

# Klausur E2 Wärmelehre

Name:

Matrikelnummer:

Schein für E2 E2p (bitte ankreuzen, Notenberechnung für beides möglich)

Schreiben Sie auf jedes beschriebene Blatt Ihren Vornamen und Namen!

Die mit Stern (\*) gekennzeichneten Aufgaben sind für E2-Kandidaten vorgesehen. E2p-Kandidaten können zusätzlich Punkte sammeln durch Lösen der (\*)-Aufgaben.

Hilfsmittel: Taschenrechner, 2 DinA4 Seiten handgeschriebene Formelsammlung

*Wenn etwas unklar ist, lieber den Tutor fragen als den Nachbarn !*

-----  
**Maximale Punktzahl: 60\* (45)**

**Bearbeitungszeit: 1.5 Stunden**  
 -----

1	2	3	4	5	6	7	8*	9*	10*	Summe	Bonus	E2	E2p
6	7	7	5	7	9	4	6*	6*	3*	60* (45)			

**Konstanten:**

Gaskonstante  $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ; Boltzmannkonstante  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ;

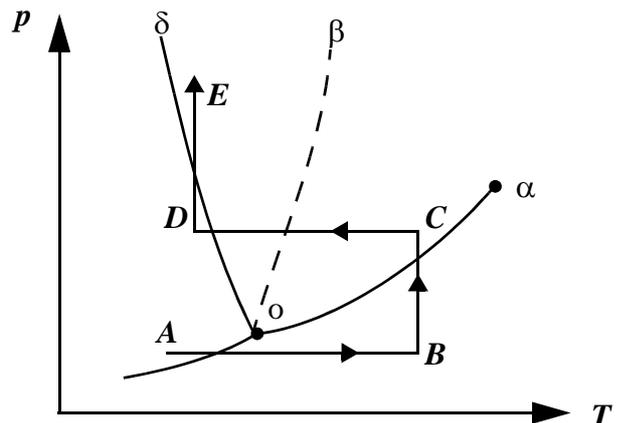
Avogadrozahl  $N_A = 6 \times 10^{23}$  Teilchen; Absoluter Nullpunkt  $T_0 = -273 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

**1. Gleichverteilungssatz (6 Punkte)**

- a) Für ein reales Gas wurde ein Adiabatenexponent von  $\gamma = 1.333$  gemessen. Geben Sie die Zahl der Freiheitsgrade an. (2 Punkte)
- b) Nehmen Sie an, es handelt sich um ein gewinkeltes, dreiatomiges Gas (z.B.  $\text{H}_2\text{O}$ ). Welche Freiheitsgrade sind dann wohl angeregt? (2 Punkte)
- c) Warum wird der Quotient  $C_p/C_v$  immer kleiner, je komplizierter ein Gasmolekül ist? (2 Punkte)

**2. Phasendiagramm (7 Punkte)**

- a) Benennen Sie im nebenstehenden typischen Phasendiagramm eines Materials die Phasenübergänge für die Liniensegmente (AB), (BC), (CD) und (DE) beim Überqueren der durchgezogenen Linien. (2 Punkte)
- b) Steigt oder sinkt das Volumen bei den jeweiligen Phasenübergängen? (2 Punkte)
- c) Für welchen Materialtyp (Beispiel) würde die Phasengrenze (o- $\delta$ ) durch die gestrichelte Linie (o- $\beta$ ) ersetzt werden? (1.5 Punkte)
- d) Welche Bedeutung hat der Punkt  $\alpha$ ? (1.5 Punkte)



### 3. Gasgesetz und erster Hauptsatz (7 Punkte)

a) 100g CO<sub>2</sub>-Gas dehnt sich bei konstant gehaltenen 20 °C von V<sub>0</sub> auf das dreifache Volumen 3 V<sub>0</sub> aus. Welche Arbeit leistet es dabei gegen äußere Kräfte im Grenzfall des idealen Gases? [Molekulargewicht M<sub>W</sub> = 44 g/mol; Gaskonstante R = 8.3 J/(mol K)]. Welche Wärme muß man hinzufügen, um den Prozess isotherm zu halten? (5 Punkte)

b) Leiten Sie die folgende Relation aus dem Gasgesetz her: (2 Punkte)

$$\frac{dT}{T} = \frac{dp}{p} + \frac{dV}{V}$$

### 4. Vermischtes (5 Punkte)

a) Leiten Sie aus der Fundamentalrelation für dU einen einfachen Ausdruck für das chemische Potential  $\mu$  her. Welche anderen Zustandsgrößen müssen hierzu konstant gehalten werden? Hängt in dieser Relation  $\mu$  von extensiven Variablen ab? (2 Punkte)

b) Beschreiben Sie ein Experiment an, mit dem mit einfachen Mitteln auf den absoluten Temperaturnullpunkt geschlossen werden kann. (3 Punkte)

### 5. Entropie (7 Punkte)

a) Ein Kristall von 5 g Masse schmilzt bei 80 °C mit einem Wärmebedarf von 1.6 kJ. Wie groß ist der Entropieunterschied von Schmelze und Kristall? Ist die Entropie des Kristalls größer als die der Schmelze? (3 Punkte)

b) Wie hängt die Entropie eines idealen Gases bei konstanter Temperatur vom Volumen ab? Betrachten Sie eine isotherme Expansion und leiten Sie die Entropieänderung aus der Wärmemenge mit dem zweiten Hauptsatz her. Wie hängt damit die Zahl der Mikrozustände  $\Omega$  vom Volumen ab? (Boltzmann-Gleichung  $S = k \ln \Omega$ ) (4 Punkte)

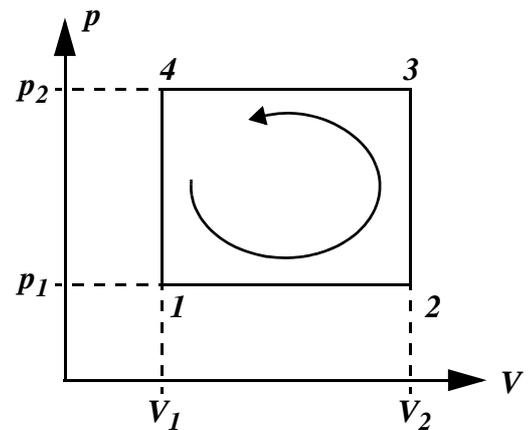
### 6. Kreisprozesse (9 Punkte)

a) Begründen Sie das negative Vorzeichen in  $\delta W = -pdV$  im ersten Hauptsatz  $dU = \delta Q + \delta W$ . (2 Punkte)

b) Leiten Sie ausgehend vom 1. Hauptsatz die am System geleistete Arbeit  $\Delta W$  und die aufgenommene Wärme  $\Delta Q$  her für eine Zustandsänderung eines idealen Gases im (i) isochoren (V=const.) und (ii) isobaren Fall (p=const.). (3 Punkte)

c) Betrachten Sie nun den nebenstehenden isochor-isobaren Kreisprozess. Bei welchen der Teilprozesse von 1->2, 2->3, 3->4 und 4->1 wird Wärme aus der Umgebung aufgenommen? (2 Punkte)

d) Gibt der Prozess also bei der angegebenen Drehrichtung Arbeit ab, oder nimmt er sie auf? (2 Punkte)



### 7. Zündung des Diesel-Luft-Gemisches beim Dieselmotor (4 Punkte)

Um das Brennstoffgemisch in einem Dieselmotor zu zünden, wird eine Temperatur von 500°C benötigt. Wie hoch muß die Kompression V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> des Dieselmotors mindestens sein, wenn man vollständige thermische Isolation annehmen kann? Das Brennstoff-Luftgemisch habe zunächst die Temperatur T<sub>1</sub>=20°C mit einem Adiabatenkoeffizienten  $\gamma = 1.4$  und kann näherungsweise als ideales Gas aufgefaßt werden.

**8. Carnot-Prozess (\*) (6 Punkte)**

a\*) Die Form des Carnot-Prozesses eines idealen Gases im p-V-Diagramm kennen Sie sicher. Entlang welcher (deutlich einfacherer) Geometrie läuft der Carnot-Prozess im S-T-Diagramm (Entropie gegen Temperatur)? Bezeichnen Sie die adiabatischen und isothermen Prozesse in ihrer Skizze und geben Sie an, in welchem Schritt Wärme aufgenommen und abgegeben wird. (3 Punkte)

b\*) Benutzen Sie die Darstellung im S-T-Diagramm, um den Carnot-Wirkungsgrad  $\eta$  herzuleiten:

$$\eta = -W/Q_{\text{warm}} = \frac{T_{\text{warm}} - T_{\text{kalt}}}{T_{\text{warm}}}$$

Tip: Über die Fläche des Kreisprozesses können Sie auf die Arbeit W schließen. (3 Punkte)

**9. Maxwell-Verteilung und Transport (\*) (6 Punkte)**

a\*) Skizzieren Sie graphisch die Maxwell-Verteilung der Molekülgeschwindigkeit im idealen Gas. Wie sieht die Verteilung aus, wenn Sie die Temperatur vervierfachen? Um welchen Faktor verschiebt sich dann das Maximum der Verteilung? (2 Punkte)

b\*) Benennen sie den durch thermische Molekülbewegung ausgelösten Transport von Teilchen, von Energie und von Impuls. (1.5 Punkte)

c\*) Leiten Sie mit einer geometrischen Skizze einen Zusammenhang her zwischen dem Wirkungsquerschnitt  $\sigma$ , der mittleren freien Weglänge  $\lambda$  und der Teilchendichte  $n = N/V$ . (2.5 Punkte)

**10. Entropie eines Festkörpers (\*) (3 Punkte)**

Nähern Sie die molare Wärmekapazität  $C_V$  eines Festkörpers durch den rechts skizzierten Verlauf an. Welchen Wert x für  $C_V$  erwarten Sie für das Plateau bei hohen Temperaturen? Nehmen Sie an, der Festkörper hat bei  $T=0\text{K}$  eine absolute Entropie von  $S = 0 \text{ J/K}$ . Berechnen Sie für ein Mol des Materials die absolute Entropie bei  $T = 100 \text{ K}$ . [Gaskonstante  $R = 8.3 \text{ J/(mol K)}$ ]

