Name:

Freie Universität Berlin
Institut für theoretische Physik, Fachbereich Physik
Arnimallee 14, 14195 Berlin

Klausur zur Theorie der Wärme, Donnerstag, den 23. Juni 2005

14h c.t. Hörsaal A, Raum 1.3.14

Punkte:

Aufg. Nummer	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	Σ
max. Punktzahl	2	2	3	3	3	4	4	1	4	26
Punkte										

90 Minuten Bearbeitungszeit.
50% = 13 Punkte müssen erreicht werden.
Als Hilfsmittel ein Blatt mit eigenen handschriftlichen Notizen.

1.–9. Aufgabe, muß natürlich leer bleiben ...

Stattdessen als Beispiel Aufgaben aus einer alten Klausur auf der nächste Seite!

Am Ende sind noch zwei leere Seiten, denn zwischen den Aufgaben ist vielleicht zu wenig Platz.

1.) Nennen Sie *zwei* äquivalente Formulierungen für den 2. Hauptsatz der Thermodynamik (z.B. eine Textform und eine mathematische Formulierung). (**1 Punkt**)

2.) Geben Sie die Zustandsgleichung für ein ideales und eine für ein reales Gas (z.B. van der Waals Gas) an.(**1 Punkt**)

3.) (a) Sei f = f(x,y). Prüfen Sie nach, ob

$$df = \left(\frac{y^2}{x} - 2\right) dx + \left(3y - \frac{x}{y}\right) dy$$

ein vollständiges Differential ist. (**1 Punkt**) (b) Welche Einschrändkungen für die innere Energie U als Funktion der Temperatur T und des Volumens V müssen gelten, damit die Entropieänderung

$$dS = \frac{dU}{T} + \frac{p}{T} dV$$

integriert werden kann, das heißt ein vollständiges Differential ist. Der Druck p ist durch die ideale Gasgleichung gegeben. (**2 Punkte**)

4.) (a) Skizzieren Sie das p–V Diagramm einer Carnot-Maschine. (**1 Punkt**)
(b) Wie groß ist deren Wirkungsgrad η? (**1 Punkt**)
(c) Skizzieren Sie die Herleitung von η. Benutzen Sie dabei den Zusammenhang von Entropie und Wärmemenge. (**2 Punkte**)

5.) Die freie Energie F wird durch $F = U - T\,S$ definiert, wobei U die innere Energie, S die Entropie und T die Temperatur ist.
Leiten Sie mit Hilfe der Hauptsätze einen Ausdruck für $dF(T, V)$ her. Wie lautet die zugehörige Maxwell–Relation. (**2 Punkte**)

6.) Ein Stahlblock der Masse m und der konstanten spezifischen Wärme c_p soll von einer anfänglichen Temperatur T_1, welche gleich der Umgebungstemperatur ist, *isobar* auf die Temperatur $T_2 > T_1$ erwärmt werden. Die Erwärmung erfolge durch direkten thermischen Kontakt des Blocks mit einem idealen Wärmebad mit konstanter Temperatur T_2.
(a) Welche Wärme gibt das Bad an den Block ab? (**1 Punkt**)
(b) Wie ändert sich die Entropie des Stahlblocks? (**1 Punkt**)

7.) Zwei Körper werden in thermischen Kontakt gebracht. Gemeinsam bilden die Körper ein abgeschlossenes System. Benutzen Sie die Beziehung

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E}$$

um zu zeigen, daß aus dem Entropie–Prinzip

$$\frac{dS}{dt} > 0$$

folgt, daß der wärmere Körper an den kälteren Energie abgibt.
Hinweis: Berechnen Sie dS/dt, wobei $S = S_1 + S_2$. (**3 Punkte**)

8.) Die *Maxwell–Verteilung*, welche die Wahrscheinlichkeit ist, ein Teilchen mit der Geschwindigkeit v_x zu finden, (eigentlich die Wahrscheinlichkeitsdichte) und zwar für ein Teilchen der Masse m in einem Gas der Temperatur T wird durch

$$g(v_x) = \left(\frac{m}{2\pi k_B T}\right)^{1/2} \exp\left[-\frac{m}{2k_B T}\, v_x^2\right]$$

gegeben.
(a) Prüfen Sie nach, daß g wirklich eine Wahrscheinlichkeitsdichte ist*. (**1 Punkt**)
(b) Berechnen Sie den Mittelwert von v_x^2 und vergleichen Sie mit der Regel, daß pro Freiheitsgrad f die Energie $\frac{f}{2}\, k_B T$ ist. (**3 Punkte**)

---

* Dazu braucht man das Integral $\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{e}^{-x^2}\, dx = \sqrt{\pi}$