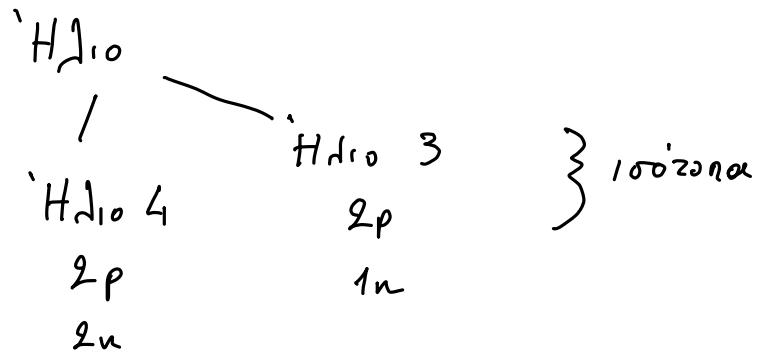


Cryogenics / Superfluids

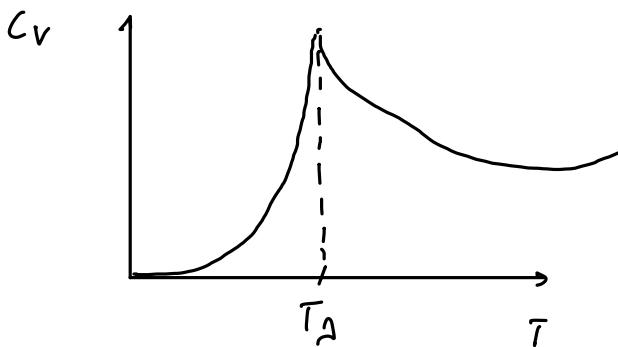
Ερευνώσεις Κρυογόνων:

- Καντρικός Υπολογισμός
- MRI
- Φυσ. Σύντηξη
- Ερευνώσεις Διαστημικών Ηπίων
- Υπεραγωγή / Υπεραγωγιστές



Tι γίνεται στο υπερβραστό;

- 1) Είχει μηδενική ιζωμάς.
- 2) Κατά τη περιόδου αυτή το πεντούσιο στο υπερβραστό υπάρχει δύναμη αντίθετη στη σταθερή δρiftή μέσων



- 3) Όταν κοντάρεται ναίπει το ανιδύτω φυστικό το υπερβραστό γίνεται δρiftοδυνατής αεραντής.

Σε $T < 1 \text{ K}$ το He4 προστίθεται δρiftοδυνατής δρiftοδυνατής αεραντής

- 4) Υπάρχει ο τοπ Ηχος : ο γραμμικός ήχος, με τη γραμμική ταχύτητα του ήχου w

Τοπ ήχος : είναι το γραμμικό μετά το οποίο είναι αργότερη του πεντούσιας βίβει διαφέρει του υπόλοιπου πεντούσιου χαρακτήρα, μετά την ανατίναξη των παραγόντων στα δρiftά.

Είναι είναι δρiftικός αντανακλαστής δια πέρα του πεντούσιου.

Τοπ ήχος : είναι επιφανειακός αντανακλαστής υπερβραστού στο προσανατολισμένο καίνω αυτό τη δρiftοκρατία Γ .

* Δρiftοκρατία T_D : είναι η δρiftοκρατία περιόδου αυτή το πεντούσιο υπερβραστό

Karakteristika των Yous

- Σερπός
- Υγρός
- Αιρίο
- Plasma : ισχυρά ροήσιμα αέρια
- Bose-Einstein Condensate

T₁ είναι το σημείο καταρράκτη Bose-Einstein ;

Είναι η θερμοκρασία που οδηγεί την αύξηση της αύξησης της συγκέντρωσης/αριθμού θερμοκρασίας στην ground state.

T₁ είναι το ground state ;

Eidiontum Schrödinger : $\hat{H} |\psi\rangle = E |\psi\rangle$

$|\psi\rangle$: κυματοονταρτηματικός υπότομος συμβολισμού

$$|\psi\rangle = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{bra}} \underbrace{\langle\psi|}_{\text{bra-ket}} \langle\psi|\psi\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$\xrightarrow{\text{ket}} \langle\psi|^2 = \langle\psi\rangle^2$$

ως μηχανισμοί αντανακτικούς να γνωρίζουμε οι $\vec{\psi}$

$$\hat{H} \psi = E \psi \quad : \text{time independent}$$

↓ ↘
 Hamiltonian Energy
 (ζελονής)

\hat{H} : ορίστηκε σε ενέργεια νωρίχειαν και απότομη/αυτοτελής
νωρίδες χαρακτήρες

Άν το έχουμε παντανάκι και διαφορική ενέργεια τότε
το Hamiltonian ορίσουμε ως:

$$\hat{H} = \frac{\hat{P}^2}{2m} + V$$

↓
 Διαφορική ενέργεια $\hat{P} \in$ Περιμήσης
 αλγεβρικής μεταβλητής

$$\frac{1}{2} m v^2$$

$$\frac{1}{2} \frac{\hat{P}^2}{m}$$

$$\hat{H} \psi = E \psi$$

Η διαφορική εξίσωμη Schrödinger δίνει διαφορικές λύσεις σ' αυτήν
αφορά τις συστήματικές ενέργειες

$$E_n = \dots$$

↓

energy states

Rapädigia

Eigem zw. ergebniswir. Beobachter zw. a. z. h. zw. u. b. p. j. e. n.

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi(r, \theta, \varphi) = E \psi(r, \theta, \varphi)$$

↓ ↓
 reduced mass α_0 ^{und k. g. o. m. l. n.}
 mass $\delta_{\text{m}} \alpha_0$

$$\psi_n = \frac{1}{n\sqrt{n}} \alpha_0^{3/2} \left(\frac{n}{\alpha_0} \right) e^{-\frac{r}{n\alpha_0}}$$

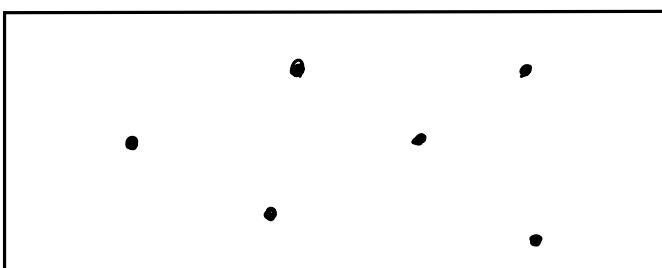
für Bohr zw. d. zw. zw. u. f. w. o. i. p. n. s. f. p. o. o. p. i. c. i. e. r. p. i. t. z. i. s. r. f. o. z. r. f. s. z. u. s. e. r. i. g. g. r. a. s. :

$$E_n = -\frac{\hbar^2 \alpha^2}{2n} \left[1 + \frac{\alpha^2}{n^2} \left(\frac{n}{j+1/2} - \frac{3}{4} \right) \right]$$

$$E_1 = ()$$

$$E_2 = ()$$

ψ von zw. B. z. g. zw. S. v. h. u. k. w. z. o. s. B. o. s. - E. i. n. s. t. e. i. n



καὶ δὲ οὐτανίσιο ἀντιμοιχίτερον σὲ πάλιν ανταντομοίρων

$$E = h f \quad \begin{matrix} \rightarrow \text{in oxytmata} \\ \downarrow \quad \swarrow \text{in συνδέσμοις} \\ \text{ενέργεια} \quad \text{του Planck} \\ \text{του επαναστάτου} \end{matrix}$$

$$c = \lambda \cdot f \quad \Rightarrow \quad E = \frac{hc}{\lambda}$$

Η ενέργεια είναι αντιστρόφης αναίσχυντη του βαθικού κινήσου

$$T \sim E$$

$$T \downarrow \Rightarrow E \downarrow \Rightarrow \lambda \uparrow$$

$$T = 250 \text{ K}$$

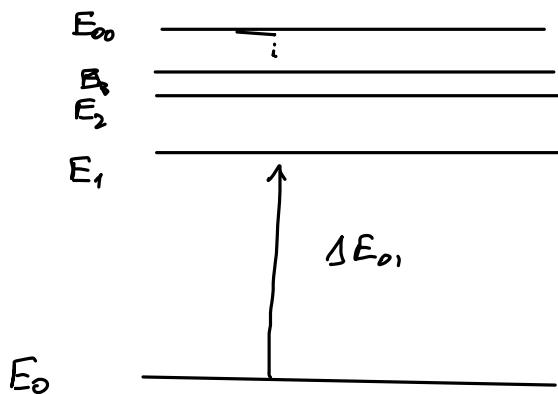


$$T = 0,01 \text{ K}$$

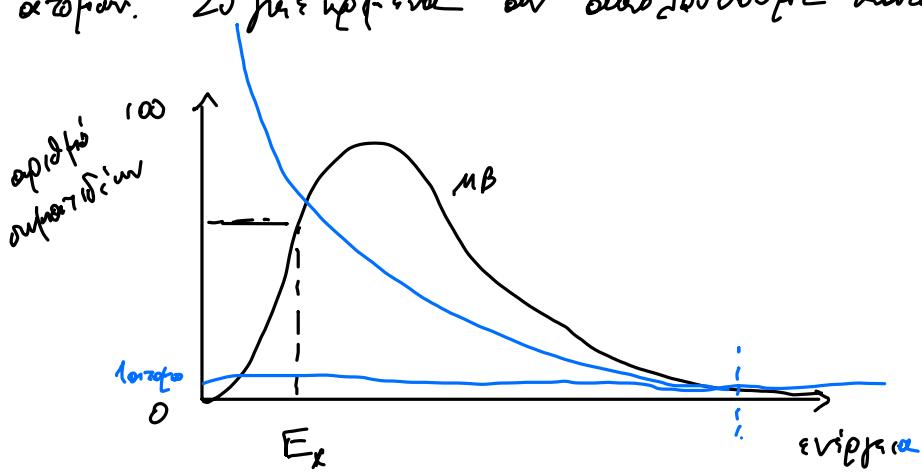


Anio na'noi > Dephenerasias na'noi zu f'mos uniformes zu
uniformes zuw' zuw' at'f'g' zuw' f'mos unif'mos zu
(inter atomic distance)

Kurz zu entwickeln Bose-Einstein ida zu at'f'g' Brüder
zu ground state (fund. zu E_0)



H' Dphenerasias op'f'zae fu' G'ru zuv' e'v'g'j'ak' k'or'oz'f'u' zu
at'f'f'v'. Zu p'z' u'f'z' zuw' e'v'g'j'ak' k'or'oz'f'u' N'B.



Xp'z' zu z'f'w'z' Dphenerasias m'noi'z' s'z'f'z' n' f'g'j'ak' e'v'g'j'ak'
zuw' k'or'oz'f'u'z' da' f'mos z'z'z' zuw' d'z' da' m'noi'z' m'noi'z' at'f'f'

το ονόμα της μορφής της θερμότητας στη γεωδεσία και στην αστρονομία
 Δια της απόφασης της Εγκυρωτικής ενημέρωσης Ε.

Εφαρμογή στο ^3He



$$\begin{array}{l} p : \frac{1}{2} \text{ spin} \\ n : \frac{1}{2} \text{ spin} \end{array} \quad \left. \begin{array}{c} \{ \\ \} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \text{He}^4 : \text{spin ανιπάρου} \\ \text{He}^3 : \text{spin up ανιπάρου} \end{array}$$

Τα αντιτίθεντα των σχετικών ανιπάρων ο πρώτος γνωκός των
 μεραρχών Bose - Einstein.

Τα αντιτίθεντα των σχετικών up ανιπάρων γνωκόις των
 μεραρχών Fermi - Dirac.

$$f_{BE}(E) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{kT}{E}} - 1}$$

$$f_{FD}(E) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{kT}{E}} + 1}$$

Ta orfazidra nov unakoi zur naranofu' FD δsv frapour vor
orfrunwurdeir kara' Bose-Einstein, Tójw zuo Pauli Exclusion
Principak*

* orfazis szi δsv frapour δiø i naganaw aizkor orfazidra
zov argiora ve lepirovora rmu' tida evapzakn' uzerioran.

Ynologiko's deplikazion's Zufinukuru BE

ideal gas under BE statistics



oxi evsopraus
ordindenzpares.

$$\hat{H} = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dV^2} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$$

$$H \psi(r) - V_0 \psi(0) = E \psi(r)$$

$$\psi(r) = \frac{e^{irk}}{\Gamma r} \quad \begin{aligned} r &= \text{inter atomic distance} \\ i &: i^2 = -1 \end{aligned}$$

k = ordegi Boltzmann

Boundary conditions : $\psi(0) = 0$

$\psi(L) = 0$ on L zo frinos

zou box nou sifadre

$$E_{kr} = \frac{\hbar^2 k_r}{2m} \quad \text{ou} \quad k_r = \frac{2\pi n}{L}$$

$$N = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{e^{\frac{(E_{kr}-h)}{kT}} - 1} \quad \text{ou} \quad h = \text{ra xufuo' surafuo'}$$

$$N = \frac{V}{(2\pi)^2} \iiint_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{e^{\frac{(E_{kr}-h)}{kT}} - 1} dk_x dk_y dk_z$$

Desenvolvendo

$$\frac{N}{V} = \frac{1}{(4\pi)^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \int_0^{\infty} \frac{\sqrt{E_{kr}}}{e^{\frac{(E_{kr}-h)}{kT}} - 1} dE_{kr} \quad (1)$$

apresenta phase density vs:

$$\rho_{ph} = \frac{N}{V} \lambda_T^3 \quad (2)$$

ou λ_T sinal de Broglie wavelength

$$\lambda_T = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mT}} \quad \text{ou} \quad \text{fas sinal de fratos uniformes zns}$$

uniformes sinal de fratos uniformes zns

$$\textcircled{1} \Rightarrow p_{ph} = \frac{2}{\Gamma_n} \int_0^{\infty} \frac{\sqrt{E_{hr}}}{e^{E_{hr}/kT} - 1} dE_{hr} \Rightarrow$$

ideal gas $\Rightarrow \mu = 0$, Riemann zeta function

$$f(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$$

$$\Rightarrow p_{ph} = \frac{2}{\Gamma_n} \int_0^{\infty} \frac{\sqrt{E_{hr}}}{e^{E_{hr}/kT} - 1} dE_{hr} = f\left(\frac{3}{2}\right)$$

Με διαν στο BE distribution function έχουμε

$$N = N_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{e^{E_{hr}/kT} - 1}$$

$$N = N_0 + \frac{2V}{\Gamma_n \pi^3 T} \int_0^{\infty} \frac{\sqrt{E_{hr}}}{e^{E_{hr}/kT} - 1} dE_{hr}$$

$$N = N_0 - V \left(\frac{m k T}{2 \pi \hbar^2} \right)^{3/2} f\left(\frac{3}{2}\right)$$

Ξετινάζεται από το ανόητο 0 ταυτότητα χρήσεις που είναι από τα σημαντικότερα έργα στη διεργασία καράρων το γενικό πλαίσιο μεταβολής της θερμοκρασίας στην οποία η βασικότερη απόφοιτη BE

$$T_c = \frac{\hbar^2}{2m\kappa} \left(\frac{N}{8\pi \frac{3}{2} V} \right)^{2/3}$$

Bose Einstein Condensation temperature of ideal Bose gas.