillförsel (isokor): $Q_H = nC_v(T_c - T_b) > 0$
- 4 $\rightarrow$ 5: Expansion (adiabatisk)
- 5 $\rightarrow$ 6: Värmebortförsel (isokor): $Q_L = nC_v(T_a - T_d) < 0$

Verkningsgrad: $e = 1 + \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - r^{\gamma-1} r = \text{kompressionsförhållande}$

Exempel: $r = 8, \gamma = 1.4 \implies e_{teor} = 56\%$, verkligt $\approx 35\%$ (friktion, värmeförlust, turbulens, ej ideal gas)

Diesel-cykeln

- $a \rightarrow b$: Kompression (adiabatisk)
- $b \rightarrow c$: Expansion (isobar)
- $c \rightarrow d$: Expansion (adiabatisk)
- $d \rightarrow a$: Kylning (isokor)

$$r = 15 - 20, e_{teor} = 65\%, e_{verkl} = 50\%, e_{motor} = 40\%$$

Carnot-cykeln (den perfekta värmemaskinen)

Inga irreversibla processer $\rightarrow$ upptag/avgivning av värme isotermt. I övrigt inga värmeförluster $\rightarrow$ adiabater.

Steg: isoterm ($a \rightarrow b$) $\rightarrow$ adiabat ($b \rightarrow c$) $\rightarrow$ isoterm ($c \rightarrow d$) $\rightarrow$ adiabat ($d \rightarrow a$)

$$\text{Verkningsgrad: } e_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

(Härleds via att $\frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d}$ via Poissons lag för de adiabatiska stegen.)

Termodynamikens andra huvudsats

19 okt. 2026, 5 min läsning

UTKAST

#fysik #termodynamik #entropi #värmemaskiner

Kapitel: 20.1–20.7 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Termodynamikens första lag, Termodynamiska processer

1. Andra huvudsatsen

1.1 Tre ekvivalenta formuleringar

Andra huvudsatsen (2:a HS)

Clausius formulering: Värme kan *inte* spontant flöda från ett kallare till ett varmare föremål.

Kelvin-Planck formulering: Det är omöjligt att bygga en maskin som enbart omvandlar värme till arbete utan att avge värme till en kall reservoar.

Entropiformulering: Entropin i ett isolerat system kan aldrig minska:

$$\Delta S_{\text{tot}} \geq 0$$

Alla tre formuleringar är ekvivalenta — de säger samma sak med olika ord.

1.2 Reversibla och irreversibla processer

- **Reversibel process:** Sker oändligt långsamt och nära jämvikt — kan återgå utan nettoförlust. Idealisering.
- **Irreversibel process:** Alla verkliga processer. Entropin ökar alltid.

Exempel på irreversibla processer: Friktion, blandning av vätskor, värmeöverföring över temperaturdifferens, fri expansion.

2. Värmemaskiner

2.1 Grundprincip

En värmemaskin tar in värme Q_H från en *varm källa* (temperatur T_H), omvandlar en del till arbete W , och avger resten $|Q_L|$ till en *kall sänka* (temperatur T_L).

Cyklisk process ($\Delta U_{cykel} = 0$, maskinen återkommer till samma tillstånd):

$$Q_{tot} = W_{tot} \implies Q_H + Q_L = W$$

(Notera: $Q_L < 0$ – värme lämnar systemet.)

2.2 Verkningsgrad

Definition: Verkningsgrad

Hur stor del av den tillförda värmen som omvandlas till nyttigt arbete:

$$e = \frac{W}{Q_H} = 1 - \left| \frac{Q_L}{Q_H} \right|$$

Alltid: $e < 1$. En del värme måste alltid dumpas till den kalla sänkan.

3. Carnot-cykeln

3.1 Den idealt effektiva värmemaskinen

Carnot-cykeln

Carnot-cykeln är den maximalt effektiva cykeln för en värmemaskin som arbetar mellan två temperaturer T_H och T_L . Den består av fyra steg:

Steg	Process	Vad händer
$a \rightarrow b$	Isoterm expansion vid T_H	Tar upp värme Q_H
$b \rightarrow c$	Adiabatisk expansion	Kyls från T_H till T_L

Steg	Process	Vad händer
$c \rightarrow d$	Isoterm kompression vid T_L	Avger värme \$
$d \rightarrow a$	Adiabatisk kompression	Värms från T_L till T_H

Carnotverkningsgrad:

$$e_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Temperaturer i Kelvin!

Insikt: Maximera verkningsgraden

e_{Carnot} ökar med högre T_H och lägre T_L . Det är därför kraftverk strävar efter höga ångtemperaturer och kalla kylvattentemperaturer.

Exempel: Carnot-verkningsgrad

En Carnot-maskin arbetar mellan $T_H = 500 \text{ K}$ och $T_L = 300 \text{ K}$.

$$e_{Carnot} = 1 - \frac{300}{500} = 1 - 0,60 = 0,40 = 40\%$$

Ingen verklig maskin kan överstiga 40 % verkningsgrad mellan dessa temperaturer.

4. Förbränningsmotorer

4.1 Otto-cykeln (bensinmotor)

Steg	Process	Vad händer
$a \rightarrow b$	Adiabatisk kompression	Kolven pressar ihop gasen
$b \rightarrow c$	Isokor värmeförsörjning	"Förbränning" — snabb värmeförsörjning
$c \rightarrow d$	Adiabatisk expansion	Gasen driver kolven — <i>arbete</i>

Steg	Process	Vad händer
$d \rightarrow a$	Isokor värmeförlust	"Avgaser" — snabb kylning

Verkningsgrad:

$$e_{\text{Otto}} = 1 - r^{1-\gamma}$$

där $r = V_{\text{max}}/V_{\text{min}}$ är kompressionsförhållandet.

Typiskt: $r = 8, \gamma = 1,4 \rightarrow e_{\text{teor}} = 56\%, e_{\text{verkl}} \approx 35\%$.

4.2 Diesel-cykeln

Liknande Otto, men förbränningen sker vid konstant tryck (isobar). Högt kompressionsförhållande ($r = 15\text{--}20$) ger $e_{\text{teor}} \approx 65\%, e_{\text{verkl}} \approx 40\%$.

5. Kylmaskiner**5.1 Grundprincip**

En kylmaskin (kylskåp, luftkonditionering, värmepump) använder arbete för att *flytta värme* *uppförsbacke* — från ett kallare till ett varmare ställe.

5.2 Köldfaktor (COP)**Definition: Köldfaktor**

Hur mycket värme som bortförs från det kalla stället per enhet tillförd arbete:

$$K = COP = \frac{|Q_L|}{W} = \frac{|Q_L|}{|Q_H| - |Q_L|}$$

K kan vara *större* än 1! Typiska kylskåp: $K \approx 3\text{--}4$.

Carnotkylarens köldfaktor:

$$K_{\text{Carnot}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

6. Entropi

6.1 Definition

Definition: Entropi

Entropi S är ett mått på “oordning” eller “antal möjliga mikroskopiska tillstånd” i ett system.

För reversibla processer:

$$dS = \frac{dQ}{T} \implies \Delta S = \int \frac{dQ}{T}$$

Vid **isoterm process**:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Vid uppvärmning från T_1 till T_2 :

$$\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$$

6.2 Entropi som tillståndsfunktion

Entropi S beror bara på systemets aktuella tillstånd — inte på processen som ledde dit. Den är en *tillståndsfunktion*, precis som inre energi U .

6.3 Andra huvudsatsen i entropiform

$$\boxed{\Delta S_{tot} \geq 0}$$

Likhetstecken gäller *enbart* för reversibla processer. Alla verkliga (irreversibla) processer ökar entropin.

6.4 Carnot-cykeln entropi

Under en komplett Carnotcykel:

$$\Delta S_{tot} = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L} = 0$$

Det bekräftar att Carnotprocessen är reversibel — entropin förändras inte totalt.

☰ Exempel: Entropiändring vid uppvärmning (Ex 20.6)

$m = 1,00$ kg vatten värms från $T_1 = 273,15$ K till $T_2 = 373,15$ K.

$$c_p = 4190 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mc dT}{T} = mc \ln \frac{T_2}{T_1} = 1,00 \times 4190 \times \ln \frac{373,15}{273,15} \approx 1,31 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

💡 Intuition: Varför händer inte allt baklänges?

Entropi är ett mått på antalet möjliga mikrotillstånd. En gas utspridd i ett rum har astronomiskt fler möjliga tillstånd än samma gas komprimerad i ett hörn. Det är inte *omöjligt* att gasen spontant komprimeras — det är bara orimligt osannolikt.

Läsning

- [Chapter 20 The Second Law of Thermodynamics](#)

Se även

- [Termodynamiska processer](#) — pV-diagram och procesberäkningar
- [Termodynamikens första lag](#) — energibevaret
- [Ideala gaser](#) — ideala gaslagen och γ

Resurser**Wikipedia**

- [Second law of thermodynamics](#) [↗](#)
- [Entropy](#) [↗](#)
- [Carnot cycle](#) [↗](#)
- [Otto cycle](#) [↗](#)

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 20

- Fysika upplaga 5, kap 20 (Fa5: formelblad)

Föreläsningssanteckningar

Från föreläsning: 2025-12-15, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-12-15 – TERM08

20.4 Kylmaskiner

En kylmaskin pumpar värme från T_L till T_H med hjälp av arbete W .

1:a HS: $Q_{tot} = W_{tot} = Q_H + Q_L$ (med $Q_H < 0$, $Q_L < 0$)

Köldfaktor (Coefficient of Performance): $K = COP = \frac{|Q_L|}{W} = \frac{|Q_L|}{|Q_H| - |Q_L|}$

Carnots kylmaskin: Från $\frac{Q_L}{Q_H} = -\frac{T_L}{T_H}$ (Carnotvillkor): $K_{Carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$

20.5 Andra huvudsatsen

Ren värmeöverföring från ett kallare till ett varmare system är omöjligt. $\Leftrightarrow$

Entropin ökar alltid för ett slutet system. $\Rightarrow \Delta S \geq 0$

20.7 Entropi

Entropi $S \approx$ oordning. Tillförd värme ökar oordning (molekylernas slumpmässiga rörelser ökar).

$$[S] = \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Reversibla processer: $dS = \frac{dQ}{T} \Rightarrow \Delta S = \int \frac{dQ}{T}$

Isoterm process: $\Delta S = \frac{Q}{T}$

Entropin beror bara på systemets tillstånd (som inre energi) – inte på processen.

Exempel 20.6 – Vatten värms från 273,15 K till 373,15 K ($m = 1,00$ kg, $c_p = 4190$ J/(kg · K)):

$$\Delta S_{12} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mc dT}{T} = mc \ln \frac{T_2}{T_1} = 1,31 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

Exempel 20.9 – Entropi i Carnot-cykeln ($Q_H = 2,00$ kJ, $T_H = 500$ K, $T_L = 350$ K):

$$\Delta S_{tot} = \Delta S_{ab} + \Delta S_{bc} + \Delta S_{cd} + \Delta S_{da}$$

- Isoterma steg: $\Delta S_{ab} = \frac{Q_H}{T_H}$, $\Delta S_{cd} = \frac{Q_L}{T_L}$
- Adiabatiska steg: $\Delta S_{bc} = \Delta S_{da} = 0$

Carnotvillkor $\frac{Q_H}{T_H} = -\frac{Q_L}{T_L}$ ger: $\Delta S_{tot} = 0 \frac{\text{J}}{\text{K}}$

Carnot-cykeln är reversibel – entropin förändras ej totalt.
