

Thermodynamik & Magnetismus

Kurt Busch, Institut für Physik, HU Berlin und MBI

zwei Fragen:

- Belegt das Gutachten wesentliche fachliche Fehler im KPK ?
- Gibt es im Gutachten selbst wesentliche fachliche Fehler ?

Thermodynamik

- Verwischung der Unterscheidung von Energie und Entropie
- Entropieleitfähigkeit
- Entropie und Temperaturausgleich
- Entropie und die freie Expansion von Gasen

Magnetismus

- Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole

"Er (der KPK) baut wesentlich auf willkürlich gewählten, nicht durch Messvorschriften belegbaren, oder Messungen zum Teil widersprechenden Begriffen auf, ... die größtenteils dazu dienen, behauptete Analogien quer durch die gesamte dargestellte Physik durchhalten zu können. Dadurch erzeugt der KPK eine grundsätzlich falsche Vorstellung von Physik."

Entropie und Wärme

"Energie und Entropie müssen streng unterschieden werden. Es ist zwar richtig, dass man die Entropie durch Zufuhr oder Abfuhr von Wärme verändern kann. Aber deshalb ist Entropie noch lange nicht mit Wärme gleichzusetzen.,,

Das KPK-Lehrbuch setzt die Fachbegriffe Wärme und Entropie nicht gleich, sondern gibt den Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom fachlich korrekt wieder ($I_E = T I_S$: siehe Abschnitt 1.10, Gl. 10).

Entropie und Wärme

Gemäß dem didaktischen Konzept des KPK werden zunächst die für die neue Disziplin Thermodynamik typischen Größen S und T eingeführt und illustriert - dann erst wird der Zusammenhang mit der in der ganzen Physik auftretenden Größe Energie hergestellt.

Zur Motivation der Einführung der Entropie wird allein auf der *ersten* (!) Seite eine Beziehung zwischen der Entropie und dem Alltagskonzept 'Wärme' hergestellt; der Fachbegriff 'Wärme' wird im Lehrbuch nicht verwendet.

Das Gutachten ignoriert, dass die Assoziation von Alltagsphänomenen mit physikalischen Größen alles andere als eindeutig ist. Historisch haben sich sowohl S als auch E aus dem Alltagskonzept 'Wärme' entwickelt - Clausius nannte S auch die "reduzierte Wärme".

Entropieleitfähigkeit

Der KPK stützt sich überwiegend auf folgende zentrale Gleichungen der irreversiblen Thermodynamik [siehe z.B. Callen, oder Ashcroft & Mermin Gl.(13.40)] :

$$T \vec{j}_S(t, \vec{r}) = \vec{j}_E(t, \vec{r}) - \bar{\mu} \vec{j}_N(t, \vec{r})$$

$$\frac{\partial s(t, \vec{r})}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_S(t, \vec{r}) = \Sigma_S$$

In Abwesenheit eines elektrischen Stroms gelten:

$$\vec{j}_E = T \cdot \vec{j}_S = -\lambda \vec{\nabla} T$$

$$\Sigma_S = \frac{\lambda}{T^2} (\vec{\nabla} T)^2$$

Entropieleitfähigkeit

$$\vec{j}_E = T \cdot \vec{j}_S = -\lambda \vec{\nabla} T \quad \text{und} \quad \Sigma_S = \frac{\lambda}{T^2} (\vec{\nabla} T)^2$$

Entropiestrom und Temperaturgradient sind proportional: Die Entropieleitfähigkeit $\lambda(T)/T$ ist ebenso leicht messbar wie λ .

Der Beitrag der Entropieproduktionsrate Σ_S ist lokal und *in linearer Näherung* stets gegen den Beitrag der Entropiestromdichte *vernachlässigbar*.

"Bei Punkt B kommt mehr Entropie an, als bei A abgeflossen ist, ... "

JA

"Spätestens hier bricht die Analogie auch schon zusammen, und mit ihr das Konzept einer materialabhängigen Entropieleitfähigkeit. "

NEIN

Wärmeleitung und Irreversibilität

"Der KPK stützt seine Argumentation fast ausschließlich auf die Gleichung $\Delta S = \Delta Q/T$, die nur im eingeschränkten Fall [...] reversibler Prozesse gilt ..."

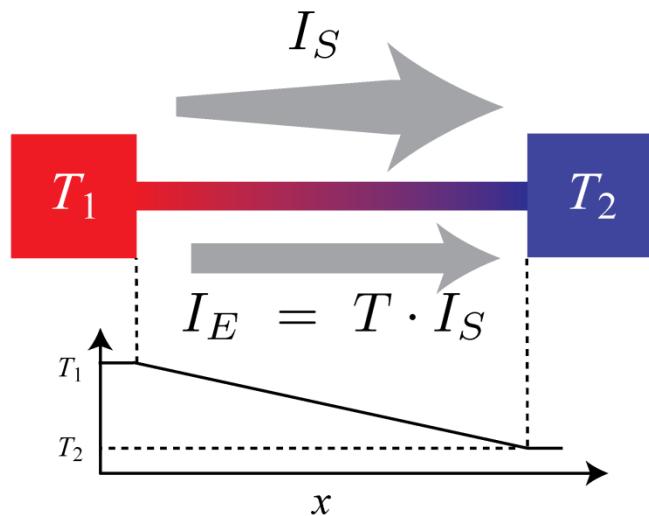
NEIN - Es wird die Relation $I_E = T I_S$ und nicht $\Delta S = \Delta Q/T$ benutzt.

"Es ist zwar richtig, dass neben Wärme auch Entropie fließt. Aber für die Thermodynamik entscheidend ist, dass zusätzlich Entropie erzeugt wird, diese Entropiezunahme ist das Wesentliche an dem Versuch überhaupt! ... Dieser entscheidende Aspekt wird vom KPK einfach verschwiegen."

NEIN – An der im Gutachten diskutierten Stelle wird im KPK zuerst der führende Beitrag des Entropiestroms diskutiert. Die Tatsache, dass der Wärmeleitungsprozess Entropie erzeugt ist eine nicht-lineare Korrektur. Diese Entropieproduktion wird im Abschnitt 1.11 fachlich korrekt erklärt - und wird keineswegs verschwiegen, wie das Gutachten behauptet.

Wärmeleitung und Irreversibilität

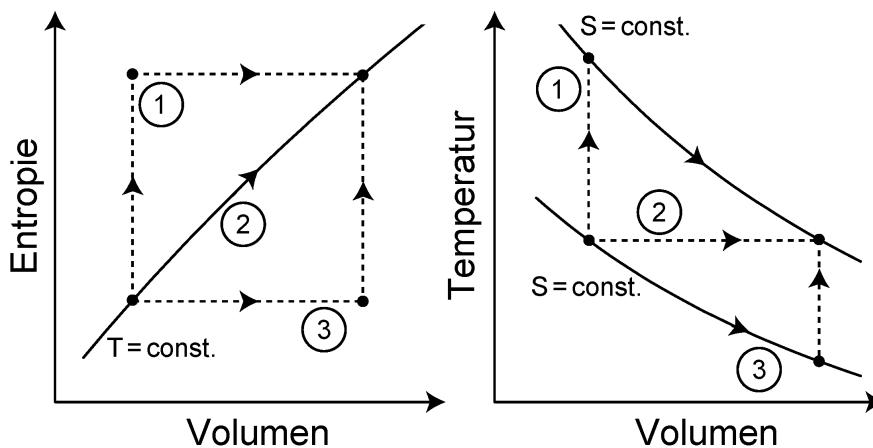
Dass diese Irreversibilität zunächst nicht erwähnt wird, ist dadurch gerechtfertigt, dass für kleine T -Differenzen (für die auch der Entropie-Leitwert erklärt ist) die erzeugte Entropiemenge gegen die übergestromte Entropiemenge vernachlässigt werden kann.



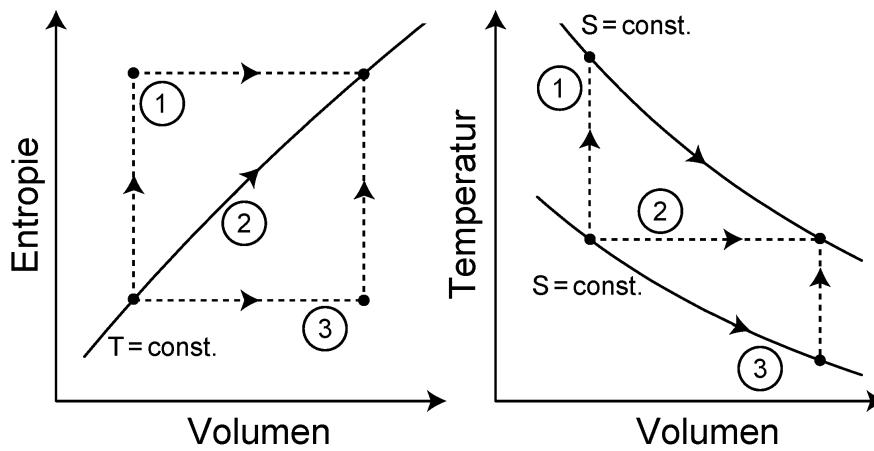
Expansion eines Gases ins Vakuum

Es handelt sich hier *nicht* um einen quasi-statischen Prozess: Er entspricht keinem Weg im Zustandsdiagramm!

Zur Berechnung von ΔS sind verschiedene *reversible* Ersatzprozesse möglich: KPK: ① Nolting: ②



Expansion eines Gases ins Vakuum



Bei dem ersten Prozessschritt in ① „stolpert der KPK über seine eigene Definition, dass nämlich die Entropie nur erhöht werden kann, wenn Wärme zugeführt wird und sich damit die Temperatur erhöht.“

NEIN - Im KPK steht nirgends, dass die Entropie NUR über durch Wärmezufuhr erhöht werden kann!

Expansion eines Gases ins Vakuum

"Die beiden vom KPK behaupteten Effekte treten in der beschriebenen Situation überhaupt nicht auf, so dass das Ergebnis, dass die Temperatur bei der Expansion konstant bleibt, keineswegs ein Zufall ist, sondern notwendig so sein muss, wenn auch nicht aus dem in KPK angegebenen Gründen.,"

Das Gutachten verkennt, dass hier nicht der komplizierte reale Prozess, sondern nur ein möglicher reversibler Ersatzprozess beschrieben wird!

Die Benutzung reversibler Ersatzprozesse ist eine Standard-Vorgehensweise bzw. ein Standardargument.

Expansion eines Gases ins Vakuum

Das Gutachten ignoriert weiterhin, dass die Darstellung im KPK einer in der Thermodynamik üblichen Vorgehensweise folgt, die ausnutzt, dass die Temperatur T_E im Endzustand *unabhängig* von der wie immer gearteten Realisierung des Prozesses ist:

T_E ist allein durch den Anfangszustand $\{E, V_A, N\}$ und die Zustandsgleichungen des Gases gegeben und hängt bei konstantem E und N nur von V_E ab.

Historisch wurde aus dem Versuchsergebnis $T_A \approx T_E$ geschlossen, dass $E(V, T, N)$ für ideale Gase von V weitgehend unabhängig ist, und erkannt, dass dies eine spezielle Eigenschaft der Gase ist. Erst die kinetische Gastheorie suggerierte, dass dies „*notwendig so sein muss*“.

Folgerichtig gibt es auch Fälle – nämlich diejenigen bei, denen das Gas nicht als ideal angesehen werden kann – bei denen eine Abkühlung wegen der Expansion gegen die van der Waals-Anziehung auftritt. Dies wird im KPK fachlich korrekt auseinandergesetzt.

Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole

"Die Maxwellgleichungen mit ($\operatorname{div} B = 0$) als Grundgleichungen haben nach wie vor Ihre Gültigkeit."

JA - Aber man muss zwischen den mikroskopischen und den makroskopischen Maxwell-Gleichungen unterscheiden. Im letzteren Fall betrachtet man räumlich gemittelte Größen und damit effektives Verhalten!

$$\mu_0 \operatorname{div} \vec{H} = -\mu_0 \operatorname{div} \vec{M} = \rho_m$$

Folglich lässt sich die Divergenz der Magnetisierung sehr wohl als magnetische Ladung interpretieren. Und das wird auch standardmäßig so gemacht!

Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole

660

12 Magnetismus

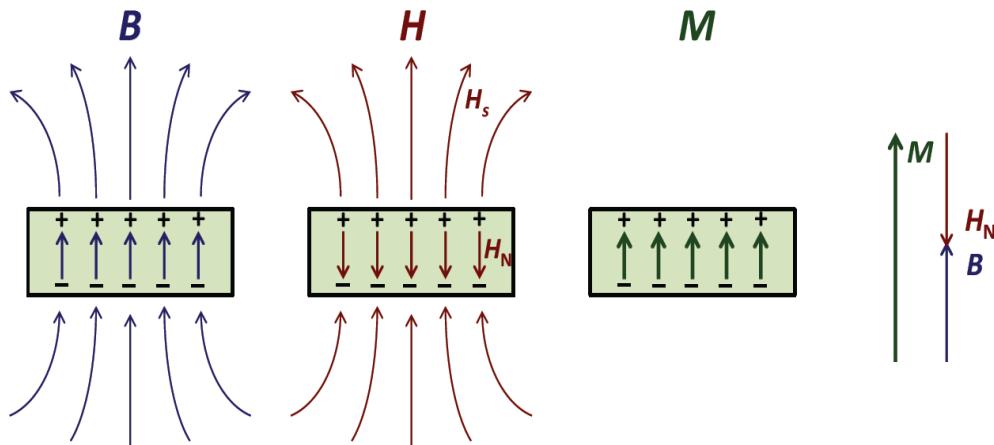
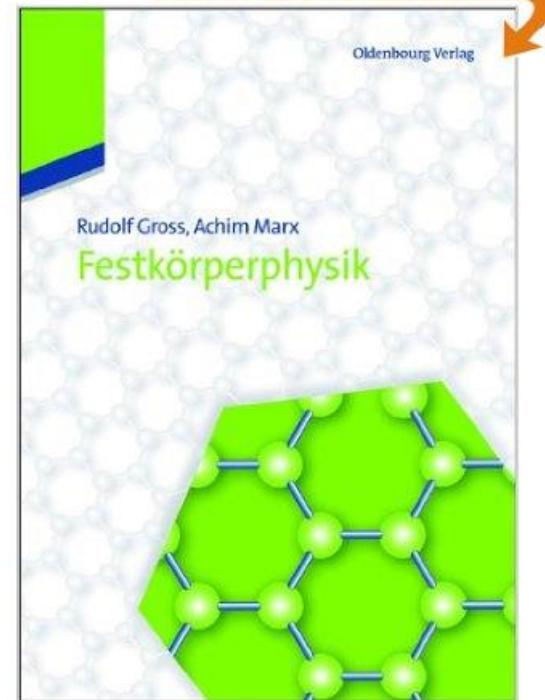


Abb. 12.2: Zur Veranschaulichung der Entmagnetisierungs- und Streufelder einer magnetisierten Scheibe. Das Feld H_N im Inneren der Scheibe wird Entmagnetisierungsfeld genannt, da es der Magnetisierung der Scheibe entgegengerichtet ist. Das Feld H_s im Außenraum wird Streufeld genannt. Die Feldlinien des Streufeldes verbinden die Quellen und Senken der Magnetisierung, die wir als fiktive positive (Nordpol) und negativen (Südpol) magnetische Oberflächenladungen betrachten können. Ganz rechts sind die Größenverhältnisse von B , H und M im Inneren der Scheibe gezeigt.

Hier klicken **Blick ins Buch!**



Gebundene Ausgabe: 1000 Seiten
Verlag: Oldenbourg Wissenschaftsverlag

(19. September 2012)

ISBN-10: 3486712942

ISBN-13: 978-3486712940

Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole

660

12 Magnetismus

.....

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \mu_0 \nabla \cdot (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = 0 \quad (12.1.18)$$

dazu benutzen, um das durch \mathbf{M} generierte Streufeld zu bestimmen. Da $\nabla \cdot \mathbf{H} = -\nabla \cdot \mathbf{M}$, können wir die Quellen und Senken der Magnetisierung als positive und negative „magnetische Ladungen“ betrachten, die das Streufeld generieren. Im Gegensatz zu elektrischen Ladun-

12.1 Makroskopische Größen

661

gen treten magnetische Ladungen nie alleine sondern immer paarweise auf (es gibt keine magnetischen Monopole). Im Inneren der Scheibe nennen wir das Magnetfeld \mathbf{H}_N , im Außenraum \mathbf{H}_s .

Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole



The European Physical Society

2012 EPS Condensed Matter Division Europhysics Prize Long Citation

The 2012 EPS Condensed Matter Division Europhysics Prize is awarded to Steven Bramwell, Claudio Castelnovo, Santiago Grigera, Roderich Moessner, Shivaji Sondhi and Alan Tennant for the prediction and experimental observation of magnetic monopoles in spin ice. The Prize will be presented at the forthcoming EPS CMD General Conference in Edinburgh (UK).

Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole: Magneticity

The large entropy allows these two spin configurations to separate and move independently generating a pair of elementary excitations. This splits the magnetic dipole into a pair of magnetic monopoles. In an elegant paper, Castelnovo, Moessner and Sondhi derived a gauge field theory for spin ice and demonstrated that this field theory can exhibit a deconfined phase in which free monopoles appear as pairs. The proliferation of tetrahedra which violate the 2 in and 2 out constraint, leads to a magnetic analogue of an electrolyte with emergent magnetic monopoles.

The prediction of free magnetic monopoles was rapidly verified in a series of beautifully conceived experiments. Bramwell and coworkers exploited the analogy to the electrolyte to observe the magnetic version of the Wien effect whereby the increase in the density of magnetic monopoles in an applied magnetic field, was monitored by the spin relaxation rate of injected spin polarized muons. Both Bramwell and colleagues and Grigera, Tennant and colleagues used neutron scattering to examine the magnetic fluctuation spectrum in detail. The latter group studied the diffuse neutron scattering spectrum in spin ice dysprosium titanate to demonstrate the existence of “Dirac Strings” which connect the free monopoles, by manipulating the density and orientation of these strings in an external magnetic field. In addition, they showed that the heat capacity could be nicely explained as a gas of magnetic monopoles interacting via a magnetic Coulomb potential. Complementary corroborative evidence of the emergent gauge field structure was obtained by the former group by studies of the special ‘bow tie’ form of the magnetic structure factor using spin polarized neutron scattering in the holmium titanate.

Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole

„ ... wie schon oben beschrieben ist bisher die Suche nach magnetischen Monopolen erfolglos geblieben. Also gibt es für magnetische Ladungen bisher keine experimentelle Rechtfertigung.“

NEIN – Magnetische Ladungen werden standardmäßig benutzt und zwar in der Theorie wie auch im Experiment.

„Obwohl diese Tatsache den Autoren des KPK bekannt ist, formulieren sie in den Unterrichtshilfen [2]: ‚Die Frage ist nicht, ob es magnetische Ladungen gibt oder nicht, sondern ob ihre Einführung zweckmäßig ist oder nicht‘. Das ist nun ein Argument, dass das Vorgehen des KPK in den Augen seriöser Wissenschaftler vollständig diskreditiert.“

OHNE KOMMENTAR

Zusammenfassung

- Verwischung der Unterscheidung von Energie und Entropie -
Nein, denn die Relationen zwischen Energie und Entropie werden fachlich korrekt dargestellt.
- Entropie und Temperaturausgleich, Entropieleitfähigkeit -
Entropie fließt beim Temperaturausgleich (anders kann S im heißeren Körper nicht abnehmen), die gleichzeitig fließende Energie sowie die Irreversibilität dieses Vorgangs werden später fachlich korrekt dargestellt.
- Entropie und die freie Expansion von Gasen -
Die Darstellung des KPK ist in allen kritisierten Punkten fachlich korrekt.
- Magnetische Ladungen und Magnetische Monopole -
Die Darstellung des KPK ist fachlich korrekt.

Das Fazit des Gutachtens: „Er (der KPK) baut wesentlich auf willkürlich gewählten, nicht durch Messvorschriften belegbaren, oder Messungen zum Teil widersprechenden Begriffen auf, ... die größtenteils dazu dienen, behauptete Analogien quer durch die gesamte dargestellte Physik durchhalten zu können. Dadurch erzeugt der KPK eine grundsätzlich falsche Vorstellung von Physik.“ ist auf der Basis dieser fachlichen Kritik nicht haltbar!