

Universität Konstanz
Fachbereich Physik
Priv. Doz. Dr. Peter Keim

Ausgabedatum: 30.01.2017
Abgabedatum: 06.02.2017
Besprechung 08.02.2017

ÜbungsgruppenleiterInnen: A. Grupp, A. Liehl, J. Schmidt, J. Bühler
J. Roller, L. Siedentop, M. Fischer

Übungen zu Integrierter Kurs III (Experimentalteil)

Blatt 13

Aufgabe 34: Ungewöhnliche Materie (mündlich, 1 Kreuzchen)

Die Eigenschaften eines entarteten (relativistischen) Elektronengases, wie es in kollabierenden oder kollabierten Sternen auftritt, lassen sich näherungsweise als Zustandsgleichung eines Gases aufschreiben. Der Zusammenhang zwischen innerer Energie, Entropie und Volumen wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$U(S, V) = \alpha S^{4/3} V^{-1/3},$$

wobei α eine Konstante ist.

- Geben Sie den Druck p als Funktion von S und V und dann auch als Funktion von T und V an.
- Gehen Sie von der Definition einer Adiabaten als Zustandsänderung konstanter Entropie aus und bestimmen sie κ , den Exponenten der Adiabatengleichung $pV^\kappa = \text{konst.}$ Wie ändert sich der Druck entlang einer Isothermen? Skizzieren Sie qualitativ einen Carnot-Prozess, der mit der hier betrachteten Substanz als Arbeitsmedium durchgeführt wird, im pV -Diagramm.
- Beweisen Sie, dass sich die längs einer Adiabaten von Punkt 1 nach Punkt 2 geleistete Arbeit ausdrücken lässt als

$$\Delta A_{\text{adiab.}} = (3/4)^4 \alpha^{-3} T_1^3 V_1 (T_2 - T_1).$$

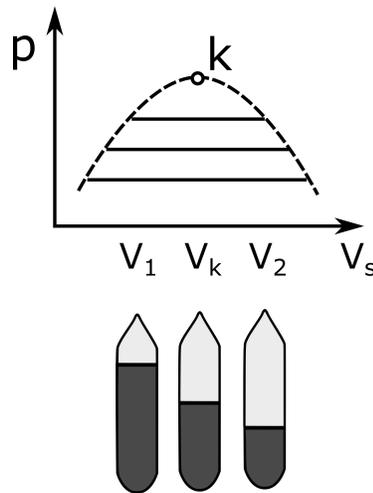
Aufgabe 35: Phasenübergänge (mündlich, 1 Kreuzchen)

Erinnern Sie sich an das p - V -Diagramm für CO_2 , welches in Aufgabe 33 besprochen wurde. Hier ist nun ein Ausschnitt daraus um den kritischen Punkt k vergrößert dargestellt, wobei anstatt des Volumens das spezifische Volumen ($V_s = V/n$) angegeben ist. Die horizontalen Linien beschreiben die Isothermen wie sie aus der Maxwellkonstruktion hervor gehen. Die gestrichelte Glockenkurve ist die Grenzlinie des Koexistenzgebietes flüssig/gasförmig.

Im Experiment werden drei dickwandige mit CO_2 gefüllte abgeschmolzene Glasampullen von gleichem Volumen verwendet, die aber verschiedene Stoffmengen CO_2 enthalten. Die mittlere Ampulle ist mit der kritischen Menge (V_k), die beiden anderen Ampullen sind überkritisch (V_1) bzw. unterkritisch (V_2) gefüllt. Die Ampullen werden nun mit einem Heißluftföhn vorsichtig erwärmt.

- Zu Beginn ist die Temperatur in allen Ampullen identisch. Wie verhält es sich mit dem Druck?

- b) Beschreiben Sie den Weg der beim Erwärmen im p - V -Diagramm zurückgelegt wird.
- c) Zu Beginn lässt sich in jeder Ampulle eine flüssige und eine gasförmige Phase ausmachen. Wie verändert sich der Flüssigkeitsspiegel, also das Verhältnis von flüssiger zu gasförmiger Phase, beim Erwärmen in den verschiedenen Ampullen?
- d) Wie lässt sich das Verhältnis der Volumina von flüssiger und gasförmiger Phase genau bestimmen?
- e) Beschreiben Sie, was beim Abkühlen der Ampullen beobachtet wird. Unter welchen Bedingungen lässt sich das Phänomen der kritischen Opaleszenz beobachten?
- f) Zurück zum p - V -Diagramm. Erklären Sie den Unterschied zwischen Spinodale und Binodale beim VdW-Gas.



Aufgabe 36: Otto-Motor (schriftlich, 10 Punkte)

Der Kreisprozess im Ottomotor kann durch folgenden idealisierten Prozess angenähert werden (Arbeitsmedium ideales Gas):

- I. adiabatische Kompression
- II. isochore Druckerhöhung, indem das Gas mit einem Wärmebad in Berührung gebracht wird und der Temperaturengleich abgewartet wird
- III. adiabatische Expansion bis zum Anfangsvolumen
- IV. isochore Druckerniedrigung bis zum Anfangsdruck, wobei das Gas durch Kontakt mit einem zweiten Wärmebad der Anfangstemperatur abgekühlt wird

a) Skizzieren Sie den Prozess im p - V -Diagramm.

Berechnen Sie Drücke, Volumina und Temperaturen für die Anfangspunkte der Teilprozesse II-IV, wenn folgende Informationen gegeben sind: Am Anfang des I. Schrittes betragen Volumen, Temperatur und Druck 1,5 l, 303 K und 1 bar. Das Kompressionsverhältnis (Verhältnis der Volumina am Anfang und Ende des I. Schrittes) ist 8:1. Das Wärmebad im II. Schritt hat eine Temperatur von 1973 K.

b) Wie groß ist die pro Umlauf gewonnene Arbeit?

Welche Leistung würde bei einer Drehfrequenz $f = 4500$ U/min abgegeben?

c) Wie groß ist der Carnot-Wirkungsgrad η_{ideal} einer Wärmekraftmaschine, die mit den Wärmebädern der beiden angegebenen Temperaturen arbeitet? Wie groß ist der Wirkungsgrad des Motors?

d) Vergleichen sie den Ottomotor mit dem Carnotprozess. Skizzieren Sie beide Prozesse außerdem sowohl im SV - als auch im ST -Diagramm. Geben Sie die Form der Abhängigkeit der Zustandsänderungen an, die in den Diagrammen keine Geraden sind. Die Gesetzmäßigkeit $dS = C_V/T dT + Nk_B/V dV$ dürfen Sie als bekannt verwenden.