

Support de cours

Cours:

UNIL-123 Physique Expérimentale II

Vidéo:

Lesson7-UNIL-123 Physique expérimentale II

Concepts (extraits des sous-titres générés automatiquement) :

Vitesse de la lumière. Petit programme. Champ électrique. Morceau du même verre. Changement de direction. Bonne réponse. Fait vrai. Typique image. Petits pièges. Longueur d'onde. Rayons lumineux. Phénomène d'onde. Lumière différente. Petit calcul. Célérité de l'onde.



[vers la recherche de séquences vidéo](#)
(dans UNIL-123 Physique Expérimentale II.)



[vers la vidéo](#)

Center for Digital Education. Plus de matériel de soutien pédagogique ici :

<https://www.epfl.ch/education/educational-initiatives/cede/educational-technologies-gallery/boocs-en/>
page 1/101

La question 2

$$c = \lambda$$

Laquelle de ces propositions sur la célérité d'une onde est correcte ? (les symboles utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans le cours)

- ☒ a. $c = \frac{\omega}{2\pi} \lambda$
- ☐ b. $c = \frac{f}{\lambda}$
- ☐ c. $c = \frac{2\pi\omega}{f}$
- ☐ d. $c = \omega f$

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

3 / 9

Donc j'ai remis la bonne réponse grâce à l'assistance de M. Matteo de la Marnes qui m'a aidé. Le résultat n'est pas excès. C'est drôle parce qu'il y a plus de questions. Vous avez super bien réussi la question 1. Je me suis appuyé que c'était la question 1 qui montre tout le test. Il y a quelques questions qui sont un peu problématiques. Soyez un peu attentifs à ces quiz. La matière commence à s'augmenter et ils deviennent de plus en plus sérieux. Au début, c'est des questions un peu plus d'attention. Je vous ai fait des petits pièges. Comment savoir des questions un peu plus physiques ?

notes

résumé

1m 6s



La question 2

$$c = \lambda f$$

Laquelle de ces propositions sur la célérité d'une onde est correcte ? (les symboles utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans le cours)

- ☒ a. $c = \frac{\omega}{2\pi} \lambda$
- ☐ b. $c = \frac{f}{\lambda}$
- ☐ c. $c = \frac{2\pi\omega}{f}$
- ☐ d. $c = \omega f$

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

3 / 9

Faites un peu attention à ces quiz. Quand vous préparez aux examens, je pense que ça va la peine de porter de l'attention aux quiz. Je pense que la partie question, choix multiple de l'examen, ce ne sera pas exactement les mêmes. Je vais m'en inspirer. Je ne vais pas réinventer la route. Donc je pense que ça vaut la peine que vous regardiez ces quiz. Mais apprenez les pas par cœur parce que je ne vais pas les mettre exactement comme ça. Regardez, c'est vraiment de les comprendre. Donc la deux commentaires sur les questions 2 que j'avais malheureusement mal codé. Donc en plus, si vous avez répondu juste, ça vous répondait faux. Donc je ne sais pas si personne m'a fait le commentaire. Donc vous n'avez peut-être rien vu, je ne sais pas. Mais cette formule est l'appareil. Je l'ai utilisé dans tous les exercices. Il y a plusieurs fois dans le quiz, il y a l'appareil. C'est vraiment à garder en mémoire quand on parle d'onde qui dit que c'est égal à λF .

notes

résumé

1m 44s



La question 2

$$c = \lambda f$$

Laquelle de ces propositions sur la célérité d'une onde est correcte ? (les symboles utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans le cours)

- ☒ a. $c = \frac{\omega}{2\pi} \lambda$
- ☐ b. $c = \frac{f}{\lambda}$
- ☐ c. $c = \frac{2\pi\omega}{f}$
- ☐ d. $c = \omega f$

y

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

3 / 9

Ça, c'est vraiment une relation à avoir en tête quand on parle d'onde.

notes

résumé


3m 0s



La question 2

$$c = \lambda f$$

Laquelle de ces propositions sur la célérité d'une onde est correcte ? (les symboles utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans le cours)

- ☒ a. $c = \frac{\omega}{2\pi} \lambda$ 
- ☐ b. $c = \frac{f}{\lambda}$
- ☐ c. $c = \frac{2\pi\omega}{f}$
- ☐ d. $c = \omega f$

$$y = y_0 \sin(\omega t)$$

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

3 / 9

Donc c'est la célérité de l'onde. Ça veut dire la vitesse à laquelle se déplace la perturbation, la vitesse du son quand on parle du son, la vitesse de la lumière quand on parle de la lumière. Lambda, c'est la longueur d'onde et F, c'est la fréquence. Donc c'est vraiment ce qui fait le lien entre l'analyse temporelle F, c'est l'analyse temporelle. Vous restez à un endroit et vous regardez à quelle fréquence, la perturbation que vous analysez en train d'évoluer. Et puis lambda, c'est la longueur d'onde. Vous êtes à un moment donné et vous regardez à quel endroit

notes

résumé

3m 2s



La question 8

Une chauve-souris émet des ondes ultrasonores pour détecter les obstacles et ses proies.

Sachant qu'elle émet des ondes de fréquence dans l'intervalle $[10\text{kHz}, 110\text{kHz}]$ et que le mur du son est à une vitesse de 1224 km/h .

Quelle est l'intervalle de longueurs d'onde de ces ultrasons dans l'air ?

- ☐ a. La plage de longueur d'onde est $[1\text{cm}, 12\text{cm}]$
- ☒ b. La plage de longueur d'onde est $[3\text{mm}, 34\text{mm}]$
- ☐ c. La plage de longueur d'onde est $[0.34\text{cm}, 3.4\text{cm}]$

• Mur du son $\rightarrow c = 1224\text{ km/s}$

• $1224\text{ km/s} \approx \frac{1224 \times 1000}{3600} = 340\text{ m/s}$

• $\lambda = \frac{c}{f} = \begin{cases} \lambda_{\text{max}} = \frac{c}{f_{\text{min}}} \approx \frac{340}{10'000} = 0.034\text{ m} \\ \lambda_{\text{min}} = \frac{c}{f_{\text{max}}} \approx \frac{340}{110'000} = 0.0031\text{ m} \end{cases}$

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

4 / 9

ou à quelle distance vous retrouvez la même position de l'onde. C'est vraiment essentiel de ce phénomène d'onde. Donc ça, c'est vraiment la formule à avoir bien en tête. Donc la bonne réponse était bien ω sur 2π parce qu'après, il y a le jeu entre ω et F . Donc ω , souvenez-vous que c'est ce qu'on met quand on veut écrire le sinus. Parce que si on dit, je vais le dire un petit peu plus petit, si on dit par exemple y est égal à $y_0 \sin \omega t$, c'est l'argument du sinus, mais donc c'est des radians. Et puis la fréquence F , c'est des cycles. Donc c'est 2π radians. Donc il y a toujours une relation entre λ et F et ω . C'est la même information, c'est l'information temporelle, mais une est en radian, l'autre est en cycle. Donc un cycle, ça veut dire un tour. Donc il y a 2π radians dans un tour. Donc ce qui fait que la bonne réponse était celle-là,

notes

résumé

3m 45s



La question 8

Une chauve-souris émet des ondes ultrasonores pour détecter les obstacles et ses proies.

Sachant qu'elle émet des ondes de fréquence dans l'intervalle $[10\text{kHz}, 110\text{kHz}]$ et que le mur du son est à une vitesse de 1224 km/h .

Quelle est l'intervalle de longueurs d'onde de ces ultrasons dans l'air ?

- ☐ a. La plage de longueur d'onde est $[1\text{cm}, 12\text{cm}]$
- ☒ b. La plage de longueur d'onde est $[3\text{mm}, 34\text{mm}]$
- ☐ c. La plage de longueur d'onde est $[0.34\text{cm}, 3.4\text{cm}]$

• Mur du son $\rightarrow c = 1224\text{ km/s}$

• $1224\text{ km/s} \approx \frac{1224 \times 1000}{3600} = 340\text{ m/s}$

• $\lambda = \frac{c}{f} = \begin{cases} \lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} \approx \frac{340}{10'000} = 0.034\text{ m} \\ \lambda_{\min} = \frac{c}{f_{\max}} \approx \frac{340}{110'000} = 0.0031\text{ m} \end{cases}$

ce que je m'excuse, ne disais pas le quiz quand vous le faisiez. Maintenant, ça a été corrigé. Et l'autre, c'était un petit calcul. Ça arrive assez fréquemment aussi dans des questions à choix multiples. C'est aussi le moyen qu'on a de mettre des petits calculs. On vous disait, c'est une chauve-souris, ça vous préparait pour le problème de la chauve-souris qui venait après. Elle aimait des ondes entre 10 kHz et 110 kHz. Ce n'est pas tout à fait vrai, elle va probablement un petit peu plus haut, même la chauve-souris. Et puis il y avait juste un petit jeu, au lieu de vous dire la vitesse du son, je vous ai dit le mur du son. Alors ce n'est pas si c'est ça qui a fait que la réponse a été très mauvaise, il y a eu de la peine à comprendre. Le mur du son, c'est un phénomène qui est lié à la vitesse du son. Ça veut dire ce qu'on appelle le mur du son, c'est un phénomène. Par exemple, un avion va à la même vitesse que le son. Et puis là, on a des phénomènes qui se passent. Donc dire que le mur du son était à 1224 km par heure, c'était comme dire la vitesse du son est à 1224. Donc voilà, peut-être un tout petit pied jusqu'à ce côté-là. Puis ensuite, c'est clair qu'il faut parler en système international, donc il faut traduire ça en mètres par seconde. Et puis, c'est assez facile. En fait, il faut diviser par 3,6, parce qu'il y avait des kilomètres, vous devez les passer en mètres, donc il faut me diviser par mille. Et puis, c'est par heure et par heure, vous avez 3600 secondes. Donc si vous divisez 1224 par 3,6, vous arrivez à 340,

notes

résumé

4m 57s



La question 8

Une chauve-souris émet des ondes ultrasonores pour détecter les obstacles et ses proies.

Sachant qu'elle émet des ondes de fréquence dans l'intervalle $[10\text{kHz}, 110\text{kHz}]$ et que le mur du son est à une vitesse de $1'224\text{ km/h}$.

Quelle est l'intervalle de longueurs d'onde de ces ultrasons dans l'air ?

- ☐ a. La plage de longueur d'onde est $[1\text{cm}, 12\text{cm}]$
- ☒ b. La plage de longueur d'onde est $[3\text{mm}, 34\text{mm}]$
- ☐ c. La plage de longueur d'onde est $[0.34\text{cm}, 3.4\text{cm}]$

• Mur du son $\rightarrow c = 1224\text{ km/s}$

• $1224\text{ km/s} \approx \frac{1224 \times 1000}{3600} = 340\text{ m/s}$

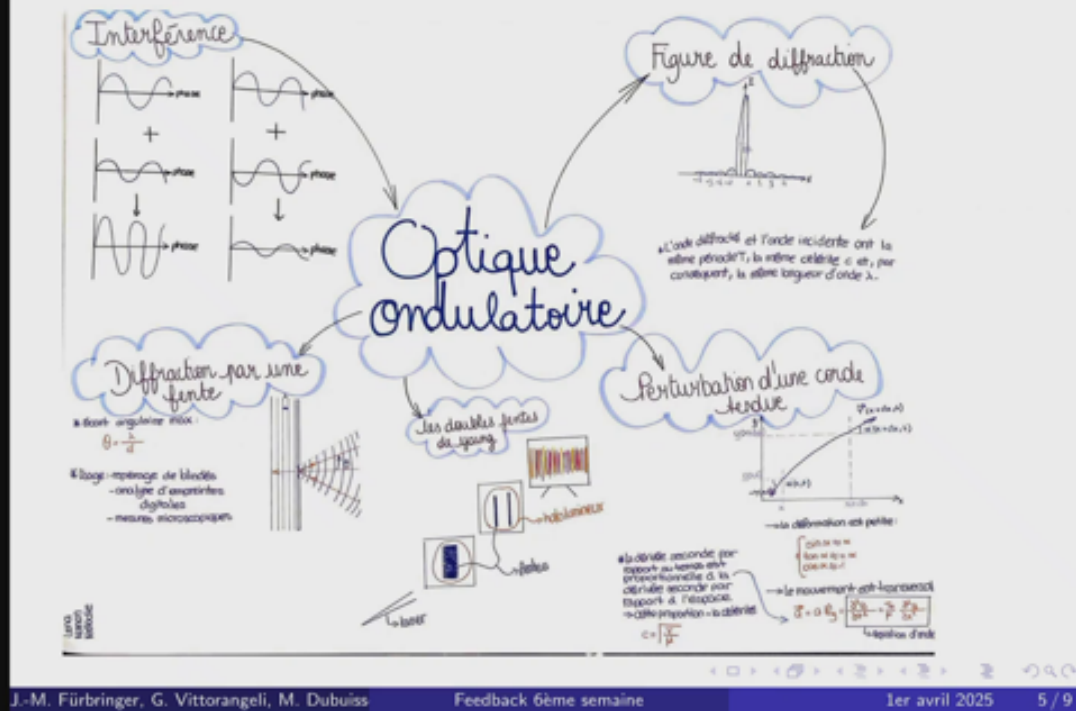
• $\lambda = \frac{c}{f} = \begin{cases} \lambda_{\text{max}} = \frac{c}{f_{\text{min}}} \approx \frac{340}{10'000} = 0.0342\text{ m} \\ \lambda_{\text{min}} = \frac{c}{f_{\text{max}}} \approx \frac{340}{110'000} = 0.0031\text{ m} \end{cases}$

ce qui est la vitesse qui était proposée dans le cours pour une température de l'ordre de 20 degrés, si je me souviens. Et puis donc, voilà, on retrouve une autre fameuse formule. C égale l'homme d'à fois F. Donc si je demandais quelle était la plage de longueur d'onde, il fallait donc trouver le minimum et le maximum. Donc la longueur d'onde, elle est à l'opposé, puisque le C est constant, donc quand la fréquence augmente, la longueur d'onde diminue et vice-versa,

notes

résumé

Mind map



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

5 / 9

ça n'était même pas nécessaire de se rendre compte de ça pour trouver l'intervalle, mais néanmoins vous le voyez. Donc, si il veut dire que la longueur d'onde maximale, c'était C divisé par la fréquence minimale, et donc ça donnait 340 divisé par 10 000, et donc ça donnait environ 3 cm. Et puis, 3 cm. Et puis, en tout cas, je me dis, mais la réponse là, elle n'est pas la bonne, mais donc je ne sais pas, je vais voir ce que j'ai fait comme erreur. Et puis, la minimale, c'est quand on divise par la fréquence maximale, et on trouve dans ce cas-là 3 mm. Donc c'est... Non, c'est juste, donc c'est bien la bonne réponse, excusez-moi, je me trouble, mais c'est bien ce qui va entre 3 mm et 34 mm, c'était la réponse à donner. Donc là, il y avait le petit piège de mur du sang, ce que ça voulait dire. Je ne vous ferais pas des choses comme ça à l'examen. Il y avait le passage des kilomètres par heure en mètres par seconde,

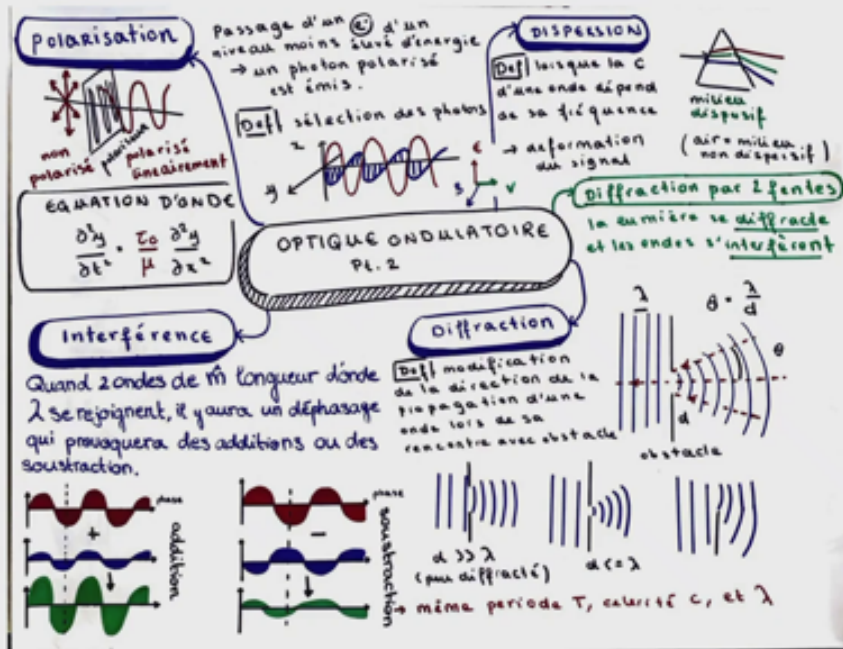
notes

résumé

7m 15s



Mind map



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

6 / 9

puis après, il y avait ce qu'on compte calculer en interval, donc avoir entre le minimum et le maximum. Alors, les cartes mentales, je vois que mon succès du début est en train de se rétrécir en statistique, on appelle ça le phénomène d'attrition. Vous voulez faire plein de choses, puis à la fin, vous n'avez plus assez de choses. Je crois que les 5 cartes qu'on a sélectionnées, c'est les 5 qu'on a reçues. Bon, voilà, c'est vous qui choisissez. Mais en tout cas, je me rends compte qu'il y a des gens qui comprennent

notes

résumé

8m 26s



d'un photon polarisé
 moins sûre d'énergie
 et émis.

sélection des photons
 2

DISPERSION
 [Def] lorsque la c
 d'une onde dépend
 de sa fréquence
 → déformation
 du signal
 milieu
 dispersif
 (air = milieu
 non dispersif)

OPTIQUE ONDULATOIRE
 Pl. 2

Diffraction
 la lumière se diffracte
 et les ondes s'interfèrent

[Def] modification
 de la direction de la
 propagation d'une
 onde lors de sa
 rencontre avec obstacle

deux ondes
 déphasage
 ns ou des

phase
 soustraction

$d \gg \lambda$
 (pas de diffraction)
 $d \approx \lambda$
 → même période T , célérité c , et λ

1er avril 2025 6/9

Mind map

onde
 électromagnétique
 ex: lumière

Polarisation
 exclusif aux ondes
 transversales
 sélection de photons
 selon un plan

Diffraction
 modification
 de la direction
 de propagation
 lors de la rencontre
 avec un obstacle

champ électrique \vec{E}
 champ magnétique

Mathilde, Vicky

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dut

que ça vaut la peine de faire des cartes mentales, puis les autres, mais tant pis.

notes

résumé

9m 0s



Mind map

Optique ondulatoire

- Perturbation d'une corde tendue :**

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$$

$$c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$\Leftrightarrow c^2 = \frac{\text{facteur élasticité}}{\text{facteur inertie}}$$
- Figure de diffraction :**

$$I = I_0 \text{sinc}^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L}\right)$$

intensité initiale, longueur d'onde de la lumière, dimension de la fente, distance entre le plan de la fente et l'écran
- Diffraction par une fente :**

$$\text{écart angulaire max} = \theta = \frac{\lambda}{d}$$

onde plane transformée en onde sphérique par une fente.
succession d'image de diffraction passant de Fresnel à Fraunhofer.
- Diffraction par deux fentes :**
 - constructive $\delta = k\lambda \sin\theta = m\lambda$
 - destructive $\delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$
- Interférence :**

addition, soustraction

RMELIE COLINE ROMANE LOLA

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

8 / 9

C'est vous qui choisissez vos modes d'apprentissage, mais je vous recommande quand même ce mode-là, même pour vous,

notes

résumé

9m 2s



Mind map



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

8 / 9

de votre côté, parce qu'on apprend beaucoup de choses, on mémorise les bonnes choses aussi quand on fait des bonnes cartes mentales. On a choisi, je vous dis, c'est celle qu'on avait, mais aussi, je l'ai trouvée très bien. Donc, il y a plein de gens, genre, grêtes, qui ne font plus de cartes mentales, mais ceux qui continuent à les faire, je trouve qu'ils ont énormément amélioré leur technique. Moi, je trouve que chaque fois que je vois ces cartes, j'ai beaucoup de plaisir. Chacun a son style graphique, je pense qu'avec le temps,

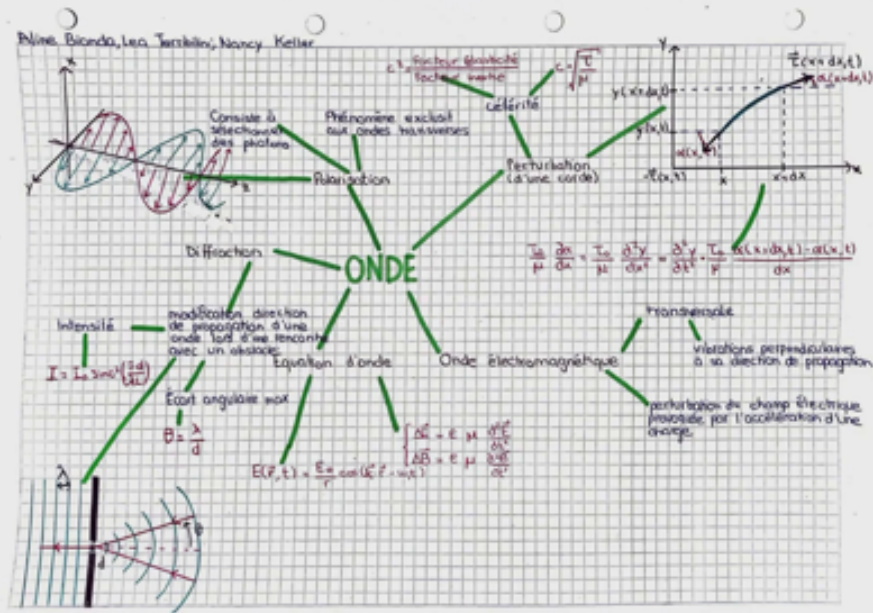
notes

résumé

9m 15s



Mind map



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangi, M. Dubuiss

Feedback 6ème semaine

1er avril 2025

9 / 9

vous apprenez à développer votre style graphique.

notes

résumé

9m 46s



Physique Générale II

Optique ondulatoire

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

March 31, 2025

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025

1 / 66

Vous comprenez que c'est important d'avoir des concepts essentiels qui sont mis en évidence, d'avoir des dessins qui rappellent un nombre de choses. Notre mémoire, elle l'aime bien les mots, mais elle est aussi très sensible aux aspects graphiques, aux aspects graphiques des schémas, mais aussi aux aspects graphiques de l'organisation spatiale des concepts. Ça a son importance. Je trouve vraiment toutes ces cartes sont très belles. J'ai dit à plusieurs que j'admiraais comment c'était en plus très bien écrit. C'est pro, je trouve vraiment super.

notes

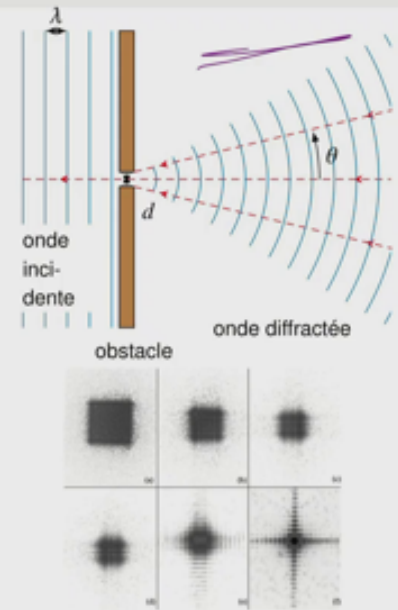
résumé

9m 54s



2.3.6 Diffraction par une fente

- Modification de la direction de propagation d'une onde lors de sa rencontre avec un obstacle de dimension d comparable à sa longueur d'onde λ .
- écart angulaire maximum $\theta = \frac{\lambda}{d}$
- En fonction de la distance L de l'écran, on distingue la diffraction de Fresnel de celle Fraunhofer.
- Usage: repérage de blindés, analyse d'empreintes digitales, mesures microscopiques.
- A droite: (haut) une onde plane transformée en onde sphérique par une fente), (bas) succession d'image de diffraction passant de Fresnel à Fraunhofer.



Donc, félicitations aux gens qui ont fait ces cartes. Et j'insiste. Vous pouvez les applaudir si vous voulez. Et puis, vraiment, je vous recommande vous, alors c'est bien d'utiliser les cartes des autres. Il y a quelqu'un qui m'a dit de continuer à les mettre parce qu'il les utilisait. Mais je crois que l'essentiel, c'est aussi en la faisant. C'est en la faisant qu'on organise les choses un peu dans son cerveau et c'est là qu'on apprend beaucoup de choses. Voilà. Et puis, une dernière aussi qui nous est revenue et qui était bien organisée. Alors, maintenant, alors, donc on va terminer dans l'admire qui vient maintenant l'optique ondulatoire et on va commencer l'heure suivante, la thermodynamique. Donc, la dernière fois, j'avais commencé déjà à parler du phénomène de polarisation. Et puis, et puis, et puis, je vais reprendre un peu, je vais peut-être terminer un petit peu sur la... Je vais reprendre un peu ça. Je vais reprendre la diffraction, quelques éléments rapides de diffraction. J'en ai parlé un petit peu en désordre. Donc, je vais parler d'autres désordres, comme ça, on espère en couvrir un petit peu les éléments. Peut-être vous vous indiquez aussi ce que j'attends de vous sur ce chapitre qui est assez descriptif et je comprends que ce n'est pas forcément facile. Qu'est-ce que je dois savoir sur ce chapitre ? Donc, on a ces deux phénomènes qui sont très liés. Ce n'est pas toujours facile d'expliquer ce qui vient de quel phénomène. C'est le phénomène de diffraction et le phénomène d'interférence. Et quasiment tout le monde y compris moi, on mélange des fois l'influence. On voit ça dans les mêmes situations, puis on n'associe pas toujours exactement ce qui vient de l'un et de l'autre. Et ce n'est pas grave, s'il y a un

notes

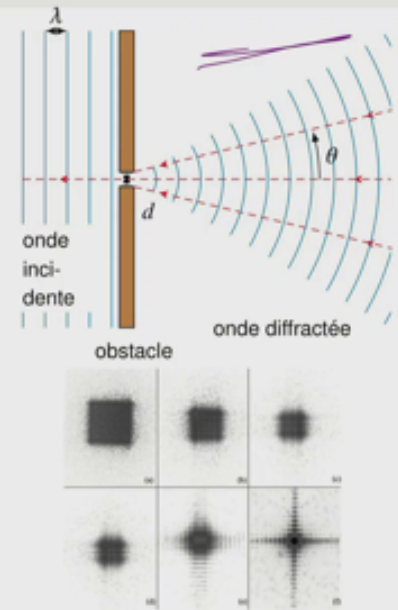
résumé

10m 35s



2.3.6 Diffraction par une fente

- Modification de la direction de propagation d'une onde lors de sa rencontre avec un obstacle de dimension d comparable à sa longueur d'onde λ .
- écart angulaire maximum $\theta = \frac{\lambda}{d}$
- En fonction de la distance L de l'écran, on distingue la diffraction de Fresnel de celle Fraunhofer.
- Usage: repérage de blindés, analyse d'empreintes digitales, mesures microscopiques.
- A droite: (haut) une onde plane transformée en onde sphérique par une fente), (bas) succession d'image de diffraction passant de Fresnel à Fraunhofer.



petit peu de mélange, je ne vais pas de nouveau, je ne vais pas essayer de vous piéger sur quelle est la différence entre la diffraction et l'interférence. Ça n'a pas beaucoup de sens. Mais formellement, la diffraction, c'est vraiment lié au fait que des rayons lumineux vont changer d'orientation. Donc, ça apparaît quand on a un orifice, une fente qui est de la taille, l'ordre de grandeur de la longueur d'onde. Ou alors, ça peut être aussi l'inverse, non pas un orifice, ça peut être un objet. Un cheveu dans un flux lumineux peut aussi provoquer de la diffraction. L'ombre qu'il va projeter va aussi être diffracté. Donc, c'est chaque fois qu'on a quelque chose, on va dire une perturbation, soit de l'ordre d'un orifice, soit de l'ordre d'un petit objet qui est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. Donc, mémoire de grandeur, probablement, je n'ai pas été vraiment vérifié, mais je pense que deux ou trois fois, je pense que ça se passait des choses dès qu'on est autour de longueur d'onde de dimension. Et puis ensuite, quand on est à la moitié de la longueur d'onde, le quart d'une longueur d'onde. Et donc, ce qu'on va observer, c'est ce que vous pouvez observer dans cette zone-là. Une onde qui était plane, elle change, elle devient une onde circulaire. Elle va se diriger pas seulement en face de l'orifice, en face de la fente, mais elle va un petit peu s'ouvrir.

notes

résumé

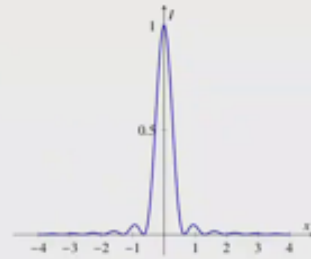
Figure de diffraction

2.3.7 D

On analyse l'intensité mesurée sur l'écran en fonction de l'écart x au centre, on obtient un signal caractéristique de la

$$I = I_0 \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L}\right) \quad (2.7)$$

où I_0 est l'intensité initiale, d la dimension de la fente, λ la longueur de la lumière et L la distance entre le plan de la fente et l'écran.



Intensité en fonction de la distance x par rapport au centre

- Si la largeur de la fente est petite, le diagramme de diffraction est étendu.
- Si la longueur d'onde est grande, le diagramme de diffraction est étendu.
- L'onde est cohérente.

Ça, c'est normalement, formellement, ce qu'on appelle la diffraction.

notes

résumé

14m 12s

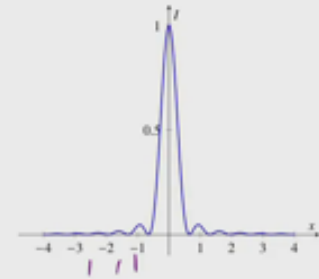


2.3.7 Figure de diffraction

Si on analyse l'intensité mesurée sur l'écran en fonction de l'écart par rapport au centre, on obtient un signal caractéristique de la diffraction

$$I = I_0 \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L}\right) \quad (2.7)$$

Avec I_0 l'intensité initiale, d la dimension de la fente, λ la longueur d'onde de la lumière et L la distance entre le plan de la fente et l'écran.



Intensité en fonction de la distance x par rapport au centre

Et ensuite, il y a des mots de vocabulaire un petit peu, de nouveau, c'est pour votre culture générale, mais ce n'est pas hyper grave. Frenelle ou fraude en fer. Frenelle, c'est ce qui se passe quand l'écran est relativement proche de la fente. Et puis, fraude en fer, c'est quand on est à une grande distance. Et puis, là, vous voyez un petit peu ce qui se passe dans le phénomène de diffraction. Si on est proche, on aura les limites de la fente qui ne vont pas être très précises avec quelque chose qui va se passer. Et puis, quand on va se retrouver très loin,

notes

résumé

14m 15s

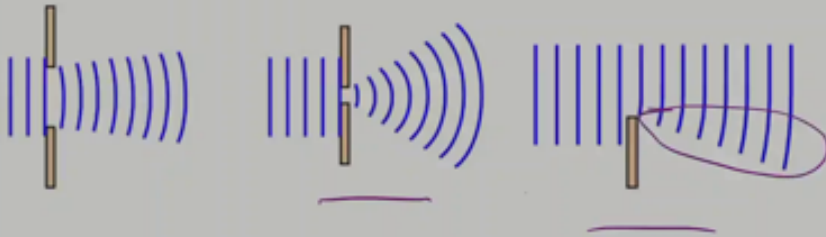


on

l'ouverture est grande devant la longueur d'onde λ alors l'onde incidente est au près des bords. L'ouverture agit comme un diaphragme.

l'ouverture est inférieure ou égale à la longueur d'onde λ alors l'onde est très étendue. L'ouverture se comporte comme une nouvelle source d'onde quasi circulaire.

et l'onde incidente ont la même période T , la même célérité c et, par conséquent, la même longueur d'onde λ .



Physique Générale II

March 31, 2025

39 / 66

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

2.3.8 Interférence

- Lorsque deux ondes se superposent, il y a un jeu des déphasages et des soustractions
- Ces combinaisons donnent lieu à des variations de l'intensité, les figures d'interférence
- Ces figures sont utiles pour mesurer des longueurs d'onde
- Lorsque la longueur d'onde est comparable à la taille des structures géométriques des cristaux, on observe la diffraction

alors vraiment, on retrouve quasiment plus du tout la forme de l'orifice. Vous voyez cette espèce d'étoile avec un carré central et puis des rectangles qui se reproduisent dans un sens et dans l'autre. Ça, c'est ce qui se passe quand on est à grande distance. Mais ce que vous voyez là, c'est que aussi la plus typique image, on peut l'avoir. Bon, mais en tout cas, on peut tout à fait la représenter avec la fonction SYNC carré qui représente bien ce qui se passe. Alors là, on est dans une seule dimension. On explique ce qui se passe dans une seule dimension. Donc, ça représente bien ce qui se passe dans une fente. Il y a une dimension de la fente qui est beaucoup plus grande dans l'angleur dont il ne se passe rien. Et la diffraction va se passer que dans une dimension. Donc, on a une grosse tâche centrale. Et puis après, on va voir si c'est un cerf. C'est des anneaux où on a des petites, avec une certaine fréquence,

notes

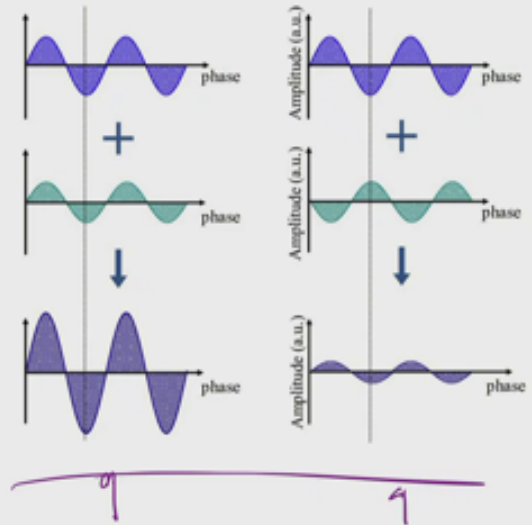
résumé

15m 3s



2.3.8 Interférence

- Lorsque deux ondes de même longueur λ se rejoignent, le jeu des déphasages va provoquer des additions et des soustractions
- Ces combinaisons sont responsables de grandes variations de l'intensité de l'onde d'un endroit à un autre: les figures d'interférences.
- Ces figures sont utilisées par exemple pour analyser les longueurs d'onde de l'onde: spectromètre
- Lorsque la longueur d'onde est connue, on peut utiliser ce phénomène pour déterminer les caractéristiques géométriques des obstacles: analyse des réseaux cristallins par diffraction



des petites reproductions, des petites intensités qui vont avoir lieu sur le côté. Mais on a une grosse tâche centrale. Donc, ça reste quelque chose de finalement assez simple au niveau du motif. Et puis donc, il y a cet aspect aussi de changement de direction. On va le voir apparaître. Il va être beaucoup plus prononcé quand on va avoir l'horifice qui vraiment correspond à la longueur d'onde. Puis va se mettre à disparaître quand l'horifice est plus grand. Et puis, ça peut aussi se passer sur une seule dimension. Ça veut dire, c'est ce qu'on représente avec ce schéma-là, que si on a une onde qui arrive sur une demi-parois, on va aussi avoir un phénomène de diffraction qui s'observe sur cette zone-là. Donc, on a la longue plane qui va continuer sur une partie de l'ouverture, mais à la bordure de l'ouverture, on va voir le long de changer d'angle et ça rendir. Et puis, le phénomène d'interférence. Donc, c'est un phénomène qui apparaît dans ces situations-là aussi, mais qui apparaît chaque fois que des ondes se croisent et qu'elles sont de même fréquences. Suivant le décalage qu'elles ont, quand les ventres vont se rencontrer, ça va augmenter l'onde. Quand elles sont en antiphase, ça veut dire que le maximum croise un minimum de l'autre, elles vont s'annuler. Et donc, on va voir là des motifs qui sont plus compliqués, parce qu'il y a vraiment au niveau de l'onde des compensations qui vont se passer. Donc, le schéma de base est présenté ici, où vous voyez chaque fois soit deux ondes qui sont exactement en phase, la bleue et la verte, et puis vous voyez que ça va intensifier à certains endroits, là où elles se recoupent, et puis où il y a les nœuds, les nœuds

notes

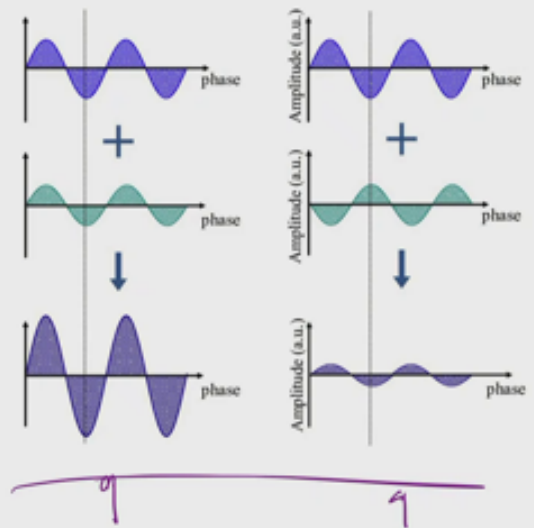
résumé

16m 2s



2.3.8 Interférence

- Lorsque deux ondes de même longueur λ se rejoignent, le jeu des déphasages va provoquer des additions et des soustractions
- Ces combinaisons sont responsables de grandes variations de l'intensité de l'onde d'un endroit à un autre: les figures d'interférences.
- Ces figures sont utilisées par exemple pour analyser les longueurs d'onde de l'onde: spectromètre
- Lorsque la longueur d'onde est connue, on peut utiliser ce phénomène pour déterminer les caractéristiques géométriques des obstacles: analyse des réseaux cristallins par diffraction



vont être placés au même endroit, alors que dans la situation où elles sont en antiphasé,

notes

résumé

2.3.9 Diffraction par deux fentes

Principe : Lorsque la lumière passe à travers deux fentes, elle se diffracte et les ondes interfèrent.

Conditions d'interférence :

- Interférence constructive (franges brillantes) :

$$\delta = \ell \sin \theta = m\lambda$$

avec m un nombre entier.

- Interférence destructive (franges sombres) :

$$\delta = \ell \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

Effet de la diffraction : L'intensité est modulée par la diffraction d'une seule fente.



vous voyez là que le maximum du nombre correspond au minimum de l'onde, plus ou moins, alors elles vont s'annuler. Alors là, j'ai pas exprimé à montrer qu'elles s'annulaient parfaitement. Donc, on utilise ça, par exemple, dans les socios niveaux audio, dans les casques où se protéger du bruit. Il faut pouvoir réagir très vite, mais en fait, il y a des casques qui vont vous provoquer une onde de pression qui est en antiphasse avec le bruit, et ça va vous permettre de vous protéger du bruit. Je connais pas vraiment qu'on fasse ça avec de la lumière, mais par contre, on va analyser ça, l'expérience que je vous... Non, elle n'est pas représentée là, mais une expérience très importante de physique qui était l'interphéromètre de Michelson. On voulait savoir s'il existait quelque chose qu'on appelait l'éther. On se demandait si le vide, c'était vraiment le vide, ou s'il vide avait une espèce de structure. Alors s'il avait une espèce de structure, il y avait des directions qui pouvaient changer. Donc on faisait aller en rayons dans différentes directions, puis on prenait les recombinaison, et puis là, on regardait si elles étaient en antiphasse ou pas, puis on utilisait l'interphéromètre de Michelson, pour observer si c'était le cas.

notes

résumé

18m 32s

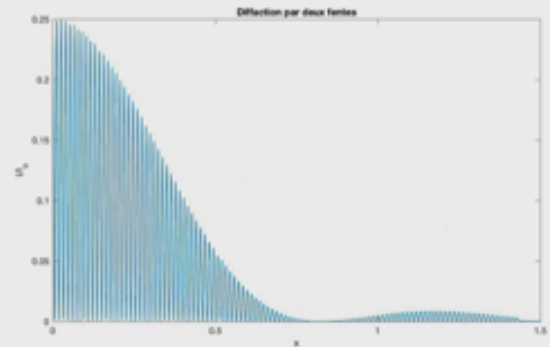


2.3.10 Intensité résultante

Formule de l'intensité :

$$I(\theta) = I_0 \frac{1}{L^2 + x^2} \cos^2\left(\frac{\pi \ell}{\lambda L} x\right) \text{sinc}^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right)$$

- Le premier terme : interférence entre les deux trous.
- Le second terme : diffraction d'un seul trou.



Alors ensuite, ce qui est intéressant, c'est de mélanger ces deux expériences. L'expérience est très ancienne. La compréhension profonde de cette expérience des deux fentes, elle est relativement récente du début du XXe siècle, mais M. Jung, c'est quelqu'un qui a vécu... Je ne vais pas me tromper, mais il me semble plus ou moins à la période de Newton, ou juste après Newton. Donc on parle de 1670, fin du XVIIe siècle, début du XVIIIe siècle. Et donc on a déjà fait cette expérience où on envoie de la lumière qui doit... La même lumière, alors je n'ai pas beaucoup parlé de ça, parce qu'on appelle la cohérence, il faut que ce soit la même onde, il ne soit pas de lumière différente qui passe, il faut vraiment que ce soit la même origine qui est vraiment en face. On a fait passer par deux fentes. Les deux fentes, vous pouvez les observer ici et ici.

notes

résumé

19m 55s

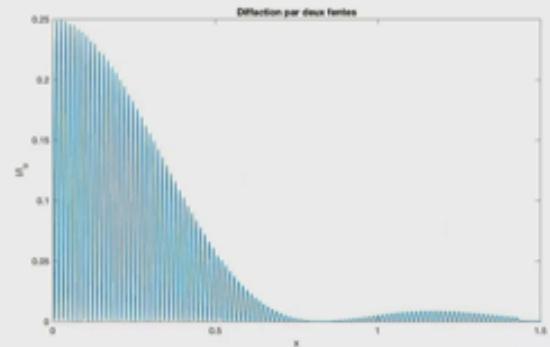


2.3.10 Intensité résultante

Formule de l'intensité :

$$I(\theta) = I_0 \frac{1}{L^2 + x^2} \cos^2\left(\frac{\pi \ell}{\lambda L} x\right) \text{sinc}^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right)$$

- Le premier terme : interférence entre les deux trous.
- Le second terme : diffraction d'un seul trou.



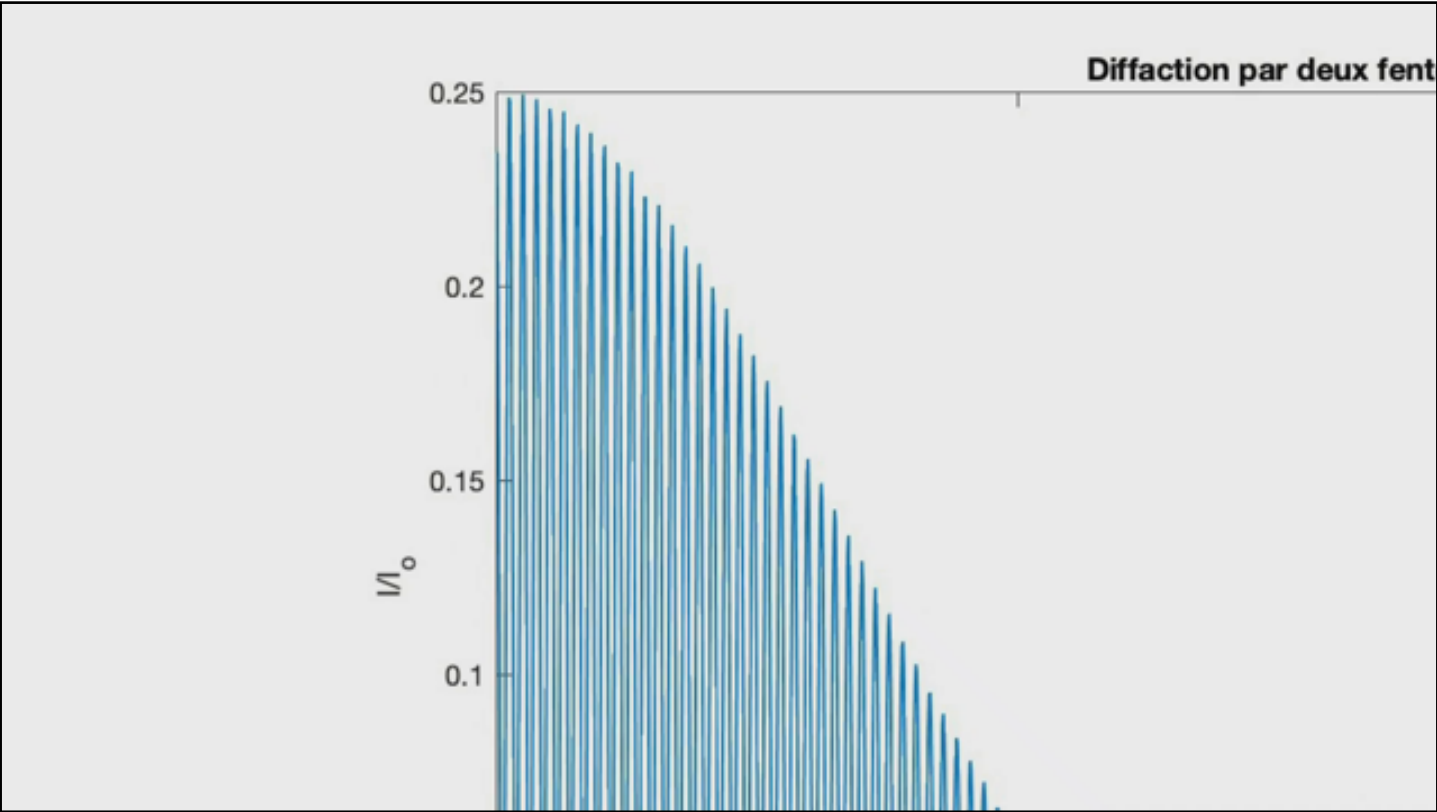
Et on va observer quelque chose en fonction de la taille de l'horifice, ça va faire la diffraction, et en fonction de la distance entre les deux orifices, ça, ça va plutôt être l'aspect d'interférence. Et dans ce cas-là, on va avoir une addition du phénomène de diffraction et du phénomène d'interférence. C'était ça que j'avais voulu vous montrer absolument la dernière fois, j'avais passé ces slides un petit peu rapidement.

notes

résumé

20m 48s





Et vous voyez que vous avez la même image de diffraction, que ce zinc carré qui fait une grande tâche. Donc quand vous comprenez que la fonction est haute, ça veut dire que c'est très lumineux, puis quand la fonction est basse, ça veut dire que ce n'est pas lumineux du tout. Donc, bien sûr que l'intensité elle est que positive, donc c'est une fonction qui ne va pas en dessous de zéro.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....


.....

résumé

.....

.....

21m 19s



.....

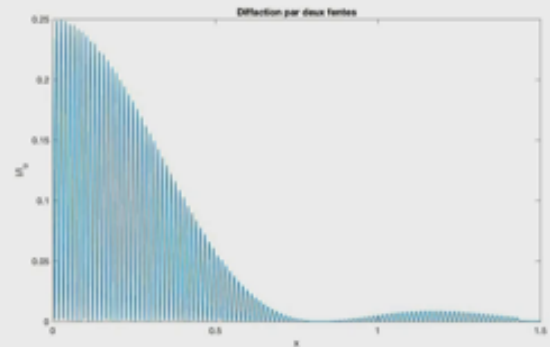
.....

2.3.10 Intensité résultante

Formule de l'intensité :

$$I(\theta) = I_0 \frac{1}{L^2 + x^2} \cos^2\left(\frac{\pi \ell}{\lambda L} x\right) \text{sinc}^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right)$$

- Le premier terme : interférence entre les deux trous.
- Le second terme : diffraction d'un seul trou.



Et donc, quand on avait juste la diffraction, on avait une grande tâche centrale avec un zéro qui variait après que des petites ondes l'aident sur le côté.

notes

résumé

21m 43s



2.3.1 Intensité résultante

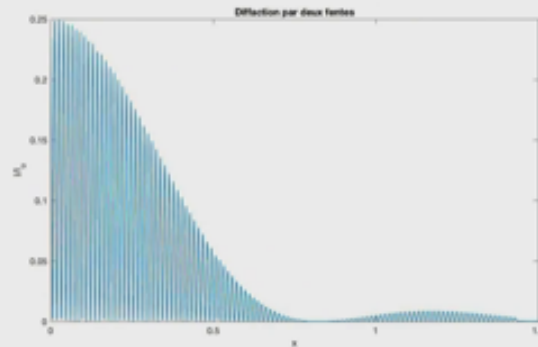
2.3.1

Module de l'intensité :

$$I(\theta) = I_0 \frac{1}{L^2 + x^2} \cos^2\left(\frac{\pi \ell}{\lambda L} x\right) \text{sinc}^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right)$$

premier terme : interférence entre les deux fentes.

second terme : diffraction d'un seul trou.



Là, vous voyez qu'il y a un motif supplémentaire qui est venu, qui est expliqué avec ce cos carré qui vient. Alors je ne vous montre pas comment on l'a calculé à ça et je ne vous demande même pas de... On va avoir travaillé sur cette fonction, etc. Mais vous voyez que là, vous avez un motif qui est plus complet, vous avez toujours une image qui va être un petit peu plus lumineuse au centre et puis qui va avoir des anneaux sur l'extérieur, mais en fait, cette image au centre, ces anneaux sont hachés. Il y a une autre fonction qui les module.

notes

résumé

22m 1s



2.3.11 Diffraction de la lumière blanche

Lorsqu'on projette une lumière polychromatique sur un système diffractant, on peut observer une sorte de décomposition du spectre de la lumière considérée. Avec une lumière telle que celle du Soleil, ce phénomène permet alors d'observer les couleurs de l'arc-en-ciel.



Et je ne sais pas si vous voyez bien,

notes

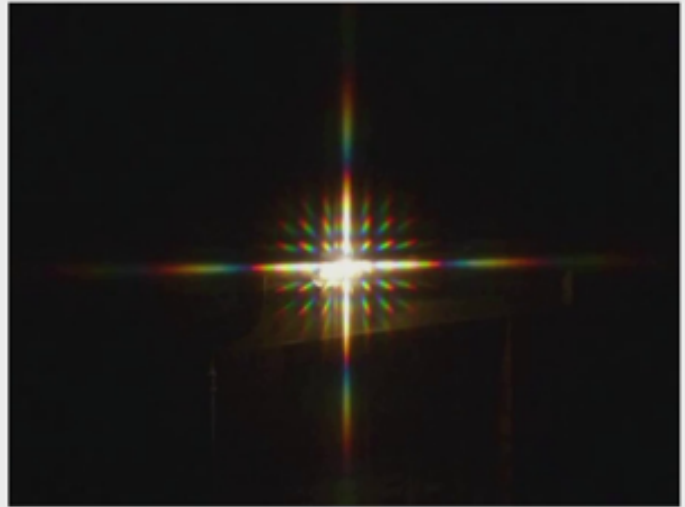
résumé

22m 36s



2.3.11 Diffraction de la lumière blanche

Lorsqu'on projette une lumière polychromatique sur un système diffractant, on peut observer une sorte de décomposition du spectre de la lumière considérée. Avec une lumière telle que celle du Soleil, ce phénomène permet alors d'observer les couleurs de l'arc-en-ciel.



ça veut dire que cette forme initiale, elle est modulée par un sinus qui va varier beaucoup plus vite. Et ça, c'est la distance entre les deux orifices qui va gérer cette fréquence-là. Donc ça veut dire que, par exemple, quand on va faire passer la lumière à l'intérieur d'un cristal, dans certaines situations, on va pouvoir voir... Alors là, ce n'est pas des orifices, c'est l'inverse. C'est des petits obstacles sur le chemin de la lumière. On va mettre la même chose.

notes

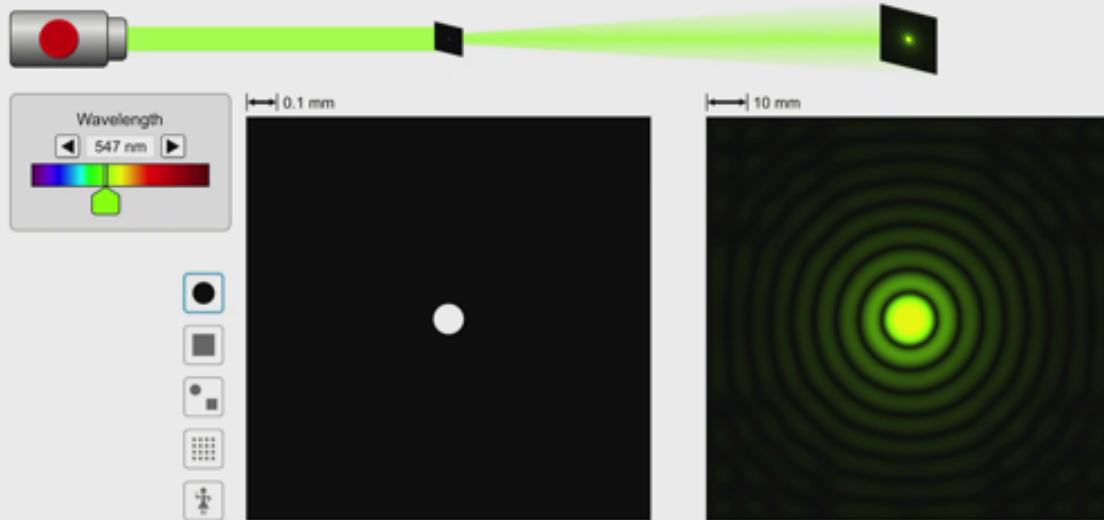
résumé

22m 38s



2.3.12 Figure d'interférence d'un disque

The!



Donc on va avoir une grande forme générale qui va permettre de comprendre la structure générale, la molécule de base,

notes

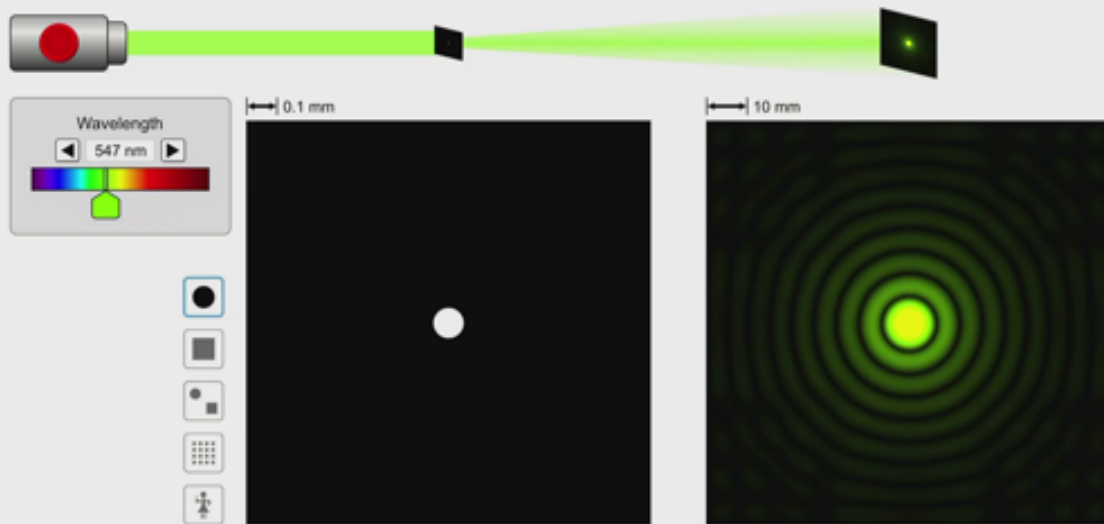
résumé

23m 19s



2.3.12 Figure d'interférence d'un disque

Phet



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025

44 / 66

et puis on aura des petites variations qui vont permettre de comprendre la distance entre les différents atomes. Et c'est ce qu'on fait en cristallographie, où on va faire passer de la lumière à travers un cristal. Bien sûr que la diffraction, soit souvent on la fait avec un laser, qui est donc en général monocoleur, monochrome, mais on peut aussi avoir un phénomène de diffraction qui va se faire avec la lumière blanche. Donc on va aussi avoir de la même manière

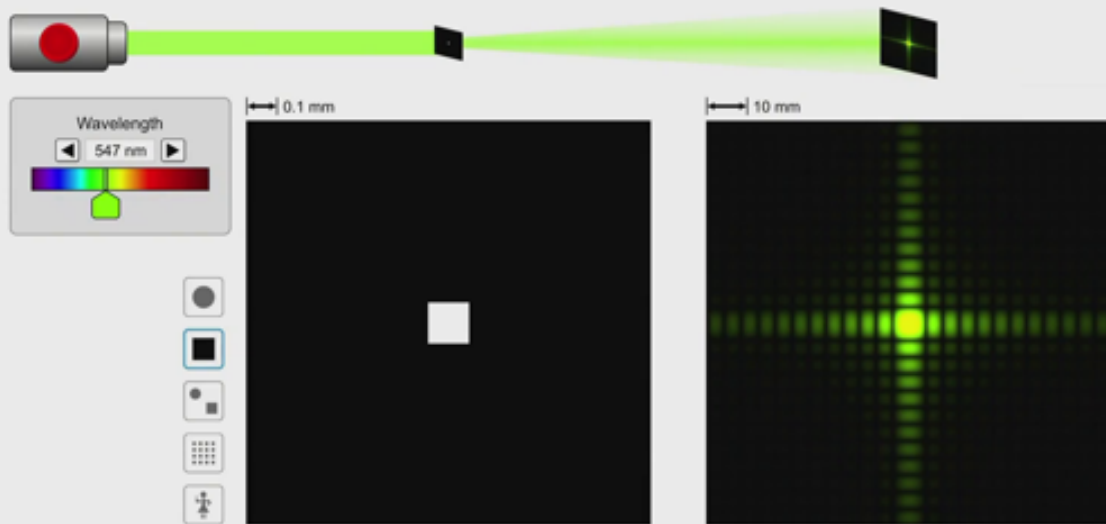
notes

résumé

23m 31s



2.3.13 Figure d'interférence d'un carré



des comportements qui vont dépendre de la longueur d'onde. C'est-à-dire qu'on a une dispersion.

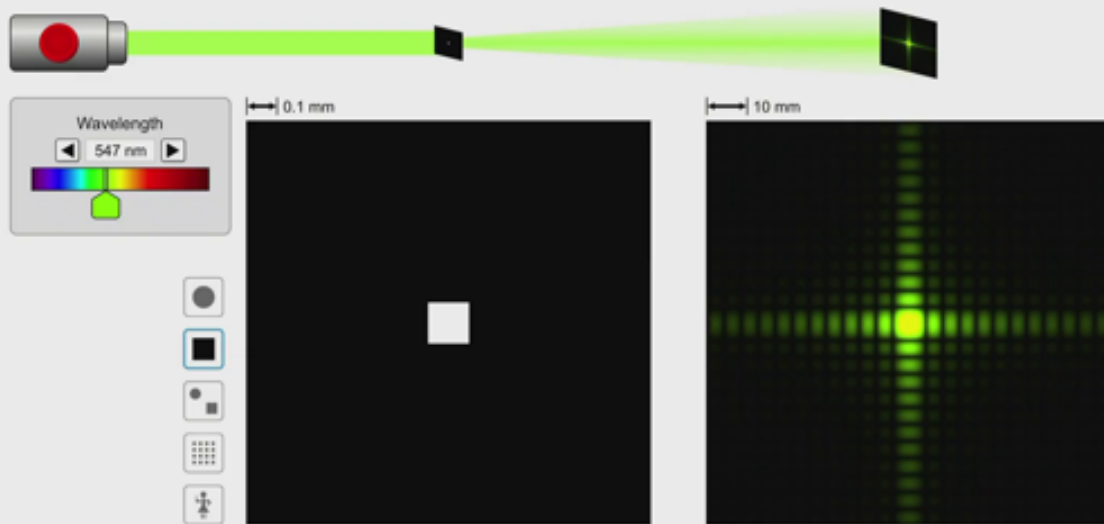
notes

résumé

24m 12s



2.3.13 Figure d'interférence d'un carré



Donc l'image que vous avez devant vous, c'est la diffraction de lumière blanche qui vient du soleil. Et vous voyez que la déviation des différents rayons a dépendu de la couleur de la lumière.

notes

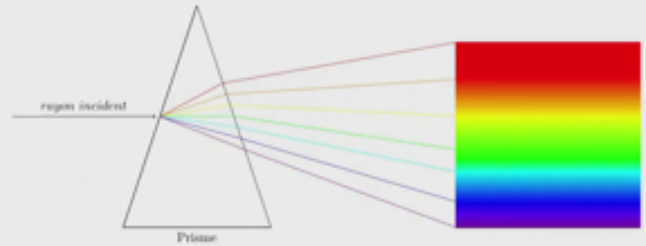
résumé

24m 16s



2.3.14 Dispersion

- Phénomène qui intervient lorsque la célérité d'une onde dépend de sa fréquence.
- La conséquence de la dispersion est une déformation de l'image, du signal
- On parlera de milieu *dispersif*
- La surface de l'eau est un milieu dispersif et les vagues de différentes fréquences s'y déplacent avec des vitesses différentes;
- L'air est un milieu non dispersif pour les ondes sonores ;
- Un prisme de verre est un milieu dispersif pour la lumière



Ça, c'est quelque... Simalia, si ça vous intéresse de jouer avec ça, donc dans la série, ça s'appelle FET, vous trouvez ça facilement sur Internet, c'est des petites applications qui permettent d'appliquer des lois de physique. Donc c'est déjà tout préparé. Là, il y en a une où on peut changer la taille, on peut changer la forme de l'image de base. Donc là, ça remonte ce que je vous ai montré là. L'image de diffraction par un cercle, vous voyez bien, il y a une tâche centrale qui est très forte. Et puis après, vous avez des anneaux qui représentent ces différentes... Je sais pas comment dire, secousses secondaires

notes

résumé

24m 35s



2.4 Polarisation de la lumière

ou oscillations secondaires.

notes

résumé

25m 23s



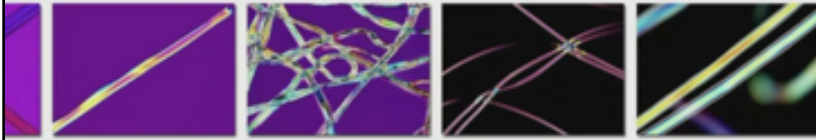
n - objectifs pédagogiques

physique de la polarisation de la lumière et présenter les
sont liés.

Comment la lumière peut être polarisée

appliquer la loi de **Malus**

appliquer la loi de **Brewster**



Reeled silk fiber

Cotton fibers

Nylon fibers

Rayon fibers

of different fibers viewed using polarized light microscopy. Source: <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/gallery/pages/fibersindex.html>

2.4.2 Pourquoi

- **Analyse des fib**
microscopes pol
- **Examen des en**
empreintes later
- **Détection de ré**
- **Analyse des en**
altérations.
- **Examen des tra**
modifications po
- **Étude des fluid**
fluides corporels

Ça, c'est ce qu'on observe avec un carré. Et puis ce qui est allant, il n'y a pas... Enfin, si c'était un rectangle, ça va faire quelque chose de similaire. Si ce n'est que l'image, elle se déforme exactement à 90 degrés de ce qu'on croit. Et puis, je sais pas pourquoi je suis revenu là sur le phénomène de... Oui, bon, on a vu le prisme. On a regardé comment le prisme se comportait. Puis c'est clair qu'à ce moment-là, je vous ai montré, montré de la dispersion. Mais en fait, on n'arrive pas à expliquer simplement la dispersion avec l'optique géométrique. Il faut rentrer dans l'optique ondulatoire pour comprendre ce phénomène de dispersion parce qu'il faut pouvoir représenter l'onde avec ses fréquences et sa longueur d'onde pour pouvoir comprendre et expliquer ce qui se passe dans un prisme. Voilà. C'était pour ça que je revenais sur le prisme à ce moment-là. Alors, c'était la dernière partie de ce chapitre sur l'optique ondulatoire. La polarisation de la lumière, je vous ai déjà présenté de trois éléments. Je redis les choses. J'espère que ce que je n'ai pas dit, ce que je redis, vous arrivez à trouver quelque chose de cohérent. Alors, d'abord, pourquoi ça vaut vraiment la peine de parler de polarisation à des étudiants en sciences criminelles, c'est qu'il y a beaucoup des méthodes d'analyse que vous allez utiliser qui utilisent la polarisation. C'est vraiment quelque chose très utilisé dans votre domaine. En tout cas, ceux qui vont s'intéresser plutôt à l'aspect criminalistique et à ces aspects-là. Là, vous avez en face de vous des photos qui représentent avec un microscope qui utilise la lumière polarisante, regardez des fibres. Donc, ça permet d'analyser, de comprendre le type de fibre qu'on a avec des très petites quantités. Autrement, honnêtement,

notes

résumé

25m 33s



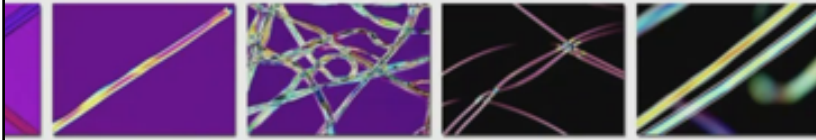
n - objectifs pédagogiques

physique de la polarisation de la lumière et présenter les
sont liés.

Comment la lumière peut être polarisée

appliquer la loi de **Malus**

appliquer la loi de **Brewster**



Reeled silk fiber

Cotton fibers

Nylon fibers

Rayon fibers

of different fibers viewed using polarized light microscopy. Source: <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/gallery/pages/fibersindex.html>

2.4.2 Pourquoi

- **Analyse des fibres**
microscopes pol
- **Examen des en**
empreintes later
- **Détection de ré**
- **Analyse des en**
altérations.
- **Examen des tra**
modifications po
- **Étude des fluid**
fluides corporels

si vous avez une fibre de fibre, vous n'arriveriez rien à faire au niveau chimique probablement. Tout cas, simplement, le regardant à la loupe ou même juste au microscope comme ça, vous n'arriveriez pas forcément à comprendre de quoi est fait cette fibre. Alors, quand l'analysant avec de la lumière polarisée,

notes

résumé

2.4.2 Pourquoi la polarisation est importante en SCC?

- **Analyse des fibres et textiles** : Identification des matériaux grâce aux microscopes polarisants.
- **Examen des empreintes digitales** : Amélioration de la visibilité des empreintes latentes.
- **Détection de résidus de verre** : Identification et comparaison des fragments.
- **Analyse des encres et documents falsifiés** : Détection de modifications et altérations.
- **Examen des traces de peinture** : Étude des couches de peinture et des modifications post-crime.
- **Étude des fluides biologiques** : Identification de traces de sang et autres fluides corporels.

il y a des comportements très différents en fonction du type de fibre et c'est vraiment possible de comprendre de quel fibre on a fait. Alors, quel est l'objectif de ce sous-chapitre ? C'est un petit peu vous expliquer le phénomène de polarisation qui est un phénomène ondulatoire intéressant. C'est en fait de comprendre comment la lumière peut être polarisée. Alors, je vais déjà montrer quelques exemples, on va encore en parler. Et puis, je vais vous parler de deux lois, qui est la loi de Malus. Et ce n'est pas une histoire d'assurance, hein, bonus malus. C'est un monsieur qui s'appelait comme ça et qui a fait une loi qui explique comment entre deux polariseurs, les choses se passent, comment calculer l'influence de deux polariseurs avec des angles différents. Et puis, ce qu'on appelle l'angle de Bruster, ça veut dire quand la lumière arrive sur un milieu, par exemple de l'eau, suivant l'angle à laquelle elle arrive, elle va repartir polarisée. Donc, la polarisation qui arrive, ça se passe quand on est à l'angle de Bruster. Voilà, donc ce sont deux lois que je vais vous présenter. Donc là, il y a un slide qui... J'ai été chercher ça sur Internet. Je ne suis pas comme vous, un spécialiste en criminologie, donc j'ai été m'inspirer d'autres. Mais voilà, dans votre domaine, les différents sujets dans lesquels on utilise la lumière polarisée. L'analyse des fibres textiles, j'en ai parlé. Pour les empreintes digitales, on arrive, semble-t-il, à avoir des empreintes beaucoup plus précises en utilisant la lumière polarisée. Si j'ai bien compris ce que j'ai lu, on arrive à mieux... Je ne sais pas le terme que vous utilisez, mais en fait, dans l'empreinte, on arrive vraiment à avoir bien la géométrie. Au lieu d'avoir juste quelque chose de plat

notes

résumé

28m 5s



2.4.2 Pourquoi la polarisation est importante en SCC?

- **Analyse des fibres et textiles** : Identification des matériaux grâce aux microscopes polarisants.
- **Examen des empreintes digitales** : Amélioration de la visibilité des empreintes latentes.
- **Détection de résidus de verre** : Identification et comparaison des fragments.
- **Analyse des encres et documents falsifiés** : Détection de modifications et altérations.
- **Examen des traces de peinture** : Étude des couches de peinture et des modifications post-crime.
- **Étude des fluides biologiques** : Identification de traces de sang et autres fluides corporels.

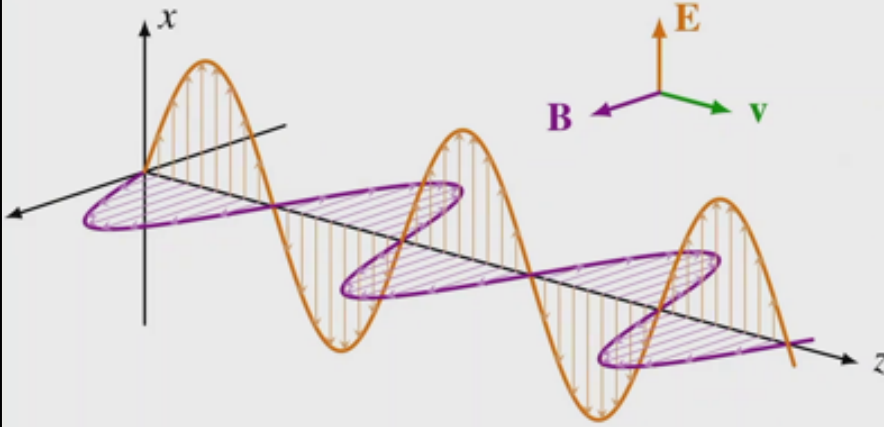
et d'avoir juste une image de contraste, on arrive à avoir une image en 3D qui est beaucoup plus précise. Et semble-t-il, quand les traces ont été effacées, où on a essayé d'effacer les traces, on arrive, semble-t-il, à récupérer déjà pas mal de choses. Des résidus de verre, de nouveau. L'idée, c'est que les verres ont des tensions à l'intérieur, donc un morceau du même verre, du même phare, de la même vitre, etc.,

notes

résumé

ation

tion est un phénomène qui est exclusif aux ondes transverses
 ssage d'un électron à un niveau moins élevé d'énergie un photon
 lon un plan est émis
 tion consiste donc à sélectionner des photons



Physique Générale II

March 31, 2025

50 / 66

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

2.4.4 Polaris

Pour compr
 champ élect

Dans ce cas

devraient avoir les mêmes caractéristiques. Donc ça permet aussi d'associer, je ne sais pas, un débris de verre au phare d'une voiture ou quelque chose comme ça. Donc ça permet d'identifier des débris de verre entre eux. Pour la falsification des documents, on peut analyser l'encre et les anres différentes ont des comportements à la lumière polarisée qui vont être différents.

notes

résumé

30m 37s



2.4.5 Polarisation (2)

seulement le

Dans la réalité, les photons vont être émis a priori dans toutes les directions avec de polarisation d'angles quelconques, (mais perpendiculaires à la vitesse).

z

e x.

March 31, 2025

51 / 66

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

Donc si on a falsifié un document, on n'a très probablement pas pu utiliser la même ancre qui a été utilisée originellement et on va pouvoir observer les falsifications. Des couches de peinture aussi. On a la possibilité de faire des analyses et puis un sujet qui apparaît dans quasiment toutes les séries des experts. Les fluides biologiques peuvent aussi être détectés, analysés. Je crois que c'est plutôt pour les détecter et ensuite ils vont être analysés avec des méthodes génétiques, etc. Mais c'est aussi utilisé pour ça. Donc un sujet éminemment important pour vous. Donc pour comprendre la polarisation, il faut se faire un modèle de l'onde lumineuse et ça ne marche que pour autant qu'on considère que c'est justement une onde lumineuse. L'onde lumineuse est faite du champ électrique et du champ magnétique. On va simplement s'occuper du champ électrique pour expliquer ce qui se passe.

notes

résumé

31m 8s



mière

Optique ondulatoire


Polarisation de la l

2.4.6 Polariseurs (3)

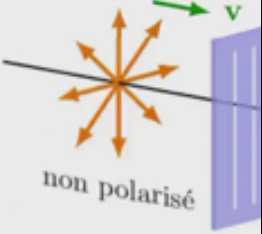
Il existe des éléments optiques appelés **polariseurs** qui ne laissent passer que les photons polarisés dans une seule direction que l'on appelle la direction de transmission.



non polarisée



polarisation linéaire



ns toutes les directions et
pendiculaires à leur vecteur

March 31, 2025

52 / 66

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

Ça va être suffisant de s'occuper que du champ électrique.

notes

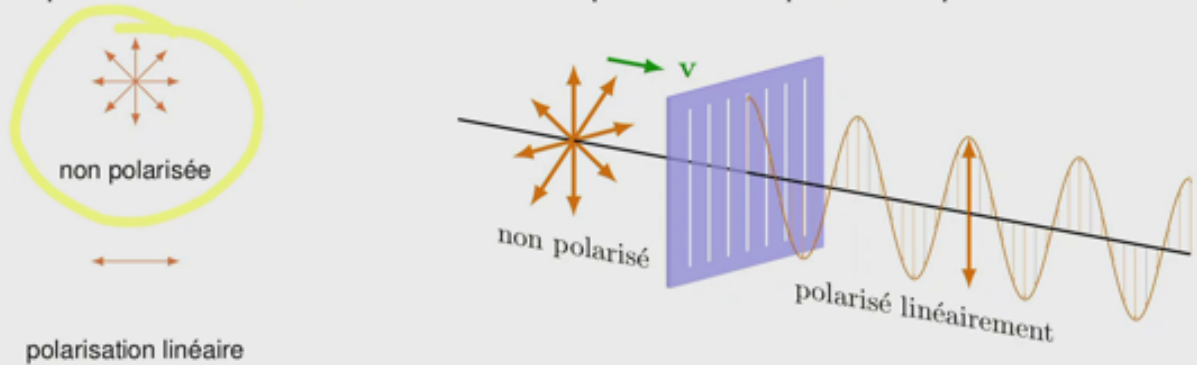
résumé

32m 22s

page 44/99 - Lesson7-UNIL-123 Physique expérimentale II

2.4.6 Polariseurs (3)

Il existe des éléments optiques appelés **polariseurs** qui vont laisser passer des photons polarisés dans une seule direction que l'on va représenter par une fente.



Donc vous voyez que le champ électrique qui se propage dans la direction Z est quand on regarde juste une onde, il a une... Perpendiculairement, toutes les directions ne sont pas équivalentes. Il y a une direction là dans ce cas-là, donc on aurait une onde qui est polarisée, on la dirait dans la direction X . Donc voilà ce qu'est une onde polarisée. C'est le fait d'avoir un rayon de lumière qui n'aurait que des ondes qui sont dans une direction donnée. Parce que dans la réalité, quand un atome est excité et puis va émettre de la lumière quand il va revenir à des éléments d'énergie normaux,

notes

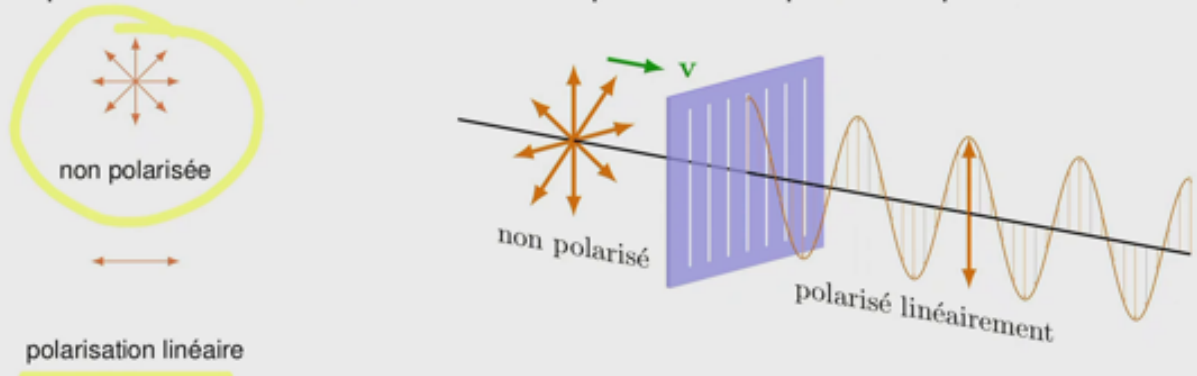
résumé

32m 25s



2.4.6 Polariseurs (3)

Il existe des éléments optiques appelés **polariseurs** qui vont laisser passer des photons polarisés dans une seule direction que l'on va représenter par une fente.



il va émettre des photons et ces photons vont être polarisés dans toutes les directions. Donc on va dire qu'il est en fait non polarisé. Alors que quand on va le filtrer de cette manière que je vais vous montrer, on arrivera à sélectionner que les photons qui sont dans la bonne orientation. Donc quand c'est non polarisé, on va pouvoir représenter, notre onde avec cette manière. Donc c'est un photon, lui, il va être forcément polarisé. Un seul photon, il va être polarisé dans une direction. Mais quand on a un rayon lumineux, on a différents photons

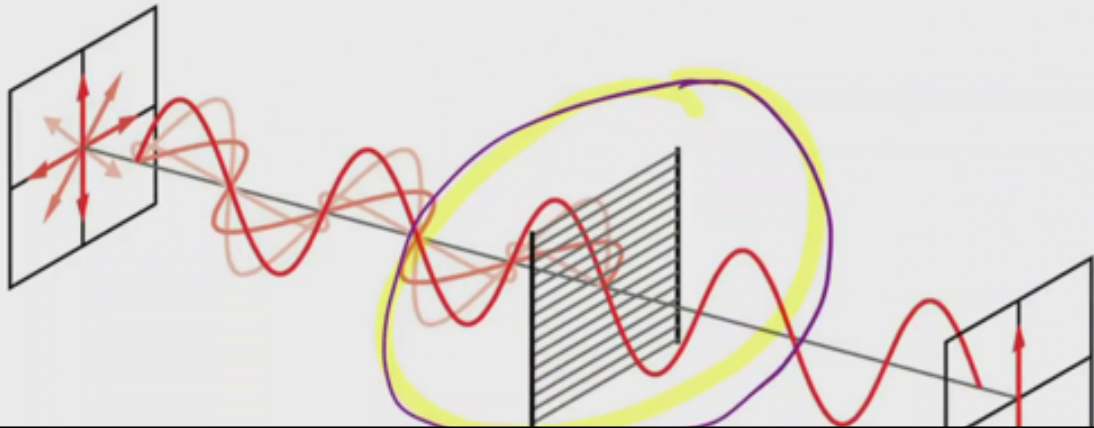
notes

résumé

33m 13s



est perpendiculaire aux fils métalliques.
 ur permet d'obtenir une onde polarisée perpendicula
 .
 n'est valable que pour des longueurs d'onde grande
 t entre les fils.



et puis ils vont tous être orientés, polarisés dans des sens différents. Donc c'est pour ça qu'on représente une onde lumineuse non polarisée avec cette, je ne sais pas comment, appelée ça, cette espèce de roue avec des flèches qui montrent dans toutes les directions. C'est pour dire qu'en moyenne, il n'y a pas de directions qui sont préférentielles. Et puis après, on va pouvoir polariser une onde. L'inéaire, ça veut dire qu'il y aura une direction où les photons auront tous la même direction de polarisation et les autres photons ont été élus. Donc en fait, c'est très simple. Il faut la faire passer à travers une grille. Mais c'est quoi une grille dans cette situation-là ? C'est un milieu qui va ne laisser passer que les photons qui sont dans une direction donnée et pas laisser passer les autres. Donc on représente un peu la grille de cette manière-là. Vous voyez qu'elle est ouverte, elle est en forme de la grille. Vous voyez qu'elle est ouverte dans une direction. En fait, la vraie grille, elle va être exactement dans l'autre sens. Si vous faites passer votre onde lumineuse à travers une grille qui a des fils métalliques dans une direction, mettons, horizontal, toutes les composantes des ondes qui varient horizontalement vont être amorties parce qu'à l'intérieur de la grille, le champ électrique va se déplacer les électrons qui sont à l'intérieur du fil électrique, puis ça, ça va amortir l'onde. Tandis que c'est seulement les composantes de l'onde qui sont dans la direction perpendiculaire, qui ne vont pas être amorties parce qu'elles ne vont pas pouvoir accélérer.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

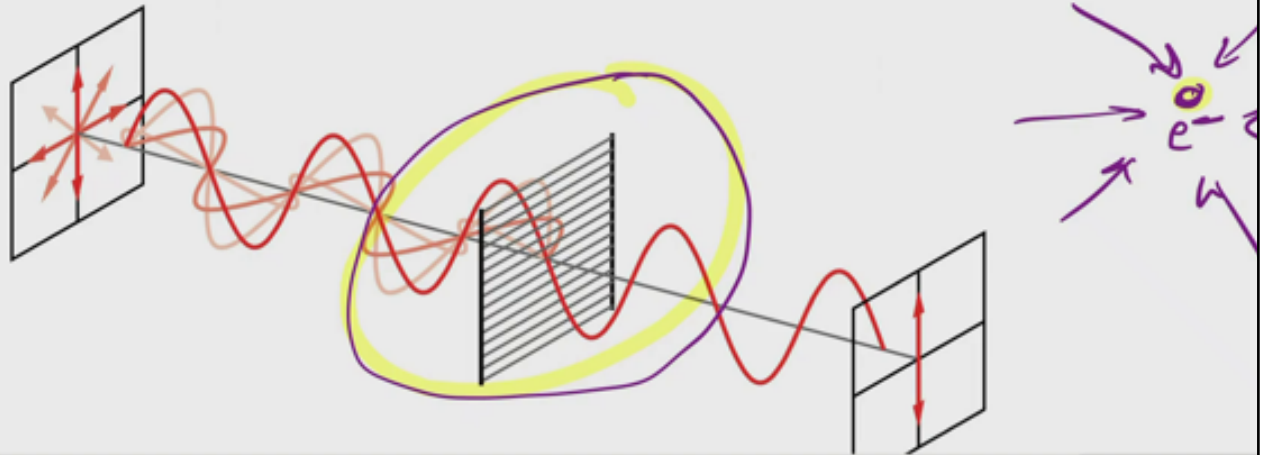
.....

résumé

33m 56s



ur permet d'obtenir une onde polarisée perpendiculairement
.
n'est valable que pour des longueurs d'onde grandes par rapport
entre les fils.



Physique Générale II

Parce que les électrons, vous vous souvenez, je ne sais plus quand j'ai présenté ça, si j'en ai parlé, j'ai présenté au tout début quand j'ai dit que c'était un photon. Si vous avez une charge électrique, par exemple un électron, autour de lui, il va y avoir un champ électrique qui va se créer. Dans le cas d'un électron, on le dessine comme ça, dans le cas d'un proton, les flèches sont dans l'autre sens. Et puis, si on met une charge quelque part, donc ça c'est le champ et, si on met ici une charge par exemple,

notes

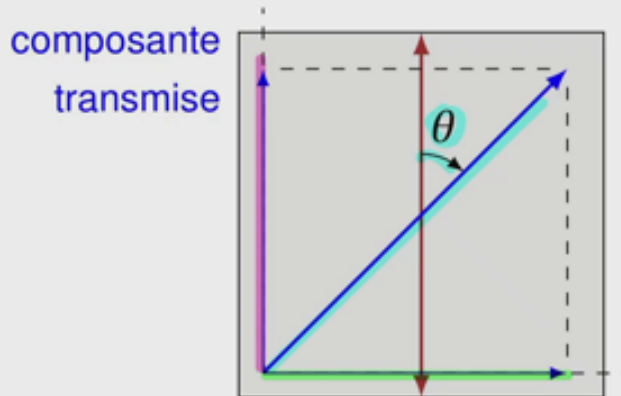
résumé

36m 3s



2.4.9 Loi de Malus

- La loi de Malus décrit comment l'intensité de la lumière polarisée traversant un filtre dépend de l'angle entre la direction de polarisation et l'axe du filtre.
- Un polariseur orienté verticalement laissera passer 100% d'une onde polarisée verticalement et 0% d'une onde polarisée horizontalement
- Que se passe-t-il pour une onde polarisée selon un autre angle ?



Filtre polarisant avec une transmission verticale

une autre charge négative ici, elle va voir le champ et puis elle va se déplacer dans la direction du champ et. Donc c'est ce qui va se passer dans cette zone-là. Les composants de mon champ électrique qui sont parallèles à mes fils électriques vont être amortis alors que ceux qui sont perpendiculaires vont pas être influencés par le champ électrique qui va se créer à l'intérieur de l'ingrit. Donc vous voyez un petit peu le schéma, je sais pas si il est clair pour vous. On a au début une onde qui n'est pas du tout polarisée. Donc ça veut dire que les différents photons s'organisent avec différentes orientations mais toujours perpendiculaires au déplacement. Et puis une fois qu'on a passé la grille, on a trié, en fond, les photons, on a récupéré seulement la composante verticale du champ électrique de chacun des photons. Ça va se faire la même chose avec le champ magnétique et donc on aura après cette grille-là une onde qui est polarisée. Alors on peut faire ces fils électriques mais voilà, ça veut dire que la distance aussi doit être très proche de la longueur d'onde. Enfin c'est difficile à faire comme ça. Il y a une autre manière de faire les choses, c'est de prendre du polyvinyl et puis c'est fait avec des molécules qui sont relativement longues. Donc on va étendre ce polyvinyl et puis ça va donc faire quelque chose qui ressemble à ma grille et quand la lumière va passer à travers ce filtre, il va se passer la même chose qu'à travers ma grille, il n'y a que les composantes dans une direction. Donc les lunettes, comme on dit polarisantes, c'est exactement ça. C'est un film de polyvinyl qui a été étiré dans une direction pour toutes

notes

résumé

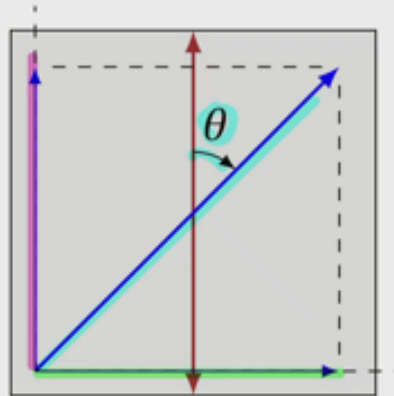
36m 43s



2.4.9 Loi de Malus

- La loi de Malus décrit comment l'intensité de la lumière polarisée traversant un filtre dépend de l'angle entre la direction de polarisation et l'axe du filtre.
- Un polariseur orienté verticalement laissera passer 100% d'une onde polarisée verticalement et 0% d'une onde polarisée horizontalement
- Que se passe-t-il pour une onde polarisée selon un autre angle ?

composante
transmise



Filtre polarisant avec une
transmission verticale

les molécules soient bien allongées et quand la lumière va passer à travers, la molécules va se passer la même chose que ce qui se passe dans les fils de métal que je vous avais présenté dans la grille, ça va amortir certaines composantes des photons et pas certaines autres, donc ça va permettre de filtrer. Alors on peut l'utiliser pour deux choses, soit on s'intéresse à faire des filtres polarisants parce qu'on veut utiliser la lumière polarisante, puis on peut aussi l'utiliser pour faire des lunettes. C'était développé pendant la 2e Guerre mondiale, c'est-à-dire les années 40 pour protéger les aviateurs qui devaient de temps en temps voler en direction du soleil pour ne pas être constamment éblouis par le soleil. Et on peut aussi trouver ça en photographie, etc.

notes

résumé

2.4.9 Loi de Malus (II)

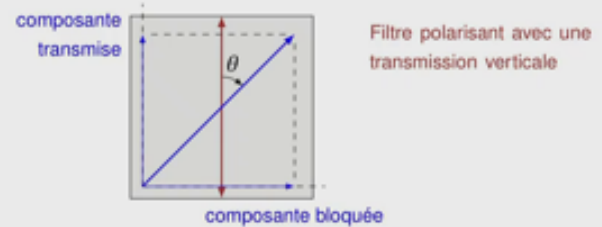
- Pour le champ électrique \vec{E} , c'est la composante verticale qui va être transmise:

$$\vec{E}_{\text{transmit}} = E_o \cos \theta \hat{e}_{\text{filtre}}$$

- l'intensité est proportionnelle au carré du champ électrique

$$I \propto E^2 \Rightarrow I = I_o \cos^2 \theta \quad (2.8)$$

- Dans notre cas : $\cos^2 \frac{\pi}{4} = 0.5$ donc $I = 0.5 I_o$



Mais ça, c'était intéressant parce que ça a permis de produire des filtres polarisants à relativement bas coût. Alors pour comprendre ce qui se passe, on a besoin d'une loi, la loi de... Elle s'appelle la loi de Malus. Si vous avez un photon qui arrive, qui est déjà polarisé dans la même direction, dans la même direction, il va passer tout droit. Mais qu'est-ce qui se passe si il est polarisé dans une autre direction ? Donc si il est polarisé perpendiculairement à ses directions du filtre, il ne va pas passer, il n'y a rien qui va passer.

notes

résumé

40m 0s



2.4.9 Loi de Malus (II)

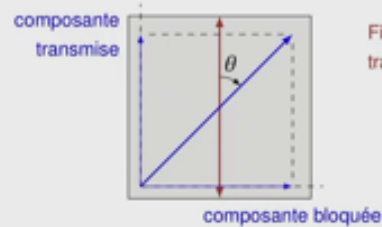
- Pour le champ électrique \vec{E} , c'est la composante verticale qui va être transmise:

$$\vec{E}_{\text{transmit}} = E_o \cos \theta \hat{e}_{\text{filtre}}$$

- l'intensité est proportionnelle au carré du champ électrique

$$I \propto E^2 \Rightarrow I = I_o \cos^2 \theta \quad (2.8)$$

- Dans notre cas : $\cos^2 \frac{\pi}{4} = 0.5$ donc $I = 0.5 I_o$



Et puis, si il est polarisé dans une direction avec un angle, t'est-à par rapport à la direction d'étirement du film de Polyville ou des bandes... perpendiculièremment aux bandes de Magry, il n'y a que la composante qui est dans la bonne direction qui va passer. Donc ça, c'est le phénomène. Alors, ce qui va se dire, c'est que la partie du champ électrique qui va être transmise, c'est la projection sur la ligne verticale. Donc c'est pour autant que le teta, c'est comme pour les autres rayons, c'est la perpendiculaire qui est considérée. Donc on va avoir le champ initial multiplié par le cocinus de l'angle. Mais si on s'intéresse à l'intensité, eh bien, c'est le carré du champ électrique qui est important dans une onde. Je ne peux parler, mais quand on parle d'intensité du monde,

notes

résumé

40m 49s



2.4.9 Loi de Malus (II)

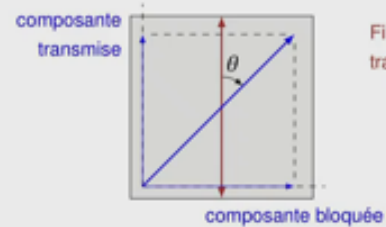
- Pour le champ électrique \vec{E} , c'est la composante verticale qui va être transmise:

$$\vec{E}_{\text{transmit}} = E_o \cos \theta \hat{e}_{\text{filtre}}$$

- l'intensité est proportionnelle au carré du champ électrique

$$I \propto E^2 \Rightarrow I = I_o \cos^2 \theta \quad (2.8)$$

- Dans notre cas : $\cos^2 \frac{\pi}{4} = 0.5$ donc $I = 0.5 I_o$



Filtre polarisant avec une transmission verticale

c'est le carré de la perturbation qui est importante et pas la perturbation elle-même.

notes

résumé

41m 59s



2.4.9 Loi de Malus (II)

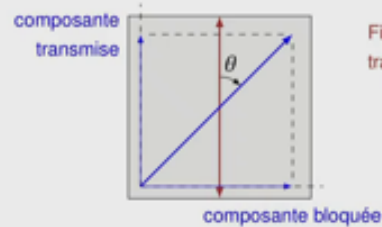
- Pour le champ électrique \vec{E} , c'est la composante verticale qui va être transmise:

$$\vec{E}_{\text{transmit}} = E_o \cos \theta \hat{e}_{\text{filtre}}$$

- l'intensité est proportionnelle au carré du champ électrique

$$I \propto E^2 \Rightarrow I = I_o \cos^2 \theta \quad (2.8)$$

- Dans notre cas : $\cos^2 \frac{\pi}{4} = 0.5$ donc $I = 0.5 I_o$



Donc ça veut dire qu'on va avoir la loi de Malus qui dit que l'intensité, après un filtre, vous avez lancé un rayon qui n'est pas du tout polarisé. Qu'est-ce que vous récupérez à la fin ? Vous récupérez 10 fois moins de l'angle teta pour chacun des photons. Donc ensuite, si vous voulez, vous êtes polarisé dans toutes les situations, il faudra intégrer sur l'ensemble des angles possibles. Et à ce moment-là, ça vous donnera une valeur qui est de l'ordre d'une demi. Donc les lunettes polarisantes font une extinction de 50% parce que sur l'ensemble des photons qui arrivent, qui n'ont pas du tout polarisé, il n'y a qu'une partie du champ électrique qui va passer et que quand on fait l'intégral de tout ce qui passe, on obtient environ une demi. Donc ce qu'on appelle la loi de Malus, c'est ça, ça c'est ce qu'on appelle la loi de Malus. Et puis si on s'intéresse à l'extinction, il faut se souvenir que pour un rayon qui n'est pas polarisé, on va perdre environ le 50%. Vous voyez ça, je reprends encore quelques minutes dans le cours d'après pour terminer, mais vous voyez ça sur cette situation ici.

notes

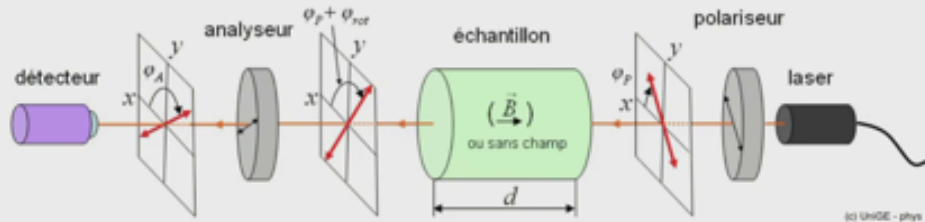
résumé

42m 3s



2.4.10 Polariseur et analyseur (II)

- Les polariseurs permettent de créer une lumière polarisée.
- Les analyseurs permettent de détecter la polarisation de la lumière.
- On manipule la polarisation de la lumière dans divers dispositifs optiques: Microscope, Mesure de concentration, Mesure de stress



Donc vous avez un premier filtre, vous voyez une petite languette qui vous permet de voir comment il est orienté. Et ma foi, si le deuxième filtre est orienté de la même manière, il y a une partie de la lumière qui va passer. Donc il y a 50% de la lumière qui a été envoyée qui a passé par le premier filtre, mais la même quantité va passer par le deuxième filtre parce qu'il est bien orienté. Et vous voyez là, ça fait environ 900 lux, 860 lux. Et puis si je le... Il ne faut pas tout que je bouge. Et puis si je le mets à un angle de 90 degrés, il n'y a plus rien qui passe. Alors il y a toujours quelques lux parce qu'il y a la lumière aussi, la mesure est pas fait hyper précisément, il reste la lumière de la chambre. Mais en tout cas vous pouvez voir qu'il n'y a plus du tout de lumière qui a traversé mes filtres. Si je mets ma main ici, il reste vraiment plus rien. Je vous laisse aller en pause. Je termine ce chapitre rapidement à votre retour avant de commencer un fantastique nouveau chapitre. Bonjour madame. C'est vous ? Oui. Wow. Vous êtes à quel niveau national ? Je suis pro. J'ai fait du professionnel maintenant, je dois arrêter avec les études. J'ai pas très bien compris ça. Que ce soit le style avec l'on polarisé sur mon autre compte. Donc c'est celle-là ? Oui. Il n'y a que la composante, c'est le cocinus qui va passer. Il n'y a que la composante qui correspond à mon axe de mon filtre.

notes

résumé

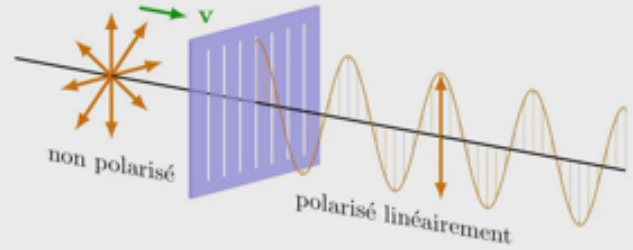
43m 38s



2.4.9 Loi de Malus (III)

- Considérons maintenant un faisceau non polarisé qui tombe sur un filtre: quelle est l'intensité transmise I_t ?
- Ce sera la moyenne de toutes les orientations possibles:

$$I_t = \frac{I_o}{2\pi} \underbrace{\int_0^{2\pi} \cos^2 \theta \, d\theta}_{=\pi} = 0.5 I_o$$



Donc c'est ce qui se passe ici.

notes

résumé

45m 58s



2.4.9 Loi de Malus (II)

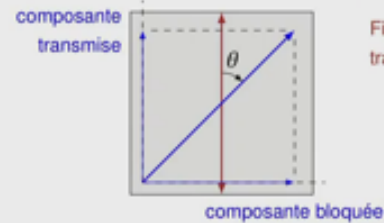
- Pour le champ électrique \vec{E} , c'est la composante verticale qui va être transmise:

$$\vec{E}_{\text{transmit}} = E_o \cos \theta \hat{e}_{\text{filtre}}$$

- l'intensité est proportionnelle au carré du champ électrique

$$I \propto E^2 \Rightarrow I = I_o \cos^2 \theta \quad (2.8)$$

- Dans notre cas : $\cos^2 \frac{\pi}{4} = 0.5$ donc $I = 0.5 I_o$



Filtre polarisant avec une transmission verticale



Donc là il n'est pas polarisé. Une fois qu'on a passé là, il est polarisé comme ça. Donc il n'y a probablement que les photons qui ont le champ électrique dans cette direction qui passe. Et puis elle est polarisée. Donc maintenant, si je change l'angle, il y a moins de lumière qui va passer. Vous pouvez regarder ici dessus. Quand je suis ici comme ça, il n'y a plus rien qui marche pour... J'aurais pas dû le bouger, je sais pas ce que j'ai fait. Ah, tiens, c'est pourquoi. C'est un peu bizarre. Le fil doit pas être très bien. Là il y a 1200 lux et puis ça va commencer à descendre. Parce qu'il n'y a qu'une partie de la composante qui va passer. Là maintenant quand je suis à angle droit, il n'y a quasiment plus rien qui va passer. C'est ce que vous pouvez voir sur le dessin. Soit vous êtes sur le filtre, il est fait le deuxième. Je parle du deuxième filtre. Il est fait pour qu'il n'y ait que ceux qui aient le champ vertical qui passe. Quand le champ est horizontal, mais il n'y a rien qui passe, quand le champ n'est pas horizontal, il n'y a que la projection qui passe. Donc le cosinus, c'est multiplié par le cosinus de l'angle. C'est bon? Ça a compris maintenant?

notes

résumé

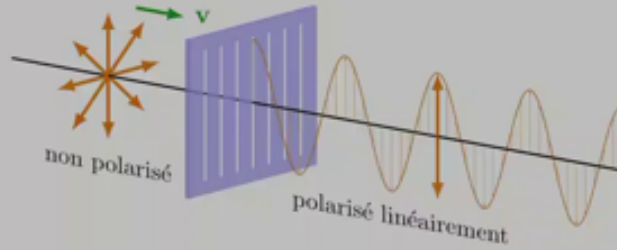
46m 6s



(III)

ant un faisceau
 de sur un filtre:
 transmise I_t ?
 de toutes les
 s:

$$d\theta = 0.5 I_o$$



2.4.10 Polariseur

- Considérons un syst
filtres alignés.
- Le premier est appel
second est appelé a
- Si au départ, on a un
polarisée, d'intensité
polariseur, la lumière
selon l'orientation de
intensité vaut $I_1 = 0.5$
- L'intensité transmise
 I_2 , sera entre 100%
donc entre 50% et 0
initiale I_o .

Oui, j'ai deux autres questions. Par rapport à cet exercice, juste, l'initial de concurrence et la question E. En prenant le calcul effectué de la première écrite, la relation. C'est ça la réponse? Oui, c'est ça la réponse. Non, c'est pas ça. C'est ça sans, parce que vous n'avez pas la vitesse, il n'y a pas de vitesse, le mur, la elle, ça vaut zéro la vitesse.

notes

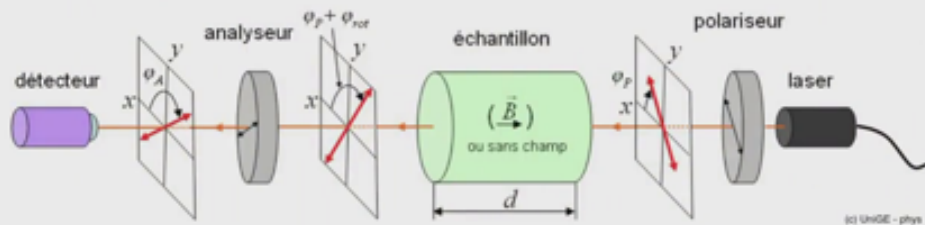
résumé

47m 37s



2.4.10 Polariseur et analyseur (II)

- Les polariseurs permettent de créer une lumière polarisée.
- Les analyseurs permettent de détecter la polarisation de la lumière.
- On manipule la polarisation de la lumière dans divers dispositifs optiques: Microscope, Mesure de concentration, Mesure de stress



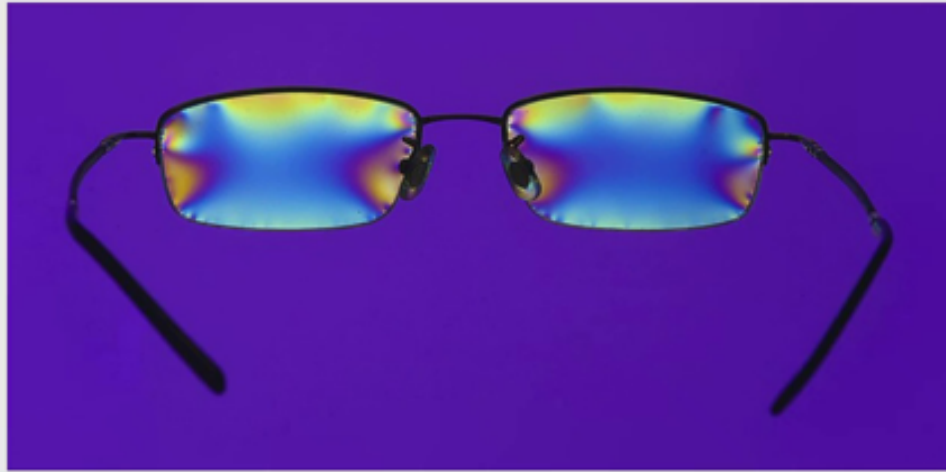
Ok, donc c'est ça la réponse? Parce que vous avez la elle vaut zéro la vitesse dans votre cas. Ok, et deuxième question, c'est dans le deuxième exercice, du coup, le point B. Je me souviens plus.

notes

résumé

48m 7s





Vous avez la réponse?

notes

résumé

48m 34s



2.4.11 Réflexion et réfraction de lumière polarisée

- La réflexion et la réfraction sont des phénomènes clés aux interfaces entre différents milieux.
- Les lois de réflexion et de réfraction s'appliquent à la lumière polarisée de la même manière qu'à la lumière non polarisée.
- La lumière est polarisée partiellement lors d'une réflexion

Oui, c'est ça.

notes

résumé

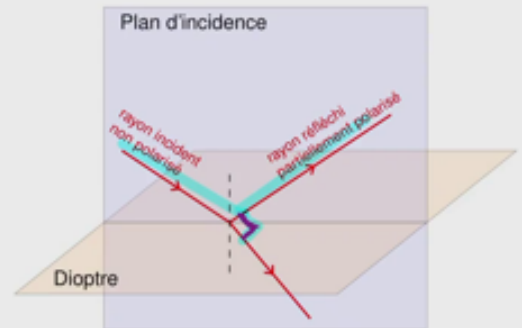
49m 35s



2.12 L'intensité des rayons réfléchis et réfractés

- Les photons polarisés dans le plan d'incidence subissent la plus grande extinction.
- Les photons polarisés perpendiculairement au le plan d'incidence subissent la plus petite extinction.
- Le degré de polarisation de la lumière réfléchie dépend de l'angle d'incidence. La polarisation est totale lorsque l'angle entre le rayon incident et le rayon réfracté est de 90° ($\frac{\pi}{2}$) : angle de Brewster θ_B .

$$\theta_B + \theta_I = \frac{\pi}{2}$$



Oui, c'est ça.

notes

résumé

50m 0s



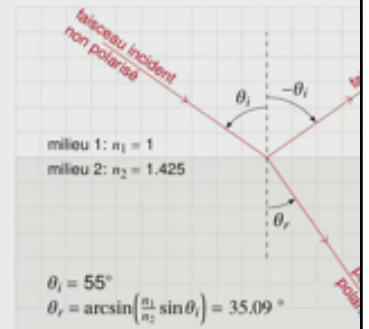
2.13 Angle de Brewster

- Polarisation totale si $\theta_B + \theta_t = \frac{\pi}{2}$
- L'angle de Brewster θ_B dépend du rapport des indices de réfringence des deux milieux:

$$\begin{aligned} n_i \sin \theta_B &= n_t \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_B \right) \\ &= n_t \cos \theta_B \end{aligned}$$

$$\frac{n_t}{n_i} = \frac{\sin \theta_B}{\cos \theta_B} = \tan \theta_B$$

$$\theta_B = \arctan \frac{n_t}{n_i}$$



Oui, c'est ça.

notes

résumé

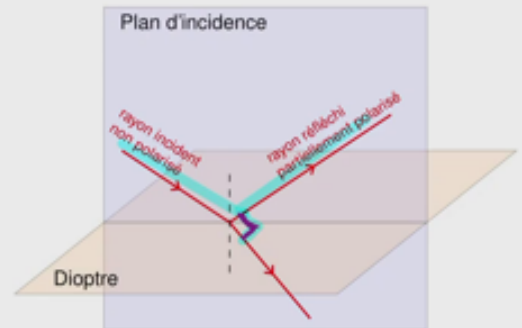
52m 49s



2.12 L'intensité des rayons réfléchis et réfractés

- Les photons polarisés dans le plan d'incidence subissent la plus grande extinction.
- Les photons polarisés perpendiculairement au le plan d'incidence subissent la plus petite extinction.
- Le degré de polarisation de la lumière réfléchie dépend de l'angle d'incidence. La polarisation est totale lorsque l'angle entre le rayon incident et le rayon réfracté est de 90° ($\frac{\pi}{2}$) : angle de Brewster θ_B .

$$\theta_B + \theta_I = \frac{\pi}{2}$$



Oui, c'est ça.

notes

résumé

53m 50s



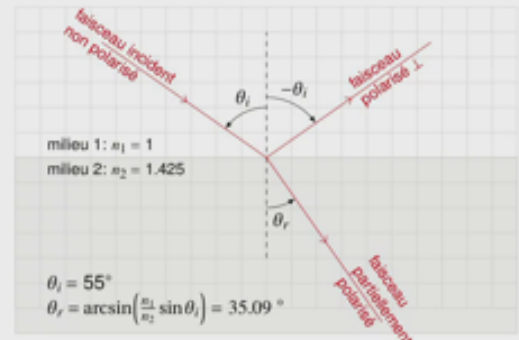
2.13 Angle de Brewster

- Polarisation totale si $\theta_B + \theta_t = \frac{\pi}{2}$
- L'angle de Brewster θ_B dépend du rapport des indices de réfringence des deux milieux:

$$\begin{aligned} n_i \sin \theta_B &= n_t \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_B \right) \\ &= n_t \cos \theta_B \end{aligned}$$

$$\frac{n_t}{n_i} = \frac{\sin \theta_B}{\cos \theta_B} = \tan \theta_B$$

$$\theta_B = \arctan \frac{n_t}{n_i}$$



Oui, c'est ça.

notes

résumé

54m 28s



2.4.14 Conclusions

L'optique ondulatoire est une branche de la physique qui étudie le comportement de la lumière en tant qu'onde.

Pour les étudiants en sciences criminelles, cette discipline revêt une importance particulière dans l'analyse des preuves sur les scènes de crime.

Grâce à l'optique ondulatoire, les scientifiques peuvent étudier les propriétés de la lumière, telles que la diffraction et l'interférence, pour examiner les empreintes digitales, les fibres textiles, les traces de sang et autres éléments d'analyse.

En comprenant les principes fondamentaux de l'optique ondulatoire, les enquêteurs peuvent utiliser ces connaissances pour résoudre des affaires criminelles en exploitant les informations précieuses contenues dans la lumière.

Oui, c'est ça.

notes

résumé

54m 40s



Physique Générale II

Thermodynamique: notions fondamentales

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

March 31, 2025

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025 1 / 1

Oui, c'est ça.

notes

résumé

56m 35s



3. Thermodynamique

Oui, c'est ça.

notes

résumé

57m 21s



3.0.1 Qu'est-ce que la thermodynamique ?

De *θερμος* qui signifie chaud, *δυναμις* qui signifie puissant

- A l'origine (XVIII^e-XIX^e) science qui traite de la relation entre les phénomènes thermiques et mécaniques. Permet de comprendre les machines thermiques inventées par Watt, Carnot, Diesel, ...
- Aujourd'hui: dans tous les domaines en raison de la portée de ses principes fondamentaux.

"La thermodynamique est la science des transformations de l'énergie, de la matière et des états d'équilibre"

Oui, c'est ça. Oui, c'est ça. Oui, c'est ça. Oui, c'est ça. Oui, c'est ça. Voilà, prenez place, reprenons. Voilà, vous devrez tourner la tête un peu, ça vous fera faire de l'exercice. Donc, en général, quand on utilise la lumière polarisée, très souvent, on utilise avec deux filtres. Un qu'on appelle le polariseur et un qu'on appelle l'analyseur. Si vous vous souvenez, la semaine dernière, vous avez présenté une espèce de clé transparente, on faisait passer de la lumière et puis on pouvait voir les efforts, quand on faisait un effort sur la clé, etc. Voilà, ce slide a juste pour but de vous expliquer la manière dont on l'utilise. On a donc en général un premier filtre et un deuxième filtre, quand on va regarder ce qui va se passer. Le premier filtre, il va mettre tous les photons alignés et puis on va le faire passer à travers un échantillon, il va se passer quelque chose. Et puis suivant ce qui se passe, on va pouvoir observer. Dans le deuxième, on va nouveau filtrer et puis on va avoir...

notes

résumé

58m 35s



" ... Un énoncé dans un domaine scientifique quelconque qui contredirait les principes de la thermodynamique serait immédiatement mis en défaut."

Si on a une image uniforme, ça veut dire que l'échantillon n'a pas changé l'orientation et puis si on a une image qui n'est pas uniforme, ça veut dire qu'il s'est passé quelque chose et l'échantillon révèle quelque chose. Voilà, c'est peut-être un peu compliqué, mais c'est le but de vous expliquer ça. C'est des techniques, je pense, quand vous devriez les utiliser, vous aurez des présentations, des différents appareils qui font ça et puis l'explication sera plus intégrée sur ce que vous utilisez. Mais c'est ça le principe et c'est pour ça que la lumière polarisée a un certain intérêt pour les sciences criminelles. Autre chose, je voulais vous expliquer. Ok, j'ai passé un peu vite, excusez-moi.

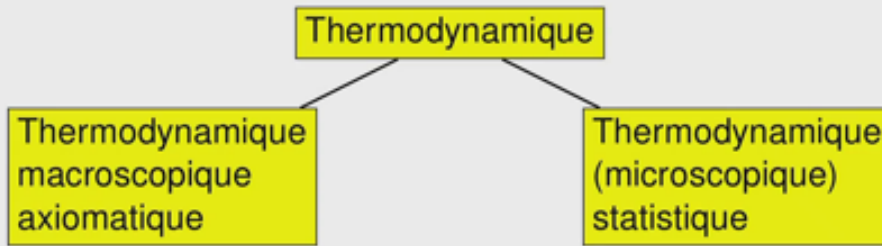
notes

résumé

60m 58s



3.0.2 Organisation de la théorie



Une approche globale qui repose sur trois principes admis une fois pour toutes et dont on déduit par un raisonnement purement logique les différentes lois de la thermodynamique. Cet aspect, de type phénoménologique, a l'avantage de faire intervenir un très petit nombre de variables. Il est bien adapté à la compréhension des phénomènes mis en jeu dans la plupart des branches industrielles. C'est dans ces conditions que l'on parle de thermodynamique macroscopique axiomatique.

Une approche microscopique qui prend en compte chaque particule élémentaire contenue dans le système. Ce point de vue, met en œuvre de nombreuses variables. Il permet la compréhension du comportement de la matière à l'échelle atomique et à la description de l'état solide. On parle de thermodynamique microscopique ou de thermodynamique statistique. Par le biais d'hypothèses convenables, on peut accéder aux grandeurs macroscopiques.

Le chaos, quand on regarde cette loi de Malus, je voulais juste vous montrer ça. Vous vous souvenez de ce que j'expliquais il y a un moment. Quand les deux filtres sont alignés, le premier va trier les photons dans une certaine orientation et puis le deuxième, soit il est de la même manière, il a laissé passer tous les photons qu'il a reçu un peu au début. Vous voyez là, environ 1260 lux. Et puis, à se rendre compte, c'est qu'on va aller à 0 quand je suis à 90 degrés parce qu'il n'y a plus de composantes, mais c'est un cos carré. Donc le cos carré, ce n'est pas proportionnel. Au début, ça fait peu de... Je vais essayer d'aller à une vitesse plus ou moins régulière. Vous allez voir qu'au début, il y a très peu d'extinction. Je ne l'arrive pas à voir moi-même derrière mon dos, mais vous voyez qu'il y a très très peu d'extinction dans les premières parties. Et puis après, quand je continue l'extinction, il y a beaucoup plus important dans la deuxième partie. Vous avez un cos carré, donc c'est une espèce de d'arc de cercle. Et puis donc, ça fait un truc un peu comme ça, désolé des seins. Mais au début, ça varie très très peu. Puis après, quand vous arrivez dans la fin de l'angle, alors ça commence à varier beaucoup. Ça, c'est ce que j'ai expliqué sans vous le montrer l'équation. C'est ce qui se passe quand on fait passer un rayon non. Par en polarisateur, donc on doit intégrer le cos carré, donc la loi de Malus, on doit l'intégrer sur l'ensemble de trucs.

notes

résumé

61m 48s



3.0.3 Plan du chapitre

- ① Notions fondamentales
- ② Outils mathématiques
- ③ Perspective expérimentale
- ④ Travail et chaleur
- ⑤ Premier principe
- ⑥ Interprétation microscopique de la capacité thermique
- ⑦ Transformations des gaz
- ⑧ Machines thermiques
- ⑨ Fonction enthalpie
- ⑩ Deuxième principe

N'ayez pas peur, je ne vous ferai pas faire ces intégrales-là.

notes

résumé

63m 36s



3.0.3 Plan du chapitre

- ① Notions fondamentales
- ② Outils mathématiques
- ③ Perspective expérimentale
- ④ Travail et chaleur
- ⑤ Premier principe
- ⑥ Interprétation microscopique de la capacité thermique
- ⑦ Transformations des gaz
- ⑧ Machines thermiques
- ⑨ Fonction enthalpie
- ⑩ Deuxième principe

Vous avez-vous expliqué comment j'ai obtenu la valeur d'une demi qui était citée dans un slide ? Là, ça explique un peu quasiment la même chose. Là, vous avez une loi entre ce qui va passer par le premier filtre, ce qui va passer par l'analyseur. Ça va être dans le deuxième, la différence des angles entre le polariseur et l'analyseur qui va me dire l'intensité qui va passer de l'un à l'autre. Ça, je vous ai présenté. Et puis, voilà, un exemple d'image de contrainte. Là, on peut voir, on est passé de la lumière.

notes

résumé

63m 37s



3.0.3 Plan du chapitre

- ① Notions fondamentales
- ② Outils mathématiques ←
- ③ Perspective expérimentale ←
- ④ Travail et chaleur ✓
- ⑤ Premier principe
- ⑥ Interprétation microscopique de la capacité thermique
- ⑦ Transformations des gaz
- ⑧ Machines thermiques
- ⑨ Fonction enthalpie
- ⑩ Deuxième principe

Donc, ce n'est pas des lunettes polarisées. Ce sont des lunettes normales qui sont analysées avec de la lumière polarisée qui permettent de montrer où il y a des tensions dans le verre. Ces tensions sont soit créées par le cadre. On peut imaginer que le cadre fait quelques efforts sur le verre et on peut aussi imaginer qu'au début, le verre avait déjà un petit peu des efforts.

notes

résumé

64m 20s



3.0.3 Plan du chapitre

- ① Notions fondamentales
- ② Outils mathématiques ←
- ③ Perspective expérimentale ←
- ④ Travail et chaleur ✓
- ⑤ Premier principe ✓
- ⑥ Interprétation microscopique de la capacité thermique ✓
- ⑦ Transformations des gaz ✓
- ⑧ Machines thermiques
- ⑨ Fonction enthalpie
- ⑩ Deuxième principe

Donc, les couleurs sur le verre représentent les lieux où il y a des efforts qui déforment un petit peu le verre. Ils sont, à mon avis, vraiment dû par le cadre.

notes

résumé

64m 46s



3.0.3 Plan du chapitre

- 1 Notions fondamentales
- 2 Outils mathématiques
- 3 Perspective expérimentale
- 4 Travail et chaleur
- 5 Premier principe
- 6 Interprétation microscopique de la capacité thermique
- 7 Transformations des gaz
- 8 Machines thermiques
- 9 Fonction enthalpie
- 10 Deuxième principe

Vous voyez qu'ils sont placés des deux côtés quasiment au même endroit. Donc, c'est vraiment la géométrie qui est responsable de la tension. On peut aussi imaginer un verre qui a de lui-même des tensions. Voilà. Les lois de la réfraction sont les mêmes. Ce qu'on a vu par rapport à l'optique géométrique continue quand la lumière est polarisée. Ça ne change pas les lois de réflexion et de réfraction. Par contre, ce qui peut se passer, ce qui change un petit peu, c'est les intensités. Ce qui va passer d'un côté, ce qui va être réfléchi. Donc, les angles de réfraction et de réflexion sont les mêmes. Par contre, les intensités peuvent dépendre de la polarisation. Alors, c'est d'une part, si la lumière, à l'origine, est polarisée, il y a peut-être quelque chose qui va se passer entre la réflexion et la réfraction. Et puis, surtout, après, dans la lumière polarisée ou la lumière réfractée ou la lumière réfléchi, vous n'aurez pas forcément les mêmes propriétés de polarisation. Et entre autres quelque chose qui est intéressant, c'est si on a un rayon incident non polarisé, pour certains, pour un angle très précis, on va avoir une réflexion qui est polarisée. C'est ce que j'avais essayé de vous montrer avec un bac d'eau la dernière fois. Et ça, l'angle à laquelle ça se passe, ça s'appelle l'angle de Brewster.

[illegible]

résumé

64m 58s



3.1 Notions fondamentales

Et ce phénomène de polariser par réflexion, ça se passe dans une situation très particulière. C'est lorsque l'angle, je sais pas pourquoi je l'appelais B, il me semble que j'ai trompé,

notes

résumé

66m 49s



Se représenter le nbr d'Avogadro $N_A \approx 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Quel volume approximatif occuperaient N_A ballons de foot?

- ① Cette salle
- ② La lac Léman
- ③ L'espace aérien de la Suisse
- ④ Le volume de la Terre
- ⑤ 1% de l'Univers observable



mais l'angle d'arrivée et l'angle de transmission sont de 90 degrés. Lorsqu'on a un angle réfracté à 90 degrés, c'est à ce moment-là qu'on a le fait que l'onde réfléchit. C'est drôle parce qu'on regarde entre l'incidence et le... Non mais c'est faux ce que je vous raconte, n'importe quoi. C'est cet angle-là qui doit être... C'est quand l'angle entre l'angle réfléchit, c'est pour ça que je l'appelais B, probablement, mais j'aurais dû l'appeler R. Et l'angle transmis de 90 degrés, à ce moment-là, on a la partie qui est réfléchie, elle va être polarisée. Je suis juste en arrêt pour vous donner le temps. Mes erreurs et mes redites que vous ayez le temps de retrouver la bonne phrase. Donc là, qu'est-ce que ça veut dire ? Ça veut dire qu'on peut refaire le calcul et lorsque... On a un angle de Bruster qui va être égal. Alors c'est nouveau quelque chose qui va se passer avec le rapport des indices. Et puis si vous souvenez, on avait une loi avec le rapport des indices, mais c'était Arxinus, c'était pour avoir la réflexion totale. Donc si on a... Pour l'angle de Bruster, ça va être lié à le rapport entre les deux indices. L'indice T, donc c'est dans le milieu transmis, l'indice Ni, c'est donc le milieu d'arrivée, mais c'est pas l'Arxinus, dans ce cas-là, c'est l'arc tangente. Et ça, ça va vous donner votre angle, t'est-ce que t'as bien. Et puis je crois que vous avez raconté vraiment n'importe quoi. Donc reprenons tranquillement, c'est lorsque cet angle-là et plus l'angle transmis, vos 90°, que va se passer cet angle-là. Quand je serai plus là que vous n'irez plus de bêtises, reprenez le slide tranquillement. Lisez ce que j'ai écrit en me concentrant et puis oubliez ce que je

notes

résumé

67m 12s



Se représenter le nbr d'Avogadro $N_A \approx 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Quel volume approximatif occuperaient N_A ballons de foot?

- ① Cette salle
- ② La lac Léman
- ③ L'espace aérien de la Suisse
- ④ Le volume de la Terre
- ⑤ 1% de l'Univers observable



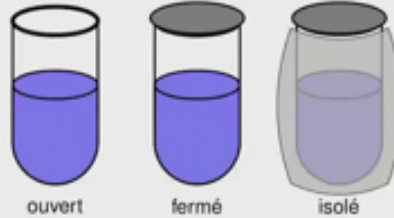
vous ai raconté aujourd'hui.

notes

résumé

23 mol⁻¹

3.1.2 Différents types de systèmes



système	échange avec	
	matière	chaleur
isolé	non	non
fermé	non	oui ^a
ouvert	oui	oui ^a

^a système à parois diathermes^b système à parois adiabatiques

March 31, 2025

10 / 1

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

C'est lorsque l'angle de Bruster plus l'angle transmis, vos 90°, qui va se passer ce phénomène-là et l'angle de Bruster, vous le calculez à partir du rapport des indices. C'est l'arc tangente du rapport des indices. Voilà. Pour finir ce chapitre, le petit conduit-latoire est une branche de la physique qui étudie le comportement de la lumière en tant qu'onde. Pour vous, ce qui est très important, c'est qu'il y a beaucoup d'éléments, d'appareils, d'analyse qui utilisent ça. Donc c'est quand même intéressant de comprendre ce que ça fait. Et puis pour les physiciens, ça a aussi une énorme importance parce que ça permet d'analyser les structures de la matière, les structures des molécules. Il y a plein de choses qu'on peut faire en analysant la lumière comme une onde. Et j'espère que je vous aurais suffisamment intéressé, pas trop brouillé, que le monde soit en train de l'utiliser. Et c'est un peu plus important, j'espère que je vous aurais suffisamment intéressé, pas trop brouillé, que la lumière soit claire dans la compréhension. Et puis que je répète, ce chapitre, il est un petit peu, moi je ne suis pas encore totalement satisfait, donc revenez l'année prochaine, je l'aurais encore amélioré. Il est très descriptif, donc ce que j'attends de vous dans ce chapitre, je pense c'est de connaître la loi de Malus et la loi de Bruster. Je pense que c'est quand même important que vous compreniez comment elle fonctionne et que vous dites pas les mêmes bêtises que ce que je vous ai dit aujourd'hui. Et puis le reste, c'est surtout une compréhension générale de ce qui se passe que j'attends de vous. Et puis à tous les aspects, on du la toit d'être capable, tout ce qui a correspondu à ces exercices où je vous cherchais, où

notes

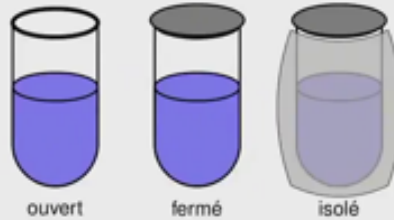
résumé

69m 55s



$^{23} \text{ mol}^{-1}$ 

3.1.2 Différents types de systèmes



système	échange avec	
	matière	chaleur
isolé	non	non
fermé	non	oui
ouvert	oui	oui

^asystème à parois diathermes^b système à parois adiabatiques

March 31, 2025

10 / 1

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

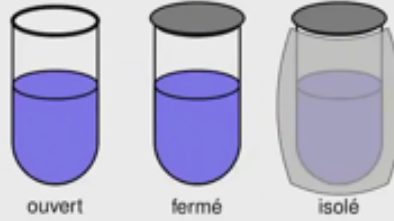
était la perturbation, etc. Ça c'est clair que je vous attends aussi au contour sur ces aspects-là. Donc être capable de gérer une onde sinusoïdale et de comprendre quel moment elle arrive ou est-ce qu'il se passe ça aussi. C'est quelque chose que j'attends de vous dans ce chapitre-là. Voilà. Est-ce qu'il y aurait, avant qu'on ait le plaisir d'avoir une demi-heure de thermodynamique, est-ce qu'il y avait encore une question, un commentaire sur l'optique ondulatoire, une question, en tout cas, n'hésitez pas à AID, n'hésitez pas à poser vos questions sur AID. J'ai d'ailleurs promis une fois de refaire un dessin sur AID. Il faut absolument que je prenne le temps de le faire. Je ne sais pas qui m'a posé la question. Je lui ai répondu directement, mais j'avais dit que j'avais refaisé une fois le dessin devant vous d'une lentille d'hivergence. Il faut absolument que je le fasse une fois. Donc, notre cours, il a constitué d'optiques et de thermodynamique. Je conçois, et tout le monde sera d'accord avec vous, que la thermodynamique était un petit peu plus compliquée que l'optique. Donc je vous encourage vraiment à lui porter l'attention. C'est compliqué parce qu'on va faire référence à des modèles, on va faire référence à des choses qui sont plus compliquées et on va faire référence à des choses qui n'arrivent pas toujours à rendre concrètes rapidement. C'est pour ça que c'est compliqué. En fait, vous allez voir, il y a un certain nombre de principes, il y a un certain nombre de systèmes. Si vous apprenez bien les différents concepts et à les mettre ensemble, ce n'est pas si compliqué que ça. Donc je ne veux pas vous faire peur. Je veux juste attirer votre attention sous le fait qu'il faut y consacrer du temps. Et

notes

résumé

23 mol⁻¹

3.1.2 Différents types de systèmes



système	échange avec	
	matière	chaleur
isolé	non	non
fermé	non	oui ^a
ouvert	oui	oui

^asystème à parois diathermes^bsystème à parois adiabatiques

March 31, 2025

10 / 1

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

là vraiment,

notes

résumé

Se représenter le nbr d'Avogadro $N_A \approx 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Quel volume approximatif occuperaient N_A ballons de foot?

- ① Cette salle
- ② Le lac Léman
- ③ L'espace aérien de la Suisse
- ④ Le volume de la Terre
- ⑤ 1% de l'Univers observable



si les exercices d'optiques sont un peu du savoir-faire, des aspects graphiques, il y a des aspects comme ça, le thermodynamique, c'est vraiment cette manipulation des concepts. L'aspect graphique ne va pas avoir beaucoup d'influence. C'est plutôt la gestion conceptuelle, la géo-analytique qui va vous permettre d'avancer. Donc thermodynamique, ça vient de deux mots grecs qui veut dire chaleur. Je vous laisse le prononcer en grec. Je me suis quand même éclaté. J'ai écrit ça avec des lettres grec. On vous arrivez parce que vous les connaissez toutes. Vous les avez toutes plus ou moins vues une fois ou l'autre dans un problème de physique. Donc le premier termes. Et puis le deuxième, c'est d'un amis ou quelque chose comme ça, qui signifie puissant. Au 18e siècle, quand on a commencé à créer ce chapitre, cette partie de la théorie physique, on s'intéressait principalement aux machines thermiques, la machine à vapeur. C'est la locomotive à vapeur, la machine à vapeur qui vraiment va justifier un effort important qu'on va faire sur la compréhension de la thermodynamique. Mais aujourd'hui, ça a beaucoup évolué. Il n'y a plus beaucoup de machines à vapeur. Il y a toujours des moteurs à explosion qui obéissent pas mal de ces lois liées à la thermique. Mais la thermodynamique, est-ce qu'elle est venue un sujet très très général qui englobe toutes les autres théories ? Il y a quelque chose qui serait faux au niveau thermodynamique, qui a peu de chance de survivre longtemps en physique. Parfois, on n'a pas le choix, mais dès qu'on va pouvoir, on va essayer de remettre de l'ordre. Parce que les lois de la thermodynamique sont vraiment des lois universel qu'on aimerait bien, qu'on veut absolument conserver.

notes

résumé

73m 48s



3.1.3 Description de l'état du système

- C'est un élément clé de la thermodynamique !
- Décrire l'état du système c'est préciser la valeur d'un nombre minimum de grandeurs physiques: **les variables d'état indépendantes**.
- Ces variables d'état indépendantes permettent de reconstituer **sans ambiguïté** l'état macroscopique du système avec ses propriétés parfaitement définies.
- On utilise les variables de Josiah Gibbs (1839-1903):
 - Les paramètres physiques comme la température T du système, sa pression P , son volume V , etc.
 - Les paramètres de composition: la quantité de matière de chacun des constituants du système (masses ou nbr moles).
- Lorsque que le choix des valeurs indépendantes a été fait, les valeurs des autres variables sont calculées à partir de relations particulières : **les équations d'état**.

Aujourd'hui, on dirait la thermodynamique et la science des transformations de l'énergie de la matière et des états d'équilibre. Donc, c'est clair, une fois que vous avez dit « énergie », vous êtes dans tous les problèmes dans quelque chose qu'on appelle l'énergie. Ça veut dire tous ces problèmes de se fournir en énergie, d'utiliser l'énergie, de ne pas la gaspiller, etc. Donc là, il y a des aspects de thermodynamique qui sont importants. Dès qu'on va essayer de comprendre que la matière se transforme, on a besoin d'expliquer la thermodynamique et puis quand on va vouloir expliquer comment des systèmes physiques

notes

résumé

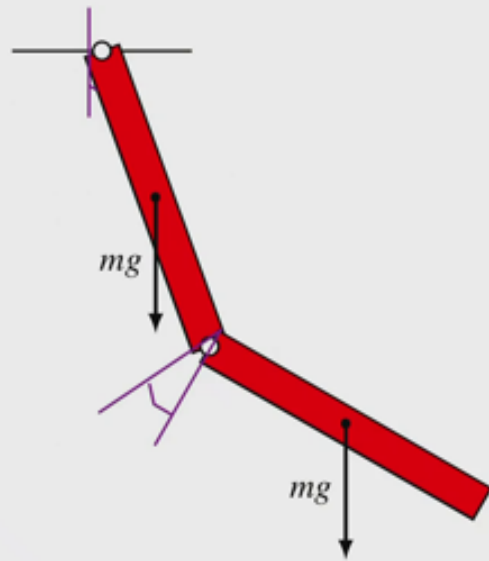
75m 52s



3.1.4 Exemple de l'état d'un système



Deep blue vs Kasparov



restent en équilibre ou même des systèmes chimiques restent en équilibre, on a besoin de la thermodynamique. Comme je l'ai dit de mémoire, en énoncé dans un domaine scientifique, quelqu'un qui contredirait les principes de la thermodynamique sera immédiatement mis en défaut. Je me souviens, c'est ce qui a fait un peu un des problèmes l'année passée à l'examen. J'avais un collègue en politique qui avait essayé de me vendre une machine qui faisait de l'énergie à partir d'air comprimé. Puis je lui ai quand même expliqué qu'il existait les principes thermodynamiques. Il lui dit, oh mais dans la vie les principes ça change. Je lui dis oui mais bon, les principes de thermodynamique il y a eu de bonheur avant de pouvoir les faire changer. Puis il m'a retéléphoné quelques années après pour autre chose puis je lui ai demandé s'il s'était devenu riche avec sa machine, il a changé de sujet. Il y a deux grands chapitres de la thermodynamique. Il y a, ça a des noms un peu compliqués mais c'est pour un peu expliquer où on met les pieds. Il y a ce qu'on appelle la thermodynamique macroscopique axiomatique. Il n'y a que quand on fait un cours qu'on découvre ces termes je ne pense pas que ça va plus parmi mes collègues parce qu'ils connaissent comme ces termes-là mais on les oublie très vite. Donc ça veut dire macroscopique, c'est bien qu'on va regarder les choses de très loin. On ne va pas être dans la molécule, on ne va pas être dans le réservoir

notes

résumé

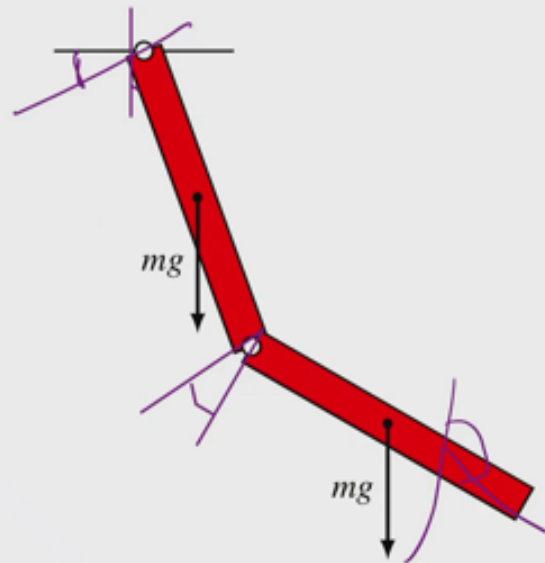
76m 30s



3.1.4 Exemple de l'état d'un système



Deep blue vs Kasparov



de pression, on va être dans les choses qui sont très grandes macroscopiques, etc. On va essayer de voir, on va travailler avec des variables comme la température, la pression qui ne sont pas des variables au niveau macroscopique, au niveau macroscopique. Puis axiomatique, parce que ça veut dire on cherche les règles réellement qui permettent de décrire les choses. Et puis il y a une autre partie qu'on ne va quasiment pas toucher, peut-être de temps en temps on va faire une petite incursion qui est la thermodynamique microscopique, on ne parle pas en thèse mais surtout statistique dans lequel on va modéliser un élastique avec les différentes molécules qu'il y a mais on va pouvoir avoir chaque molécule, on va regarder

notes

résumé

78m 1s



3.1.3 Description de l'état du système

- C'est un élément clé de la thermodynamique !
- Décrire l'état du système c'est préciser la valeur d'un nombre minimum de grandeurs physiques: **les variables d'état indépendantes**.
- Ces variables d'état indépendantes permettent de reconstituer **sans ambiguïté** l'état macroscopique du système avec ses propriétés parfaitement définies.
- On utilise les variables de Josiah Gibbs (1839-1903):
 - Les paramètres physiques comme la température T du système, sa pression P , son volume V , etc.
 - Les paramètres de composition: la quantité de matière de chacun des constituants du système (masses ou nbr moles).
- Lorsque que le choix des valeurs indépendantes a été fait, les valeurs des autres variables sont calculées à partir de relations particulières : **les équations d'état**.

comment une molécule se comporte, puis après on va dire il y a des milliers, il y a des millions de molécules qui vont se comporter statistiquement d'une certaine manière, puis on va déterminer ensuite le comportement d'un élastique. Donc voilà les deux grands chapitres l'aspect macroscopique et l'aspect microscopique et on va très peu s'occuper du deuxième, on va beaucoup plus s'occuper du premier. Vous avez là pour lire des descriptions de chacun de ces deux aspects. Alors on va s'intéresser de nos notions fondamentales, on va regarder les outils mathématiques ça c'est vraiment un chapitre qui est essentiel je pense que si vous comprenez bien les outils mathématiques après les choses vont devenir beaucoup plus simples. Ben c'est au fond ce qu'il y a de libérateur, en tout cas ça a été pour moi en préparant ce cours avec ce mot axiomatique parce que c'est ça, on va essayer de construire une théorie assez logique et donc les principes mathématiques vont être très importants. Bien sûr qu'il y a chaque fois des références à ce qui se passe dans la réalité mais derrière il y a une modélisation, une action mathématique de la théorie et c'est ça qui est très important. Donc vraiment je vous recommande de donner toute l'attention à ce chapitre et de ne pas l'abandonner, de venir de poser des questions, de poser des questions aux participants parce que ça c'est vraiment essentiel pour comprendre ce chapitre c'est que vous ayez bien compris les éléments mathématiques dont on va parler. On va parler très très loin dans l'aspect calculatoire mais dans l'aspect conceptuel on va vraiment avoir des choses. Ensuite on va un peu parler de comment on fait des expériences dans ce domaine puis ensuite c'est des chapitres un peu classiques le travail est

notes

résumé

78m 45s



3.1.3 Description de l'état du système

- C'est un élément clé de la thermodynamique !
- Décrire l'état du système c'est préciser la valeur d'un nombre minimum de grandeurs physiques: **les variables d'état indépendantes**.
- Ces variables d'état indépendantes permettent de reconstituer **sans ambiguïté** l'état macroscopique du système avec ses propriétés parfaitement définies.
- On utilise les variables de Josiah Gibbs (1839-1903):
 - Les paramètres physiques comme la température T du système, sa pression P , son volume V , etc.
 - Les paramètres de composition: la quantité de matière de chacun des constituants du système (masses ou nbr moles).
- Lorsque que le choix des valeurs indépendantes a été fait, les valeurs des autres variables sont calculées à partir de relations particulières : **les équations d'état**.

la chaleur, le premier principe interprétation microscopique de la capacité thermique, ben là on va faire un petit peu d'aspect statistique quelque part on va un peu toucher ça. La transformation des gaz, les machines thermiques, puis après voilà on va arriver un peu à la fin du semestre, il y a 10 points, il nous reste 7 semaines on va 8 semaines plus ou moins on verra jusqu'au jusqu'au on ira. Je vous dis d'avance que je préfère vous expliquer bien les choses parce qu'à mon avis déjà on devient des bons citoyens, on est comprenant bien la thermodynamique et puis après vous allez construire dans votre vie professionnelle les éléments supplémentaires, mais si vous avez bien compris la base, ce sera beaucoup plus facile. Plutôt que d'avoir un cours qui vous parle un grand panorama donc je vais vraiment pas utiliser la même technique que j'ai utilisé pour le dernier chapitre d'optiques condulatoires, vous expliquez des choses par ci par là, je vais vraiment faire l'inverse, essayer de comprendre. Et ça ça m'est venu, je me justifie un peu, donc c'est la 4ème année que j'enseigne ce cours et les 2 premières années ont été un petit peu difficiles surtout pour les étudiants, mais aussi pour moi parce que vous souffrez, je souffre aussi, parce que on avait essayé au début d'expliquer les choses, on expliquait des phénomènes qu'on peut observer pour essayer d'introduire la théorie comme ça. Je crois que ça marche pas, je crois que c'est pas une bonne technique finalement vous demandez, enfin j'ai demandé à vos anciens collègues, surtout de mémoriser plein de choses, d'être comprene très localement, je trouve beaucoup plus intéressant d'avoir une compréhension moins globale, mais beaucoup plus progressive, on comprend les choses depuis la base. Donc ça c'est le choix

notes

résumé

3.1.3 Description de l'état du système

- C'est un élément clé de la thermodynamique !
- Décrire l'état du système c'est préciser la valeur d'un nombre minimum de grandeurs physiques: **les variables d'état indépendantes**.
- Ces variables d'état indépendantes permettent de reconstituer **sans ambiguïté** l'état macroscopique du système avec ses propriétés parfaitement définies.
- On utilise les variables de Josiah Gibbs (1839-1903):
 - Les paramètres physiques comme la température T du système, sa pression P , son volume V , etc.
 - Les paramètres de composition: la quantité de matière de chacun des constituants du système (masses ou nbr moles).
- Lorsque que le choix des valeurs indépendantes a été fait, les valeurs des autres variables sont calculées à partir de relations particulières : **les équations d'état**.

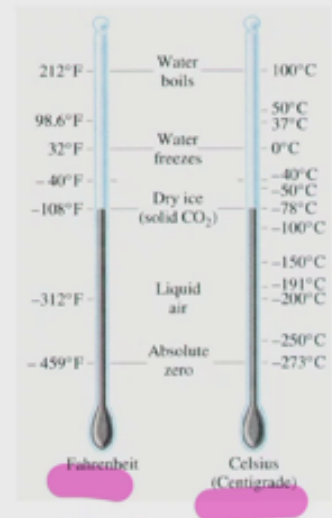
que j'ai fait, j'ai l'impression en tout cas l'année dernière que ça a mieux passé que les années précédentes l'aspect thermodynamique, j'ai aussi mis le cours thermodynamique en 2ème partie vous me comprenez mieux mes explications et donc ça aide aussi de m'avoir eu déjà 6 semaines, 6 semaines avant de moi j'espère j'y songe. Et puis donc on parlera d'enthalpi mais ça vous en avez parlé d'enthalpi aussi au cours de chimie, les chimistes parlent beaucoup d'enthalpi mais on parlera aussi d'enthalpi pourquoi on parle beaucoup d'enthalpi ? Parce que ces phénomènes se passent à la pression constante, c'est pour ça que l'enthalpi est très intéressante et puis on touchera au 2ème principe, on aura pas le temps de faire énormément de choses d'un principe, mais peut-être qu'on y arrivera en vrai. Alors, les notions fondamentales la notion fondamentale c'est un système un système c'est un espace je vais enlever ça qui est moins nécessaire 18, 18, 18, 18, 18, 18 donc en général quand on parle d'un système on parle d'un espace qui est fermé dans lequel il va se passer quelque chose là, on va faire varier la température on va amener de l'énergie on va en enlever on va rajouter de la matière mais on va toujours, la référence c'est toujours un système c'est toujours intéressant de savoir ce qu'est le système, des fois on a beaucoup d'informations

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



des fois c'est très générique sur ce système mais ça c'est le concept de base et le système vous voyez comment le définit un système macroscopique c'est une portion de l'espace limitée par une surface réelle ou fictive, contenant la matière étudiée il est constitué d'un grand nombre de particules, atomes ou molécules puis là on a tout de suite un concept je pense que c'est pas la première fois qu'on vous en parle il est essentiel dans tout ça c'est ce qu'on appelle le nombre d'avogadro ça veut dire qu'on va travailler avec des moles on va pas travailler situation d'un atome, deux atomes une molécule, deux molécules avec une fraction ou un multiple de 6×10^{23} molécules, ça s'appelle une mole et c'est ça l'élément de base avec lequel on va constituer nos systèmes une demi-mole de 6, on va faire des recettes une 1,5 de mole de ça etc et puis c'est cette ordre de grandeur qu'on va travailler c'est pas qu'on parle de macroscopique alors il y a des passages pour parler du microscope des fois on fait quand même référence pour microscopique et chaque fois qu'on veut passer de l'un à l'autre on a besoin de ce nombre d'avogadro que vous devez mettre dans votre mémoire, vous allez gagner beaucoup de temps 6×10^{23} c'est très utile à s'en souvenir et à pouvoir l'utiliser au moment opportun et donc si on a un système on a quelque chose autour du système donc ça on appelle l'environnement et puis si vous prenez le système et tout ce qui est autour on appelle ça l'univers et on va pas mal utiliser ce principe finalement que rien ne se perd rien de secret tout se transforme le principe de la voisie donc

notes

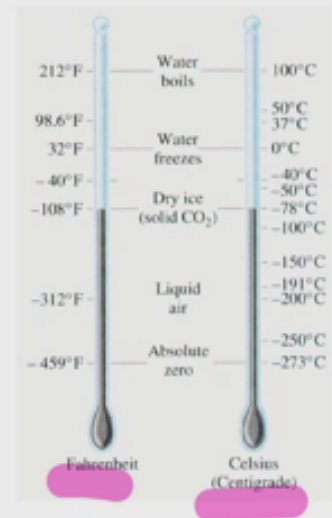
résumé

83m 38s



3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025

14 / 1

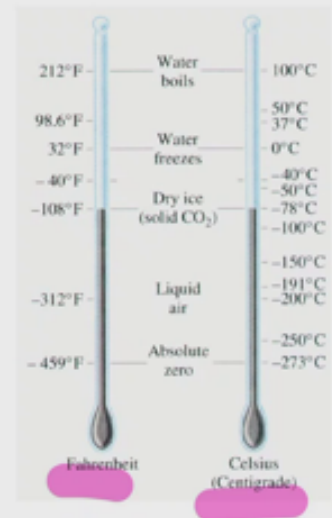
ça veut dire que soit votre système il est isolé donc ça veut dire que donc ça veut dire que il est rien ne se perd c'est à l'intérieur du système ou alors il est pas isolé il est ouvert et puis peut avoir des échanges avec l'extérieur et à ce moment-là rien ne se perd rien de secret mais oui mais bon des choses peuvent sortir du système ou entrer du système que ce soit de la matière, que ce soit de la chaleur, que ce soit du travail on verra plus tard comment c'est mais c'est vraiment ça cette notion du système alors il y a 3 situations typiques de système il y a le système ouvert donc ça veut dire typiquement vous avez la possibilité que de la matière puisse s'échapper sous forme gazeuse, sous forme liquide de votre système ou rentrer donc je pense que vos parents, vos copains vous ont bien dit donc ça c'est pas pour le vert quand on est à la discothèque le vendredi soir ça doit pas être le vert, doit pas être un système ouvert ça doit être un système fermé donc on met un petit truc sur les vers pour qu'il ne se passe rien donc à ce moment-là on veut un système fermé parce qu'on ne veut pas que quelque chose puisse rentrer dans le système mais c'est la matière là on va empêcher que la matière rentre mais par contre on ne peut pas empêcher qu'il y ait des échanges de chaleur que il y aille de la chaleur qui viennent on ne pourra pas non plus empêcher qu'éventuellement on compresse le système et il y a des hilles qui soient faites sur le système et puis donc on a trois types de systèmes ouvert, fermé et

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



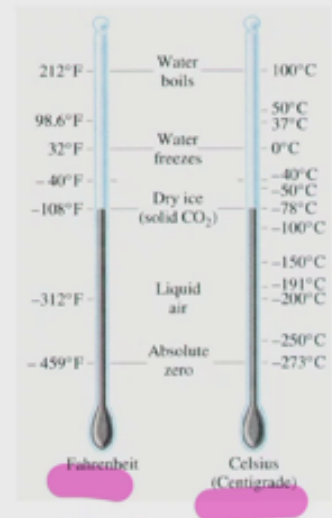
isolé puis là je voulais juste faire une petite démo j'ai de l'azote liquide faut que je fasse quand même attention pour pas me brûler comme je fais toujours des bêtises faut que je fasse gaffe et là on a deux systèmes et ça se voit pas forcément à distance mais celui qui est à votre gauche est pas du tout isolé et celui qui est à votre droite, alors bon c'est ouvert à un haut il n'y a pas grand échange qui se passe par le haut puis par le côté il ne peut pas se passer énormément de choses donc vous allez voir dans un moment il y a des échanges de chaleur important qui peuvent se faire avec le système qui n'est pas isolé et donc vous allez avoir de la glace qui va se former ici autour va récupérer un petit peu de l'humidité de l'air, il va y avoir un courant d'air qui va se passer pour avoir des échanges thermiques alors que l'autre qui est un thermos un Divoire, d'ailleurs comme ce système-là lui normalement il ne devrait rien se passer, il va rester la zote liquide, il va rester liquide son problème alors que dans l'autre d'ailleurs les deux sont plus ou moins en train de bouillir mais celui de gauche je sais pas si vous voyez très bien je pourrais lui mettre non il ne me dit pas mettre trop autrement donc voilà l'illustration de système sont un peu mixte mais ils sont quand même un petit peu ouvert parce que j'ai pu rajouter des choses, système fermé je ne peux pas rajouter de matière, système isolé donc ça veut dire je ne peux pas rajouter de matière et je n'ai pas d'échange de chaleur et de travail avec l'extérieur il y

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



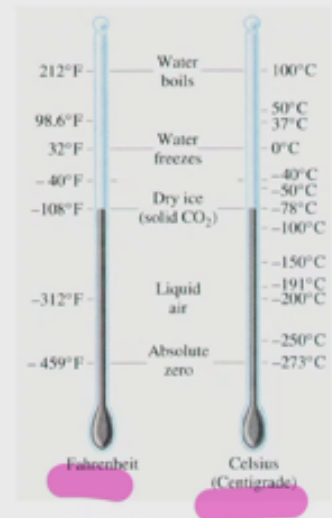
avait une petite question par rapport au nombre d'avogadros pour que vous vous rendiez compte à quel point le nombre d'avogadros est grand, si je vous posais la question je veux j'ai 6×10^{23} puissance moins 23, c'est la FIFA qui m'a demandé, j'ai 6×10^{23} puissance moins 23 ballon de football j'ai besoin d'un endroit pour les mettre est-ce que cette salle suffira à mettre 6×10^{23} puissance ballon de football est-ce que le laclément ça me fait rire, des fois il y a des erreurs qui arrivent des années après est-ce que dans le laclément où il faut que je prenne l'espace aérien suisse où il faut que je prenne le volume de la terre où il faut que je prenne 1% du univers alors, qui pense que 6×10^{23} puissance 23 ballon de football rentre dans cette pièce bon ça me rassure qui pense que on peut les mettre dans le laclément tu as dit oui vas-y essaye l'espace aérien suisse c'est 42 000 km et puis je crois 4000 mètres ou 4000 ou 6000 mètres d'altitude qui pense ça le volume de la terre 1% de l'univers observable non, c'est le 4 que je vous c'est le volume de la terre alors, si on commence à rentrer dans les concepts un concept important dans le système, il a un état ça veut dire quoi un état ça veut dire que vous avez tout pour décrire ce qu'est ce système il n'y a pas d'autre information qui peut être nécessaire pour décrire le système c'est ça l'état du système donc, j'ai ici une petite représentation de l'état d'un échiquier si vous donnez la position des pièces puis que vous dites aussi à qui c'est de jouer le prochain coup il n'y a pas

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice, ...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



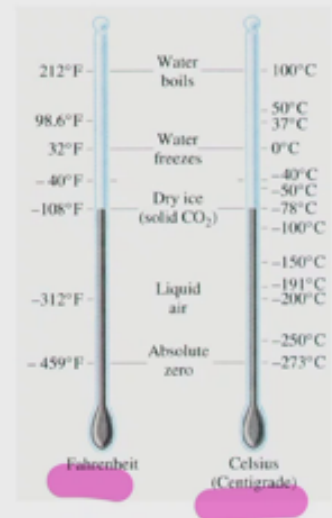
de mystère vous avez toute l'information ce qui s'est passé avant et pas important ce qui va se passer après c'est peut-être important mais ça ne décrit pas l'état du système de la même manière, mon double pendule j'ai besoin de connaître les angles les deux angles qui sont ici et puis je ne sais pas on va faire la différence ces angles-là si j'ai ces angles-là je connais l'état du système je sais tout ce qui est important de savoir sur le système c'est vraiment, je m'excuse d'insister mais je passe probablement moi-même, j'ai mis du temps à vraiment percevoir ce que ça veut dire des fois on a l'impression que c'est un truc un peu bizarre etc. non, c'est vraiment quelque chose qui vous permet de décrire exactement ce qu'est le système mais c'est clair qu'il y a parfois plusieurs manières de décrire le même système, alors pour le jeu d'échec en général c'est clair que c'est la position des pièces et puis à qui de jouer c'est clair il n'y a pas de truc, mais par exemple pour le pendule je vous ai mis des angles mais ça pourrait être des autres angles qui décrivaient, ça pourrait être cet angle-là et puis peut-être que je pourrais décrire je sais pas, je pourrais peut-être décrire l'angle entre la verticale et ma barre c'est une autre manière de décrire le système, mais ce qui est clair c'est que mon système du balancier à deux fléaux j'ai deux informations, je décris précisément ce qu'il est, c'est ça que vous devez comprendre aussi pour les systèmes thermodynamiques, même s'ils sont moins facilement représentables qu'ils sont là donc il va être décrit par des variables d'état indépendante et il y en a un certain nombre, il n'y en

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**:
détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025

14 / 1

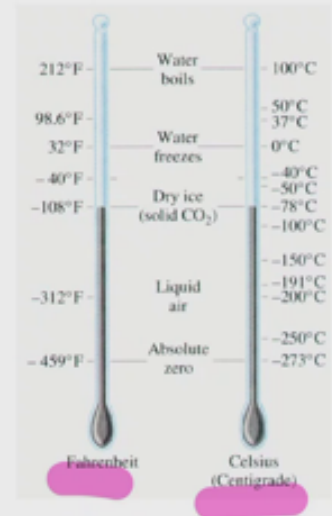
a pas une infinité ça va décrire le nombre de degrés de liberté de mon problème je pense que quand même même si vous avez beaucoup souffert et que j'ai un malin plaisir à vous rappeler votre première semesse de physique il y a un truc que j'espère que vous avez compris, c'est ce problème des degrés de liberté dans un problème est-ce que j'en ai un, deux, trois vous avez compris que plus j'en ai plus j'ai de possibilités mais plus c'est aussi compliqué à gérer et que quand j'en ai un c'est un peu plus facile, quoique il y a même des problèmes de la liberté qui sont compliqués donc mon état du système va être décrit par des variables d'état indépendantes c'est important de savoir avec combien on peut décrire le système c'est essentiel et donc la phrase clé, c'est ça ces variables d'état indépendantes permettent de reconstituer sans ambiguïté l'état macroscopique du système avec ses propriétés parfaitement définies là le mot macroscopique est important parce que vous ne voulez pas savoir exactement à chaque position chaque molécule c'est pas ça qui vous intéresse vous voulez être capable de savoir ce qui pourrait se passer dans le système pour pouvoir l'écrire concrètement pour savoir ce qui pourrait se passer dans le système elle fait qu'il y a une molécule qui est à droite une autre qui est à gauche ça c'est pas important ça va pas changer les propriétés physiques du système donc il y a quelqu'un d'assez important dans le sujet qui s'appelle M. Gippes très important même si c'était un chimiste non mais il est très important y compris pour les physiciens c'est lui qui a beaucoup justement axiomatisé la thermodynamique et qui a mis de l'ordre dans ces différentes variables donc en fait a priori

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



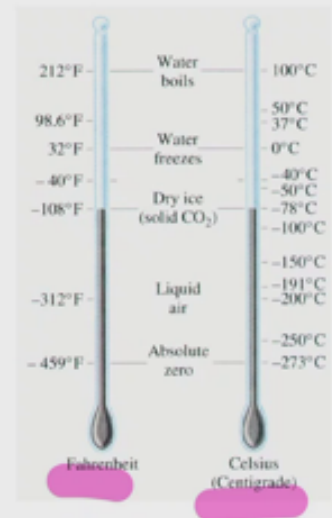
il y a des variables d'état pour les systèmes qui sont essentiels et qui permettent de le décrire la température d'un système la pression d'un système le volume du système et ensuite de quoi le système est constitué en termes de mols de différents éléments ou de molécule etc alors comme on est dans un côté physique et pas de chimie cette dernière partie de quoi il est constitué en général elle est importante mais on va pas le faire mais on va pas le faire elle est importante mais elle va rester ce qu'elle est on va très très peu s'en occuper donc on va passer cette semaine à parler beaucoup de température de pression et de volume parce que c'est des variables de référence pour connaître l'état d'un système et puis ensuite il va y avoir des liens entre ces variables essentielles et éventuellement d'autres choses et alors on aura des équations d'état lorsque le choix des valeurs indépendantes a été fait les valeurs des autres variables sont calculées à partir de relations particulières donc les équations d'état c'est des équations qui relient différents éléments du système qui nous intéressent aux variables de référence donc par exemple qui va nous parler de l'énergie du système par rapport à la pression la température et au volume et ça ça va donner à des équations d'état mais on pourrait tout à fait chambouler les choses et ça va se faire on pourrait dire non mais moi ce que je veux c'est que la température et la pression alors le volume serait calculé à partir de cela et le volume deviendrait une équation d'état donc vous allez voir tant en tant quand on va parler il y a une lettre qui va passer du statut de variable d'état à équation d'état

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025

14 / 1

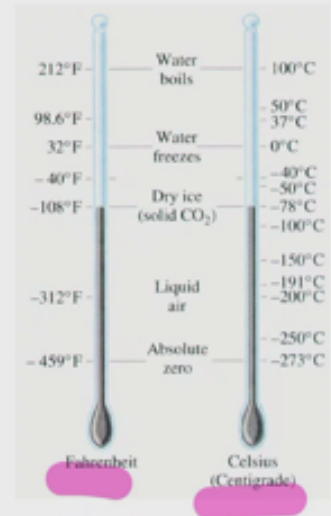
parce qu'elle va être soit elle est un des pieds de la table sur lequel je m'appuie ou pas tu sais si de parler moins fort je vois que je m'excite ça alors parlons de la première variable d'état qui m'est venue en tête on peut commencer par l'un pour l'autre c'est la température alors la température elle est basée d'abord sur ce qu'on vit j'ai froid j'ai chaud ah vous pouvez voir j'étais un coup d'oeil vous avez vu que l'élément qui était pas du tout isolé il commence à se recouvrir de glace alors que l'autre qui est isolé il y a du vide à l'intérieur donc il a été vraiment vide et ben il se passe pas grand chose la température donc mon ami longtemps avant de stabiliser la connaissance par rapport à la température mais c'est quelque chose qu'on reconnaît bien maman prend son petit bébé très vite dans les bras pour pas qu'il est froid je pense même les câbles on va commencer à faire du feu et apprécier quand même pour pouvoir se réchauffer etc c'est le chaud et le froid quand vous venez de chiens jusqu'à l'osage par exemple vous expérimentez les choses voilà ça fait partie des choses que on expère donc chaud, tiède, froid c'est facile mais après mettre une mesure là dessus mettre des unités là dessus ça a été un petit peu plus difficile on aimerait pouvoir se baser sur des quantités qui sont mesurables ce qu'on est capable de mesurer rapidement ben c'est des distances c'est des volumes c'est des couleurs c'est des forces électromotrices donc on va essayer de provoquer quelque chose de provoquer un changement de volume par rapport à une référence de changer un changement de couleur etc c'est comme ça un changement de couleur

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



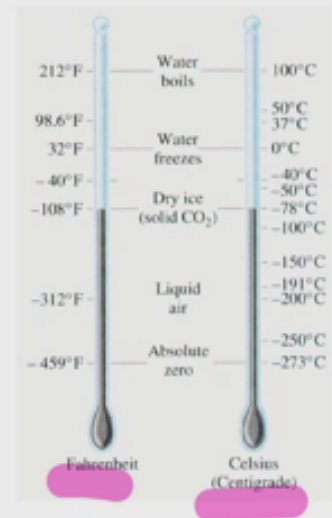
je pense par exemple la mesure du pH on fait un élément de couleur pour connaître le pH de quelque chose pour la température il y a sûrement oui il y a des choses on peut chauffer on peut chauffer pour mesurer la température d'un four on met devant le four une pièce d'acier puis on la chauffe pour les couleurs que le four on a compris que la pièce d'acier a la même température que le four la couleur peut aussi être une référence alors les premières stabilisations de la température c'est fait en regardant des différences en fixant deux points fixes donc très vite on s'est rendu compte ce qui était intéressant c'était par exemple la température de l'eau mais autrefois on a aussi s'est intéressé à ce qu'on appelle la saumure ça veut dire on met du sel sur de la glace ça fait baisser la température de la glace et là on arrive à environ moins 12 degrés donc ça c'était les degrés Fahrenheit mais les degrés Celsius on s'est mis au 0 degrés parce que la pression atmosphérique standard la l'eau gel et puis on savait pas que c'était le on a mis ça comme référence et puis on a pris une autre référence c'est quand l'eau à pression atmosphérique se met à bouillir à évaporer puis après il y a un certain monsieur Celsius qui a eu l'idée de diviser ça en 100 éléments alors peut-être que vous savez pas c'est qu'il avait commencé à l'envers il avait quand il a commencé lui le 0 degrés c'était l'eau qui bout et puis 100 degrés c'était la glace et puis après je me souviens plus qui a fait ça je crois que c'est Liné ou je sais plus quoi de ses collègues qui a inversé

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025

14 / 1

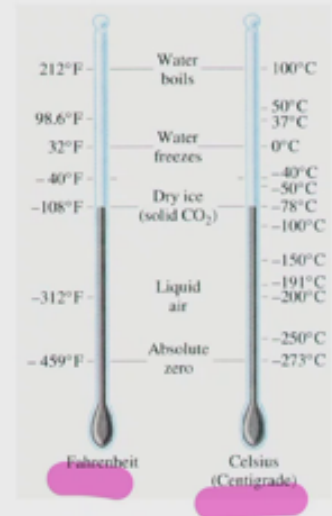
et qui a trouvé plus facile d'avoir le 0 degrés pour la glace et d'avoir le 100 degrés pour la vapeur et puis on a développé différentes techniques avec de l'alcool on a appelé ça autre fois de l'esprit de vin qui se dilate pas mal avec la température dans un petit capillaire on a fait ça aussi avec du mercure qui se développe et puis donc on a typiquement 2 grands systèmes de température celui qu'on utilise en Europe qu'on appelle les degrés Celsius avant que ça reçoive le nom de M.Celcius qui a inventé ça on a appelé ça les degrés centigrades laissez-moi encore terminer 2 phrases et puis un autre M. M.Fahrenheit lui il est parti de la saumure et puis il a été jusqu'à la température dans cheval saint donc c'est pour ça que c'est un petit peu différent et puis quelqu'un a eu l'idée juste encore quelques minutes merci quelqu'un a eu l'idée certains M.Lord Calvin qui va un autre nom qui ne me revient pas la tête a eu l'idée de regarder ce qui se passe et de avoir une température absolue si on a un système physique et qu'on lui retire toute l'énergie qu'on peut il y a un moment on n'arrivera plus puis quel que soit le système on arrive en fait à la même température et c'est comme ça qu'on a défini la température absolue je vous ferai une démonstration la semaine prochaine et je vous souhaite une bonne fin de soirée merci de votre patience et à vendredi

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



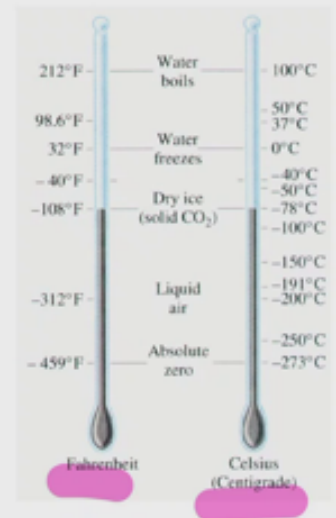
puis 100 degrés c'était la glace. Et puis après, je me souviens plus qui a fait ça. Je crois que c'est Liné, ou je ne sais plus quoi, un de ses collègues qui a inversé, qui a trouvé plus facile d'avoir le zéro degré pour la glace et d'avoir le 100 degré pour la vapeur. Et puis, on a développé différentes techniques avec de l'alcool, on a appelé ça, de l'esprit de vin qui se dilate pas mal avec la température dans un petit capillaire. On a fait ça aussi avec du mercure qui se développe. Et puis, donc on a typiquement 2 grands systèmes de température celui qu'on utilise en Europe, qu'on appelle les degrés celsius avant que ça reçoive le nom de M. Celsius qui a inventé ça. On a appelé ça les degrés centigrades. Laissez-moi encore terminer 2 phrases et puis un autre monsieur, M. Farnheidt lui, il est parti de la saumure et puis il a été jusqu'à la température dans cheval sain. Donc c'est pour ça que c'est un petit peu un petit peu différent. Et puis, quelqu'un a eu l'idée, juste encore quelques minutes, merci quelqu'un a eu l'idée certains M. enfin Lorde Kelvin qui est un autre nom qui ne me revient pas la tête, a eu l'idée de regarder ce qui se passe et de avoir une température absolue. Si on a un système physique et qu'on lui retire toute l'énergie qu'on peut il y a un moment on n'arrivera plus. Puis quel que soit le système, on arrive en fait à la même température et c'est comme ça qu'on a défini la température absolue je vous ferai une démonstration la semaine prochaine et je vous souhaite une bonne fin de soirée et je vous remercie de votre patience et à vendredi

notes

résumé

3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**:
détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



quoi.

notes

résumé