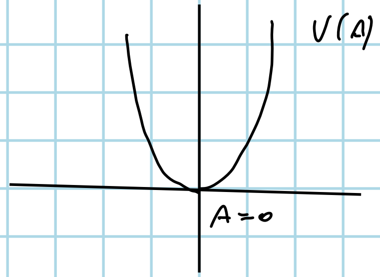
Statistische Physik II 9.12.08

$$H = \frac{p^2}{2m} + V(\vec{r})$$

$$\rho \simeq \rho_0(1+g)$$

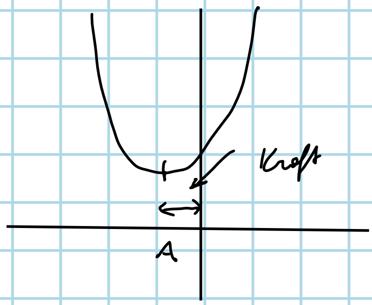
$F = \emptyset$



$$H_0 = \frac{p^2}{2m} + V(r)$$

ungestört

$F \neq 0$



$$\rho \simeq \rho_0$$

$$R(t) = -\{\underbrace{V(\vec{r},t)}_{V(\rho)}, \rho\} \simeq -\{V_0(\vec{r},t), \rho\}$$

$$-\{\delta V, \rho^0\}$$

$$\partial_t \rho^0 = -\{H_0 \, \rho^0\} = \emptyset$$

lineare Antworttheorie nur f. verdünntes Gas!

QM: Aus Liouville v. Neumann Gl.:

ρ_0 ist zeitunabhängig

Nur Abweichung vom GGW ist zeitabhängig

WW-Bild keine Störung: $\Delta\rho = \emptyset$

$t \to -\infty$ $\rho = \rho_0$

$\Delta\rho$ ausrechnen $\to \int_{-\infty}^{t}$

ρ hat GGW-Teil & Abweichungs-Teil ... $\langle B(t)\rangle$ berechnen

$Sp(XY) = Sp(YX)$

$(XY)_{ij} = \sum_k X_{ik} Y_{kj}$

$Sp(XY) = \sum_i (XY)_{ii}$

$= \sum_i \sum_k X_{ik} Y_{ki}$

$= \sum_k \sum_i Y_{ki} X_{ik} = Sp(YX)$

$\lim_{T \to \infty}$ od $\lim_{B \to 0}$ B^2 - Term vernachlässigen da $B \to \emptyset$

WW-Bild - Zeitentw.

$\langle \ldots \rangle_0$: Erwartungswert mit GGW-Dichtematrix ρ_0

I weggelassen, da $\langle \rangle$ in jedem Bild gleich

Koordinaten-Trafo: $s = t - \tau$

Definiere: ϕ_{BA} ~ Green Funktion

Antwort ist linear in der Störung B ??

ohne $\lim_{T \to \infty}$: $\phi_{AB} - \frac{1}{i\hbar} Sp(B^I(\tau) [A, \rho_0])$ // Koord.-Trafo $t = 0$: $A = A^I(t = \phi)$

oder explicit : $-\frac{1}{i\hbar} Sp(B^I(\tau) (A\rho_0 - \rho_0 A))$

$= -\frac{1}{i\hbar} [Sp(B^I(\tau) \underbrace{A}_{A^I(\emptyset)} \rho_0) - Sp(B^I(\tau) \rho_0 \underbrace{A}_{A^I(\emptyset)})]$

$$= -\frac{1}{i\hbar}\left[Sp\left(B^I(t)\, A^I(\emptyset)\, \rho_0 \right) - Sp\left(A^I(\emptyset)\, B^I(t)\, \rho_0 \right) \right]$$

$$= -\frac{1}{i\hbar} \left\langle \left[B^I(t), A^I(\emptyset) \right] \right\rangle_0$$

QM Version d. lin Antworttheorie

Anwendung: elektrische Leitfähigkeit // Elektronengas

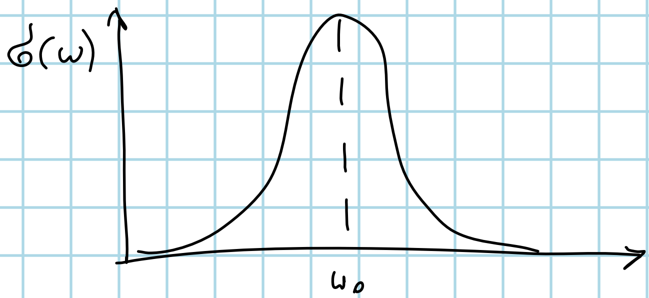
$$H_0 = \frac{p^2}{2m} + V(r) + e\vec{r}\,E(t)$$

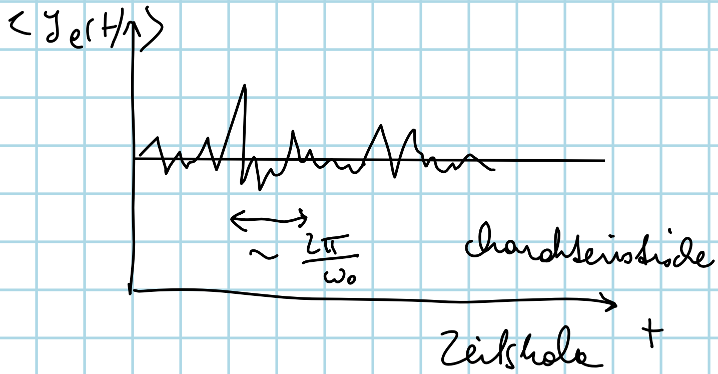
warum kein $\rightarrow$?

Ansatz aus lin. Antworttheorie

$J = \sigma E$ $\qquad \langle J_e(t)\, J_e(0) \rangle$ -- Autokorrelationsfkt.

Fourier-Trafo davon ist spektrale Dichte

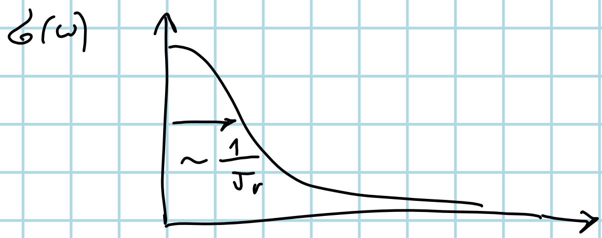




Wechselstrom ist nicht in Resonanz $\rightarrow$ $\sigma(\omega)$ klein

$\langle J_e(\omega) \rangle$ ausrechnen: zB Annahme ex. $\langle J_e(t)\, J_e(\emptyset) \rangle \sim e^{-\frac{t}{J_r}}$

Korrelation



f. ein konstantes E-Feld

$$\int_0^\infty d\tau \, \langle J(\emptyset)^2 \rangle \, e^{-\frac{t}{\tau_r}} = \tau_r \langle J^2(\emptyset) \rangle_0$$

$$\underline{\sigma = \frac{3V}{N} \tau_r \langle J(\emptyset)^2 \rangle}$$

$$J = e n \underbrace{\frac{dr}{dt}}_{v}$$

$$= \frac{3V}{N} \tau_r e^2 n^2 \langle v^2 \rangle_0$$

$$\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{1}{2} k_B T$$

$$= \frac{3V}{N} \tau_r e^2 n^2 \frac{k_B T}{m}$$

$$\sigma = \tau_r e^2 n \frac{1}{m} \quad // k_B T \text{ gekürzt}$$

$$\boxed{\frac{d}{dt} v = \frac{e}{m} E - \frac{v}{\tau_r}}$$

$$\langle J \rangle = e n \langle v \rangle$$

$$\frac{d}{dt} v = \emptyset \qquad v = \frac{e}{m} E \tau_r$$

$$= \underbrace{\frac{e^2 n}{m} \tau_r}_{= \sigma} E$$

gleiches Ergebnis wie bei lin. Antworttheorie

Auto-Korrelationsfkt. f. Wärmestromdichte

Onsager-Reziprozitäts-Beziehung

Beziehung v. Teilchenstrom & Energiestrom über Matrix → Kopplung

$A_1 F_1$ & $A_2 F_2$ 2 kleine Störungen

1 Kraft vom T-Grad & 1 vom Dichte-Grad

Korrelationen berücksichtigt d. Mischterme $\langle j_1 j_2 \rangle \ldots$

$$\sigma_{21} \sim \int \ldots \langle \hat{j}_2 \hat{j}_1 \rangle$$

$$\sigma_{12} \sim \int \ldots \langle \hat{j}_1 \hat{j}_2 \rangle$$

Θ : Zeitumkehrop.