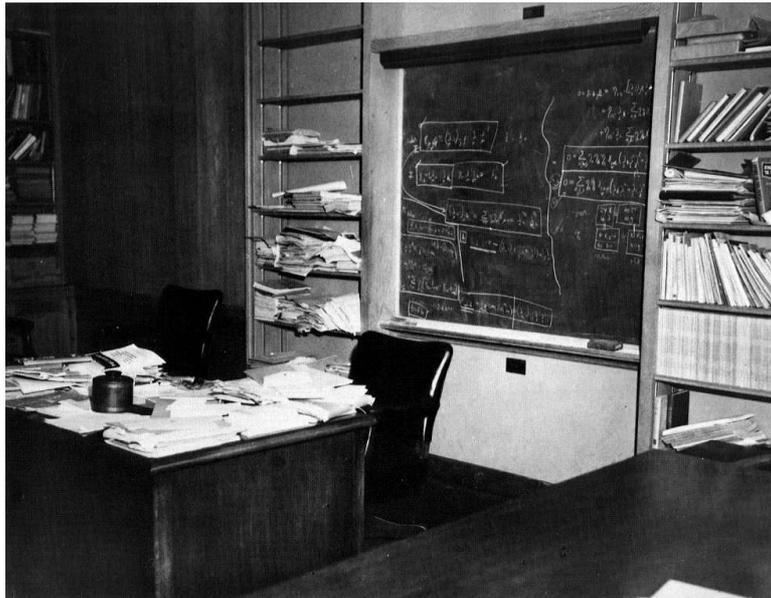


28. November 2005

# Einstein-de Haas Effekt

Gruppe 36

<b>Simon Honc</b> shonc@web.de	<b>Christian Hütter</b> Christian.huetter@gmx.de
-----------------------------------	---



# I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis.....	2
II.	Theoretische Grundlagen .....	3
1.	Dia-, Para- und Ferromagnetismus.....	3
a)	Diamagnetismus:.....	3
b)	Paramagnetismus:.....	3
c)	Ferromagnetismus:.....	3
2.	Hysterese .....	3
3.	Schwingungen .....	4
4.	magnetischer Moment .....	5
III.	Experimenteller Aufbau .....	6
Anhang	.....	8
Datenblätter	.....	8

## II. Theoretische Grundlagen

### 1. Dia-, Para- und Ferromagnetismus

#### a) Diamagnetismus:

Diamagnetische Stoffe besitzen eine kleinere Permeabilität als Vakuum. Diese ist meist temperaturunabhängig. Bewegt man ein Diamagnetikum in ein Magnetfeld, wirkt auf ihn eine Kraft, die der Bewegung entgegen wirkt. Da sie keine permanente magnetische Momente enthalten, entsteht diese Schwächung durch Präzessionsbewegungen der vom Magnetfeld angeregten Elektronenbahnen. Eigentlich ist jeder Stoff diamagnetisch. Die Effekte können aber durch stärkere paramagnetische oder ferromagnetische Effekte verdeckt werden.

#### b) Paramagnetismus:

Paramagnetische Stoffe werden in ein Magnetfeld hineingezogen. Ihre Permeabilität ist größer als die von Vakuum. Sie besitzen atomare magnetische Momente, die versuchen sich parallel zu einem äußeren Feld auszurichten, und damit dieses stärken. Im Gegensatz zu Diamagnetika sind sie von der Temperatur abhängig:

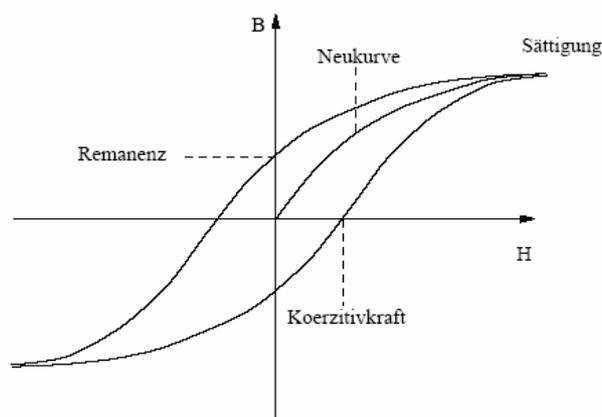
$$\mu_r - 1 = \frac{C}{T}$$

#### c) Ferromagnetismus:

Bei ferromagnetischen Stoffen ist die Magnetisierung dem Feld  $H$  gleichgerichtet. Die Permeabilität ist sehr viel größer als in paramagnetischen und diamagnetischen Stoffen. Dadurch kommt es zu Wechselwirkungen innerhalb des Materials. Es entstehen mikroskopisch kleine Bereiche mit homogener spontaner Magnetisierung. Diese bezeichnet man als Weiss-Bereiche. Ferromagnetika sind ebenfalls abhängig von der Temperatur. Bei Überschreitung der Curie-Temperatur werden ferromagnetische Stoffe zu Paramagnetika.

### 2. Hysterese

Die Magnetisierung  $J$  des Eisens wächst bei kleinen Feldern zunächst etwas stärker als zur Feldstärke proportional an, nimmt dann weniger steil zu und führt schließlich zu einer Sättigung. Lässt man nun die Feldstärke wieder abnehmen, so ist die beobachtete Magnetisierung größer als die zu gleicher Feldstärke gehörende Magnetisierung der jungfräulichen Kurve.  $J$  beschreibt eine Hysteresisschleife:



Dabei bezeichnet man das magnetische Feld bei  $J=0$  als Koerzitivfeld, und die Magnetisierung, wenn kein Feld vorhanden, ist als Remanenz.

### 3. Schwingungen

Wirkt auf eine Schwingung zusätzlich eine periodische Kraft von außen, folgt für die Bewegungsgleichung der Schwingung:

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{K}{m} \cos \omega t$$

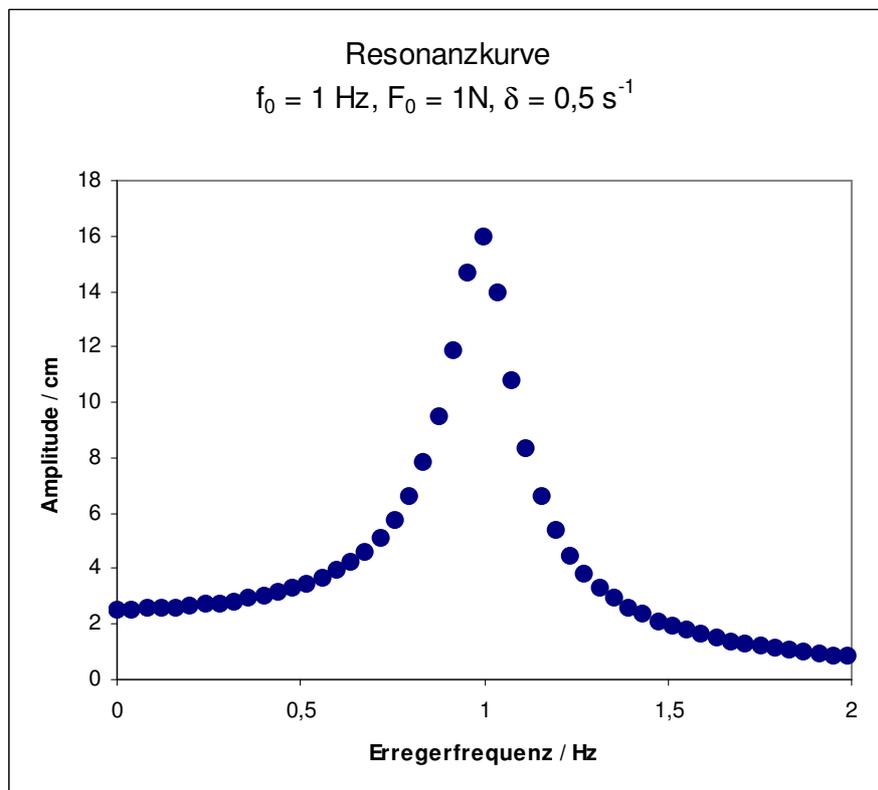
Hierbei ist  $\gamma$  die Dämpfung,  $\omega_0$  die Eigenfrequenz.

Man kommt zur allgemeinen Lösung:

$$x(t) = A_1 e^{-\gamma t} \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega t + \varphi)$$

mit  $\omega_1 = \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$  und  $A_2(\omega) = \frac{\sqrt{2K}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\omega\gamma)^2}}$

Das Maximum von  $A_2$  liegt also bei:  $\omega_R = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2}$



Aus der Grafik geht hervor, dass die Amplitude der Schwingung ein Maximum hat, wenn die Erregerfrequenz gleich der Frequenz der freien Schwingung ist. Würde man die Dämpfung vergrößern, würde sich das Maximum etwas nach links verschieben und die Kurve würde flacher verlaufen.

Um die Dämpfung zu untersuchen, wird die Anregung abgebrochen und der Ausklingvorgang beobachtet:

$$A(t) = Ae^{-\gamma t} \Leftrightarrow \gamma = -\frac{1}{t} \ln \frac{A(t)}{A}$$

Man betrachtet die Zeiten  $t_0$  wenn die Amplitude auf  $\frac{A}{e}$  ( $\approx 37\%$ ) abgefallen ist. Dann folgt:  $\gamma \cdot t_0 = 1$

#### 4. magnetischer Moment

Wir betrachten die Pauligleichung, also ein freies Teilchen im elektromagnetischen Feld:

$$H = \frac{\vec{p}^2}{2m} - \frac{e}{2m} \vec{B} \cdot (\vec{L} + 2\vec{S}) + e\Phi$$

Man sieht, dass es, genauso wie für den Bahndrehimpuls, auch für den Spin möglich ist ein magnetisches Moment zu definieren, der sich nur um einen Vorfaktor, den gyromagnetischen Faktor unterscheidet:

$$\begin{aligned} \vec{\mu}_L &:= \frac{e}{2m} \vec{L} \\ \vec{\mu}_S &:= g \cdot \frac{e}{2m} \vec{S} \end{aligned}$$

Es ergibt sich für ein freies Teilchen im Magnetfeld also ein Vorfaktor von  $g = 2$ .

Bei Mehr-Teilchensystemen, wie Atome es sind, ist dieser Faktor, auch Lande-Faktor genannt, jedoch komplizierter. Hier kommt es nämlich zu einer Kopplung zwischen Bahndrehimpuls und Spin. Man definiert deshalb einen Gesamtdrehimpuls  $\vec{J} = \vec{S} + \vec{L}$ , der ebenso einem magnetischen Moment  $\vec{\mu}_J$  zugeordnet wird. Für den Lande-Faktor gilt dann:

$$g = 1 + \frac{j(j+1) - l(l+1) + s(s+1)}{2j(j+1)}$$

Beim Einstein- de Haas-Effekt wird der Induktionsstrom beobachtet, der durch das magnetische Moment  $\vec{\mu}_J$  hervorgerufen wird.

### III. Experimenteller Aufbau

## Literatur und Quellangaben

- B. Bruhn/M. Seyfried, Einstein-de Hass-Effekt, 2005
- S. Honc/C. Morhard, Der Transformator, 2004
- S. Honc/C. Hütter/C. Barth, Zeemaneffekt, 2005

# Anhang

Datenblätter