

- Την εποχή της φωτοκρατίας η εξάρτηση του  $R$  από το χρόνο είναι:

(α)  $R \propto t^{1/2}$       (β)  $R \propto t^{2/3}$       (γ)  $R \propto t^{3/2}$       (δ)  $R \propto \exp(H_0 t)$
- Η βασική εξίσωση της Κοσμολογίας για ένα ομογενές και ισότροπο μέσο χωρίς όρια με πυκνότητα ενέργειας  $\varepsilon = \rho c^2$  και πίεση  $p$  μπορεί να προκύψει με απλή νευτώνεια μηχανική, θεωρώντας την επιτάχυνση ενός μακρινού γαλαξία μάζας  $m$  σε απόσταση  $R$  από τον παρατηρητή:  $m\ddot{R} = -GMm/R^2$ . Ολοκληρώνοντας την εξίσωση αυτή υπό σταθερή μάζα  $M$  βρίσκουμε τη σχέση:

(α)  $(\dot{R}/R)^2 = -(4\pi/3c^2)G\varepsilon - C/R^2$       (β)  $(\dot{R}/R)^2 = (8\pi/3c^2)G\varepsilon - C/R^2$

(γ)  $(\dot{R}/R)^2 = (8\pi/3c^2)G\rho - C/R^2$       (δ)  $(\dot{R}/R)^2 = -(4\pi/3c^2)G\rho - C/R^2$
- Η Γη με  $N_\nu = 3,6 \times 10^{51}$ , αν γινόταν μαύρη τρύπα, η εντροπία της θα ήταν:

(α)  $S/k_B \approx 10^{50}$       (β)  $S/k_B \approx 10^{58}$       (γ)  $S/k_B \approx 10^{66}$       (δ)  $S/k_B \approx 10^{74}$
- Η πίεση στο κέντρο ενός ενεργού άστρου είναι:

(α)  $P = (3/2\pi)(GM^2/R^3)$       (β)  $P = (3/2\pi)(GM^2/R^4)$

(γ)  $P = (3/2\pi)(GM^2/R^5)$       (δ)  $P = (3/2\pi)(GM^2/R^6)$
- Ο λευκός νάνος καταρρέει σε αστέρα νετρονίων όταν η μάζα του ξεπεράσει την τιμή:

(α)  $0,775(c\hbar/Gm_u^2)m_u$       (β)  $0,775(c\hbar/Gm_u^2)^{2/3}m_u$

(γ)  $0,775(c\hbar/Gm_u^2)^{3/2}m_u$       (δ)  $0,775(e^2/Gm_u^2)^{4/3}m_u$
- Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$  του χαλκού είναι περίπου η ατομική μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης  $\hbar a_B / e^2$  ( $a_B \rightarrow \bar{r} a_B$ ) επί μια ποσότητα που είναι ανάλογη της θερμικής κινητικής ενέργειας ανά ιόν. Επομένως σε μονάδες  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$  και σε θερμοκρασία δωματίου έχουμε :

(α)  $\rho = 1,7$ ,      (β)  $\rho = 21,73$ ,      (γ)  $\rho = 250$ ,      (δ)  $\rho = 2250$
- Ένα άτομο πυριτίου αντικαθιστά ένα άτομο As στο καθαρό κρυσταλλικό GaAs. Το ελλείπον πέμπτο ηλεκτρόνιο σθένους του πυριτίου (που μαζί με τα άλλα τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους του As θα χρησιμοποιούνταν για τους τέσσερις δεσμούς με τα διπλανά άτομα Ga) θα παγιδευόταν όχι στο δεσμό (λόγω του ελλείποντος πρωτονίου), αλλά γύρω από το άτομο πυριτίου δημιουργώντας μια στάθμη με ενέργεια  $E_1$  σχετικά με το άνω πέρασ της ΖΣ, όπου το  $E_1$  είναι:

(α)  $E_1 = e^2 / 2a_B$ ,      (β)  $E_1 = e^2 m_h^* / 2a_B m_e \varepsilon^2$

(γ)  $E_1 = e^2 \varepsilon m_h^* / 2a_B m_e$       (δ)  $E_1 = e^2 \varepsilon^2 / 2a_B$

8. Θεωρήστε ένα μονοδιάστατο περιοδικό μοντέλο LCAO με ένα ατομικό τροχιακό τύπου  $1s$  ανά θεμελιώδη κυψελίδα μήκους  $d$ . Το διαγώνιο στοιχείο είναι  $\varepsilon_0$  και αυτό μεταξύ άμεσων γειτόνων  $V_2$ . Η ενεργός μάζα για  $k \rightarrow 0$  ισούται με:

(α)  $m^* = -\hbar^2 / 2V_2d^2$

(β)  $m^* = -\hbar^2 / V_2d^2$

(γ)  $m^* = \hbar^2 / 2V_2d^2$

(δ)  $m^* = \hbar^2 / V_2d^2$

9. Κατά το μοντέλο Jellium για το αλουμίνιο οι τιμές των  $\alpha''$  και  $\gamma'$  είναι αντιστοίχως 13,6 και 9,03. Η προκύπτουσα τιμή για το υδροστατικό μέτρο ελαστικότητας  $B$  είναι σε Mbar :

(α) 13,6

(β) 15,6

(γ) 9,03

(δ) 0,86

10. Στο μοντέλο Jellium το υδροστατικό μέτρο ελαστικότητας ενός μετάλλου δίνεται από τον τύπο (σε Mbar):

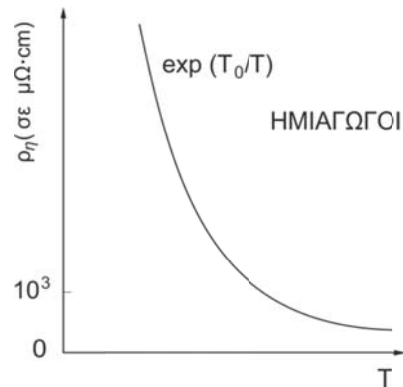
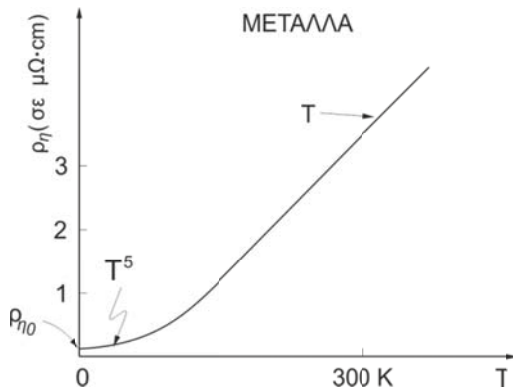
(α)  $B = 15,6a' / \bar{r}^2$

(β)  $B = 15,6a' / \bar{r}^3$

(γ)  $B = 15,6a' / \bar{r}^4$

(δ)  $B = 15,6a' / \bar{r}^5, \bar{r} \equiv r/a_B$

11. Τα παρακάτω σχήματα δίνουν την τυπική εξάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης,  $\rho_\eta$ , από τη θερμοκρασία  $T$  στα μέταλλα και στους ημιαγωγούς αντιστοίχως. Ποια είναι η εξήγηση γι' αυτή την αντίθετη συμπεριφορά;



(α) Στους ημιαγωγούς υπάρχουν εν γένει ως φορείς και ηλεκτρόνια και οπές που το ένα εξουδετερώνει εν μέρει το άλλο και αυτή η εξουδετέρωση γίνεται πιο πλήρης όσο μειώνεται η θερμοκρασία  $T$ .

(β) Ο τύπος  $\rho_\eta = m_e / e^2 n \tau$  σημαίνει ότι μόνο το  $\tau$  μπορεί να εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Άρα για μεν τα μέταλλα το  $\tau$  μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ για τους ημιαγωγούς αυξάνεται εκθετικά.

(γ) Στον παραπάνω τύπο το  $n$  είναι εκθετικά αύξουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας για τους ημιαγωγούς και φθίνουσα για τα μέταλλα.

(δ) Και για τα μέταλλα και για τους ημιαγωγούς το  $\tau$  μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το  $n$  για μεν τα μέταλλα δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία  $T$ , ενώ για τους ημιαγωγούς το  $n$  αυξάνει εκθετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας  $T$ .

12. Στο σύστημα G-CGS η ποσότητα  $\hbar/e^2$  είναι η ατομική μονάδα για το μέγεθος  $1/(\text{ταχύτητα})$  και ταυτόχρονα είναι η ατομική μονάδα για το μέγεθος ηλεκτρική αντίσταση. Σε πόσα περίπου  $\Omega$  αντιστοιχεί η ταχύτητα  $c/4\pi = 2,3857 \times 10^7$  m/s;

- (α) 377                      (β)  $5,63 \times 10^5$                       (γ) 30                      (δ) 44786

13. Σε ένα στερεό ένα είδος μέσου όρου της διαμήκουσ και της εγκάρσιας ταχύτητας του ήχου  $v$  που δίνεται από τον τύπο  $v = (B/\rho)^{1/2}$  μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:

(α)  $v \approx 80/\bar{r}^2 \sqrt{A_B}$  km/s                      (β)  $v \approx 80/\bar{r}^2 A_B$  km/s

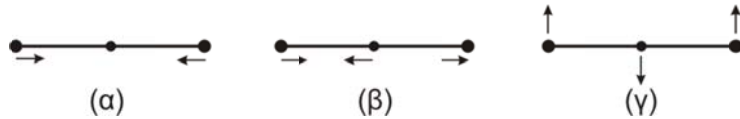
(γ)  $v \approx 80/\bar{r} \sqrt{A_B}$  km/s                      (δ)  $v \approx 80/\bar{r} A_B$  km/s

14. Σε ένα στερεό ορίζουμε το μήκος  $r$  από τη σχέση:  $(4\pi/3)r^3 \equiv V/N_a$ . Μέσω του  $r$  η ενέργεια σύνδεσης (cohesive energy) ανά άτομο  $\epsilon_c$  του στερεού μπορεί να εκτιμηθεί από μια από τις ακόλουθες σχέσεις ( $\bar{r} \equiv r/a_B$ ):

(α)  $\epsilon_c \approx 27,2/\bar{r}^2$  eV                      (β)  $\epsilon_c \approx 27,2/\bar{r}$  eV

(γ)  $\epsilon_c \approx 27,2/\bar{r}^3$  eV                      (δ)  $\epsilon_c \approx 27,2/\bar{r}^5$  eV

15. Στο παρακάτω σχήμα εικονίζονται οι τέσσερις ιδιοταλαντώσεις του μορίου  $\text{CO}_2$  (η  $\gamma$  είναι διπλά εκφυλισμένη). Η  $\gamma$  είναι υπεύθυνη για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η συχνότητα αυτής της ταλάντωσης είναι περίπου: (σε meV)

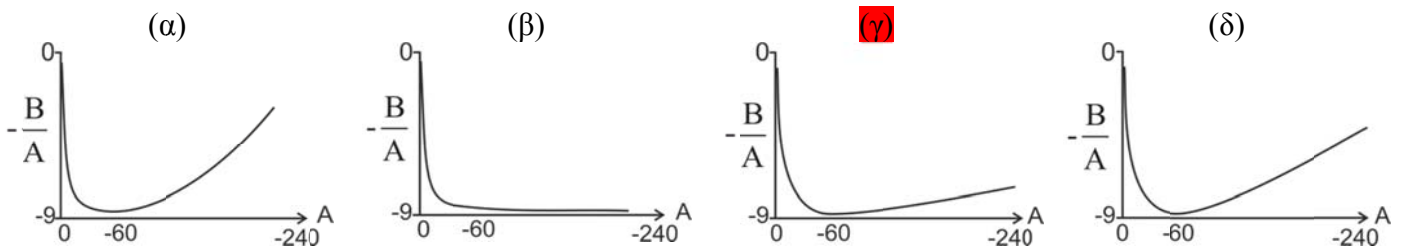


- (α) 300                      (β) 516                      (γ) 160                      (δ) 80

16. Το κβάντο,  $\hbar^2/J$ , της περιστροφής του μορίου  $\text{Na}_2$  είναι περίπου (σε meV):

- (α) 2                      (β) 28                      (γ) 0,04                      (δ) 0,001

17. Ο σχηματισμός του πυρήνα συνεπάγεται τη μείωση της ολικής ενέργειας του συστήματος. Η ποσότητα αυτή ανά νουκλεόνιο δίνεται προσεγγιστικά από το εξής γράφημα:



18. Η αγωγιμότητα  $\sigma$  ενός μετάλλου δίνεται (στο G-CGS) από τον προσεγγιστικό τύπο ( $n_f$  είναι η συγκέντρωση των 'ελεύθερων' ηλεκτρονίων και  $\tau$  ο χρόνος αποκατάστασης):

(α)  $\sigma = e^2 n_f \omega / m_e (\omega + i\tau^{-1})$                       (β)  $\sigma = i e^2 n_f \omega / m_e (\omega + i\tau^{-1})$

(γ)  $\sigma = e^2 n_f \omega / m_e (\omega^2 + i\omega\tau^{-1})$                       (δ)  $\sigma = i e^2 n_f \omega / m_e (\omega^2 + i\omega\tau^{-1})$

19. Ο τύπος που δίνει την εντροπία  $S$  ενός συστήματος φωτονίων θερμοκρασίας  $T$  και όγκου  $V$  σε θερμοδυναμική ισορροπία είναι:

- (α)  $S = (4\pi^2 / 45) V k_B^4 T^3 / \hbar^3 c^3$  (β)  $S = k_B N / V$   
 (γ)  $S = (4\pi^2 / 45) k_B^4 T^3 / \hbar^3 c^3$  (δ)  $S = 0$

20. Η αντίσταση του αέρα  $F$  σε ένα αυτοκίνητο που τρέχει με  $v = 100 \text{ km/h}$  είναι:

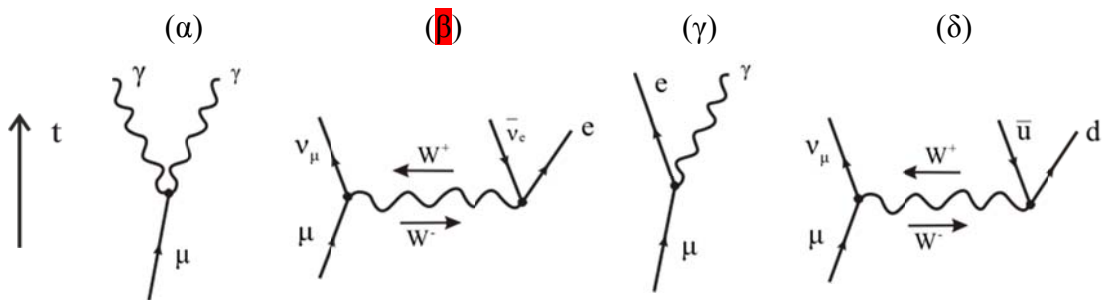
- (α)  $F = C_1 v \eta \sqrt{S}$  (β)  $F = C_1 v^2 \rho_{\text{αέρα}} S$   
 (γ)  $F = C_1 B v / c_{\eta\chi\omicron\upsilon}$  (δ)  $F = C_1 S \rho_{\text{αέρα}} c_{\eta\chi\omicron\upsilon} v$

$\eta$  το ιξώδες,  $S$  η διατομή του αυτοκινήτου,  $C_1$  αδιάστατη ποσότητα που εξαρτάται από το σχήμα του αυτοκινήτου,  $B$  το βάρος του αυτοκινήτου

21. Ποια είναι η σωστή εξάρτηση του  $G$  από τις  $T, P, N$ ;

- (α)  $G = N \varepsilon_0 f_5 (P / N, T)$  (β)  $G = N \varepsilon_0 f_6 (P, T / N)$   
 (γ)  $G = N \varepsilon_0 f_7 (P / N, T / N)$  (δ)  $G = N \varepsilon_0 f_8 (P a^3 / \varepsilon_0, k_B T / \varepsilon_0)$

22. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα Feynman περιγράφει τη φυσική διαδικασία αφανισμού του σωματίου  $\mu$ ;



23. Η ταχύτητα του ήχου στο νερό είναι περίπου  $1500 \text{ m/s}$ . Πόσο είναι το ποσοστό αύξησης της πυκνότητας του ωκεάνειου νερού σε βάθος  $10000 \text{ m}$ ;

24. Θεωρήστε μια σφαίρα μεταλλικού νατρίου ακτίνας  $R$  που αποτελείται από  $N$  άτομα και βρίσκεται στην βασική (ground) κατάσταση.

1) Υπολογίστε, χρησιμοποιώντας την αρχή του Heisenberg, την αρχή του Pauli και τη σχέση  $\varepsilon = p^2 / 2m$ , την ολική κινητική ενέργεια  $E_K$  των ελευθέρων ηλεκτρονίων χωρίς να υπολογίσετε προς το παρόν τον αριθμητικό παράγοντα  $a$ .

2) Από την παραπάνω έκφραση για την ολική κινητική ενέργεια βρείτε την ενέργεια Fermi  $E_F = p_F^2 / 2m$ , που είναι η ανώτερη κινητική ενέργεια του κάθε ηλεκτρονίου.

3) Το  $P_F$  μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση  $N_e = 2V V_p / (2\pi\hbar)^3$  όπου  $V_p = (4\pi/3) p_F^3$  και  $V = (4\pi/3) R^3$ . Στη συνέχεια προσδιορίστε την αριθμητική σταθερά  $a$ .

4) Προσδιορίστε επίσης την ολική ενέργεια Coulomb  $E_C$  με αριθμητικό παράγοντα ίσον με  $0,56$

- 5) Στη συνέχεια ελαχιστοποιώντας την ολική ενέργεια  $E_K + E_C$ , βρείτε την ακτίνα  $r \equiv \bar{r} a_B = R / N^{1/3}$  και την πυκνότητα του νατρίου.

*Καλή Επιτυχία !*