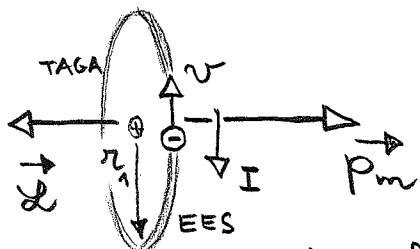


DIA - JA PARAMAGNETISM

1. BOHR'I MAGNETON - MAGNETMOMENT, MIDA TEKITAKS VESINIKU AATOMIS BOHR'I MUDELI KOHASELT TIIRLEV ELEKTRON

KUI RINGVOOL:

$$I = ef = \frac{e}{T} = \frac{ev_1}{2\pi r_1} \leftarrow \text{KIIRUS PÕHIOLEKUS (n=1)} \leftarrow \text{ORBIIDI PIKKUS}$$



$$p_m = IS = \frac{ev_1}{2\pi r_1} \cdot \pi r_1^2 = \frac{ev_1 r_1}{2} \cdot m \leftarrow \text{ELEKTRONI MASS}$$

$$= \frac{e}{2m} \cdot \underbrace{mv_1 r_1}_{L_1 = \hbar} = \frac{e}{2m} \hbar = \mu_B \text{ (või } \beta)$$

EL. IMPULSIMOMENT PÕHIOLEKUS (n=1)

BOHRI MAGNETON: (TÄHIS μ_B või β)

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$$

ARVULISELT:

$$\mu_B = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J/T}$$

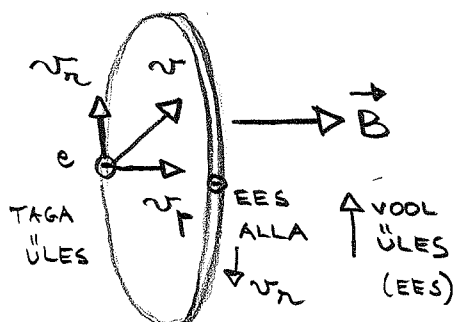
$$\vec{p}_m = - \underbrace{\frac{e}{2m}}_{\gamma} \vec{L}$$

GÜDMAGNETILINE KORDAJA: (MAGNETMOMENDI JA IMPULSIMOMENDI SUHE)

$$\gamma = - \frac{e}{2m} \text{ (VES. AAT. PÕHIOLEKUS)}$$

2. TSÜKLOTRONSAIGEDUS ω_c - SELLE TIIRLEMISE NURKKIIRUS, MIS LISANDUB ELEKTRONI MISTAHES LIKUMISELE MAGNETVÄLJAS.

EL. KIIRUS v LAHUTUB KAHEKS KOMPONENDIKS: MAGNETVÄLJAGA PARALLEELSEKS v_p JA M.V. GA RISTUVAKS v_n .



TEKIB LORENTZI JÕUD $e v_n B$, MIS ANNAB

$$\text{KESKTÖMBEKIIRENDUSE: } a_k = \frac{v_n^2}{r} \leftarrow \text{TIIRLEMISE RAADIUS}$$

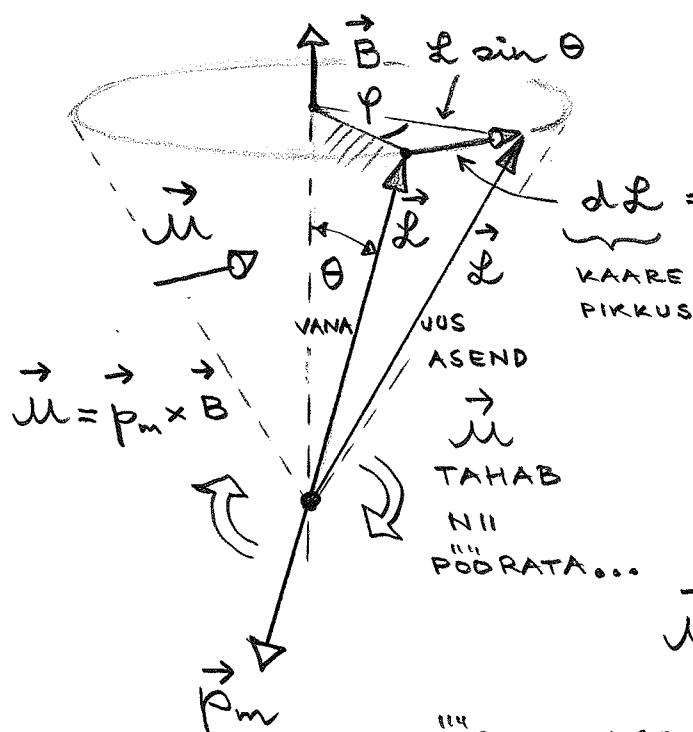
VOOLU MAGNETVÄLI B'
 B' - RAKENDUVALE VÄLJALE B VASTASSUUNALINE: $B' \uparrow \downarrow B$

$$\omega_c = \frac{v_n}{r} = \frac{e}{m} B$$

DIAMAGNETISMI TEKKEPÕHDUS!

3. LARMOR - PRETSESSIOON: ELEKTRONI ORBITAALNE IMPULSI-

MOMENT $\vec{L}$ LIIGUB MÖÖDA
KONUSPINDA, MILLE TELJEKS ON $\vec{B}$



$$dL = \underbrace{L \sin \theta}_{\text{KAARE Pikkus}} d\varphi \leftarrow \text{rad. def.} \quad *$$

PRETSESSIOONI NURKKIIRUS:

$$\omega_L = \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow d\varphi = \omega_L dt \quad *$$

$$\vec{\mu} = \frac{d\vec{L}}{dt}; \quad |\vec{\mu}| = \frac{L \sin \theta \omega_L dt}{dt}$$

PÖÖRDLIIKUMISE DÜN. PÕHIVÖRRAND

$$\omega_L = - \frac{\mu_m}{L} B = - \frac{e}{2m} B$$

GÜROMAG. KORDAJA

$$\omega_L L \sin \theta = - \mu_m B \sin \theta$$

$L \uparrow \downarrow \mu_m$

4. KLASSIKALINE DIAMAGNETISM:

MAG. VÄLJA RAKENDAMISEL AINELE TEKITAB LARMOR-PRETSESSIOON
TÄIENDAVA IMPULSIMOMENDI $\vec{L} = I \omega_L$ (I - INERTSIMOMENT)

NING MAGNETMOMENDI:

$$\mu_m = \gamma L = \gamma I \omega_L = - \frac{e}{2m} \cdot \underbrace{m r^2}_{I} \underbrace{\frac{e}{2m}}_{\omega_L} B = - \frac{e^2 r^2}{4m} B \quad (1)$$

↑
atomaarne lisa-mag. mom.

$$\langle r^2 \rangle = \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle + \langle z^2 \rangle = 3 \langle x^2 \rangle$$

RUUMISUUNDADE SAMAVÄÄRSUS

KOLMEST RUUMISUUNAST TEKITAVAD INERTSIMOMENTI VAID KAKS
(KOLMAS ON MAGNETVÄLJA SUUND E. PRETSESSIOONI TELG)

SEEGA VAL. 1. ESINEV $r^2 = \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle = \frac{2}{3} \langle r^2 \rangle$

$$\langle \mu_m \rangle = - \frac{e^2}{4m} \frac{2}{3} \langle r^2 \rangle B = - \frac{e^2}{6m} \langle r^2 \rangle B$$

$$\chi_{dia} = \frac{M_{dia}}{H} = \frac{n \langle \mu_m \rangle}{H} = \frac{n e^2 \langle r^2 \rangle}{6m H} \mu_0 H$$

$$\chi_{dia} = - \frac{\mu_0 n e^2 \langle r^2 \rangle}{6m}$$

VASTUVÖTLIKKUS
EI SÖLTU TEMPERatuurIST!

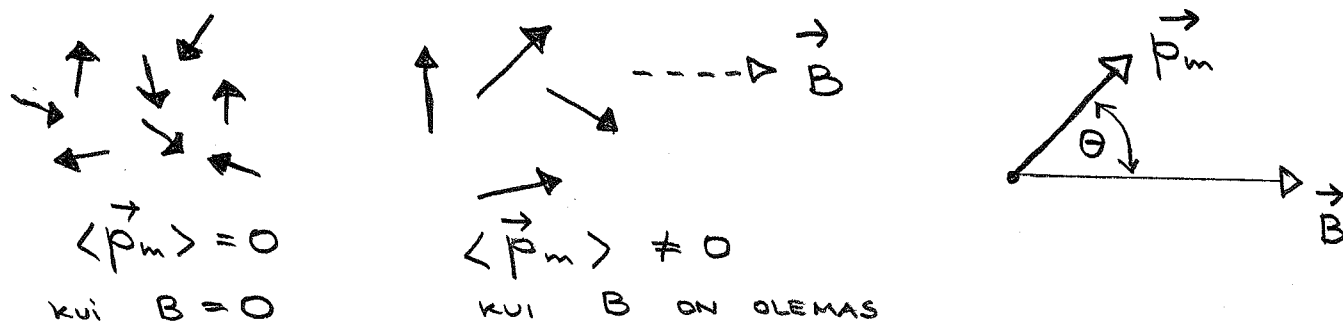
MAGNEETUMUSVEKT.

$$\vec{M} = \frac{d}{dV} \sum \vec{p}_m = \frac{N \langle \vec{p}_m \rangle}{V} = n \langle \vec{p}_m \rangle$$

↑
AATOMITE
KONTSENTRAT-
SIOON

5. KLASSIKALINE PARAMAGNETISM

AINEOSAKESE MAGNETMOMENT VÕIB KL. JUHUL PAIKNEDA SUVALISE NURGA θ ALL MAGNETVÄLJA SUHTES:



$\cos \theta$ KESKMISTAMINE ANNAB NN. LANGEVIN'I FUNKTSIOONI

SEEJUURES:

$$\mathcal{L}(x) = \coth x - \frac{1}{x}, \quad \text{kus} \quad x = \frac{p_m B}{kT}$$

$$\coth x = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}} \quad \text{NII ET} \quad k - \text{BOLTZMANNI KONSTANT}$$

p_m KESKMINE $\dots \rightarrow \langle p_m \rangle = p_m \mathcal{L}(x)$

B - SUUNALINE KOMPONENT

kui $p_m = \mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J/T}$,

SIIS $p_m B \approx 10^{-23} \text{ J}$ TUGEVAS M.VÄLDAS ($B = 1 \text{ T}$)

$kT (300 \text{ K}) = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 300 \text{ K} \approx 4 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ (400 KORDA SUUREM)

SEEGA $\frac{p_m B}{kT} = x \ll 1$ ja $\coth x = \frac{1}{x} + \frac{x}{3} + \dots$

$\mathcal{L}(x)$

KÕRGEMAD LIHKMED TÕHISED

SAAME:

$$\langle p_m \rangle = p_m \left(\frac{1}{x} + \frac{x}{3} - \frac{1}{x} \right) = \frac{p_m x}{3}$$

MAGNEETUMUS

$$M = n \langle p_m \rangle = n p_m \frac{p_m B}{3 kT}$$

$$\chi_{\text{para}} = \frac{M_{\text{para}}}{H} = \frac{n p_m^2}{3 kT} \frac{\mu_0 H}{B} = \frac{\mu_0 n p_m^2}{3 kT} = \frac{C}{T}$$

CURIE' SEADUS

$$C = \frac{\mu_0 n p_m^2}{3 k}$$

CURIE' KONSTANT

6. PARAMAGNETISMI KVANTTEOORIA

FMP $\Rightarrow$ OSAKESE IMPULSIMOMENDIL SAAVAD OLLA AINULT KINDLAD VÄÄRTUSED $\Rightarrow$ SAMA KA MAGNETMOMENDIL.

ORBITAALSE MAG. MOMENDI VEKTORI PIKKUS:

$$|\vec{p}_{m, orb}| = \gamma \hbar \sqrt{l(l+1)} \quad l - \text{ORBITAALKVANTARV}$$

VEKTORI PROJEKTSIOON: $p_{m,z} = \gamma \hbar m_l$
 (MAG. VÄLJA SUUNALE) $m_l - \text{MAGNETKVANTARV}$
 SAMA KEHTIB

KA SPINN - MAGNETMOMENDI KOHTA... $m_l = -l, \dots, +l$

KUI 2 ELEKTRONI ORB. KV. ARVUD ON l_1 JA l_2 , SIIS SÜSTEEMI KVANTARVUD: $|l_1 - l_2|, \dots, l_1 + l_2$

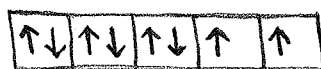
SAMAL PÕHIMÖTTEL JÄTKATES LEIAME TERVE AATOMI (IOONI) KVANTARVUD L JA S (ORB. JA SPINN)

NING SISEKVANTARVUD $J = |L - S|, |L - S| + 1, \dots, L + S$.

J KIRJELDAB ORB. JA SPINN - MOMENTIDE KOOSMÕJU...

NAIDE: IOON Ni^{2+}

PÕHIOLEK
(3d8)



$l: -2 -1 0 1 2$
 $s: 0 0 0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$

MAX. $L = 1 + 2 = 3$

MAX. $S = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$

$J = 3 - 1, \dots, 3 + 1$

2, 3, 4

ERINEVA J - GA OLEKUTE VEIDI ERINEV

ENERGIA ON SPIN-ORBITAALNE LÕHENEMINE (SPIN-ORBIT SPLITTING)

MAGNET-SISEKVANTARV: $m_J = (-J, -J+1, \dots, +J)$

OLEKU PÄRITOLU NÄITAB LANDE TEGUR:

PUHTAL ORBITAALOLEKUL $g = 1$
 - II - SPINN OLEKUL $g = 2$
 $g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$

$\langle p_m \rangle = g \mu_B \sqrt{J(J+1)} B_0(x)$, KUS BRILLOUINI FUNKTSIOON:

$\downarrow$ SEE MÄÄRAB $p_{m, eff}$ $B_0(x) = \frac{2J+1}{2J} \coth\left(\frac{2J+1}{2J} x\right) - \frac{1}{2J} \coth \frac{x}{2J}$

CURIE' KONSTANDI:

$$C = \frac{\mu_0 N_A p_{m, eff}^2}{3k}$$

BR. FUNKTS. ON] SIIN IKKA $x = \frac{p_m B}{kT}$
 LANGEVIN' I FUNKTSIOONI $\uparrow$

KVANT - ANALOOG.

KIRJELDAB

TEMPERATUURI MÕJU

KESKMISELE PROJEKTSIOONILE

ja $\chi_{para} = \frac{C}{T}$