

1	A partir de l'expérience des fentes de Young, expliquez la dualité onde/particule pour un photon. Quels sont les paramètres du modèle ondulatoire et ceux du modèle particule et comment sont-ils reliés entre eux ?
2	Pour un photon dans le vide, expliquez la notion de paquet d'ondes. Expliquez le principe de calcul de la propagation de ce paquet d'ondes
3	Expliquez les relations d'incertitude de Fourier et d'Heisenberg. Comment interpréter la fonction d'onde d'une particule ?
4	Expliquez les notions de lumière cohérente et incohérente. Expliquez le fonctionnement d'un interféromètre en lumière cohérente. Peut-on utiliser une lumière incohérente dans un interféromètre ?
5	A partir de la relation d'énergie d'un électron dans un potentiel, dérivez l'équation d'onde associée. Quel est la forme de l'opérateur P =quantité de mouvement ?
6	Pour un électron dans le vide, expliquez la notion de paquet d'ondes. Expliquez le principe de calcul de la propagation de ce paquet d'ondes Définissez la vitesse de groupe et la masse de cet électron.
7	Expliquez la résolution d'un microscope électronique
8	A partir de l'expérience des fentes de Young, expliquez la dualité onde/particule pour un électron. Quelle équation décrit la propagation de l'onde d'un électron et comment la résoudre ?

9	<p>Que représente la fonction d'onde ? A l'aide des « Bra » « Ket », expliquez comment calculer la moyenne d'une série de mesures.</p>
10	<p>Qu'est-ce qu'un état superposé et un état mixte ? Donnez des exemples.</p>
11	<p>Quels sont les résultats possibles d'une mesure singulière ? Définissez le projecteur sur un état propre. En utilisant un polariseur à $-45/+45$, donnez un exemple.</p>
12	<p>Comment relier les projecteurs sur un état propre à l'opérateur de mesure associé. Comment calculer la moyenne des mesures de cet opérateur ? En utilisant un polariseur à $-45/+45$, donnez un exemple.</p>
13	<p>Expliquez l'effet tunnel pour un électron. Donnez des exemples où cet effet apparaît.</p>
14	<p>Quels sont les modes propres d'un électron dans un puits de potentiel rectangulaire ?</p>
15	<p>Décrivez les modes propres d'un électron dans un système de deux puits de potentiel couplés identiques. Comment écrire l'Hamiltonien associé ? Quelles sont les étapes permettant de calculer la propagation d'un mode général dans un tel système ?</p>
16	<p>Comparez les niveaux d'énergie d'un électron dans un puit de potentiel rectangulaire, quadratique et dans un potentiel de Coulomb.</p>

17	Avec des puits de potentiel rectangulaires, expliquez la formation de bande. Comment écrire l'Hamiltonien d'un grand nombre de puits couplés ?
18	Expliquez la formation de bande. Qu'est-ce qu'un métal, un semiconducteur et un isolant à partir de leurs schémas de bande ?
19	Quelles sont les trois inconnues et les trois équations décrivant un semiconducteur ? Comment dessiner le schéma de bande d'une hétérostructure ? Utilisez comme exemple une hétérostructure PN à l'équilibre.
20	Donnez deux composants utilisant des hétérostructures. Expliquez leur fonctionnement.
21	Comment calculer la densité d'état pour un gaz d'électrons dans un quantum well ?
22	Comment calculer la densité d'état pour des photons en 3D ?
23	Comparez la statistique de Fermi-Dirac et celle de Bose-Einstein. Donnez un exemple d'application pour chacune de ces deux statistiques.
24	Selon quel principe calcule-t-on la concentration de porteurs dans un semiconducteur ?

25	<p>Définissez un « corps noir ». Selon quel principe peut-on calculer l'émission optique d'un tel corps ?</p>
26	<p>Quel est le principe d'un « Quantum Point Contact » ? Comment s'en servir comme détecteur d'électron singulier, (mesure en « quantum non-demolition »)</p>
27	<p>Définissez le commutateur de deux opérateurs quantiques. Donnez deux exemples. Quelles indications peuvent être obtenues à partir du commutateur ?</p>
28	<p>Comment calculer l'évolution temporelle d'une valeur moyenne (théorème d'Ehrenfest). Donnez un exemple.</p>
29	<p>Dans un espace 3D, considérez un électron dans une boîte sous vide. Il est soumis à une gravitation constante. Ecrivez son Hamiltonien. Quelles sont les valeurs moyennes conservées ? Comment peut-on le déduire de manière quantique ?</p>
30	<p>Définissez la matrice densité pour un mode superposé et pour un mode mixte. Quelles sont ses propriétés ?</p>
31	<p>Donnez deux façons de calculer la valeur moyenne d'un opérateur : par les BraKet et par la matrice densité. Donner un exemple basé sur la polarisation et calculez-le de ces deux manières.</p>
32	<p>Quelle est la forme de l'équation de Schrödinger pour un oscillateur harmonique ? Donnez plusieurs exemples de systèmes se comportant comme un oscillateur harmonique.</p>

33	Expliquez les concepts d'opérateurs de création et d'annihilation. Comment s'écrit l'Hamiltonien d'un oscillateur harmonique en utilisant ces concepts.
34	Exprimez les opérateurs de création, d'annihilation et de dénombrement sous leur forme matricielle dans une base de dimension 4. Calculez le commutateur $[a_+, a_-]$.
35	Définissez les modes cohérents. Quelle forme a leur répartition en modes $ n\rangle$. Quelle est leur évolution temporelle ?
36	Définissez les matrices de Pauli et reliez-les à la polarisation de la lumière. Quelles sont leurs propriétés ?
37	Représentez un qubit sur la sphère de Bloch. Que représentent les axes de cette sphère ? Comment déterminer graphiquement, sur la sphère de Bloch, la polarisation moyenne mesurée avec un polariseur ?
38	Qu'est-ce que la fréquence de Larmor ? Quels composants de l'Hamiltonien d'un qubit servent à déterminer cette fréquence ? Qu'est-ce que le « référentiel tournant »
39	Comment faire passer un qubit de l'état de base à l'état excité ? Expliquez les notions de fréquences de Larmor et de fréquence de Rabi et leur effet sur la sphère de Bloch. Comment s'écrit l'Hamiltonien dans les référentiels fixe et tournant ?
40	Considérons une paire de qubits. Définissez les états produits et les états intriqués. Donnez un exemple de chaque cas. Utilisez le produit tensoriel pour définir la matrice de corrélation des mesures chez Alice et chez Bob.

41	<p>Comment représenter graphiquement un polariseur sur la sphère de Bloch ?</p> <p>Quel est l'effet d'une lame biréfringente sur la sphère de Bloch ?</p>
42	<p>Qu'est-ce que l'intrication d'une paire de qubits ?</p> <p>Définissez les états de Bell ? Comment les générer et les décomposer ?</p>
43	<p>Discutez l'idée du paradoxe Einstein-Podolski-Rosen (EPR) et des inégalités de Bell.</p> <p>Comment les utiliser en cryptographie quantique ?</p>
44	<p>Quelle est l'idée de la téléportation quantique ?</p>
45	<p>Discutez la forme d'un Hamiltonien de couplage entre deux états quantiques.</p> <p>Fréquence de Larmor, double puits quantiques couplés, fréquence de Rabi.</p>
46	<p>Expliquez le fonctionnement d'une jonction de Josephson.</p> <p>Pourquoi est-elle utilisée dans un transmon (qubit supraconducteur) ?</p>
47	<p>Expliquez le couplage capacitif entre deux qubits supraconducteurs.</p> <p>Comment l'Hamiltonien de couplage peut-il s'écrire en fonction des opérateurs de création et d'annihilation.</p>
48	<p>Décrivez les deux modes de fonctionnement (résonant et en régime dispersif) du couplage entre un qubit et un résonateur LC.</p>

49	Décrivez le schéma et les composants d'un qubit supraconducteur.
50	Comment est réglée la fréquence d'oscillation dans les qubits supraconducteurs ? Quels composants entrent en jeu ?
51	Pour contrôler un qubit sur la sphère de Bloch, il faut le faire tourner autour de l'axe Z, mais aussi X et Y. Comment cela peut-il se faire avec un qubit supraconducteur ?
52	Expliquez la relaxation et la décohérence d'un qubit supraconducteur. Comment peut-on visualiser ces effets sur la sphère de Bloch ? Comment peut-on mesurer les temps T1 et T2 associés à ces deux effets ?
53	Comment fonctionne un spectromètre par résonnance magnétique ?
54	Quelle est la structure d'un spin qubit avec des électrons ? Comment lire la présence ou l'absence de l'électron « sans le démolir »
55	Comment coupler deux spin qubits ? Analysez l'Hamiltonien correspondant à ce couplage spin/spin.
56	En résonnance magnétique, expliquez la Free Induction Decay (FID). Quelles caractéristiques de ce signal FID peuvent donner des renseignements chimiques sur une molécule ?