

# Termodynamikk

## 1. Hovedsetning = Energibevarelse:

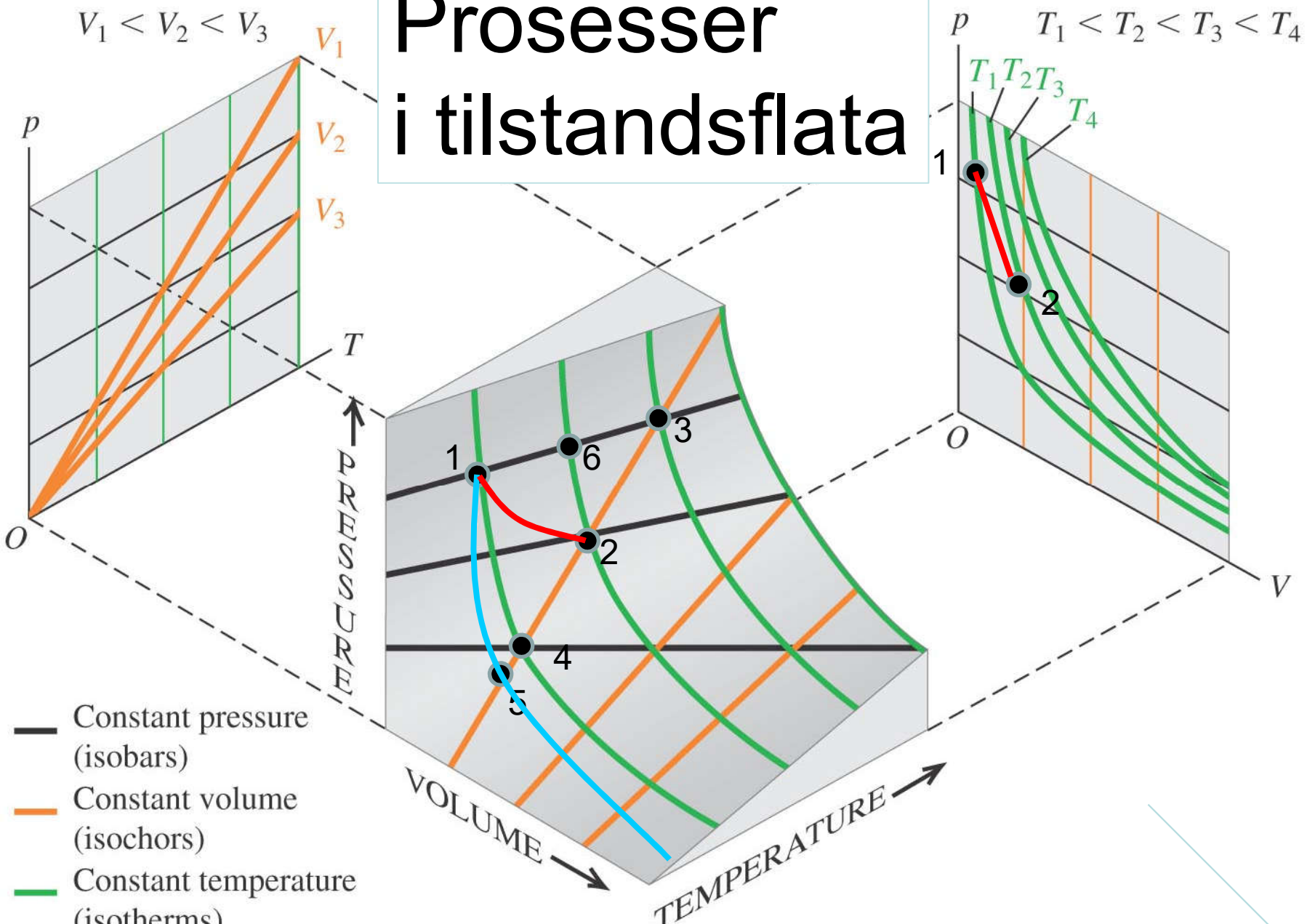
$$\Delta U = Q - W$$

(endring indre energi) = (varme inn) – (arbeid utført)

## 2. Hovedsetning = Mulige prosesser:

Varme kan ikke strømme fra kaldt til varmt legeme

# Proseser i tilstandsflata



- Constant pressure (isobars)
- Constant volume (isochors)
- Constant temperature (isotherms)

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

Y&F Figure 18.27

# Termodynamiske kretsprosesser

- Reversible prosesser: Alltid likevekt
- Irreversible prosesser: Ikke likevekt.
- Varmekraftmaskiner
  - Virkningsgrad  $\eta = W/Q_H$ . Carnotmaskin  $\eta_C = 1 - T_L/T_H$
- Kjølemaskiner  $\eta_K = |Q_L / W|$
- Varmepumper  $\eta_V = |Q_H / W|$
- 2. hovedsetning: Det er umulig
  - at varme strømmer fra kaldt til varmt
  - å overføre varme 100% til arbeid
  - å senke entropien i et lukket system
- Entropi er en tilstandsfunksjon, def:  $\Delta S = \int dQ_{\text{rev}}/T$

# Entropi

- Entropi er en tilstandsfunksjon, def:  $\Delta S = \int dQ_{\text{rev}}/T$
- $S$  øker når varme tilføres
- $S$  «produseres» ved irreversible prosesser
- $S$  øker for universet, følge av:
- 2. hovedsetning: Det er umulig
  - at varme strømmer fra kaldt til varmt
  - å overføre varme 100% til arbeid
  - **å senke entropien i et lukket system**

# Kinetisk teori. Oppsummering

- **Ideell gasslov + trykk pga. kollisjoner (Newton 2) gir:**

**Indre energi** = middelvei av kinetisk translasjonsenergi:

Enatomige molekyler, kun translasjonsenergi:

$$U = W_k(\text{trans}) = N \cdot (1/2) m \langle v^2 \rangle = N \cdot \mathbf{3} \cdot k_B T / 2 \quad \text{Frihetsgrader: } n_f = \mathbf{3}$$

Toatomige molekyler, translasjonsenergi + rotasjonsenergi:

$$U = W_k(\text{trans}) + W_k(\text{rot}) = N \cdot \mathbf{5} \cdot k_B T / 2 \quad \text{Frihetsgrader: } n_f = \mathbf{5}$$

- **Varmekapasiteter ideell gass**

$$\text{Konstant volum: } n C_V = \Delta U / \Delta T, \quad C_V = n_f \cdot R / 2$$

$$\text{Konstant trykk: } n C_p = (\Delta U + p \Delta V) / \Delta T, \quad C_p = (n_f + 2) \cdot R / 2$$

- **Adiabatisk prosesser:**

$$pV^\gamma = \text{konstant under prosessen, med } \gamma = C_p / C_V$$

Eksamen TFY4115 des 2011, opg. 3

| Oppgave | Snittresultat | Vektlegging<br>(totalt 30) |
|---------|---------------|----------------------------|
| 3a      | <b>65 %</b>   | 5                          |
| 3b      | 79 %          | 8                          |
| 3c      | <b>64 %</b>   | 5                          |
| 3d      | 84 %          | 7                          |
| 3e      | <b>52 %</b>   | 5                          |

# Eksamen des 2016.

## Statistikk (prosent riktig).

|               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1. Flervalgs. | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| Mekanikk:     | 61 | 95 | 32 | 44 | 52 | 79 | 32 | 82 | 75 | 58 | 86 | 63 |
| Termisk:      | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|               | 52 | 78 | 86 | 85 | 57 | 52 | 79 | 61 | 65 | 42 | 65 | 78 |

|           |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| Mekanikk: | 2a | 2b | 2c | 3a | 3b | 3c | 3d |
|           | 96 | 71 | 66 | 80 | 76 | 77 | 56 |

|          |    |    |    |    |    |  |
|----------|----|----|----|----|----|--|
| Termisk: | 4a | 4b | 4c | 4d | 5  | <b>Gjennomgå oppgaver<br/>markert rødt<br/>(dårligst besvarte)</b> |
|          | 94 | 80 | 62 | 68 | 42 |  |

Karakterskala:



Eksamen TFY4115 des 2016, opg. 1

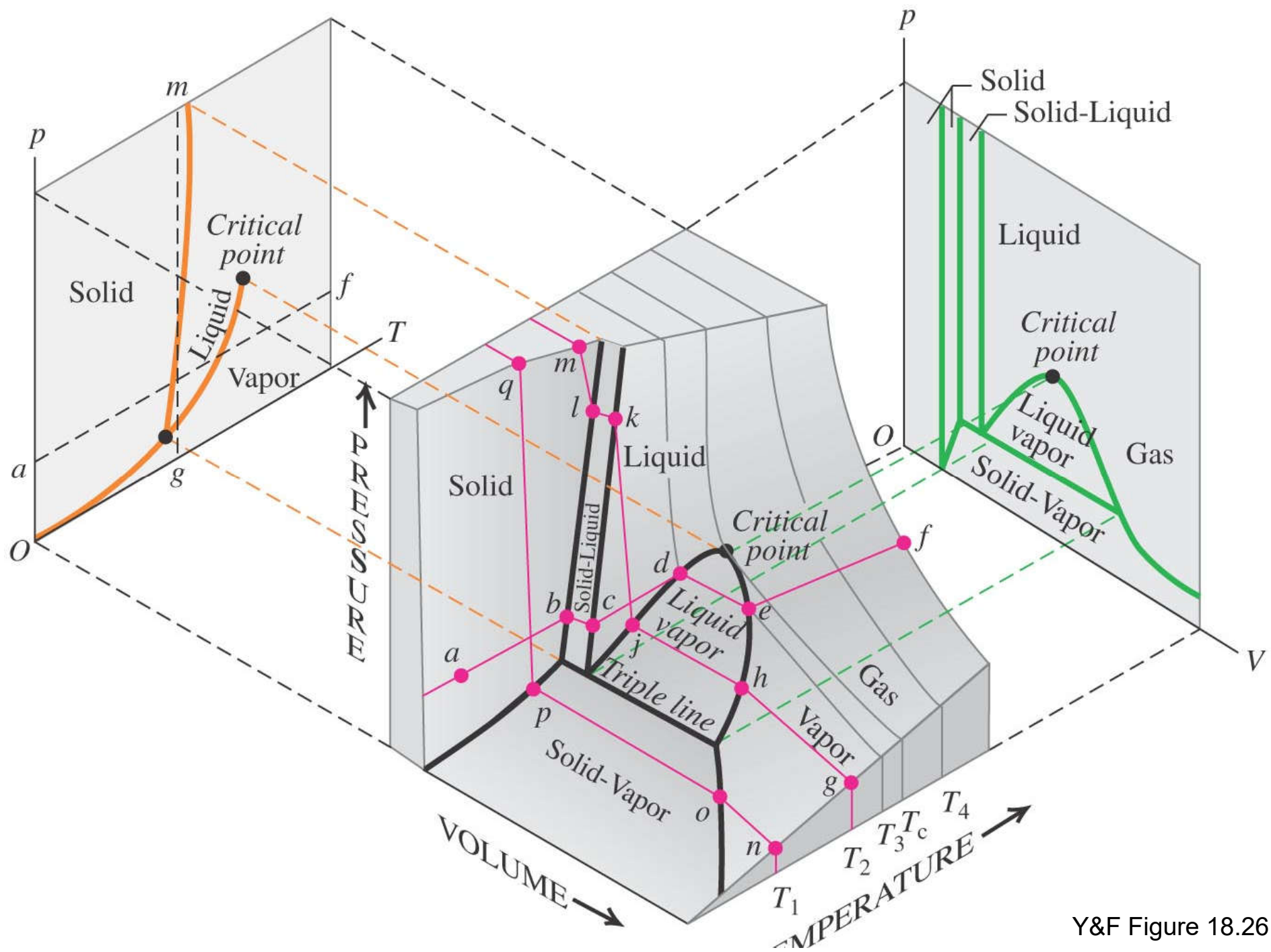
Flervalgs - de dårligst besvarte:

| Oppgave | Snittresultat |          |
|---------|---------------|----------|
| 1-3     | 32 %          | Mekanikk |
| 1-4     | 44 %          |          |
| 1-5     | 52 %          |          |
| 1-7     | 32 %          |          |
| 1-10    | 58 %          |          |
| 1-13    | 52 %          | Termisk  |
| 1-17    | 57 %          |          |
| 1-18    | 52 %          |          |
| 1-20    | 61 %          |          |
| 1-22    | 42 %          |          |
| 1-23    | 65 %          |          |

Avgitte svar:

| Opg:             | 3   | 4   | 5   | 7   | 10  | 13  | 17  | 18  | 20  | 22  | 23  |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Rett svar</b> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| A                | 65  | 2   | 17  | 12  | 9   | 1   | 116 | 22  | 130 | 95  | 9   |
| B                | 23  | 98  | 115 | 53  | 21  | 38  | 10  | 7   | 45  | 9   | 27  |
| C                | 29  | 111 | 5   | 17  | 18  | 113 | 18  | 27  | 7   | 92  | 144 |
| D                | 42  | 4   | 12  | 13  | 21  | 44  | 3   | 12  | 5   | 1   | 17  |
| E                | 29  | 4   | 61  | 58  | 126 | 6   | 18  | 108 | 1   | 14  | 12  |
| blank            | 39  | 8   | 17  | 74  | 32  | 25  | 62  | 51  | 39  | 16  | 18  |
| Sum              | 227 | 227 | 227 | 227 | 227 | 227 | 227 | 227 | 227 | 227 | 227 |
| Snittres. %      | 32  | 44  | 52  | 32  | 58  | 52  | 57  | 52  | 61  | 42  | 65  |





Y&F Figure 18.26

# Eksamen des 2016.

## Statistikk (prosent riktig).

|               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1. Flervalgs. | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| Mekanikk:     | 61 | 95 | 32 | 44 | 52 | 79 | 32 | 82 | 75 | 58 | 86 | 63 |
| Termisk:      | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|               | 52 | 78 | 86 | 85 | 57 | 52 | 79 | 61 | 65 | 42 | 65 | 78 |

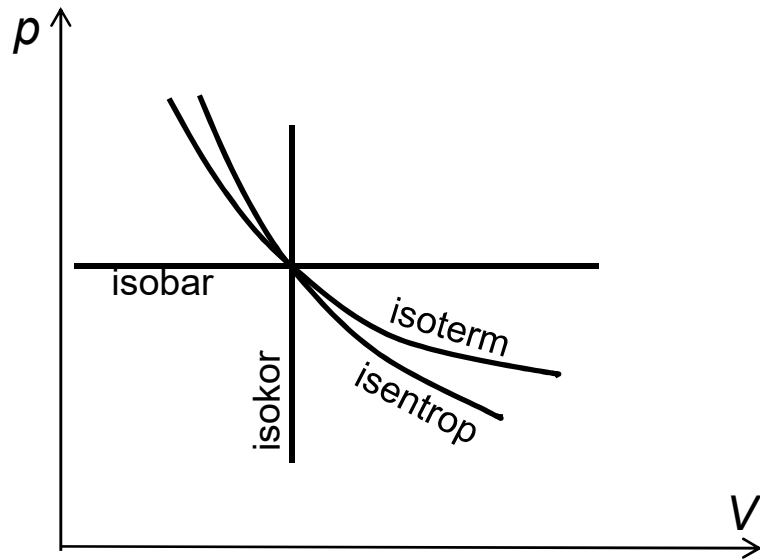
|           |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| Mekanikk: | 2a | 2b | 2c | 3a | 3b | 3c | 3d |
|           | 96 | 71 | 66 | 80 | 76 | 77 | 56 |

|          |    |    |    |    |    |  |
|----------|----|----|----|----|----|--|
| Termisk: | 4a | 4b | 4c | 4d | 5  | <b>Gjennomgå oppgaver<br/>markert rødt<br/>(dårligst besvarte)</b> |
|          | 94 | 80 | 62 | 68 | 42 |  |

Karakterskala:

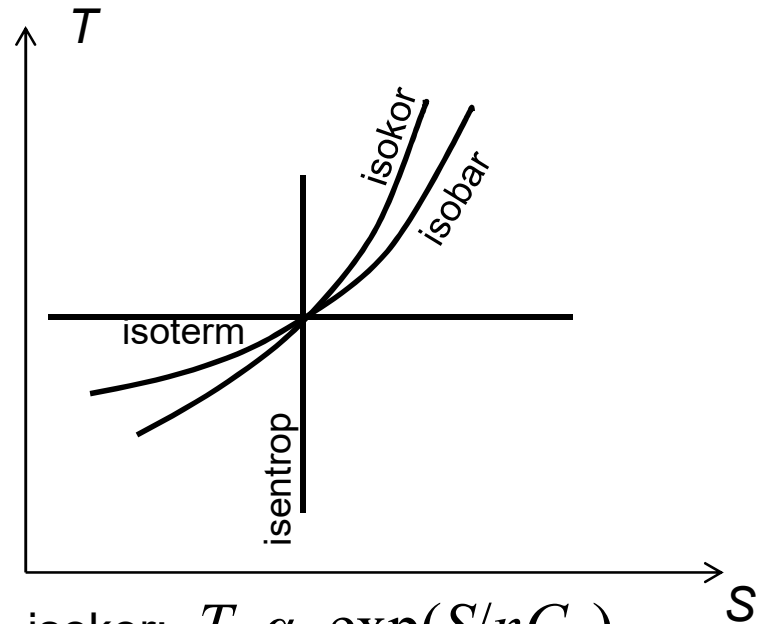


# Prosesskurver i $pV$ og i $TS$ -diagram:



isoterm:  $p \propto V^{-1}$

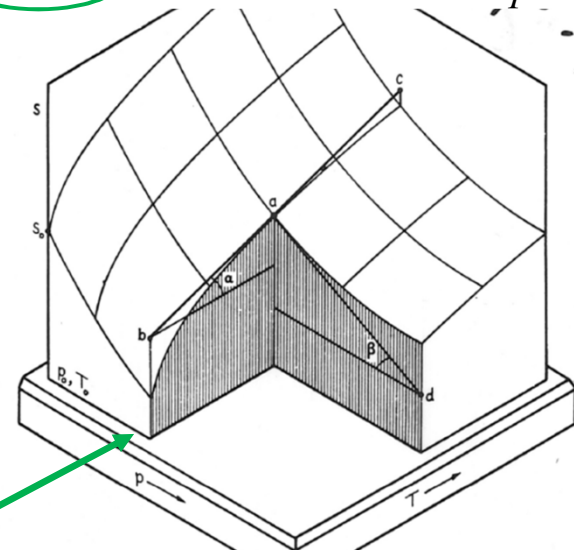
isentrop (adiabat):  $p \propto V^{-\gamma}$



isokor:  $T \propto \exp(S/nC_V)$

isobar:  $T \propto \exp(S/nC_p)$

$$S(T, p = \text{konst}) = S_0 + nC_p \ln T/T_0 \quad (1C)$$



# Eksamen des 2015.

## Statistikk (prosent riktig).

|               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1. Flervalgs. | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| Mekanikk:     | 90 | 79 | 89 | 78 | 82 | 87 | 69 | 78 | 45 | 52 | 36 | 63 |
| Termisk:      | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|               | 87 | 54 | 51 | 32 | 73 | 88 | 62 | 47 | 72 | 74 | 61 | 55 |

|           |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| Mekanikk: | 2a | 2b | 2c | 3a | 3b | 3c | 3d |
|           | 96 | 82 | 84 | 72 | 65 | 58 | 27 |

|          |    |    |    |    |    |
|----------|----|----|----|----|----|
| Termisk: | 4a | 4b | 4c | 4d | 4e |
|          | 83 | 73 | 49 | 52 | 66 |

**Gjennomgå oppgaver  
markert rødt  
(dårligst besvarte)**

Karakterskala:



Eksamen TFY4115 des 2015, opg. 1

Flervalgs - de dårligst besvarte:

| Oppgave | Snittresultat |          |
|---------|---------------|----------|
| 1-9     | 45 %          | Mekanikk |
| 1-10    | 52 %          |          |
| 1-11    | <b>36 %</b>   |          |
| 1-14    | 54 %          | Termisk  |
| 1-15    | 51 %          |          |
| 1-16    | <b>32 %</b>   |          |
| 1-20    | 47 %          |          |
| 1-23    | 61 %          |          |
| 1-24    | 55 %          |          |

Avgitte svar:

**Rett svar**

| Opg:        | 9   | 10  | 11  | 14  | 15  | 16  | 20  | 23  | 24  |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A           | 43  | 20  | 73  | 11  | 36  | 67  | 18  | 3   | 31  |
| B           | 85  | 39  | 43  | 72  | 108 | 65  | 16  | 4   | 5   |
| C           | 4   | 115 | 54  | 119 | 1   | 25  | 20  | 29  | 1   |
| D           | 12  | 13  | 14  | 4   | 39  | 29  | 98  | 125 | 5   |
| E           | 3   | 32  | 6   | 3   | 9   | 6   | 34  | 7   | 108 |
| blank       | 78  | 6   | 35  | 16  | 32  | 33  | 39  | 57  | 75  |
| Sum         | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 |
| Snittres. % | 45  | 52  | 36  | 54  | 51  | 32  | 47  | 61  | 55  |

# Eksamen des 2015.

## Statistikk (prosent riktig).

|               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1. Flervalgs. | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| Mekanikk:     | 90 | 79 | 89 | 78 | 82 | 87 | 69 | 78 | 45 | 52 | 36 | 63 |
| Termisk:      | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|               | 87 | 54 | 51 | 32 | 73 | 88 | 62 | 47 | 72 | 74 | 61 | 55 |

|           |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| Mekanikk: | 2a | 2b | 2c | 3a | 3b | 3c | 3d |
|           | 96 | 82 | 84 | 72 | 65 | 58 | 27 |

|          |    |    |    |    |    |
|----------|----|----|----|----|----|
| Termisk: | 4a | 4b | 4c | 4d | 4e |
|          | 83 | 73 | 49 | 52 | 66 |

**Gjennomgå oppgaver  
markert rødt  
(dårligst besvarte)**

Karakterskala:



# Eksamen des 2014.

## Statistikk (prosent riktig)

### 1. Flervalgs.

| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 29 | 88 | 66 | 39 | 38 | 56 | 27 | 55 | 44 | 80 | 60 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 47 | 64 | 55 | 77 | 77 | 82 | 77 | 56 | 37 | 60 | 49 |

| 2a | 2b | 2c | 2d | 2e | 2f |
|----|----|----|----|----|----|
| 96 | 85 | 79 | 56 | 50 | 38 |

| 3a | 3b | 3c | 3d | 3e | 3f |
|----|----|----|----|----|----|
| 83 | 89 | 53 | 54 | 67 | 28 |

Gjennomgår oppgaver  
markert rødt  
(dårligst besvarte)

Karakterskala:

0 - - - - 40 | 41-52 | 53-64 | 65 - 76 | 77 - 88 | 89 - 100

F | E | D | C | B | A

Eksamen TFY4115 des 2014, opg. 1

Flervalgs - de dårligst besvarte:

| Oppgave | Snittresultat |
|---------|---------------|
| 1-1     | <b>29 %</b>   |
| 1-4     | 39 %          |
| 1-5     | 38 %          |
| 1-7     | <b>27 %</b>   |
| 1-9     | 44 %          |
| 1-12    | 47 %          |
| 1-20    | 37 %          |
| 1-22    | 49 %          |

Avgitte svar:

**Rett svar**

| Opg:      | 1    | 4    | 5    | 7    | 9    | 12   | 20   | 22   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A         | 13   | 3    | 5    | 43   | 3    | 83   | 34   | 87   |
| B         | 58   | 75   | 96   | 15   | 29   | 18   | 67   | 7    |
| C         | 15   | 41   | 4    | 52   | 32   | 22   | 27   | 35   |
| D         | 50   | 23   | 75   | 26   | 76   | 4    | 13   | 13   |
| E         | 61   | 44   | 17   | 12   | 3    | 16   | 22   | 6    |
| blank     | 3    | 14   | 3    | 52   | 57   | 57   | 37   | 52   |
| Sum       | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  |
| Snittres. | 29 % | 39 % | 38 % | 27 % | 44 % | 47 % | 37 % | 49 % |



# Eksamen des 2014.

## Statistikk (prosent riktig)

### 1. Flervalgs.

| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 29 | 88 | 66 | 39 | 38 | 56 | 27 | 55 | 44 | 80 | 60 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 47 | 64 | 55 | 77 | 77 | 82 | 77 | 56 | 37 | 60 | 49 |

| 2a | 2b | 2c | 2d | 2e | 2f |
|----|----|----|----|----|----|
| 96 | 85 | 79 | 56 | 50 | 38 |

| 3a | 3b | 3c | 3d | 3e | 3f |
|----|----|----|----|----|----|
| 83 | 89 | 53 | 54 | 67 | 28 |

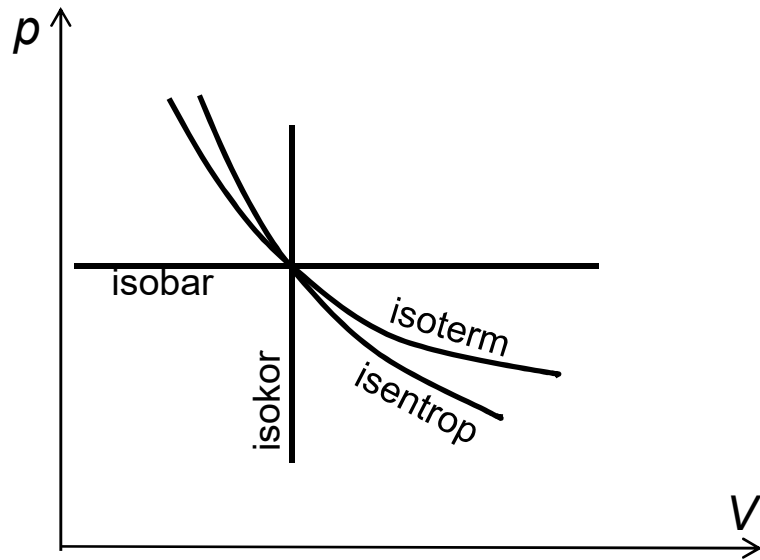
Gjennomgår oppgaver  
markert rødt  
(dårligst besvarte)

Karakterskala:

0 - - - - 40 | 41-52 | 53-64 | 65 - 76 | 77 - 88 | 89 - 100

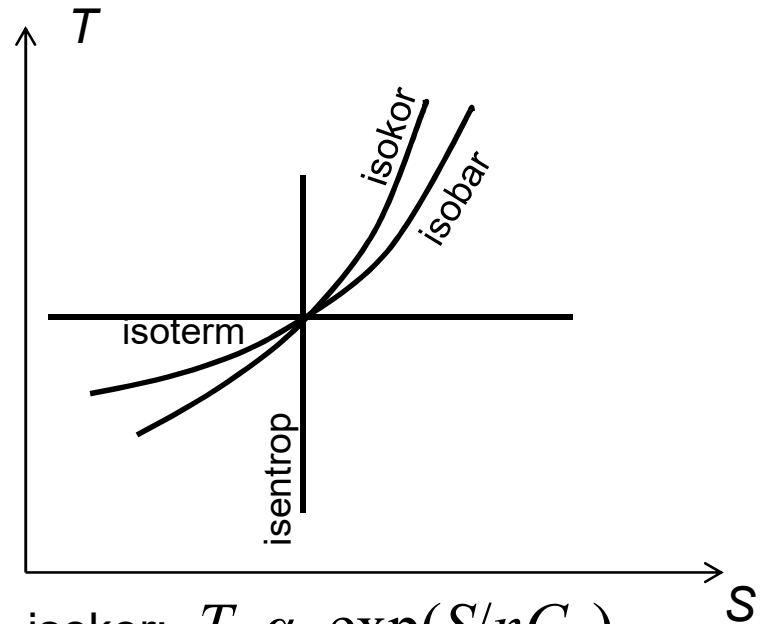
F | E | D | C | B | A

# Prosesskurver i $pV$ og i $TS$ -diagram:



isoterm:  $p \propto V^{-1}$

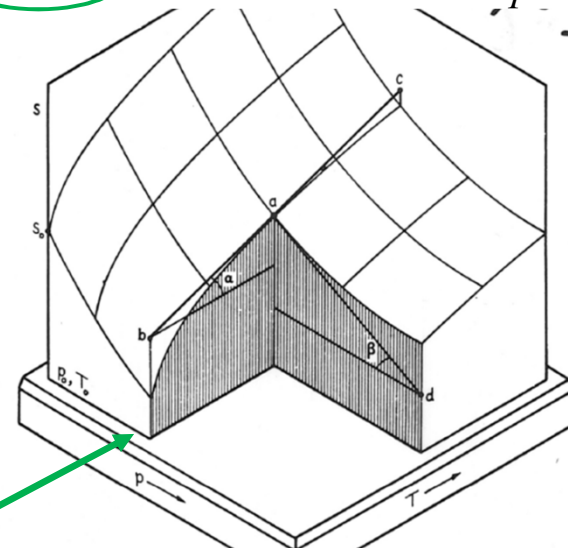
isentrop (adiabat):  $p \propto V^{-\gamma}$



isokor:  $T \propto \exp(S/nC_V)$

isobar:  $T \propto \exp(S/nC_p)$

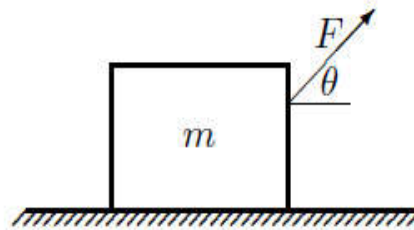
$$S(T, p = \text{konst}) = S_0 + nC_p \ln T/T_0 \quad (1C)$$



# Flervalgsoppgaver fra Eks. 2011 (de dårligst besvarte)

a. En kloss med masse  $m$  blir trukket med konstant hastighet av en kraft i retning  $\theta$  med horisontalen, som vist på figuren. Den kinetiske friksjonskoeffisienten mellom den ru overflata og klossen er  $\mu_k$ . Størrelsen til friksjonskrafta kan uttrykkes

- A)  $F \cos \theta$
- B)  $\mu_k F \cos \theta$
- C)  $\mu_k F \sin \theta$
- D)  $\mu_k (mg - F \sin \theta)$
- E) To av svarene over er riktig



$$\Sigma_{\text{hor}} F = 0$$

a. E. Ved gliding er  $F_f = \mu_k F_N = \mu_k (mg - F \sin \theta)$ . (Normalkrafta blir altså mindre som følge av at  $F$  har komponent oppover.) Fra  $\sum F_x = 0$  (farta konstant) får vi også  $F_f = F \cos \theta$ , slik at to alternativ er rette.

Snitt: 32 %

# Flervalgsoppgaver fra Eks. 2011

c. For et stivt legeme faller tyngdepunktet og massesenteret sammen dersom

A) legemet er i rotasjonslikevekt

B) legemet er i translasjonslikevekt

C) legemet er både i rotasjonslikevekt og i translasjonslikevekt

D) tyngdens akselerasjon er lik over hele legemet

E) enhver kraft som kan akselerere legemet er konstant

# Flervalgsoppgaver fra Eks. 2011

e. To enatomige gasser, helium og neon, blir blanda i forholdet 2:1 og er i termisk likevekt ved temperaturen  $T$ . Molar masse til neon er 5x molar masse til helium. Hvis den midlere kinetiske energien per heliumatom er  $U$ , er den midlere kinetiske energien per neonatom lik

- A)  $U$
- B)  $U/2$
- C)  $2U$
- D)  $5U$
- E)  $U/5$

# Flervalgsoppgaver fra Eks. 2011

**g.** Ei massiv kule som holder temperatur  $T$  stråler ut energi med en rate  $P$  (i  $W = \text{watt}$ ). Hvis radius til kula dobles (mens temperaturen holdes konstant) vil  $P$  øke med en faktor:

- A) Forbli uendra
- B) 2
- C) 4
- D) 8
- E) 16

# Flervalgsoppgaver fra Eks. 2011

h. Hvis lufttrykket er lavere enn trippelpunkt-trykket for et visst stoff, kan dette stoffet eksistere (avhengig av temperaturen)

- A) som væske eller gass, men ikke faststoff
- B) som væske eller faststoff, men ikke som gass
- C) som faststoff eller gass, men ikke som væske
- D) som faststoff, men ikke væske eller gass
- E) som faststoff, væske eller gass

# Eksamen des 2012.

## Statistikk (prosent riktig)

### 1. Flervalgs

| a  | b  | c  | d  | e  | f  | G  | H  | I  | J  | K  |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 88 | 23 | 90 | 35 | 61 | 46 | 41 | 34 | 39 | 63 | 23 |

| 2a | 2b | 2c |
|----|----|----|
| 74 | 39 | 37 |

| 3a | 3b |
|----|----|
| 55 | 42 |

| 4a | 4b | 4c | 4d |
|----|----|----|----|
| 83 | 89 | 53 | 54 |

Gjennomgår oppgaver  
markert rødt  
(dårligst besvarte),  
men rekker bare litt av disse.




# KVASS: Evaluering

- Oppfordrer alle å respondere på instituttets emneevaluering.
- Kun få spørsmål, med muligheter for kommentarer.
- Instituttet sender epost til alle studenter om evalueringen.

## A18.5

You have a quantity of ideal gas in a cylinder with rigid walls that prevent the gas from expanding or contracting. If you double the rms speed of molecules in the gas, the gas pressure

- A. increases by a factor of 16.
-  B. increases by a factor of 4.
- C. increases by a factor of 2.
- D. increases by a factor of  $2^{1/2}$ .

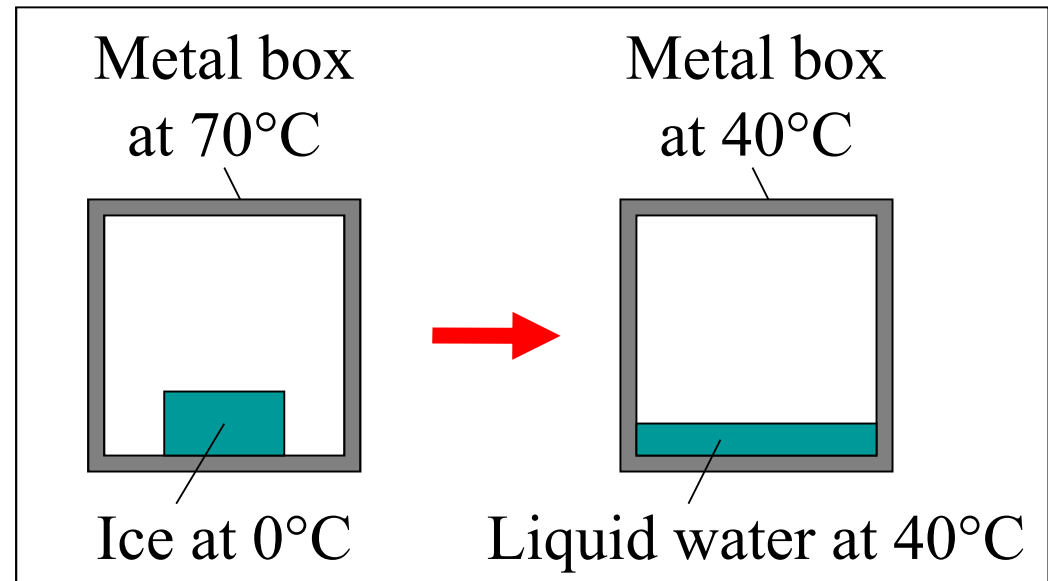
*Kinetisk gassteori*

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

$$pV = N/V k_B T = N/V \frac{2}{3} E_k \quad (\text{formelark})$$

A20.8

You put an ice cube at  $0^{\circ}\text{C}$  inside a large metal box at  $70^{\circ}\text{C}$ . The ice melts and the entropy of the ice increases. Which statement is correct?



- A. Entropy of the metal box is unchanged; total entropy increases.
- B. Entropy of the metal box decreases; total entropy decreases.
- C. Entropy of the metal box decreases; total entropy is unchanged.
- ✓ D. Entropy of the metal box decreases; total entropy increases.
- E. none of the above

Boksen avgir varme og entropi.

Siden noe av prosessen er irreversibel, øker total S