

Άξιωμα: \exists τουλάχιστον 1 λάθος

Κομφούκιος
Confucius
Kōng Fūzǐ
孔夫子

551 - 479 π.Χ.
↓
μάχη
Πλαταιών

το ΑΚΟΥΩ και το ΞΕΧΝΩ
το ΒΛΕΠΩ και το ΘΥΜΑΜΑΙ
το ΚΑΝΩ και το ΚΑΤΑΛΛΑΒΑΙΝΩ

παραδόσεις του
βιμειώσεις σας
η-τάξη (βιμειώσεις παραδόσεων
η-βιβλίο
λυμένα θέματα παιδιών έτων
άδειες

ΩΡΑΡΙΟ

ΔΕ 12:00 - 14:00 } ΑΙΘ. Σεμιν.
ΠΕ 12:00 - 14:00 } Τομέα ΦΣΥ

συνδέσει βίντεο διαλέξεων
↓
delos.uoa.gr 5 youtube
2015, 2019 (2020) 2019, 2021
2022 (zoom)

2η κβάντωση 2nd quantization

Η αναπαράσταση με τελεστές καταστροφής και δημιουργίας, δηλ. με τελεστές κλιμακωτούς ladder operators
(καταβιβάζει) (αναβιβάζει)
annihilation operators (lowering) creation operators (raising)

φωτόνια (μπόζονια)

ηλεκτρόνια (φερμιόνια)

τα μπόζονια μετατίθενται

τα φερμιόνια αντιμετατίθενται

$[A, B] := AB - BA$ μεταθέτης commutator

$\{A, B\} := AB + BA$ αντιμεθετής anticommutator

αν $[A, B] = 0 \Rightarrow AB = BA$
μετάθεση commutation

αν $\{A, B\} = 0 \Rightarrow AB = -BA$
αντιμετάθεση anticommutation

μεταθετική ιδιότητα commutative property

αντιμεταθετική ιδιότητα anticommutative property

οι τελεστές, οι οποίοι περιγράφουν καταστροφή και δημιουργία μπόζονιων ακολουθούν σχέσεις μεταθέσεως

οι τελεστές, οι οποίοι περιγράφουν καταστροφή και δημιουργία φερμιόνιων ακολουθούν σχέσεις αντιμεταθέσεως.

ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ και LASERS

4 κεφάλαια (βυτίδως) 1 κεφάλαιο

φείτος 3 αναδιάρθρωση ύλης
↓ 2023

ΒΙΒΛΙΟ: Quantum Optics Κβαντική Οπτική



Εισαγωγή στη κβαντική φύση του φωτός

* μέλαν σώμα και συναφείς έννοιες

↑ συχνότητα θερμοκρασία

* $\rho(\nu, T) d\nu$ $[\rho(\nu, T)] = \frac{J}{m^3 Hz}$ $[\rho(\nu, T) d\nu] = \frac{J}{m^3}$

↓
πυκνότητα ενέργειας ΗΜ ακτινοβολίας σε στοιχειώδη περιοχή συχνότητας, μέλανος σώματος, σε θερμοδυναμική ισορροπία

↑ απόδειξη Planck (παλαιόκβαντική)

↑ απόδειξη Einstein (πιο σύγχρονη, ρωμαλέα) Μηχ. ή Διεργασίες αλληλεπίδρ. ΔΣ - ΗΜ ακτινοβολίας

* νόμοι Rayleigh-Jeans, Wien, Planck ... για την ακτινοβολία μέλανος σώματος

↓ κλασικός θεωρία ↓ ταίριασμα με πείραμα σε υψηλές συχνότητες ↓ κβαντικός θεωρία ... σύγκριση με πείραμα

* νόμος Stefan-Boltzmann

→ $1m$ διατύπωση $\rho(T)$ πυκνότητα ενέργειας

$[\rho(T)] = \frac{J}{m^3}$

→ $2m$ διατύπωση I ένταση ακτινοβολίας

$[I] = \frac{J}{m^2 \cdot s} = \frac{W}{m^2}$

* Ξ. Maxwell, συνοριακές συνθήκες σε διεπιφάνεια, ..., πεδία σε κοιλότητες

* $g(\nu) = \frac{dN}{d\nu} = \frac{d(\# \text{ κανονικών τρόπων ΗΜ πεδίου})}{d(\text{συχνότητα})}$ normal modes } συχνότητες κανονικοί τρόποι } 5 μορφές

* $g(\nu)$ κλασική φυσική (θεώρημα ισοκατανομής ενέργειας) → v. Rayleigh-Jeans

* $g(\nu)$ κ κάποιες κβαντικές τροδέσεις → v. Planck

* νόμος μετατοπίσεως Wien $\lambda_0 T = \text{σταθερά}$ $\eta \left(\frac{\nu_0}{T} = \text{σταθερά} \right)$

* φωτοηλεκτρικό φαινόμενο μήκος κύματος όπου έχουμε max τη $\rho(\lambda, T)$ η συχνότητα όπου έχουμε max τη $\rho(\nu, T)$

$[\rho(\lambda, T)] = \frac{J}{m^3 \cdot m} \neq [\rho(\nu, T)] = \frac{J}{m^3 Hz}$

$$\int_0^{\infty} \rho(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} \rho(\nu, T) d\nu$$

$$\text{Suf. } [\rho(\lambda, T)] \neq [\rho(\nu, T)]$$

$$= \frac{J}{m^3 \cdot m} \quad = \frac{J}{m^3 \cdot Hz}$$

①

ΚΕΦ. 1 Μιχανισμοί αλληλεπίδρασης

ΗΜ ακτινοβολίας - ΔΣ

ή Διεγερμένη Εφαρκασμένη) Απορρόφηση
Stimulated Absorption

ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΟ ρ

ΗΜ = ηλεκτρομαγνητικός
ΔΣ = δισταθμικό σύστημα (two-level system)

Αυθόρμητη Έκποση
Spontaneous Emission

ΔΕΝ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΟ ρ

ΜΣ = μονοσταθμικό σύστημα
ΤΣ = τρισταθμικό σύστημα
ΠΣ = πολυσταθμικό σύστημα

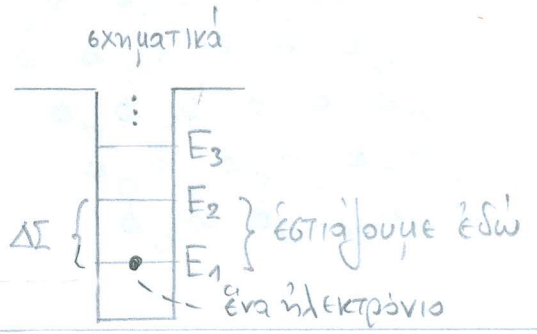
ή Διεγερμένη Εφαρκασμένη Έκποση
Stimulated Emission

ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΟ ρ

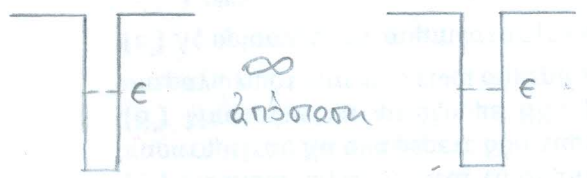
ΔΣ π.χ. 2 στάθμες ενός ατόμου, μορίου, κβαντικής τελείας (quantum dot) ή αλλιώς νανωματιδίου (nanoparticle)

LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

σε όλο το μήκος σχεδόν άγνοουμε το spin του ηλεκτρονίου



πώς φτιάχνουμε ΔΣ από ΜΣ...



Light binding (TB) ΕΞΗΓΗΣΗ ΑΡΧΟΤΕΡΑ ισχυρή δέσμευση

$$E_2 - E_1 = 2|H_{12}| \langle \phi_A | \hat{H} | \phi_A \rangle = 2 \int d^3r \phi_A^*(\vec{r}) \hat{H} \phi_A(\vec{r})$$

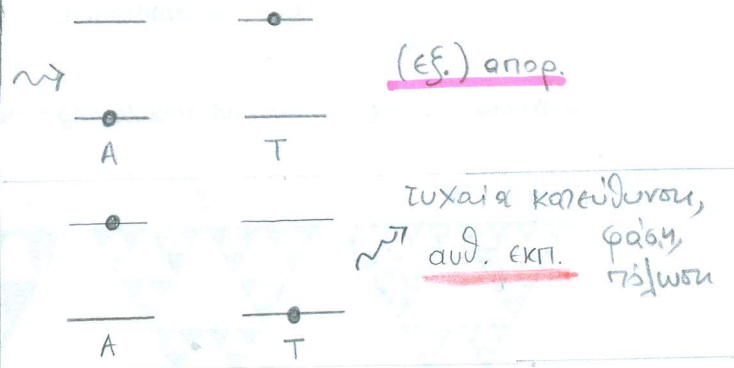
t: η αλληλεπίδραση μεταξύ των φρεάτων
t: interaction integral or parameter
όλοκληρωμα αλληλεπίδρασης

Έχει κι άλλα όνοματα transfer integral, hopping integral αλλά σωστότερο είναι το interaction integral

$$dW_{\text{απορ}}^{\text{εφ}} = B_{12} \rho(\nu, T) dt \quad \text{Εφαρκασμένη Απορρόφηση}$$

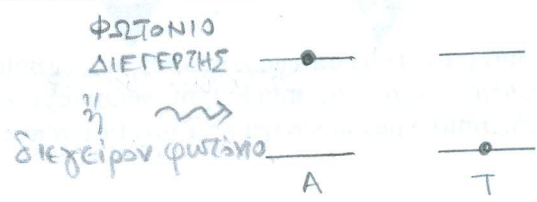
$$dW_{\text{εκπ}}^{\text{αυθ}} = A_{21} dt \quad \text{Αυθόρμητη Έκποση}$$

$$dW_{\text{εκπ}}^{\text{εφ}} = B_{21} \rho(\nu, T) dt \quad \text{Εφαρκασμένη Έκποση}$$



$$E_\phi = h\nu$$

$$p_\phi = \frac{E_\phi}{c}$$



εφ. εκπ.
ΔΝΟ ΦΩΤΟΝΙΑ ΟΛΟΙΔΙΑ
? ίδια ενέργεια, δρμή (κατεύθυνση), φάση, πόλωση

- ιδιότητες που έχει το LASER
- ίδια ενέργεια ⇒ μονοχρωματικότητα monochromaticity
- ίδια δρμή ⇒ κατευθυντικότητα directionality
- ίδια φάση ⇒ συνοχή coherence (συμφωνία)
- ίδια πόλωση ⇒ πολωμένο φως polarization

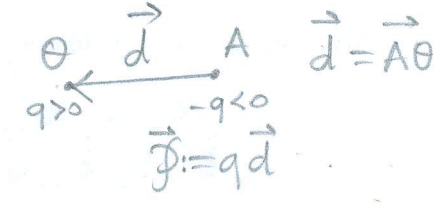
ΚΕΦ. 9 Ημικλασική αντιμετώπιση της αλληλεπίδρασης ΗΜ ακτινοβολίας - ΔΣ

- ΗΜ πεδίο: κλασικά
- ΔΣ: κβαντικά

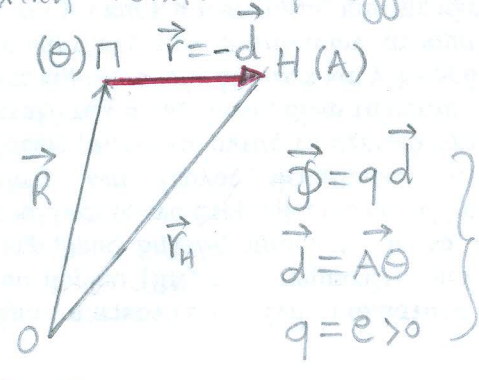
$\hat{H} = \hat{H}_0 + U_E(\vec{r}, t)$
 διαταραχμένο αδιαταράκτο συν. ενέργεια αλληλ. (διαταραχής)
 χωρίς ΗΜ πεδίο

- * αδιατάρακτο ΔΣ: χωρίς ΗΜ πεδίο
- * διαταραχμένο ΔΣ: εντός ΗΜ πεδίου

χρονικά εξαρτημένα θεωρία διαταραχών



* Διπολική Ροπή. Προσέγγιση Διπόλου



$\vec{p} = q\vec{d} = e(-\vec{r}) \Rightarrow \vec{p} = -e\vec{r}$

$U_E = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ
 $U_E(\vec{r}, t)$
 σχεδόν
 Σε όλο το μαθηματικό σφαιρικό χώρο και την αλληλεπίδραση
 $U_B = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$ **σελίδα 3'**

$\lambda \gg a$
 μήκος κύματος χωρίς έκταση του συστήματος π.χ. $\left(\begin{matrix} \text{π.χ.} \\ \Delta\Sigma = \\ \text{άτομο} \end{matrix} \right)$
 ακτίνα Bohr a_0
 οπτικά μήκη κύματος
 $\lambda \sim 500 \text{ nm}$ $a_0 \sim 0.529 \text{ \AA} \sim 0.5 \cdot 10^{-1} \text{ nm}$
 $\frac{\lambda}{a_0} \approx \frac{500 \text{ nm}}{0.5 \cdot 10^{-1} \text{ nm}} = 10^4$

όμογενής = ...
 ισοτροπός = ...

δηλαδή η προσέγγιση ισχύει για οπτικές μεταβάσεις και φωτισμό
 ~ το ηλεκτρικό πεδίο έχει μόνο χρονική εξάρτηση...
 άλλα είναι χωρικά ομογενή

* χρονική εξέλιξη ΔΣ, ΤΣ με ένα ηλεκτρόνιο τοποθετημένο κάπως π.χ στον κάτω στάθμη
 ↓ ταλαντώσεις Rabi $|C_i(t)|^2$ $\forall i$ στάθμη πιθανότητες παρουσιάζει ηλεκτρονίου

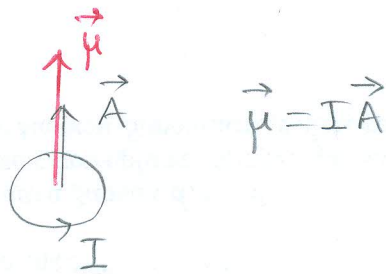
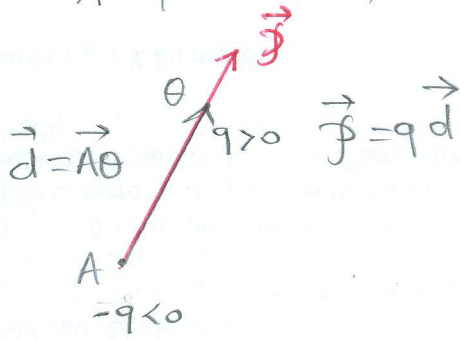
* Προσέγγιση Περιστροφόμενου Κύματος (ΠΠΚ) $\hbar \omega \rightsquigarrow \hbar \Omega$
 Rotating Wave Approximation (RWA)

ΓΡΗΓΟΡΟΙ	ΟΡΟΙ	$\pm (\omega + \Omega)$	τους αγνοούμε
ΑΡΓΟΙ	ΟΡΟΙ	$\pm (\omega - \Omega)$	τους κρατάμε

Υπερδύοιμοι Αναλογιών

\vec{E} (Ηλεκτρικό Πεδίο)

\vec{B} (Μαγνητικό Πεδίο)



$\vec{\phi} = q\vec{d}$ ηλεκτρική διπολική ροπή

$\vec{\mu} = I\vec{A}$ μαγνητική διπολική ροπή

ή $\vec{\mu} = \frac{q}{2m} (\vec{L} + g\vec{S})$

$U_E = -\vec{\phi} \cdot \vec{E}$

δυναμική ενέργεια

$U_B = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$

$\vec{\tau} = \vec{\phi} \times \vec{E}$

(μηχανική) ροπή

$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

$[\vec{\phi}] = C \cdot m$

$[\vec{\mu}] = A \cdot m^2$

$[U_E] = C \cdot m \cdot \frac{V}{m} = CV = J$

$[U_B] = A \cdot m^2 \cdot T = N \cdot m = J$


$(F = BIL)$
 $(N = TAm)$

$[\vec{\tau}] = C \cdot m \cdot \frac{N}{C} = N \cdot m$

↑
το άρθρομα έργο

$[\vec{\tau}] = A \cdot m^2 \cdot T = N \cdot m$

↑
το άρθρομα έργο

ΚΕΦ.  Συνεχές κ Διακριτό φάσμα

3Δ στερεά
κρυσταλλικά
* άμορφα

άτομα, μόρια
τεχνητά άτομα, μόρια
(ή άλλως κβαντικές τελείες, παγωμένα δια)
κέντρα χρωματισ

Διακριτό - συνεχές φάσμα

1Δ διακριτό κ 2Δ συνεχές

quantum wells
κβαντικό φρέζο ή πυλαδία

2Δ διακριτό κ 1Δ συνεχές

quantum wires
κβαντικά σύρματα

Μετάβαση από δύο ΜΣ σε ένα έναίο ΔΣ.

Ίσχυρη Δέσμευση (Tight Binding) \rightarrow $\langle \psi_A | \hat{T} + U_A + U_\Delta | \psi_A \rangle =$

$$\begin{aligned} & \langle \psi_A | \hat{T} + U_A | \psi_A \rangle \\ & + \langle \psi_A | U_\Delta | \psi_A \rangle \approx \text{on-site energy} \\ & \approx 0 \text{ επιτόπια ενέργεια} \\ & \approx \langle \psi_A | \hat{T} + U_A | \psi_A \rangle = \epsilon_A \end{aligned}$$

ΕΙΚΟΝΑ 1.6

$\Delta \Sigma$

$\Delta = 0$
 $\Delta \neq 0$

$T_R = \frac{2\pi}{\sqrt{\Omega_R^2 + \Delta^2}}$ περίοδος 3''

$A_R = \frac{\Omega_R^2}{\Omega_R^2 + \Delta^2}$ μέγιστο ποσοστό μεταβίβασης

* $\Delta := \omega - \Omega$ detuning αποσυntonισμός

* $\Omega_R := \frac{qE_0}{\hbar}$ Rabi frequency (cyclic)

δείχνει κατά πόσο εμπλέκονται οι στάθμες από το ηλεκτρικό πεδίο

π.χ. ΟΡΙΑ $\Delta \rightarrow 0$, $\Delta \rightarrow \infty$

ΕΙΚΟΝΑ 1.7

Σύγκριση RWA με αριθμητική λύση

Επιτρεπόμενες και Απαγορευμένες Όπτικές Μεταβάσεις
 εώς της Προεκχυσίας Διπόλου - Κανόνες Έπιλογής

"z επιτρέπεται και z απαγορεύεται"

επίσης πρότυπο ερώτημα
 για να επιδειχθούν οι έννοιες αυτές:
 άτομο υδρογόνου

- * σφαιρική (άρτι, αεριττί)
- * καμπύλες επιφάνειες

τελικά όλα ανάγονται στο ελακτίωμα

$$\vec{r}_{k'k} = \int d^3r \underbrace{\Phi_{k'}^*(\vec{r})}_{\text{ιδιοσυναρτήσεις αδιατάρακτου προβλήματος}} \vec{r} \underbrace{\Phi_k(\vec{r})}_{\text{ιδιοσυναρτήσεις αδιατάρακτου προβλήματος}}$$

↓
 στοιχείο πίνακα της δέσσης του ηλεκτρονίου
 ως προς τον πυρήνα

k', k καταστάσεις, σιόδγει μεταξύ των οποίων
 αναρωτιόμαστε αν μπορεί να πραγματοποιηθεί
 μετάβαση

$$U_{εk'k}(t) = e \vec{E} \cdot \vec{r}_{k'k}$$

↓
 στοιχείο πίνακα της δυναμικής ενέργειας της διαταραχής

⇒ όλα ανάγονται εν τέλει στη συμμετρία των ιδιοσυναρτήσεων
 του αδιατάρακτου προβλήματος

1s	2s	
A	Π	A = Π → 0
η.χ. Π	Π	A = A → ≠ 0
2p	1s	→ ≠ 0

Κβαντική αντιμετώπιση της αλληλεπίδρασης

ΦΩΤΟΝΙΣΜ
ΗΜ ακτινοβολίας - ΔΣ, ΤΣ, ΠΣ (6)

• πολλά φωτόνια
• ένα ηλεκτρόνιο
(ανδροκοι βόινι σελήμη)

- κβάνωση ΗΜ πεδίου ετός κοιλότητας
- ΗΜ πεδίο: κβαντικά
- ΔΣ, ΤΣ, ΠΣ: κβαντικά

φωτόνιο (μποζόνιο) καλό βολο
ηλεκτρόνιο (φερμιόνιο) άκατάδεκτο

ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΟΥΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ;

- * Χαμιλτονιανή ΗΜ πεδίου με τελεστές καταστροφής και δημιουργίας φωτονίων
(τρόπου) $\hat{H}_{ΗΜ,μ}$, $\sum_m \hat{H}_{ΗΜ,μ}$ (συνολική) (μποζονίων)
- * Χαμιλτονιανή ΔΣ με σπίνορες / με τελεστές καταστροφής & δημιουργίας ηλεκτρονίων
ΤΣ, ΠΣ $\hat{H}_{ΔΣ,ΤΣ,ΠΣ}$ (φερμιονίων)

- * Σχέσεις μεταθέσεως μποζονίων commutation relations
- * Σχέσεις αντιμεταθέσεως φερμιονίων anticommutation relations

ΜΕΤΑΘΕΤΗΣ $[A, B] = AB - BA$ όταν $[A, B] = 0 \Rightarrow AB = BA$
COMMUTATOR ΜΕΤΑΘΕΤΙΚΗ ΙΔΙΩΤΗΤΑ commutative property

ΑΝΤΙΜΕΤΑΘΕΤΗΣ $\{A, B\} = AB + BA$ όταν $\{A, B\} = 0 \Rightarrow AB = -BA$
ANTI COMMUTATOR

ΑΝΤΙΜΕΤΑΘΕΤΙΚΗ ΙΔΙΩΤΗΤΑ

- * Χαμιλτονιανή αλληλεπίδρασης ΗΜ πεδίου - ΔΣ anticommutative property

* Χαμιλτονιανή Rabi

$$\hat{H}_{R,m} = \underbrace{\hbar \omega_m \hat{a}_m^\dagger \hat{a}_m}_{\text{ΗΜ πεδίο}} + \hbar \Omega \hat{S}_+ \hat{S}_- + \hbar g_m (\hat{S}_+ + \hat{S}_-) (\hat{a}_m^\dagger + \hat{a}_m)$$

ιδιοκαταστάσεις χωρίς αλληλεπίδραση ΗΜ πεδίου - ΔΣ
 $|\uparrow, n_m\rangle$
 $|\downarrow, n_m\rangle$

ισχύς & επιρροή αλληλεπίδρασης
 $\hat{S}_+ \hat{a}_m^\dagger, \hat{S}_+ \hat{a}_m, \hat{S}_- \hat{a}_m^\dagger, \hat{S}_- \hat{a}_m$

* Χαμιλτονιανή Jaynes-Cummings

$$\hat{H}_{JC,m} = \hbar \omega_m \hat{a}_m^\dagger \hat{a}_m + \hbar \Omega \hat{S}_+ \hat{S}_- + \hbar g_m (\hat{S}_+ \hat{a}_m + \hat{S}_- \hat{a}_m^\dagger)$$

* Μέσες (αναμενόμενες) τιμές μεγεθών για την $\hat{H}_{JC,m}$
 $\langle \hat{a}_m^\dagger \hat{a}_m \rangle, \langle \hat{S}_+ \hat{S}_- \rangle$
 $\langle \hat{S}_+ \hat{a}_m \rangle, \langle \hat{S}_- \hat{a}_m^\dagger \rangle$

* Απορρόφηση φωτονίου

* Έκποση φωτονίου

ταλαντώσεις Rabi

- * # φωτονίων στην κοιλότητα $\langle \hat{a}_m^\dagger \hat{a}_m \rangle$
- * πιθαν. παρουσία ηλεκτρονίου στις στάθμες $\langle \hat{S}_+ \hat{S}_- \rangle, \langle \hat{S}_- \hat{S}_+ \rangle$

MIT2011A \hat{a}_m^\dagger στίλβτο (dagger) \hat{a}_m τελεστής δημιουργίας φωτονίου τού ΗΜ τρόπου με κυκλική συχνότητα ω_m **creation operator**
 \hat{a}_m τελεστής καταστροφής φωτονίου **annihilation operator** \gg

Ταυτοχρόνως, ο \hat{a}_m^\dagger μπορεί να ονομασθεί τελεστής αναβιβόστας **raising operator**
 διότι αναβιβάζει την ενέργεια κατὰ τῶν $\hbar\omega_m$

ο \hat{a}_m μπορεί να ονομασθεί τελεστής καταβιβόστας **lowering operator**
 διότι καταβιβάζει την ενέργεια κατὰ τῶν $\hbar\omega_m$

$\hat{a}_m^\dagger, \hat{a}_m$ τελεστές κλιμακας **ladder operators**

οι $\hat{a}_m^\dagger, \hat{a}_m$ ακολουθούν σχέσεις μεταθέσεως $[\hat{a}_m^\dagger, \hat{a}_m] = 1$

ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ

\hat{S}_+ τελεστής αναβιβόστας ηλεκτρονίου $\hat{S}_+ | \uparrow \rangle = | \uparrow \rangle$

\hat{S}_- τελεστής καταβιβόστας ηλεκτρονίου $\hat{S}_- | \uparrow \rangle = | \downarrow \rangle$

Ταυτοχρόνως, ο \hat{S}_+ θα μπορούσε να ονομασθεί τελεστής δημιουργίας ηλεκτρονίου στην άνω στάθμη ΚΑΙ καταστροφής ηλεκτρονίου στην κάτω στάθμη

ο \hat{S}_- θα μπορούσε να ονομασθεί τελεστής καταστροφής ηλεκτρονίου στην άνω στάθμη ΚΑΙ δημιουργίας ηλεκτρονίου στην κάτω στάθμη

οι \hat{S}_+, \hat{S}_- ακολουθούν σχέσεις αντιμεταθέσεως φερμιονίων $\{\hat{S}_+, \hat{S}_-\} = 0$

εναλλακτικός συμβολισμός $\hat{c}_i^\dagger, \hat{c}_i$

ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΘΕΣΕΩΣ ΜΠΟΖΟΝΙΩΝ
boson commutation relations

$$[\hat{a}_m, \hat{a}_\ell] = 0$$

$$[\hat{a}_m^+, \hat{a}_\ell^+] = 0$$

$$[\hat{a}_m, \hat{a}_\ell^+] = \delta_{m\ell}$$

ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΑΘΕΣΕΩΣ ΦΕΡΜΙΩΝΙΩΝ
fermion anti commutation relations

$$\{\hat{a}_i, \hat{a}_j^+\} = \delta_{ij}$$

$$\{\hat{a}_i, \hat{a}_j\} = 0$$

$$\{\hat{a}_i^+, \hat{a}_j^+\} = 0$$

είδικά

$$\{\hat{a}_r^+, \hat{a}_r^+\} = 0 \Rightarrow \hat{a}_r^+ \hat{a}_r^+ + \hat{a}_r^+ \hat{a}_r^+ = 0 \Rightarrow 2 \hat{a}_r^+ \hat{a}_r^+ = 0$$

$$\Rightarrow \hat{a}_r^+ \hat{a}_r^+ = 0$$

Δεν μπορούμε να βάλουμε δύο φερμιόνια στην ίδια κατάσταση r
(απογορευτική αρχή Pauli)

Laser He-Ne

Εξισώσεις ρυθμών για τους πληθυσμούς N_1, N_2 των σταθμών που συμμετέχουν στην έκποση συνεκτικής ΗΜ ακτινοβολίας και για την πυκνότητα ακτινοβολίας ρ ενός κοιλότητας LASER

$$\left\{ \frac{dN_1}{dt}, \frac{dN_2}{dt}, \frac{d\rho}{dt} \right\}$$

Διαγώνεις και Έγκάρσιες τρήσεις ΗΜ πεδίου

Πληθυσμοί σταθμών (N_1, N_2) & πυκνότητα ΗΜ ακτινοβολίας ρ στη στάθμη κατάσταση "Αντήνου. Κρίσιμη "Αντήνου".

↓
ΤΙ ΕΙΝΑΙ

Αναστροφή πληθυσμού.

Αριθμητική επίλυση των εξισώσεων ρυθμών για τα N_1, N_2, ρ .
↑
matlab

Άλλα είδη LASER ...

ΚΕΦ. 6 Πινακας Πυκνότητες

Καθαρή κατάσταση και μικτή κατάσταση

↓
το σύστημα περιγράφεται από μια κυματοσυνάρτηση

↓
δεν υπάρχει μια καλά ορισμένη κυματοσυνάρτηση για το σύστημα
π.χ. το σύστημα είναι συζευγμένο με μια δεξαμενή με την οποία μπορεί να ανταλλάσσει θερμότητα, σωματίδια κλπ

Πινακας Πυκνότητας - Τελείως πυκνότητας

$$\hat{\rho} = |\Psi\rangle \langle \Psi| \quad |\Psi\rangle = \begin{bmatrix} C_1(t) \\ C_2(t) \\ \vdots \\ C_n(t) \end{bmatrix} \quad |\Psi\rangle = \sum_k C_k(t) |\Phi_k\rangle$$

χ. Πίνακας πυκνότητας & τελεστής πυκνότητας
 σε καθαρή κατάσταση
 δισταθμιού συστήματος

$$\hat{\rho} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1^* & c_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 c_1^* & c_1 c_2^* \\ c_2 c_1^* & c_2 c_2^* \end{bmatrix} \quad \rho = \begin{bmatrix} c_1 c_1^* & c_1 c_2^* \\ c_2 c_1^* & c_2 c_2^* \end{bmatrix}$$

Η χρονική εξέλιξη του πίνακα πυκνότητας: εφ. Liouville - von Neumann

$$i\hbar \frac{\partial \hat{\rho}}{\partial t} = [\hat{H}, \hat{\rho}] \quad \hat{H} = \hat{H}_0 + U_E(\vec{r}, t)$$

Η χρονική εξέλιξη του πίνακα πυκνότητας με μηχανικούς προσδιορισμούς

$$i\hbar \frac{\partial \hat{\rho}}{\partial t} = [\hat{H}, \hat{\rho}] - \frac{i\hbar}{2} \{ \hat{\Gamma}, \hat{\rho} \}$$

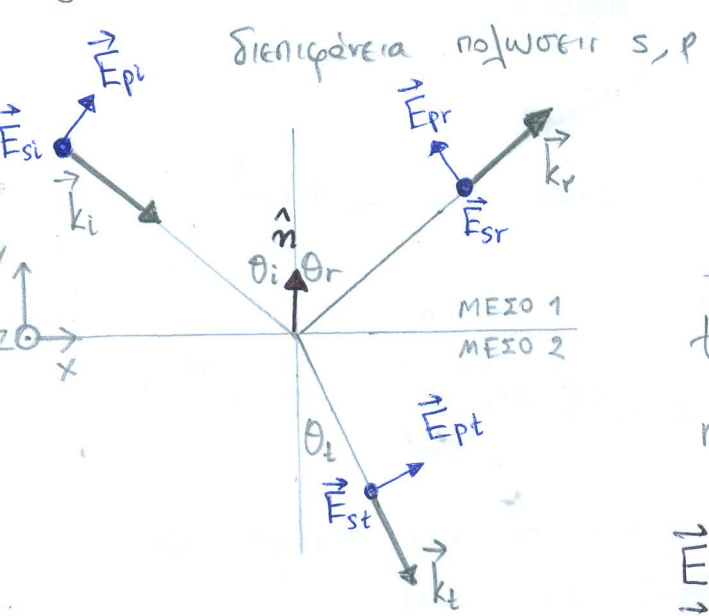
$$\hat{\Gamma} |\Phi_k\rangle = \gamma_k |\Phi_k\rangle$$

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + U_E(\vec{r}, t) - \frac{i\hbar}{2} \hat{\Gamma}$$

ΚΕΦ. 7 ΔΙΑΦΟΡΑ

Τεχνικές απομονώσεως TEM₀₀ & TEM_{p,q} άνωτέρων τάξεων

Εξισώσεις Fresnel, Γωνία Brewster (ή γωνία γέρων σκόια ≠ άνακλωμα p πόλωση)



$$\boxed{T + R = 1}$$

↓ ανακλαστικότητα ...
 ↓ διαπερατικότητα ...

σημ. $r_{TM} = 0$
 $\tan \theta_i = \frac{n_t}{n_i} = n$
 $\theta_i \equiv \theta_B$
 Brewster
 $t_{TM} = \frac{1}{n}$

$$\left. \begin{aligned} t_{TE} &= \frac{E_t}{E_i} \\ r_{TE} &= \frac{E_r}{E_i} \end{aligned} \right\} t_{TE} = r_{TE} + 1$$

$$\left. \begin{aligned} t_{TM} &= \frac{E_t}{E_i} \\ r_{TM} &= \frac{E_r}{E_i} \end{aligned} \right\} r_{TM} - n t_{TM} = -1$$

$\vec{E}_s \perp q$ TE ή s πόλωση
 $\vec{E}_p \in q$ TM ή p πόλωση

επίπεδο προσπίπτουσας (\vec{k}_i, \hat{n}) := q

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΚΑΘΕ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ
ΠΡΟΣ ΔΥΟ

→ Έως +1 βαθμ
→ Ξανά για το γράμμα

ΕΙ ΤΟΥΧΙΝΟΥ

Πόσοι-ες από 30 Έτος ; 1

Πόσοι-ες αριθμολογούμενοι 1

Πόσοι-ες είναι από την κατεύθυνση

- A
- B
- Γ
- Δ
- E