

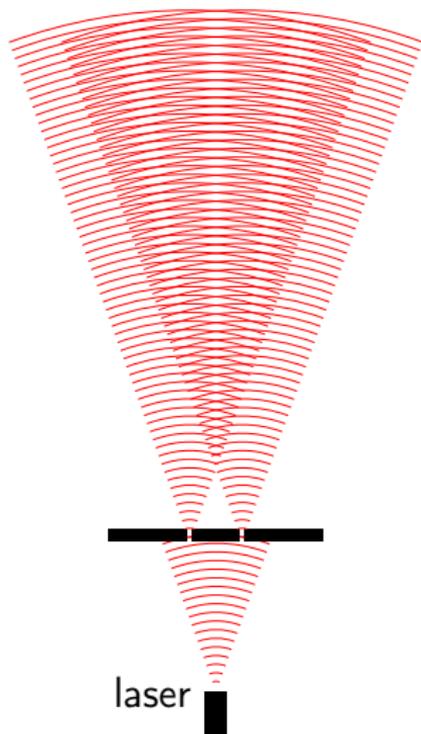
Mais au fait, qu'est-ce que c'est une particule?

Sébastien Leurent, université de Bourgogne, Dijon



- 1 Propriétés ondulatoires de la lumière
- 2 Dualité onde-particule et propriétés quantiques
- 3 Physique des particules : diagrammes de Feynmann

Expérience des fentes de Young → caractère ondulatoire de la lumière



- Dans certaines directions, les ondes sont synchronisées :



+



=



- Dans d'autres directions, elles se compensent :



+

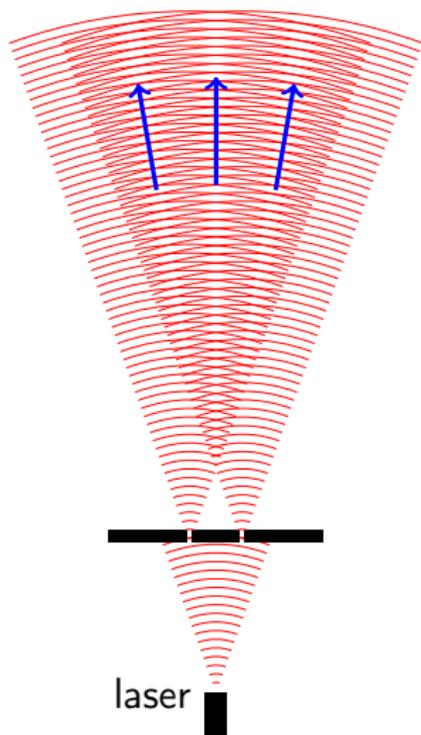


=

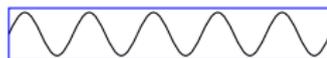


Si l'on place un écran, on y verra une alternance de franges sombres et de franges éclairées

Expérience des fentes de Young → caractère ondulatoire de la lumière



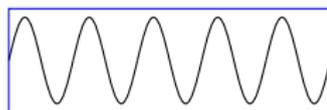
- Dans certaines directions, les ondes sont synchronisées :



+



=



- Dans d'autres directions, elles se compensent :



+

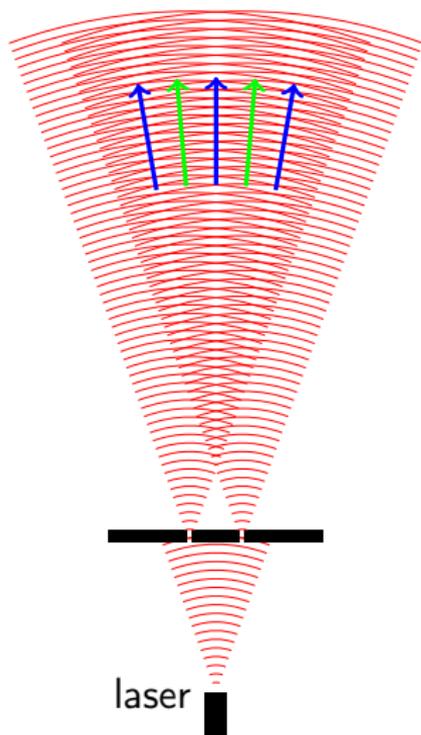


=



Si l'on place un écran, on y verra une alternance de franges sombres et de franges éclairées

Expérience des fentes de Young → caractère ondulatoire de la lumière



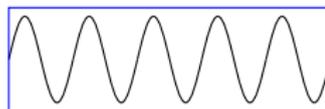
- Dans certaines directions, les ondes sont synchronisées :



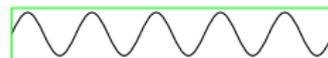
+



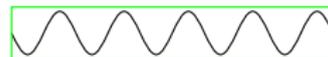
=



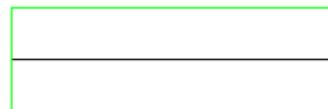
- Dans d'autres directions, elles se compensent :



+

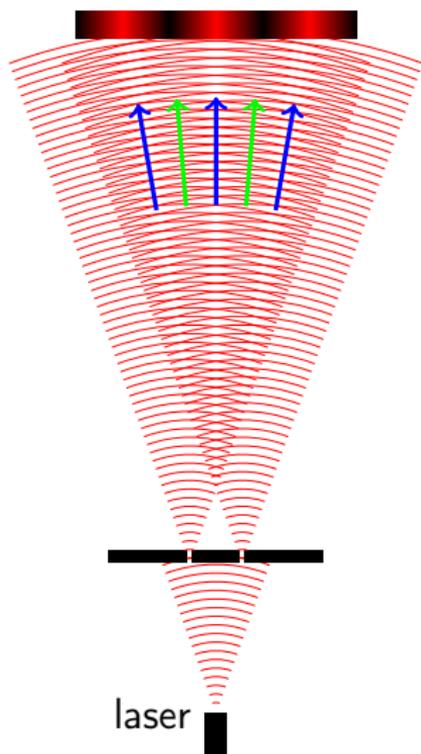


=

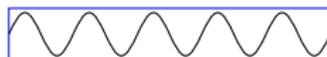


Si l'on place un écran, on y verra une alternance de franges sombres et de franges éclairées

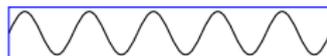
Expérience des fentes de Young → caractère ondulatoire de la lumière



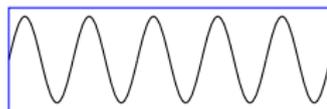
- Dans certaines directions, les ondes sont synchronisées :



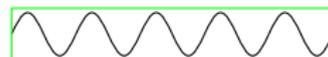
+



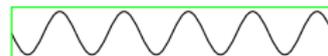
=



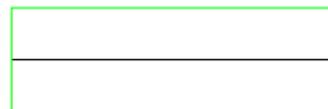
- Dans d'autres directions, elles se compensent :



+

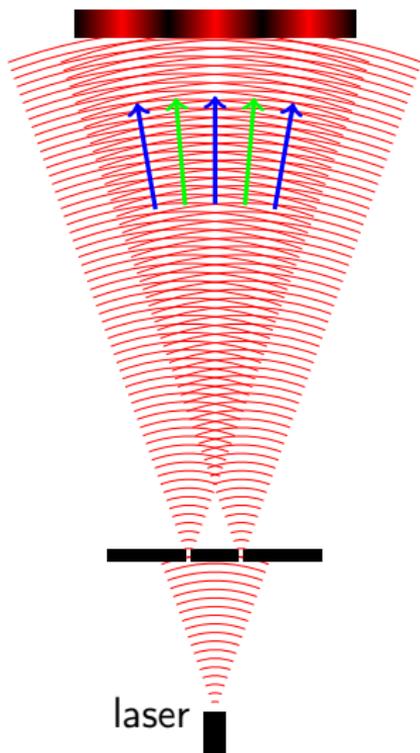


=

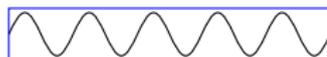


Si l'on place un écran, on y verra une alternance de franges sombres et de franges éclairées

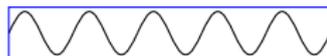
Expérience des fentes de Young → caractère ondulatoire de la lumière



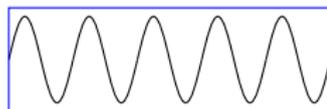
- Dans certaines directions, les ondes sont synchronisées :



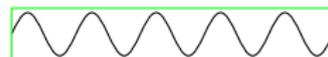
+



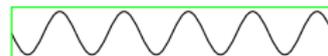
=



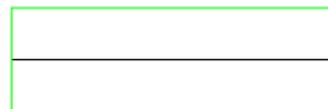
- Dans d'autres directions, elles se compensent :



+



=

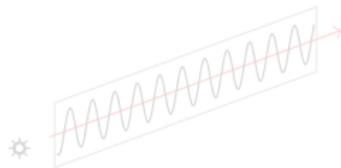


Si l'on place un écran, on y verra une alternance de franges sombres et de franges éclairées

Polarisation de la lumière

- L'onde lumineuse peut osciller dans différentes directions. La direction des oscillations s'appelle la "polarisation".

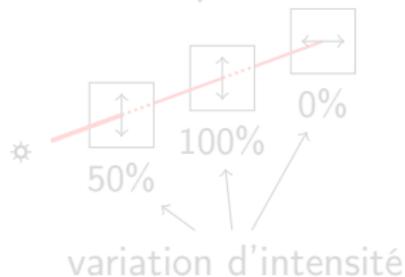
- Polarisation verticale :



- Polarisation horizontale :



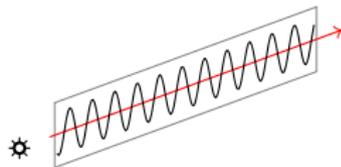
- On sait fabriquer des polariseurs (filtres qui ne laissent passer que certaines polarisations)



Polarisation de la lumière

- L'onde lumineuse peut osciller dans différentes directions. La direction des oscillations s'appelle la "polarisation".

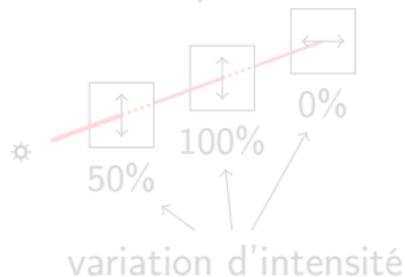
- Polarisation verticale :



- Polarisation horizontale :



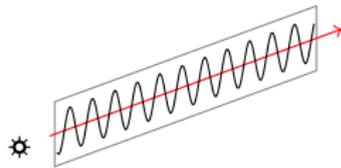
- On sait fabriquer des polariseurs (filtres qui ne laissent passer que certaines polarisations)



Polarisation de la lumière

- L'onde lumineuse peut osciller dans différentes directions. La direction des oscillations s'appelle la "polarisation".

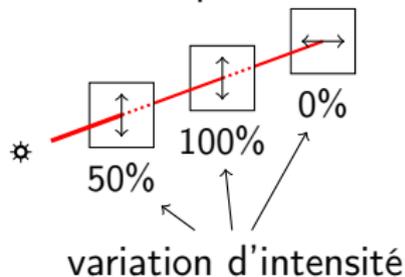
- Polarisation verticale :



- Polarisation horizontale :



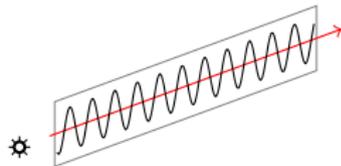
- On sait fabriquer des polariseurs (filtres qui ne laissent passer que certaines polarisations)



Polarisation de la lumière

- L'onde lumineuse peut osciller dans différentes directions. La direction des oscillations s'appelle la "polarisation".

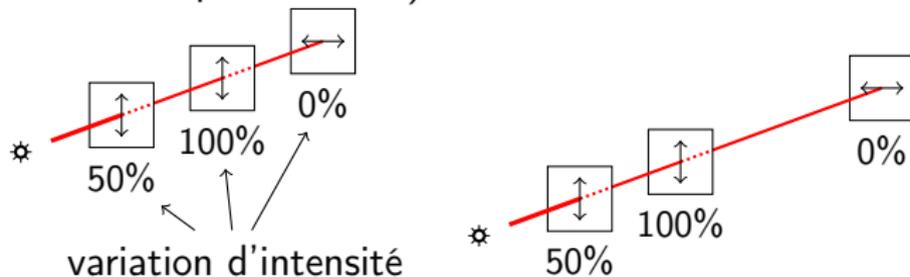
- Polarisation verticale :



- Polarisation horizontale :



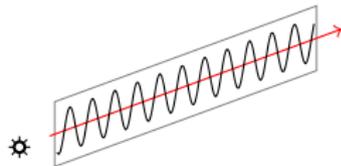
- On sait fabriquer des polariseurs (filtres qui ne laissent passer que certaines polarisations)



Polarisation de la lumière

- L'onde lumineuse peut osciller dans différentes directions. La direction des oscillations s'appelle la "polarisation".

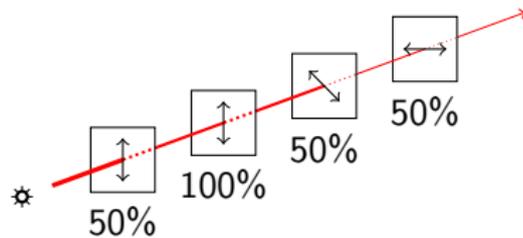
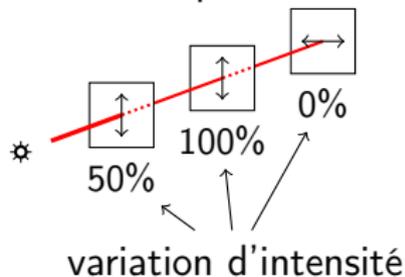
- Polarisation verticale :



- Polarisation horizontale :



- On sait fabriquer des polariseurs (filtres qui ne laissent passer que certaines polarisations)



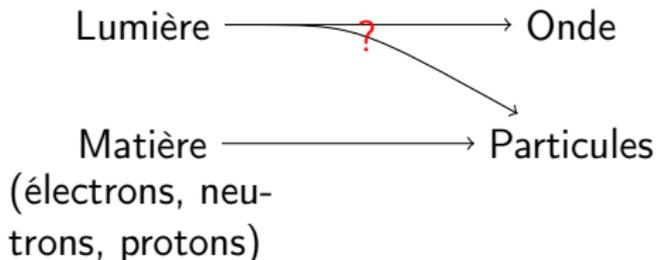
Ondes / particules

Lumière \longrightarrow Onde

Matière \longrightarrow Particules
(électrons, neutrons, protons)

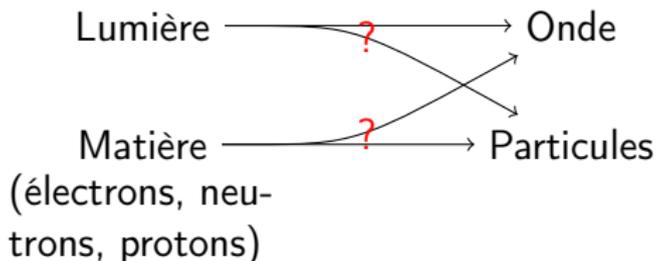
- Rayonnement de corps noir (phénomène qui fait fonctionner les ampoules à incandescence) : existence d'une quantité élémentaire d'énergie lumineuse, on émet toujours un nombre entier de fois cette quantité élémentaire.
 - Particule lumineuse : "photon"
 - Physique "quantique"
- L'expérience des fentes de Young donne le même résultat si on remplace la lumière par des électrons, des neutrons, ou de petits atomes.

Ondes / particules



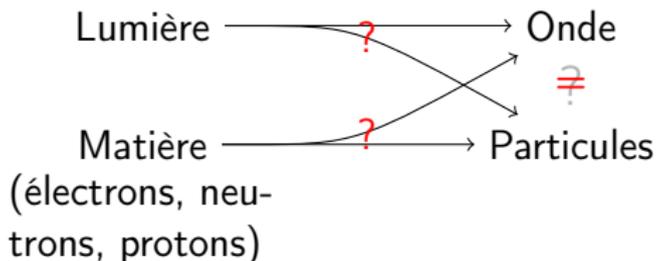
- Rayonnement de corps noir (phénomène qui fait fonctionner les ampoules à incandescence) : existence d'une quantité élémentaire d'énergie lumineuse, on émet toujours un nombre entier de fois cette quantité élémentaire.
 - Particule lumineuse : "photon"
 - Physique "quantique"
- L'expérience des fentes de Young donne le même résultat si on remplace la lumière par des électrons, des neutrons, ou de petits atomes.

Ondes / particules



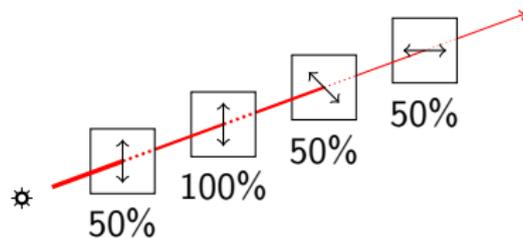
- Rayonnement de corps noir (phénomène qui fait fonctionner les ampoules à incandescence) : existence d'une quantité élémentaire d'énergie lumineuse, on émet toujours un nombre entier de fois cette quantité élémentaire.
 - Particule lumineuse : "photon"
 - Physique "quantique"
- L'expérience des fentes de Young donne le même résultat si on remplace la lumière par des électrons, des neutrons, ou de petits atomes.

Dualité onde-particule



- Rayonnement de corps noir (phénomène qui fait fonctionner les ampoules à incandescence) : existence d'une quantité élémentaire d'énergie lumineuse, on émet toujours un nombre entier de fois cette quantité élémentaire.
 - Particule lumineuse : "photon"
 - Physique "quantique"
- L'expérience des fentes de Young donne le même résultat si on remplace la lumière par des électrons, des neutrons, ou de petits atomes.

Polarisation et photons quantiques



- Chaque photon a une certaine probabilité de passer chaque filtre.
 - Caractère probabiliste de la physique quantique.
- S'il passe un filtre, le photon est modifié.
 - Quand on observe un objet quantique (quand on fait une « mesure »), cela le modifie.

Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences

On ne sait pas "par quelle fente est passée chaque particule"



Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences



On ne sait pas "par quelle fente est passée chaque particule"

Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences



On ne sait pas "par quelle fente est passée chaque particule"

Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

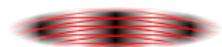
$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences



On ne sait pas "par quelle fente est passée chaque particule"

Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences

On ne sait pas “par quelle fente est passée chaque particule”

Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences



On ne sait pas “par quelle fente est passée chaque particule”

Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences



On ne sait pas “par quelle fente est passée chaque particule”

Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences

On ne sait pas “par quelle fente est passée chaque particule”



Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences

On ne sait pas “par quelle fente est passée chaque particule”



Fentes de Young → fonction d'onde



Particule émise vers des fentes de Young :

- La particule n'a pas une position précise, mais une densité de probabilité ρ d'être à un certain endroit
- ρ s'obtient à partir d'une « fonction d'onde » ψ , qui oscille :

$$\rho(\vec{x}) = |\psi(\vec{x})|^2$$

$$\psi = \psi_{\text{droite}} + \psi_{\text{gauche}}$$

↑
interférences

On ne sait pas “par quelle fente est passée chaque particule”

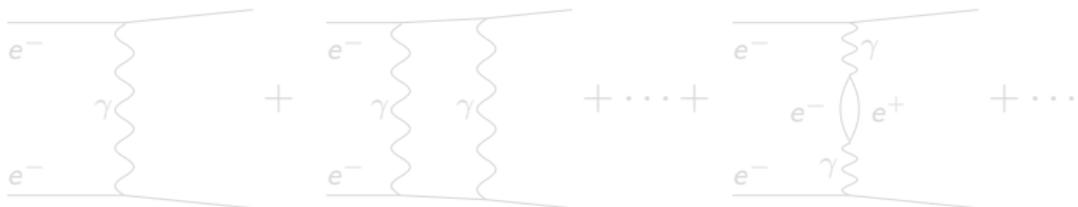


Interactions entre particules quantiques

Diagrammes de Feynmann

Exemple : deux électrons se repoussent mutuellement.

- **Mécanique "classique"** : le champs électrique de chaque électron dévie l'autre électron
- **Physique quantique** : les électrons échangent un photon



La probabilité que les électrons soient déviées dans une direction fixée s'obtient en sommant une infinité de processus

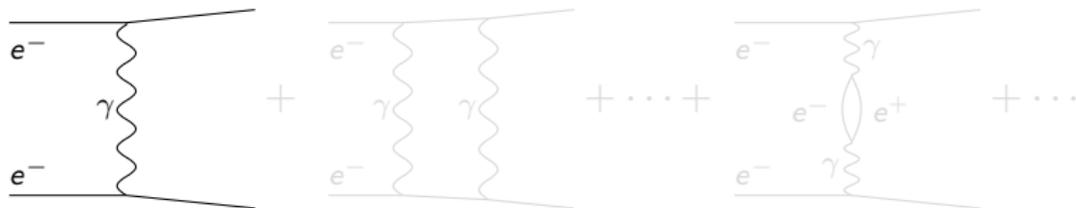
- Une telle somme n'a parfois aucun sens

Interactions entre particules quantiques

Diagrammes de Feynmann

Exemple : deux électrons se repoussent mutuellement.

- **Mécanique "classique"** : le champs électrique de chaque électron dévie l'autre électron
- **Physique quantique** : les électrons échangent un photon



La probabilité que les électrons soient déviées dans une direction fixée s'obtient en sommant une infinité de processus

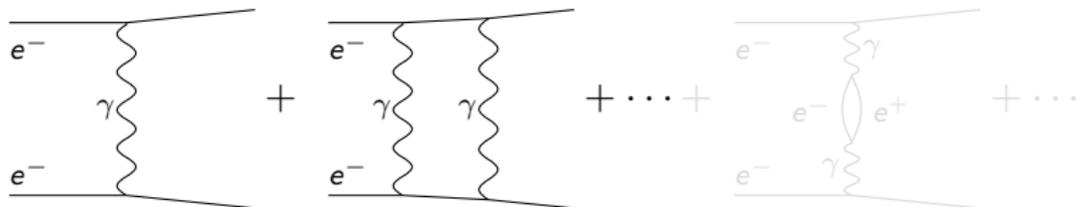
- Une telle somme n'a parfois aucun sens

Interactions entre particules quantiques

Diagrammes de Feynmann

Exemple : deux électrons se repoussent mutuellement.

- **Mécanique "classique"** : le champs électrique de chaque électron dévie l'autre électron
- **Physique quantique** : les électrons échangent des photons



La probabilité que les électrons soient déviés dans une direction fixée s'obtient en sommant une infinité de processus

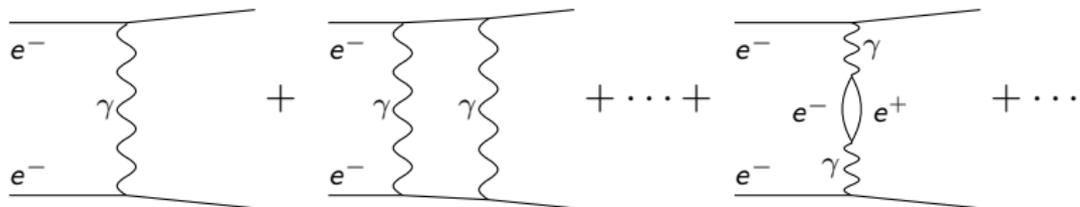
- Une telle somme n'a parfois aucun sens

Interactions entre particules quantiques

Diagrammes de Feynmann

Exemple : deux électrons se repoussent mutuellement.

- **Mécanique "classique"** : le champs électrique de chaque électron dévie l'autre électron
- **Physique quantique** : les électrons échangent des particules



La probabilité que les électrons soient déviées dans une direction fixée s'obtient en sommant une infinité de processus

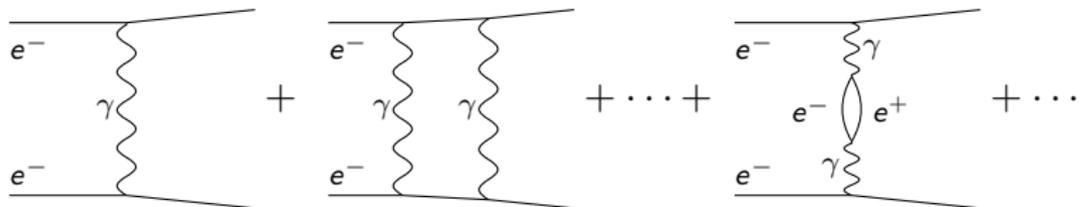
- Une telle somme n'a parfois aucun sens

Interactions entre particules quantiques

Diagrammes de Feynmann

Exemple : deux électrons se repoussent mutuellement.

- **Mécanique "classique"** : le champs électrique de chaque électron dévie l'autre électron
- **Physique quantique** : les électrons échangent des particules



La probabilité que les électrons soient déviées dans une direction fixée s'obtient en sommant une infinité de processus

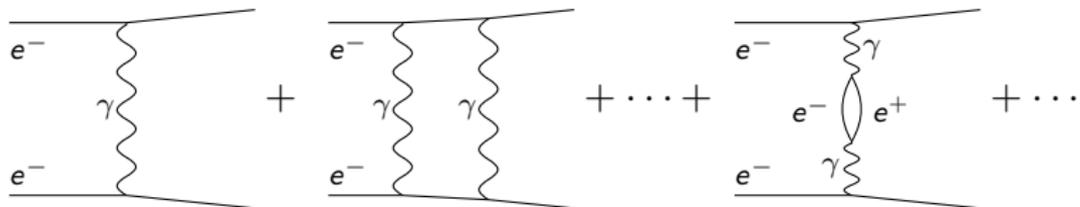
- Une telle somme n'a parfois aucun sens

Interactions entre particules quantiques

Diagrammes de Feynmann

Exemple : deux électrons se repoussent mutuellement.

- **Mécanique "classique"** : le champs électrique de chaque électron dévie l'autre électron
- **Physique quantique** : les électrons échangent des particules



La probabilité que les électrons soient déviées dans une direction fixée s'obtient en **sommant une infinité de processus**

- Une telle somme n'a parfois aucun sens