

Support de cours

Cours:

UNIL-123 Physique Expérimentale II

Vidéo:

Lesson6-UNIL-123 Physique expérimentale II

Concepts (extraits des sous-titres générés automatiquement) :

Équation d'ondes. Petit moment de retour. Champs électriques. Petit mail. Direction perpendiculaire. Direction x. Lettre tau. Masse fois. Dernière fois. Égal ma. Petit épisode. Mal de calculs. Petit bout de corde. Équations différentielles. Questions vraies.



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

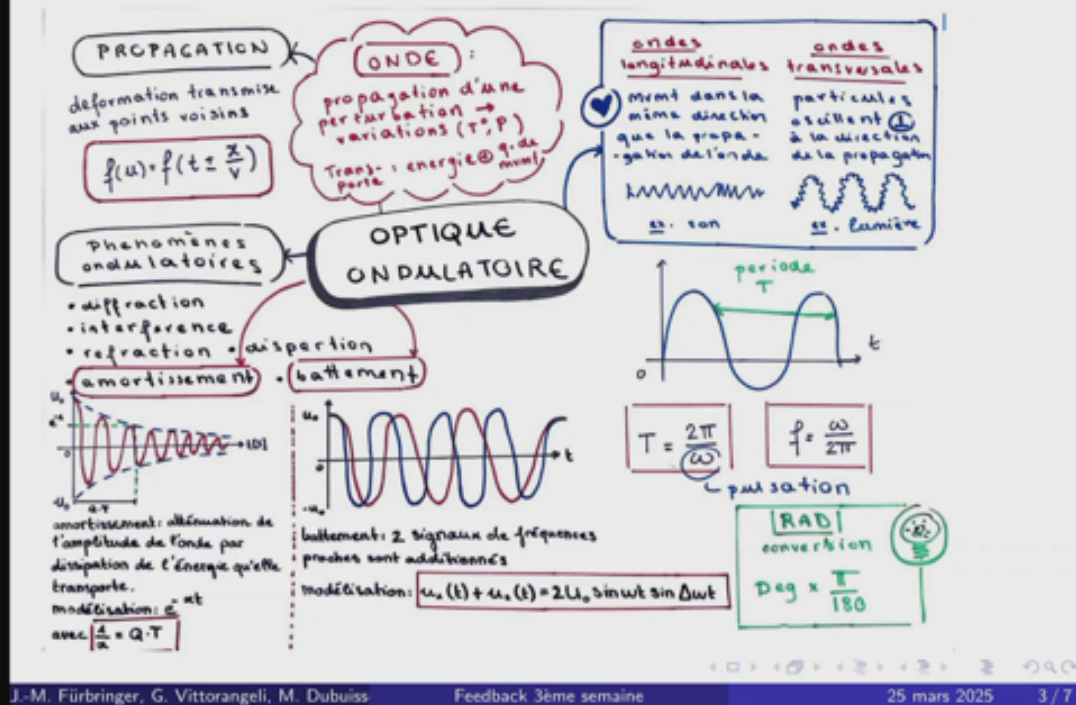


[vers la vidéo](#)

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 1/77

Mind map



...

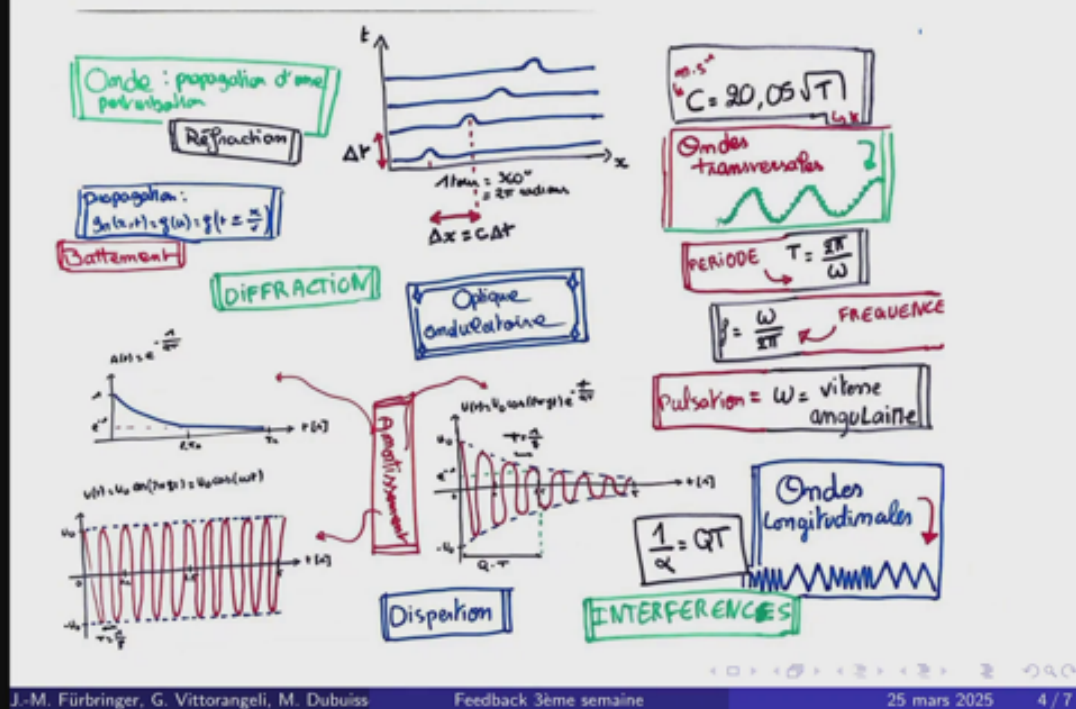
notes

résumé

0m 0s



Mind map



Ces sous-titres ont été générés automatiquement Bonjour, bonjour. Comment allez-vous ? À vous voir mieux que la dernière fois. Si je me suis dit la dernière fois, vous étiez sur les genoux. Ça va, le cours de droit était pas trop... Ça va. Aujourd'hui, on va avancer. Je crois pas que j'arriverai à terminer l'optique ondulatoire. Il y a 2, 3, je veux pas trop aller trop vite. Vous expliquez tranquillement les trucs. Je vais même commencer avant l'heure, désolé. Mais on va avancer. On va voir les 2 choses qui sont... Enfin, une chose est importante. Ensuite, j'irai quelque chose être intéressant. Je vais vous demander une compréhension plutôt avec les doigts. C'est la polarisation de la lumière. On n'a pas le temps de rentrer dans ce sujet, de le traiter avec le même sérieux qu'on a traité l'optique géométrique. Ces chapitres qui sont plutôt descriptifs, c'est toujours un peu délicat. Parce que dans les chapitres descriptifs, la seule chose que je peux tester, c'est la mémoire. C'est un peu difficile de tester autre chose que si vous vous souvenez. Donc ça donne des questions vraies-faux sur les principes. C'est pas ce qui a été plus intéressant, mais voilà. Il n'y aura pas que ça. Mais je préfère les chapitres un petit peu plus construits. Je trouve que c'est plus intéressant. Donc, notre petit moment de retour sur la semaine passée. Donc désolé pour le problème avec le quiz. En 2-3-4, c'est l'appel secours quand on a un truc informatique qui ne fonctionne pas. On confirmait qu'il y avait des modules qui n'avaient pas été chargés sur Moodle quand ils avaient fait un renouvellement. Donc normalement, ça marche. Je ne pense pas que je les ferme. Mais je vais le faire un peu et je vais le rouvrir. Je

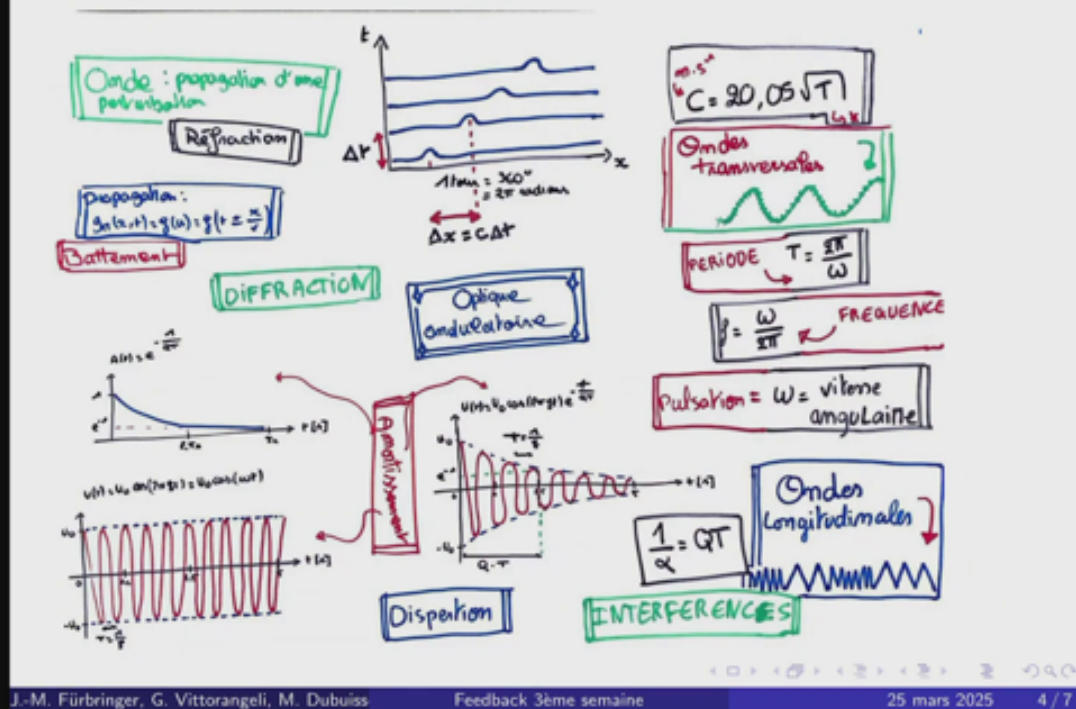
notes

résumé

0m 4s



Mind map

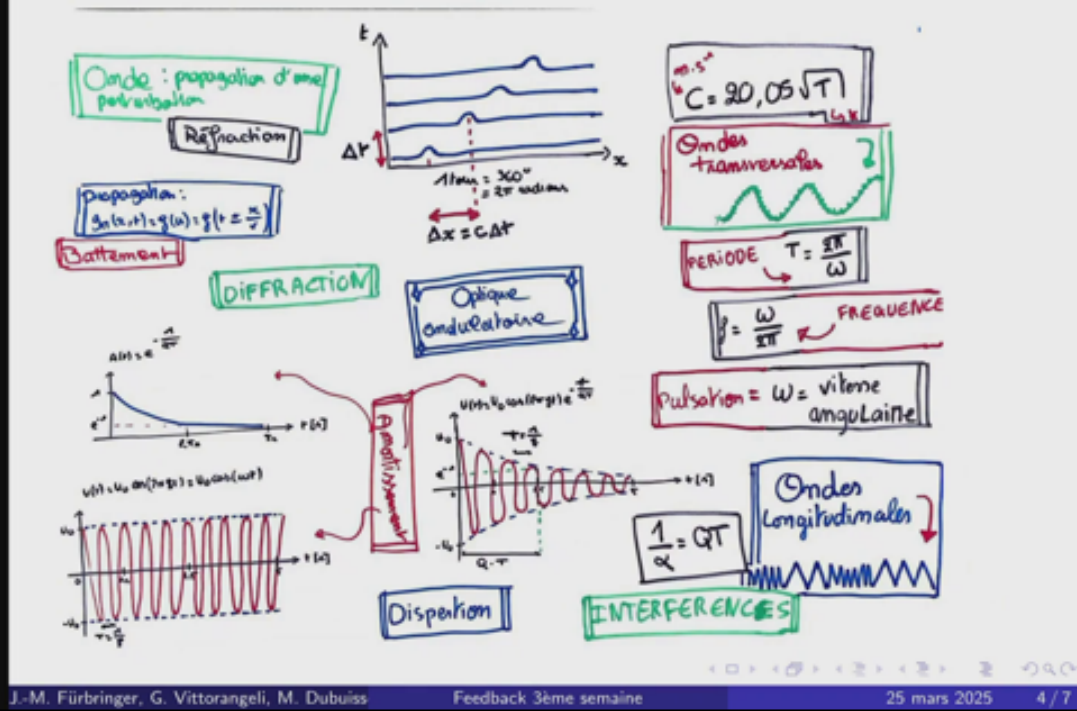


vous juste déplacer le quiz de la semaine passée. Je vais le remettre cette semaine et vous aurez une belle statistique de ce qu'il fait. Et puis sur les cartes, je me rends bien compte que j'en reçois moins. Donc je me rends bien compte qu'il y a aussi moins de gens aux exercices. Enfin, c'est vous qui choisissez. Je ne vais pas vous prendre par la main. J'aimerais quand même... Peut-être là, vous avez compris des choses. C'était plus simple, etc. On va attaquer après depuis la semaine prochaine. On va s'intéresser à la thermodynamique. C'est quand même un sujet relativement complexe. Et je vous encourage vraiment à venir aux exercices. S'il y avait des gens qui n'étaient pas encore inscrits et qui voulaient hésiter, pas vous, vous m'écrivez un petit mail, on vous trouve un groupe. Il y a même un groupe qui a complètement disparu. Le groupe de M. Yago, il n'y a plus personne qui y va. Si il y a un problème, je pense que ça serait bien de m'en parler. Si vraiment il y avait quelque chose, je n'avais pas l'impression que c'était un sistan qui était moins performant que les autres. En plus, il y avait un seul groupe. C'était quelqu'un qui commençait un peu. Donc n'hésitez pas. Je dis ça de manière aussi très ouverte. S'il y a quelque chose à dire, si l'assistant que vous recevez ne va pas, etc., il faut m'en parler. Il y avait d'ailleurs, il y a deux semaines, quelqu'un qui avait posé la question si les assistants avaient reçu l'ordre de ne s'occuper que de leur groupe. En tout cas non, ils avaient parçu un ordre comme ça. J'ai discuté aussi avec eux. Ils étaient volontiers les gens dans les groupes. C'est vrai qu'ils se concentrent

notes

résumé

Mind map

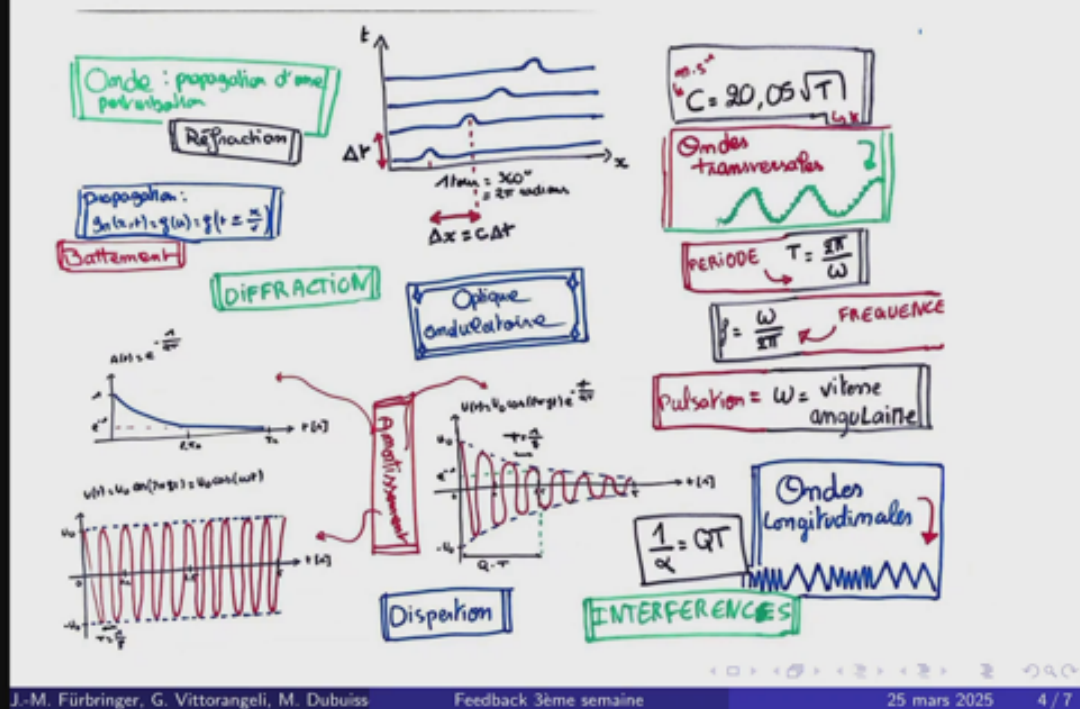


à leur groupe. Il y a un groupe, parce que des fois, il y a assez à faire. Mais moi, j'ai eu l'impression que, en tout cas, de leur côté, les choses se passaient bien. J'ai aussi demandé un peu quand je suis passé dans ça. J'ai l'impression que les choses se passaient bien. Alors moi, il y avait peut-être un petit épisode, mais enfin je ne sais pas ce qui s'est passé.

notes

résumé

Mind map



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

Feedback 3ème semaine

25 mars 2025

4 / 7

La personne ayant témoigné anonymement, je ne peux pas faire plus.

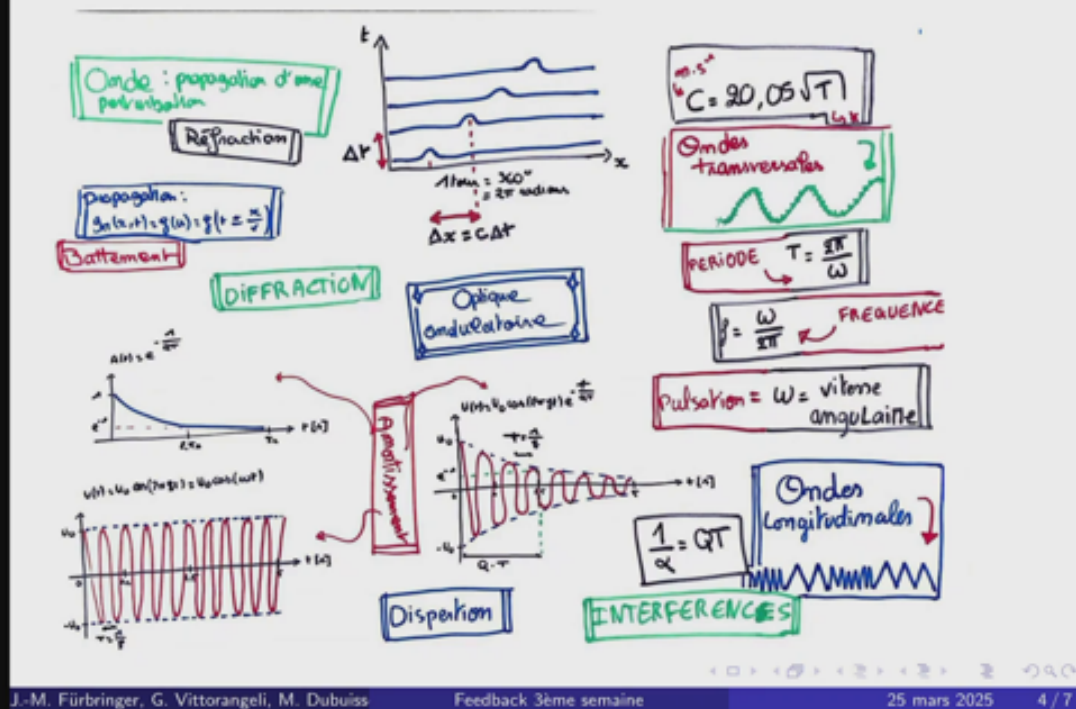
notes

résumé

4m 23s



Mind map



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

Feedback 3ème semaine

25 mars 2025

4 / 7

Moi, j'ai l'impression que ça se passait bien. Mais détrompez-moi, écrivez-moi sur AID, s'il y a des choses que vous aimeriez me raconter. Je ne vous ai pas conseillé que c'est vous, ou quoi que ce soit. N'hésitez pas. Donc, je vous redis. L'intérêt d'utiliser les cartes mentales, c'est que vous suivez des cours, quand même, d'un niveau relativement élevé à l'université. C'est un petit peu plus exigeant la compréhension qu'on demande de vous, le travail personnel, la digestion que vous devez faire des savoirs et un petit peu plus exigeant de ce que vous avez au gymnase. Donc, c'est très, très important que vous puissiez bien faire fonctionner votre compréhension puis aussi votre mémoire.

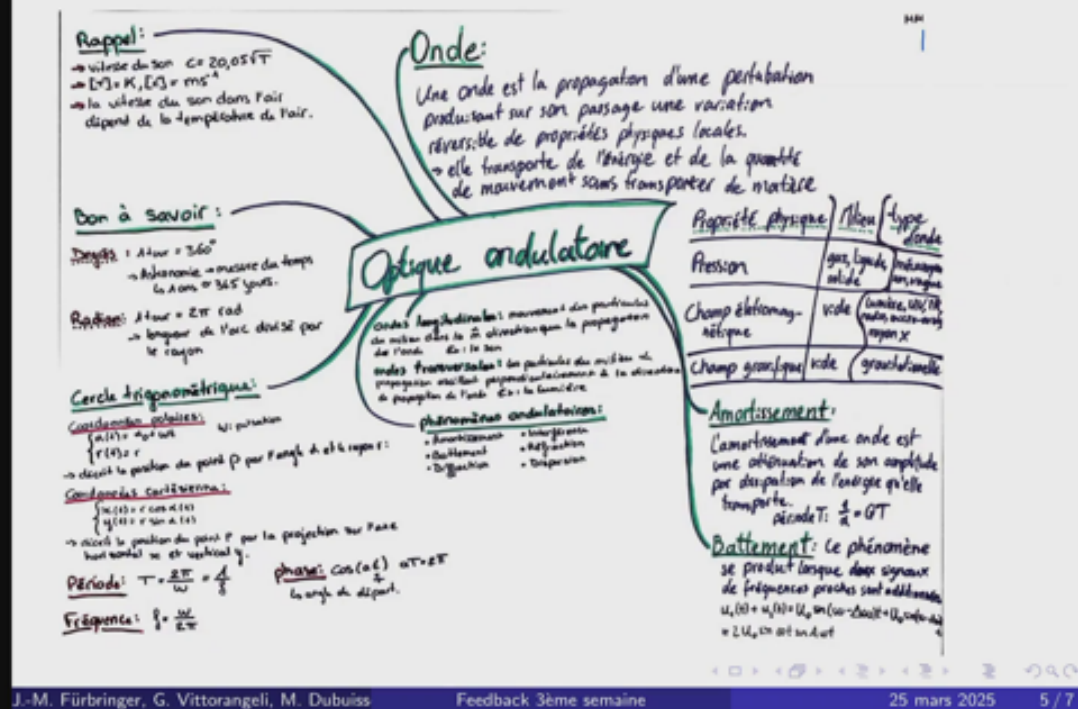
notes

résumé

4m 26s



Mind map



Et les cartes mentales, c'est un bon moyen. Ça me donne l'occasion de vous dire quelque chose qui est, on va dire, prouvé scientifiquement. C'est dans les sciences humaines.

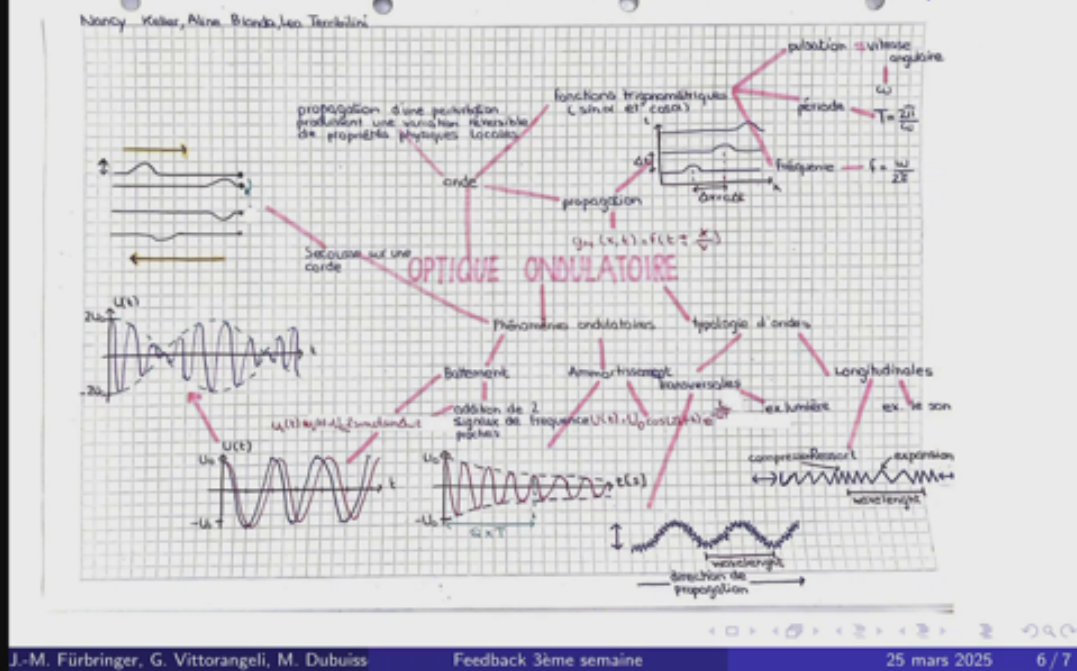
notes

résumé

5m 17s



Mind map



Mais sachez que dans les méthodes pour apprendre, mémoriser, c'est connu comme des méthodes pas du tout efficaces

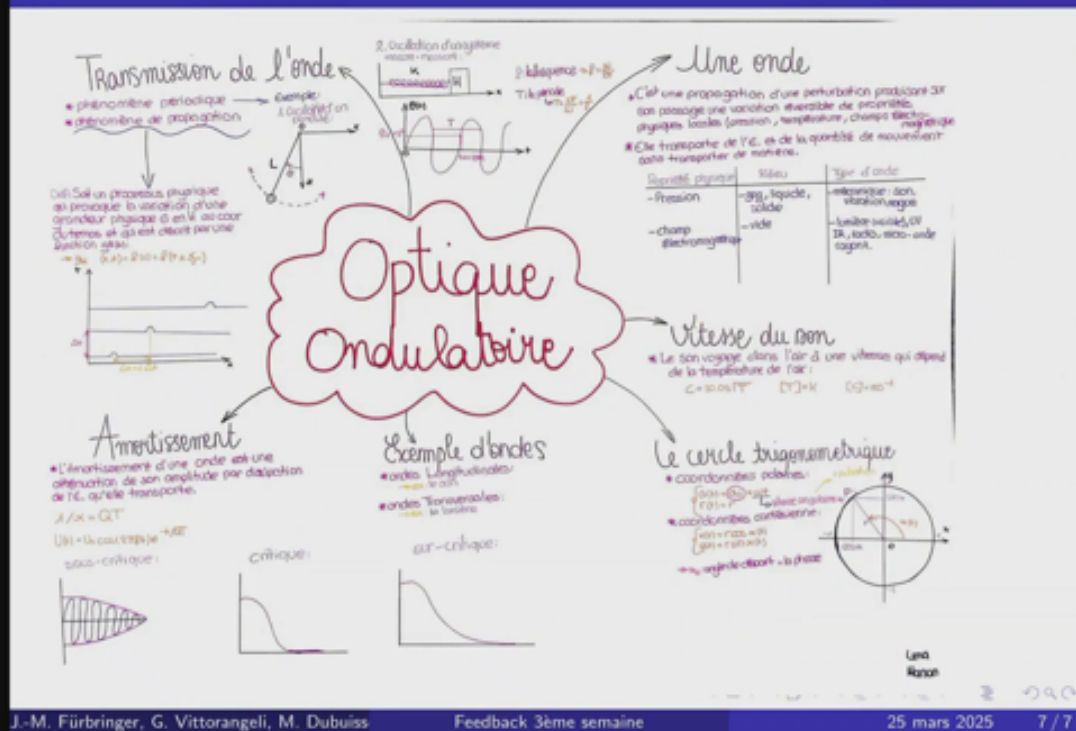
notes

résumé

5m 48s



Mind map



par les gens qui ont fait des groupes test, qui ont vraiment étudié ça. Donc là, vous êtes en première année, c'est très exigeant cognitivement, mais vous allez voir qu'avec les années progressantes aussi cognitivement, c'est chaque fois plus exigeant.

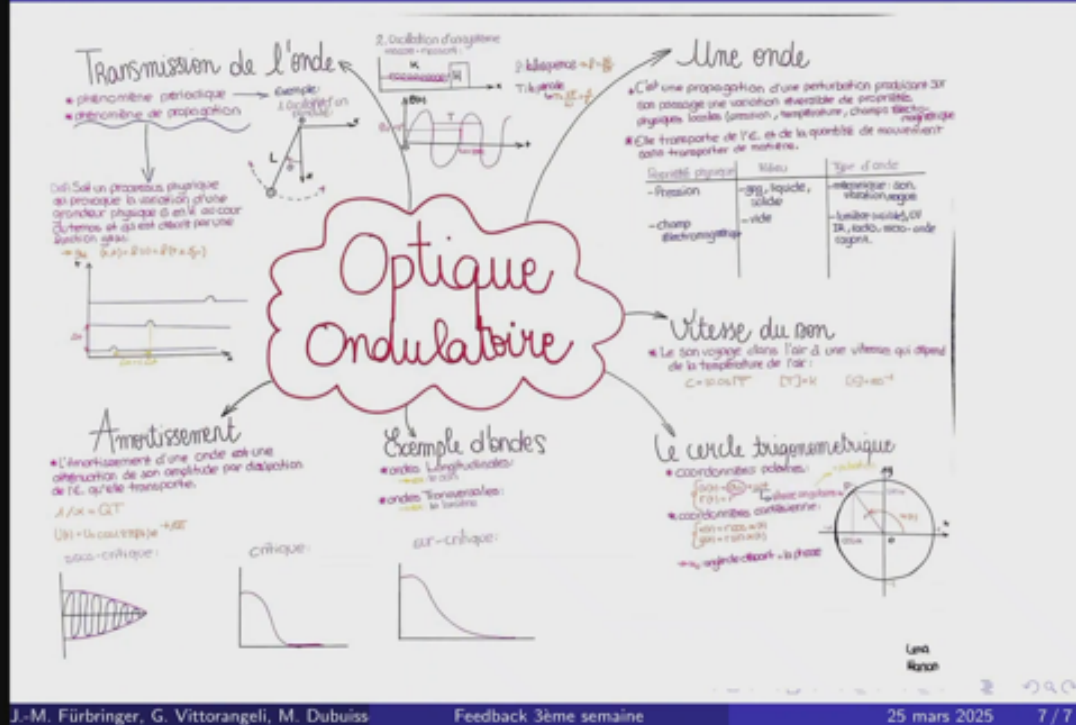
notes

résumé

5m 50s



Mind map



Donc avoir vos méthodes de travail qui soient adaptées pour apprendre les choses, je pense que ça vaut la peine, ça vaut la peine, je veux dire, en première année.

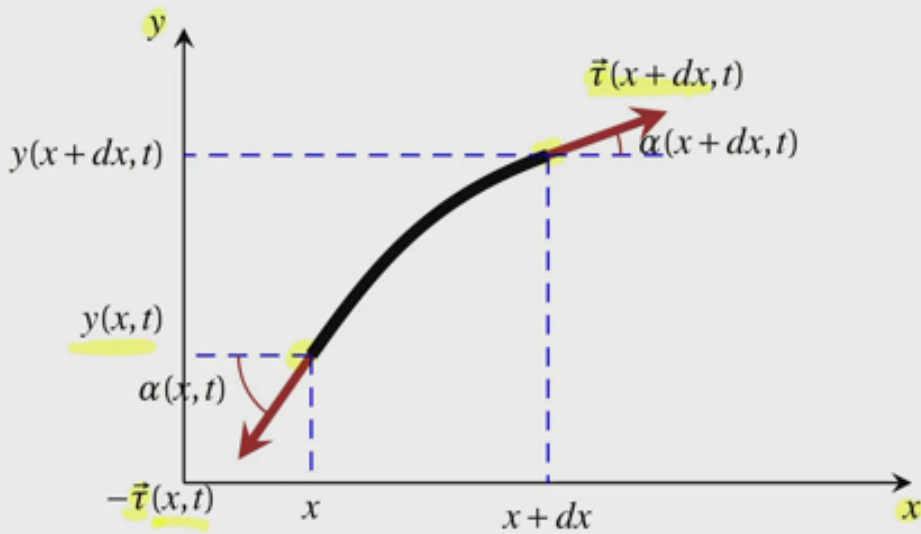
notes

résumé

6m 9s



2.2.11 Que se passe-t-il sur une tranche de la corde?



La déformation est petite :

$$\begin{cases} \sin \alpha \approx \alpha \\ \tan \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha \approx 1 \end{cases}$$

Le mouvement est transversal:

$$\vec{a} = a \hat{e}_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Vous avez un quatre ans d'études entre le bachelor et le master, donc ça vaut la peine de mettre au point ces méthodes. Après voilà, on vous raconte ce qu'on sait, ce qu'on voit, c'est vous qui choisissez, c'est vous qui choisissez vos méthodes. Quelques personnes parfois m'ont dit « ouais mais moi, c'est carrément, pour moi ça marche pas ». Les gens qui étudient ça, ils ne connaissent pas ce cas, pour moi ça ne marche pas en fait, on a tous un peu à apprendre, mais c'est vrai que c'est une nouvelle méthode, c'est vrai que ça demande de faire un certain nombre de choses. Là je suis plutôt dans le côté un peu moins, mais dans le côté plus, alors j'ai vu vraiment des cartes qui, on voit que les gens, oui ils ont pris goût, si c'était grâce à moi, je serais très fier, mais peut-être qu'ils avaient déjà pris goût de travailler, j'ai des groupes qui passent, j'ai bien compris quasiment les deux périodes, ok, c'est nous aux vous qui choisissez, je ne sais pas si ça vaut l'impène, mais si vous avez l'impression de passer du temps, ça vous permet de manipuler ces concepts, ben c'est très bien. Et puis voilà. Alors, ben voilà, c'est des cartes, en général, on aime bien, on trouve que graphiquement c'est bien expliqué, je suis toujours en admiration devant les écritures, moi j'ai une écriture assez moche pour dire les choses comme elles sont, donc j'ai tendance à apprécier quand je vois des cartes avec des gens qui ont des super belles lettres, donc vous imaginez pour moi le cauchemar que c'était quand il fallait un peu écrire au tableau, etc. Même moi des fois je n'arrive pas à me relire ce que j'ai écrit, mais imaginez les

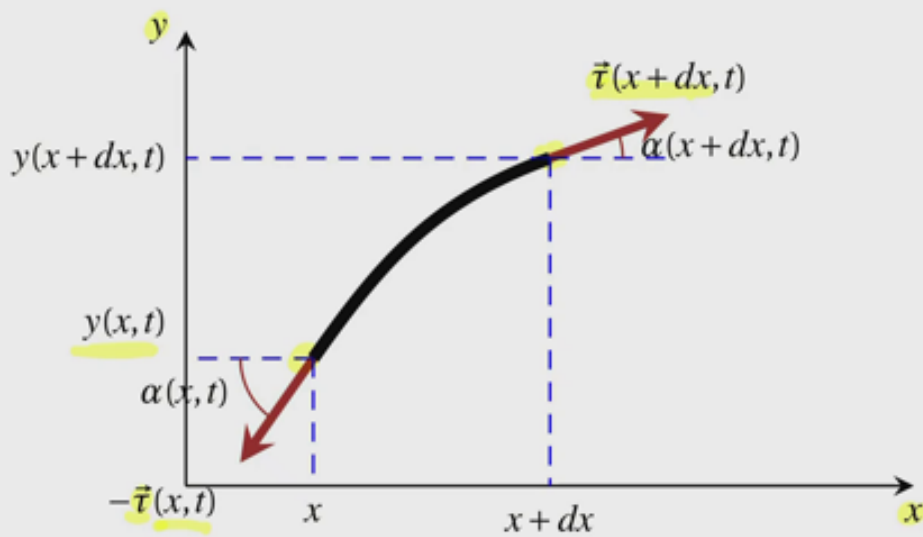
notes

résumé

6m 18s



2.2.11 Que se passe-t-il sur une tranche de la corde?



La déformation est petite :

$$\begin{cases} \sin \alpha \approx \alpha \\ \tan \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha \approx 1 \end{cases}$$

Le mouvement est transversal:

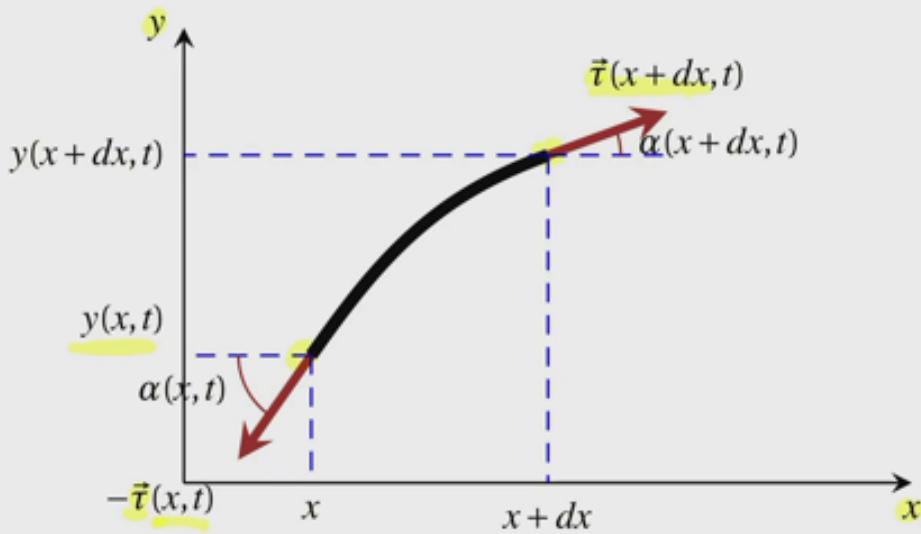
$$\vec{a} = a \hat{e}_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

étudiants. Donc voilà, le fait d'avoir des graphiques, le fait de mettre en... Quand on veut mémoriser, c'est vrai que les choses qui sont importantes, ces graphiques qui sont souvent très très importants, parce qu'ils permettent d'expliquer beaucoup de choses, c'est la même chose sur les formules, finalement ce qui est intéressant des formules, peut-être pour vous des fois vous dites, « Ah, encore une formule avec des lettres, avec des trucs, etc. » Mais en fait c'est un moyen super concis souvent d'expliquer plein de choses et d'avoir plein d'éléments. Bien sûr qu'après il faut pouvoir la décoder, il faut se souvenir qu'est-ce qu'on utilise comme lettre typique. Souvent dans mes slides, l'explication se trouve quelque page après, pensez quand vous écrirez des articles, ou vous avez quelque chose de toujours se souvenir ce qu'est quoi, et d'être sûr que l'auteur qui a écrit la formule a bien utilisé les mêmes codes que vous avez l'habitude. Et puis, une organisation avec différents éléments. Donc cette carte nous a plu, de la même manière celle-là qui est aussi au niveau graphique et bien organisé, plus je reconnais certains de mes graphiques avec quasiment les mêmes couleurs. Donc ça aussi, c'est intéressant de reproduire les choses qui sont dans les slides, peut-être qu'il y a aussi une dimension qui est importante, c'est quand vous allez un peu plus loin, ou quand vous faites quelque chose ou une image avec deux ou trois images que j'avais. C'est aussi cet aspect-là, reproduire oui, mais peut-être parfois il faut aussi vouloir aller un petit peu plus loin. Vous posez des questions, et puis là les assistants, si vous posez des questions auxquelles j'ai pas répondu, il y a beaucoup de choses que j'ai pas répondu, n'hésitez pas à demander aussi aux assistants. Ils sont

notes

résumé

2.2.11 Que se passe-t-il sur une tranche de la corde?



La déformation est petite :

$$\begin{cases} \sin \alpha \approx \alpha \\ \tan \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha \approx 1 \end{cases}$$

Le mouvement est transversal:

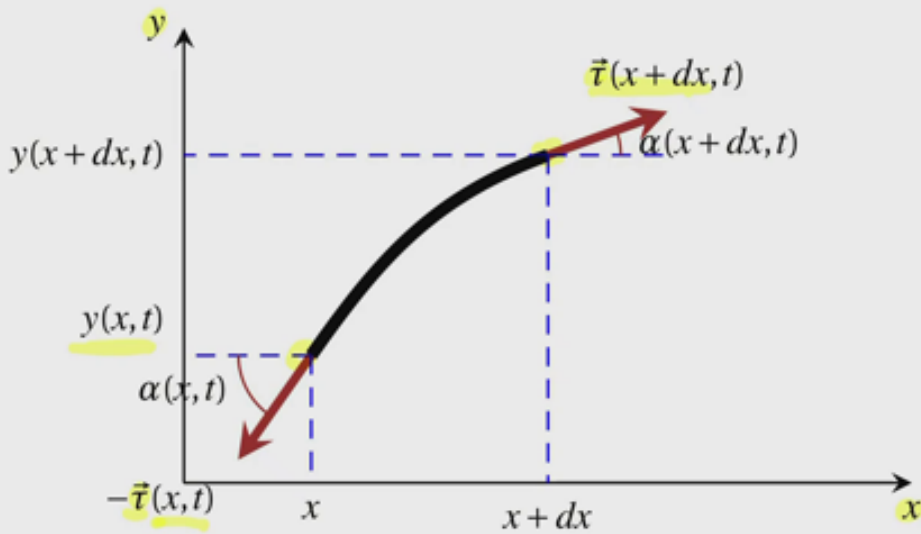
$$\vec{a} = a \hat{e}_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

là pour vous aider à faire ce qu'on vous a demandé, mais ils sont aussi là pour répondre à vos questions, qui n'étaient pas forcément les questions typiques du cours. Puis si eux, ils n'arrivent pas à y répondre, ils ont toujours hâte. Ça aussi, c'est intéressant, c'est beaucoup plus littéraire où il y a du texte, il n'y a pas moins de graphique, mais c'est aussi très bien organisé. Et puis ça, c'est une personne, c'est déjà la deuxième fois que je fais sur une page, à quatre, c'est souvent comme ça qu'on l'est fait. Je vous ai donné des grandes pages, parce que voilà, vous êtes à plusieurs, vous faites des choses, mais la taille n'a pas beaucoup d'importance. J'ai un ami, aussi prof de physique, qui est arrivé à une conférence, il a toujours dans sa poche des post-titles les plus grands, ceux qui font, je sais pas, un 3 cm sur 3 cm, et une conférence d'une heure, il la résume sur un post-title comme ça, avec des cartes mentales, avec des petits schémas, des petites explications. Et puis aussi, ça c'est un groupe que j'ai identifié, j'aime aussi bien leur manière de présenter les choses. Voilà. Ok, je vais fermer quand même la porte, pour qu'on soit entre nous. Donc, on est dans ce chapitre de l'optique ondulatoire. Alors, j'ai un peu séparé, je vous parle d'ondulatoire, puis après, je vous parlerai d'optique, je ne vous parle pas beaucoup d'optique ondulatoire. Je rigole un peu quand je vous dis ça, mais voilà, il y a quand même pas mal de calculs, je pense que ce n'est pas ce que vous préférez, ce n'est pas forcément à travers des calculs qui seraient un peu obscurs, que vous allez plus comprendre de choses. Donc, c'est vraiment important

notes

résumé

2.2.11 Que se passe-t-il sur une tranche de la corde?



La déformation est petite :

$$\begin{cases} \sin \alpha \approx \alpha \\ \tan \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha \approx 1 \end{cases}$$

Le mouvement est transversal:

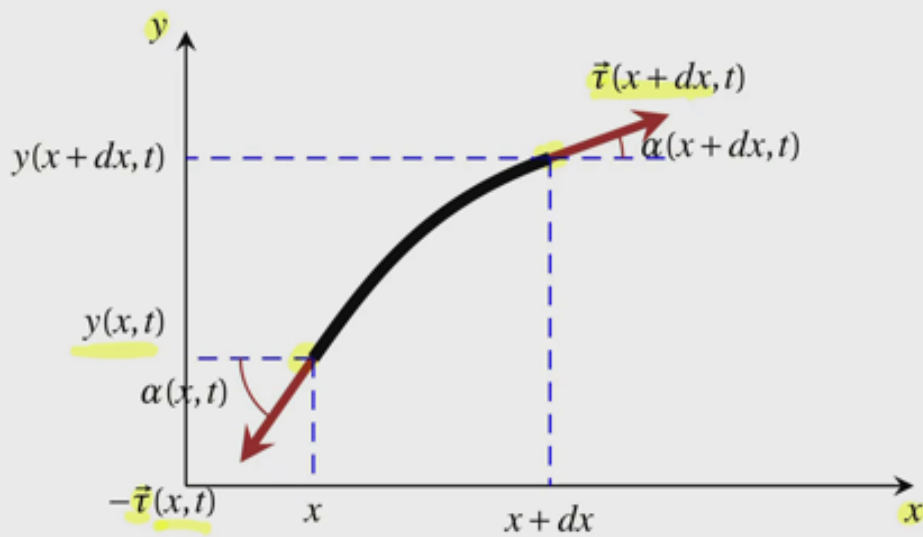
$$\vec{a} = a \hat{e}_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

pour ce chapitre de comprendre ce que sont les ondes. Il y aura en tout cas quelques questions dans l'examen qui parleront des ondes, qui essayeront d'aller vérifier ce que vous avez compris, ce que vous avez à raisonner au niveau des ondes. Et puis, il y a quelques résultats de l'optique ondulatoire qu'on va parler, mais en fait, c'est vrai qu'on ne fait pas réellement dans ce cours-là de l'optique ondulatoire. Je ne vous ai pas vraiment présenté de calculs avec des intégrales sur le domaine des fréquences, etc. Dieu nous en préserve. C'est quand même assez complexe, ça prendrait beaucoup de temps, et ce n'est pas vraiment l'objectif de ce cours. Par contre, là, il y a deux, trois slides qui sont un peu mathématiques. À mon avis, ils ont leur intérêt. Pierre, j'ai montré ça à un de mes collègues, on discutait, etc. C'est bien que tu t'arrêtes juste quand ça commence à devenir compliqué. Donc, ce qui est présenté là permet de comprendre un certain nombre de choses. Après, quand on veut utiliser ça pour faire des calculs, c'est peut-être un petit peu plus exigeant. Donc, ça, c'est un calcul qui a été fait par un certain monsieur D'Alembert qui a voulu comprendre comment ça fonctionnait les ondes. On utilise le calcul infinitésimal. Donc, c'est des calculs qui se sont faits après Newton. Quand Newton avait développé Newton et l'Amniz, on ne va pas rentrer dans la bagarre entre les deux. Mais quand le calcul infinitésimal avait été posé, donc, c'est-à-dire des intégrales, des dérivés, il y a tout ce calcul-là. Et puis, ça faisait des siècles qu'on faisait de la musique. On avait bien compris, des gens avaient bien compris que quand vous avez un tuyau d'orgue, la longueur du tuyau d'orgue influence la note

notes

résumé

2.2.11 Que se passe-t-il sur une tranche de la corde?



La déformation est petite :

$$\begin{cases} \sin \alpha \approx \alpha \\ \tan \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha \approx 1 \end{cases}$$

Le mouvement est transversal:

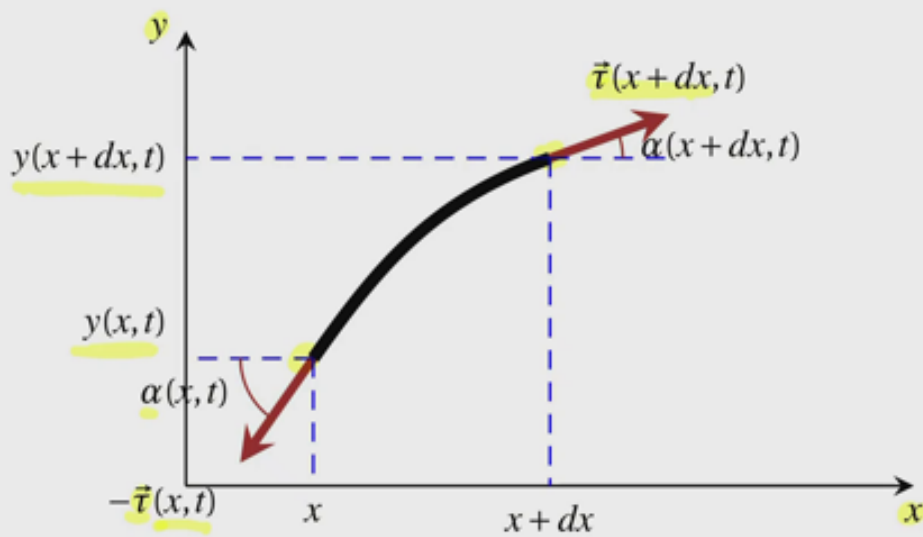
$$\vec{a} = a \hat{e}_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

que vous arrivez à extraire du tuyau d'orgue, etc. Mais en fait, on n'avait pas de calcul, on ne savait pas calculer ce qu'était une onde, comment ça fonctionne. Et c'est ça qu'on va voir dans ces slides-là. Et donc, ça présente ce qui se passe sur une corde. Et puis, il faudrait refaire le calcul dans d'autres situations pour montrer que c'est bien aussi la même chose qu'on obtient. Et après, quand on va passer à la lumière, ça veut dire que ce que je vais vous montrer pour une corde, il y a des éléments qui sont récupérables pour montrer que c'est la même chose avec les champs électriques. On a, qu'on appelle, une équation d'onde. Donc, c'est ça que je vais vous montrer, c'est comment on obtient une équation d'onde. Je ne vais pas vous montrer comment on la résout, je vais vous montrer comment on la construit. Donc, la partie qui est noire, ça représente un tout petit tronçon d'une corde. Et puis, les parties en rouge, c'est ce qu'on ajoute, c'est la réalité augmentée, c'est les explications.

notes

résumé

2.2.11 Que se passe-t-il sur une tranche de la corde?



La déformation est petite :

$$\begin{cases} \sin \alpha \approx \alpha \\ \tan \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha \approx 1 \end{cases}$$

Le mouvement est transversal:

$$\vec{a} = a \hat{e}_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Donc, vous avez un petit bout de corde, et puis, corde de violon, corde de guitare. Et puis, on peut s'intéresser à ce qui se passe sur la longueur de la corde. Donc, ça, c'est le X. Et puis, on peut regarder ce qui se passe. Perpendiculairement à la corde, c'est le Y. En fait, la corde est en cylindrique, notre Y, il est n'importe quelle direction, perpendiculaire au tracé de la corde. Donc, vous voyez, les deux axes, X et Y. Et puis, on va faire un certain nombre d'hypothèses pour pouvoir faire ce calcul-là. Donc, la corde, elle est tendue. Donc, on a pris un petit bout, et puis, si elle est tendue, ça veut dire qu'à cet endroit-là et à cet endroit-là, les autres parties de la corde sont en train d'exercer une tension sur cette partie-là. Donc, on a pris la lettre Tau pour représenter la tension.

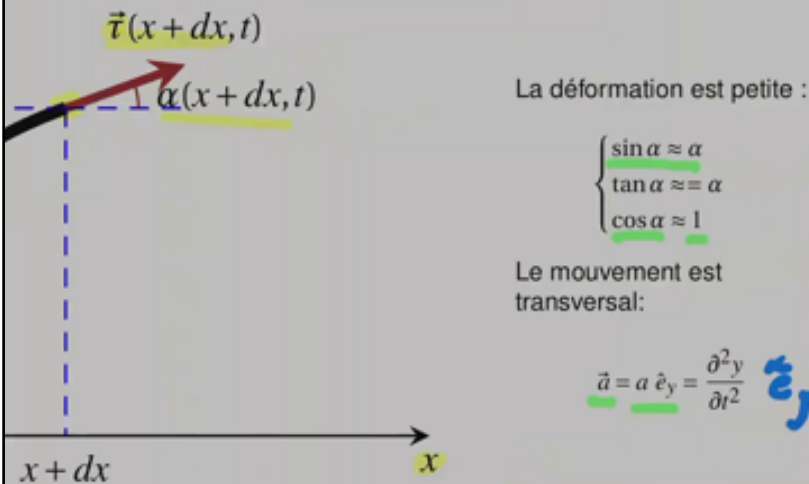
notes

résumé

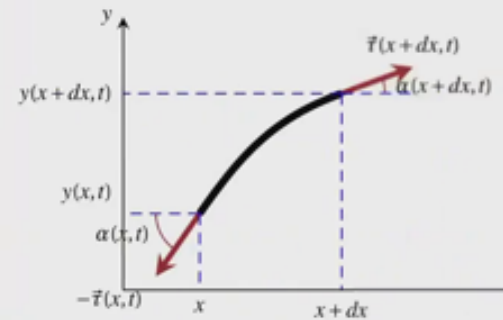
14m 32s



Sur une tranche de la corde?



2.12 Perturbation d'une



Donc, maintenant, comme on fait du calcul infinitesimal, on va travailler un petit peu comme on l'a fait dans ce problème qui vous a un peu donné du fil artort sur le déplacement de la perturbation. On travaille avec des fonctions. On donne les variables, mais des fois, on peut travailler sans donner réellement la fonction. On s'en fait une analyse, on dirait plutôt fonctionnelle. On analyse ce qu'on ferait, ce qu'on la dérive, ce qu'on ajoute, on la multiplie. On ne peut même pas donner la fonction pour pouvoir faire quelque chose. C'est comme ça qu'on va arriver sur des équations qui disent quelque chose sur la fonction, donc, par exemple, des équations différentielles. Donc, on a une fonction Tau, et la fonction Tau, la tension à un endroit de la corde, elle va dépendre, donc, à l'endroit de la corde, et puis, peut-être, pas toujours au même moment. Donc, c'est une fonction de... Là, on met deux variables, une dimension, autrement, ce serait quatre variables, on dirait trois variables d'espace et puis une variable de temps. On va travailler dans un système plus simple avec une variable d'espace qu'on appelle X et une variable de temps. Donc, on a une fonction Tau de X de T. Et puis, on a un signe moins dans un sens, spécifiquement. La tension Tau, c'est une fonction tout le long de la corde. Mais tout le long de la corde, on doit la considérer dans le même sens. Donc, c'est pour ça que, si on veut immobiliser notre petit bout de corde noir, alors, dans un sens, c'est moins la tension, puis dans l'autre sens, c'est plus la tension. Donc, c'est pour ça que vous voyez ici en bas, moins Tau et en haut, alors, c'est plus Tau. Et puis, c'est plus

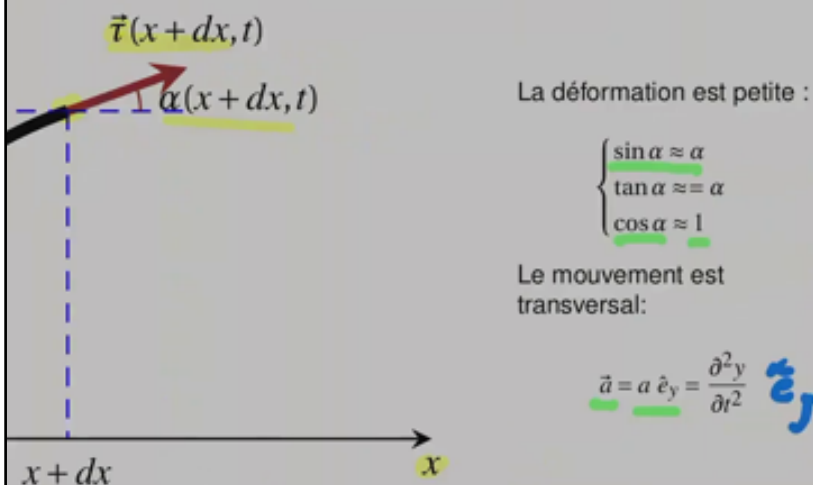
notes

résumé

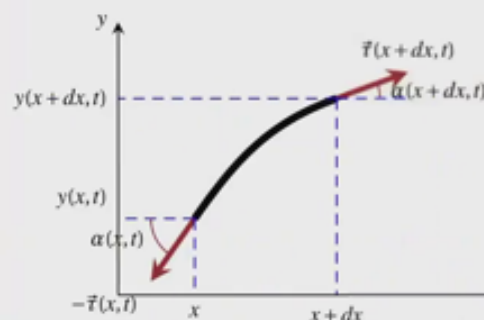
15m 40s



ur une tranche de la corde?



2.12 Perturbation d'une

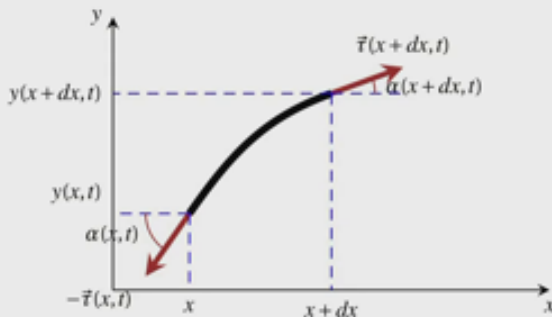


Tau, pas de X, parce que je me suis déplacé, je me suis déplacé d'un petit delta X. Donc, c'est ce qui tient ma corde. C'est Tau de X, moins Tau de X d'un côté. Et puis, c'est Tau de X plus delta X. Et puis, on se fixe à un moment donné, donc, le temps n'a pas changé. On essaie d'expliquer quelque chose à un instant donné. C'est comme une photo qu'on avait fait de notre corde. Donc, ça veut dire que la variable T, elle, n'a pas évolué. Par contre, la variable X, elle a évolué. À un moment, on se trouve en X, à un moment, on se trouve dans X plus delta X. Vous voyez que c'est bien ces petits

notes

résumé

2.12 Perturbation d'une corde tendue (1)



- On applique la **deuxième loi de Newton**, $m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$, au segment de corde de **masse linéique μ** :

$$m\vec{a} = \underbrace{\mu dx}_{dm} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \hat{u}_y = \tau(x + dx, t) - \tau(x, t)$$

- La **projection sur l'axe x** est nulle:

$$0 = \tau(x + dx, t) \underbrace{\cos \alpha(x + dx, t)}_{=1} - \tau(x, t) \underbrace{\cos \alpha(x, t)}_{=1}$$

- Ceci implique que la tension, $\tau(x, t)$, est constante de long de la corde:

$$\frac{\partial \tau}{\partial x} = 0 \Rightarrow \tau(x, t) = \tau_0 \quad \forall x$$

bout des delta X, des delta T, des delta Y qui vont nous permettre d'arriver à des dérivés, de fonctions, à des choses comme ça, qui vont nous permettre d'utiliser le calcul infinitésimal. Ensuite, il y a une autre notion qui est importante, c'est l'angle. Alors, on va faire une hypothèse, on va faire l'hypothèse que les déplacements perpendiculaires, verticaux et Y, ils sont relativement petits par rapport à la longueur de la corde. En réalité, ils sont petits, mais ils ne sont pas si petits que ça. Si vous regardez une corde de guitare, vous voyez quelle vibre. Je pense qu'elle doit bouger d'autour de 1 mm, ou quelque chose comme ça. Donc, vous voyez bien, normalement, si vous regardez une corde de guitare, vous voyez bien qu'elle a l'air plus épaisse, qu'elle est en réalité quand elle se met à vibrer. Et puis donc, la position de ma corde d'un côté, je vais l'appeler Y de X et de T, et puis, à l'autre bout de mon petit bout de corde, j'ai mon delta X qui a un petit peu bougé, donc ça reste nouveau. Je dis, j'ai une fonction qui représente la déformation de ma corde perpendiculairement, et puis c'est une fonction, et puis je m'intéresse à ce qu'elle vaut en X ou en T, puis en X plus delta X ou en T. Et puis, comme j'ai une déformation, je vais m'intéresser à l'angle, elle se déforme. Donc je m'intéresse, j'ai un angle qui s'appelle ici alpha. Et bien, ce même angle alpha qui représente la déformation, et bien, il peut être en X de T, ou il peut être en X plus delta X de T. Par contre, là, on n'a pas le problème qu'on avait avec l'attention. Là, l'angle à cause des angles semblables

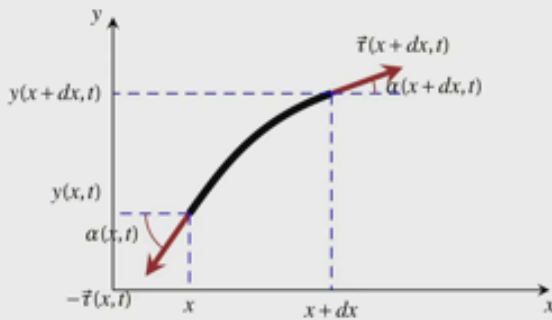
notes

résumé

18m 10s



2.12 Perturbation d'une corde tendue (1)



- On applique la **deuxième loi de Newton**, $m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$, au segment de corde de **masse linéique μ** :

$$m\vec{a} = \underbrace{\mu dx}_{dm} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \hat{u}_y = \vec{\tau}(x + dx, t) - \vec{\tau}(x, t)$$

- La **projection sur l'axe x** est nulle:

$$0 = \tau(x + dx, t) \underbrace{\cos \alpha(x + dx, t)}_{=1} - \tau(x, t) \underbrace{\cos \alpha(x, t)}_{=1}$$

- Ceci implique que la tension, $\tau(x, t)$, est constante de long de la corde:

$$\frac{\partial \tau}{\partial x} = 0 \Rightarrow \tau(x, t) = \tau_0 \quad \forall x$$

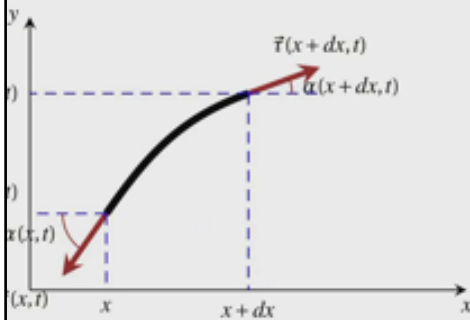
et des angles semblables, c'est la même chose qu'on le regarde en bas à gauche ou en haut à droite. Donc on n'a pas besoin d'utiliser, de changer le signe de l'angle. Donc on a α de X plus des X , ou α en X . Et puis, comme on dit qu'on a des petits angles, alors on va pouvoir faire ces approximations qu'on a déjà vues, elles étaient faites pour d'autres raisons, mais dans l'optique, on a souvent dit qu'on travaillait avec le... Moi, c'est la première fois que je dis ce mot dans ce cours-là, mais on appelle ça l'approximation de Gauss, mais autrement, j'ai parlé de systèmes par action où on travaille que sur les angles, que sur les rayons qu'on a des petits angles par rapport à l'angle, et ça, la trigonométrie nous dit que quand on travaille dans des situations comme ça, on peut se simplifier un peu la vie, on peut considérer que pour des petits angles, exprimés en radian, pas en degré, exprimés en radian, le sinus de l'angle est quasiment égal à l'angle. Et puis, la tangente aussi, le égal devrait disparaître, quasiment égal à α , et puis le cosinus, quand j'ai des petits angles, il est très très proche de 1. Et puis, on s'intéresse à des mouvements transversaux, on considère que

notes

résumé

Perturbation d'une corde tendue (1)

2.13



- On applique la **deuxième loi de Newton**, $m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$, au segment de corde de **masse linéique μ** :

$$m \vec{a} = \underbrace{\mu dx}_{dm} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \hat{y} = \vec{\tau}(x + dx, t) - \vec{\tau}(x, t)$$

- La **projection sur l'axe x** est nulle:

$$0 = \underbrace{\tau(x + dx, t)}_{=1} \cos \alpha(x + dx, t) - \underbrace{\tau(x, t)}_{=1} \cos \alpha(x, t)$$

- Ceci implique que la tension, $\tau(x, t)$, est constante de long de la corde:

$$\frac{\partial \tau}{\partial x} = 0 \Rightarrow \tau(x, t) = \tau_0 \quad \forall x$$

c'est pas tout à fait juste, mais c'est pas une approximation complètement exagérée de dire que la... C'est clair qu'elle va se déformer un peu, donc il y aura bien quand même un petit peu des mouvements sur la direction x. On va négliger ces mouvements dans la direction x, on va ne considérer que des mouvements dans la direction y. Donc c'est pour ça qu'on dit, l'accélération de notre petit bout qu'on s'intéresse, tout petit bout de corde qu'on s'intéresse, il va être dirigé dans la direction y, et puis pour que mon équation soit correcte, j'aurais dû garder encore ici, le 1, y, parce que c'est une équation vectorielle, donc je dois rester des vecteurs tout le long de mon équation. Donc ça veut dire que mon équation va être euh... mon accélération, en tout cas elle va être dans la direction verticale, et elle va correspondre à la deuxième dérivée de la fonction y de x. La posez le système. Les angles. Les tensions. Les positions. Donc maintenant, on peut appliquer ce que vous avez appris au premier semestre. Vous avez tellement aimé le premier cours du premier semestre. Je me mets chante. Donc on peut utiliser Newton. La masse fois l'accélération est égale à la somme d'effort. Alors là, évidemment qu'on va négliger la gravitation, parce que on s'en fiche. Et puis donc on va et puis on va utiliser, pour la masse on va utiliser la masse de notre petit delta x

notes

résumé

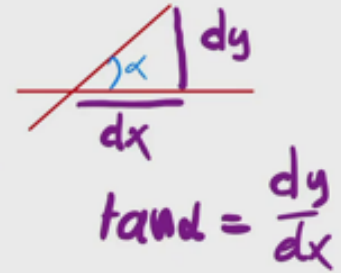
21m 37s



2.13 Perturbation d'une corde tendue (2)

- La projection sur l'axe y

$$\mu dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \tau(x+dx, t) \underbrace{\sin \alpha(x+dx, t)}_{=\alpha(x+dx, t)} - \tau(x, t) \underbrace{\sin \alpha(x, t)}_{=\alpha(x, t)}$$



- Cette équation peut s'écrire comme

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\alpha(x+dx, t) - \alpha(x, t)}{dx} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\partial \alpha}{\partial x} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

- C'est une équation de d'Alembert qui décrit la propagation de la perturbation le long de la corde
- La dérivée seconde par rapport au temps est proportionnelle à la dérivée seconde par rapport à l'espace. Cette proportion est la célérité de l'onde $c = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$
- Ce résultat se généralise sous la forme $c^2 = \frac{\text{facteur élasticité}}{\text{facteur inertie}}$

qui dépend de la manière dont la masse se répartit par longueur. Donc on va utiliser un coefficient un peu bizarre. C'est la première fois que vous entrez ça, mais c'est pas très compliqué. C'est ce qu'on appelle la masse linéique. Le nombre de kilos par mètre de fil. Voilà, c'est tout. C'est juste de ramener le poids à la longueur. Ça va permettre de dire que la masse, c'est mu choix d'ex. C'est la manière de pouvoir écrire notre équation parce qu'on ne veut pas des dm. On ne saurait pas quoi faire. Par contre, les dx, on a bien envie de les avoir parce que ça va nous permettre de faire notre équation différentielle. Donc, sommes des forces à égal mA. Donc ça veut dire dm, le petit élément de masse que j'intéresse, fois ça dériveille du second degré. Donc là on a dit, on a simplifié, on a dit que ce n'est pas bougé dans x. Donc je n'ai pas, en tout cas, je devrais rajouter le déplacement dans x. Mais comme j'ai négliger ça, j'arrive à écrire qu'au fond mA, je suis juste en train d'écrire mA, en fait. Là, je suis en train d'écrire mA égal. Donc c'est mu dx, par exemple le petit élément de masse, fois la deuxième dérivée de la position verticale du y. Et puis je dois garder une direction. Je suis dans la direction y. L'accélération c'est dans cette direction qu'elle a lieu. Et puis ça c'est égal à la somme des forces. Et la somme des forces c'est égal le fait que je tire dans une direction à droite et je tire dans l'autre direction à gauche. Donc ça va me faire la différence entre tau, qui est en x plus dx, moins, c'est le plus qui est

notes

résumé

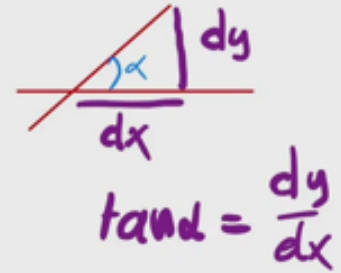
23m 26s



2.13 Perturbation d'une corde tendue (2)

- La projection sur l'axe y

$$\mu dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \tau(x+dx, t) \underbrace{\sin \alpha(x+dx, t)}_{=\alpha(x+dx, t)} - \tau(x, t) \underbrace{\sin \alpha(x, t)}_{=\alpha(x, t)}$$



- Cette équation peut s'écrire comme

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\alpha(x+dx, t) - \alpha(x, t)}{dx} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\partial \alpha}{\partial x} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

- C'est une équation de d'Alembert qui décrit la propagation de la perturbation le long de la corde
- La dérivée seconde par rapport au temps est proportionnelle à la dérivée seconde par rapport à l'espace. Cette proportion est la célérité de l'onde $c = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$
- Ce résultat se généralise sous la forme $c^2 = \frac{\text{facteur élasticité}}{\text{facteur inertie}}$

venu à cause du moins, de la tau de x et de t. Alors je vais projeter sur mes deux axes. Vous avez aussi appris à faire ça normalement au premier semestre. Tous ces cours de mécanique, ils apprennent la même chose. Donc si vous vous souvenez, quand vous avez un problème de mécanique, vous devez faire votre équation vectorielle et ensuite vous la projeter sur les axes x, y, z, si vous avez plusieurs, etc. Donc ce que je sais par ce que j'ai fait d'hypothèse c'est que l'accélération de la direction des x, c'est les nuls. On a dit que il n'y avait pas de déplacement dans la direction des x, donc c'est zéro. Et puis donc je peux écrire la projection dans la direction des x de ma tension. Et c'est là où l'angle va rentrer en ligne de compte. Donc j'aurai tau de x plus dx de t fois le cosinus de l'angle. C'est la manière de le projeter. C'est le cosinus de x plus dx en t, moins tau de x et de t cos de alpha. Puis là on utilise une des premières simplifications qu'on a proposé à la page précédente. Les angles étant très petits, ces cosinus ils sont quasiment égaux à 1. Donc ce qui veut dire que tau de x plus dx à moment t est égal à tau de x plus t. Donc ça ça me permet juste d'affirmer si j'ai fait l'hypothèse que j'ai pas de déplacement dans la direction de x, ça veut dire que ma tension elle est uniforme dans toute ma corde, tout le long de ma corde. J'ai pas de différence entre là. Alors la tension à gauche elle tire à droite, j'ai utilisé le signe moins pour gérer ça, mais sinon j'ai pas de

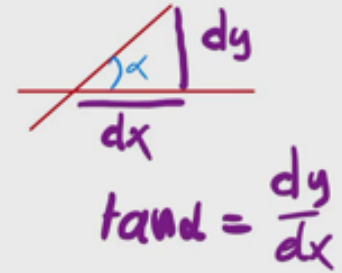
notes

résumé

2.13 Perturbation d'une corde tendue (2)

- La projection sur l'axe y

$$\mu dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \tau(x+dx, t) \underbrace{\sin \alpha(x+dx, t)}_{=\alpha(x+dx, t)} - \tau(x, t) \underbrace{\sin \alpha(x, t)}_{=\alpha(x, t)}$$



- Cette équation peut s'écrire comme

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\alpha(x+dx, t) - \alpha(x, t)}{dx} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\partial \alpha}{\partial x} = \frac{\tau_0}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

- C'est une équation de d'Alembert qui décrit la propagation de la perturbation le long de la corde
- La dérivée seconde par rapport au temps est proportionnelle à la dérivée seconde par rapport à l'espace. Cette proportion est la célérité de l'onde $c = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$
- Ce résultat se généralise sous la forme $c^2 = \frac{\text{facteur élasticité}}{\text{facteur inertie}}$

différence de la tension. Donc la projection sur 1 sur une des directions, c'est-à-dire sur son x, me fait arriver à ça. Donc ça veut dire que ma fonction tau de x et de t, on va dire

notes

résumé

2.3 Onde électromagnétique

que c'est une constante. Je passe assez rapidement, je justifie pas pourquoi dans le temps elle est aussi elle reste la même dans le temps, mais on est donc la même dans tout l'espace et toute la longueur de la corde et dans tout le temps. Donc maintenant on va le projeter sur l'axe des Y. Quand on projette ça sur l'axe des Y on obtient cette équation-là, c'est donc le début ça ressemble à l'équation précédente enfin mais j'ai plus le vecteur, maintenant je suis vraiment sûr en axe sur l'axe des Y donc j'ai plus mon vecteur unitaire dans la direction des Y comme j'avais avant μdx dérivée seconde de Y par rapport par rapport au temps. Et puis j'ai τ de $x dx \sin \alpha$ de x plus dx de t , moins τ et le sinus. Et là comme j'ai des petits angles, alors je peux faire l'hypothèse que le sinus est égal à l'angle. Donc ça veut dire que je peux écrire les choses de cette manière je vais prendre une partie ici cette partie-là qui devient mon membre de gauche et puis je vais passer les autres éléments de l'autre côté. Donc le μ vient ici dessous et puis mon τ est devenu un τ_0 parce que je vous ai montré dans l'équation précédente que je pouvais considérer que la tension était constante. Et puis donc j'ai quelque chose comme α l'angle en x plus dx moins l'angle en x divisé par dx et puis ça, quand vous voyez un truc comme ça, ça c'est une dérivée. Il y a une différence de deux positions par un intervalle infinitesimal divisé par cet intervalle infinitesimal ça c'est la définition d'une dérivée. Donc ça veut dire que vous pouvez réécrire cette équation avec le rapport

notes

résumé

27m 49s



2.3 Onde électromagnétique

de τ sur μ et puis la dérivée de α sur x . Et puis l'angle on peut aussi considérer que c'est la même chose que sa tangente puisqu'on a un petit angle. Donc α est aussi égal à la tangente de α . Mais tangente de α c'est toujours quand vous avez si vous avez une verticale vous avez un angle vous avez le α qui est là. La tangente de l'angle c'est aussi je vais écrire ça comment, comme ça comme ça cela divisé par cette distance-là. Donc une étant $d'y$ et l'autre étant $d'x$ donc j'ai que la tangente de α c'est la même chose que $d'y$ sur $d'x$. Donc la dérivée de cette dérivée c'est la dérivée seconde et donc ça veut dire que je peux écrire ça alors on les a écrits. Je ne sais pas si pour vous ça représente une difficulté donc les dérivées quand on n'est que d'une seule variable normalement on la fait avec un D droit puis quand on a plusieurs variables on fait un dérivé. C'est ok pour tout le monde ça ou bien ça représente un problème

notes

résumé

2.3.1 Nature ondulatoire de la lumière

- La lumière est une onde électromagnétique transversale: la perturbation du champ électrique provoquée par l'accélération d'une charge.
- Les vibrations de la lumière sont perpendiculaires à sa direction de propagation.
- La fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de propagation sont des caractéristiques des ondes.

c'est ok ça vous avez vu, vous avez vu on mate si ce qu'on appelle la dériveille parciel, la dériveille totale la dériveille partielle si j'ai une seule variable ou si j'ai plusieurs variables. Donc maintenant on a une équation qui dit que la dériveille par rapport au temps de y la double deuxième dériveille c'est égal à un coefficient tau divisé par mu fois la deuxième dériveille par rapport à la position et ça c'est ce qu'on appelle une équation d'ondes. Quand vous avez une fonction de l'espace et du temps et que la deuxième dériveille par rapport au temps était proportionnelle à la deuxième dériveille par rapport à l'espace, ça ça s'appelle une équation d'ondes et ça veut dire que quand j'ai ça je vais avoir une onde qui peut se développer c'est pour ça que ce résultat de D'Alembert, donc on appelle ça l'équation d'Alembert est importante et vous allez écrire ça sur une corde vous pouvez écrire ça dans l'air, vous pouvez écrire ça dans l'eau vous pouvez écrire ça avec un champ électrique dans l'espace, vous pouvez écrire ça avec un champ magnétique dans l'espace

notes

résumé

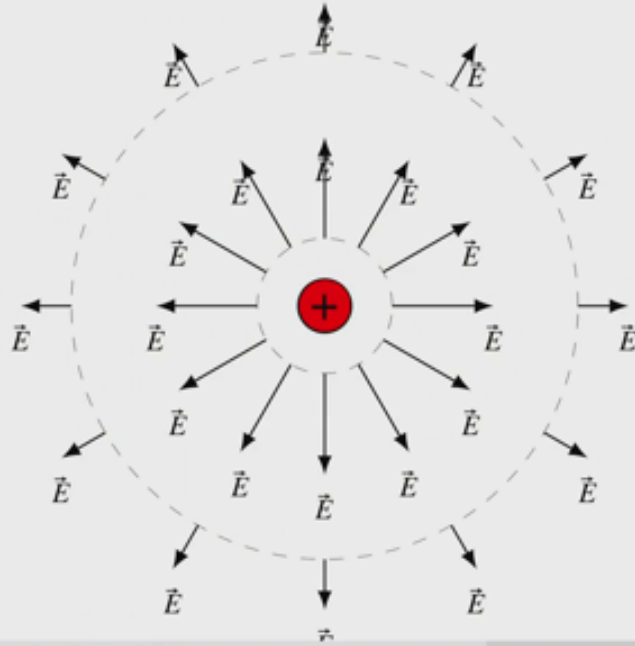
31m 57s



2.3.2 Champ électrique autour d'une charge

Une charge électrique dans l'espace crée un champ électrique \vec{E} radial autour d'elle.

Que se passe-t-il si la charge est accélérée ?



ça veut dire chaque fois que vous avez une onde. C'est pour ça que je vous ai montré cette équation

notes

résumé

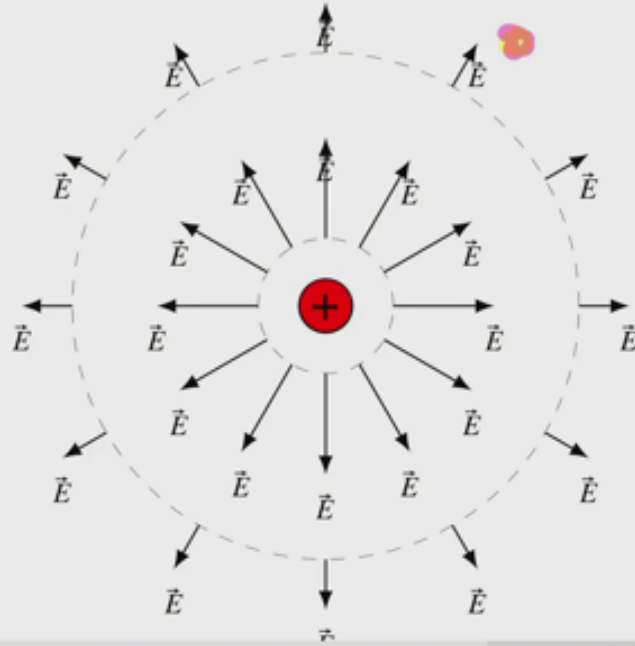
33m 22s



2.3.2 Champ électrique autour d'une charge

Une charge électrique dans l'espace crée un champ électrique \vec{E} radial autour d'elle.

Que se passe-t-il si la charge est accélérée ?



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

33 / 65

parce que c'est ça qui fonde le fait qu'on a une onde, ça veut dire qu'on arrive à mettre en évidence une équation d'ondes une équation d'ondes c'est chaque fois que j'ai la dérivée seconde par rapport au temps d'une des variables qui m'intéresse une variable locale est égale à un nombre de fois on a un coefficient là dans ce cas là c'est l'attention divisée par μ c'est en général toujours quelque chose qui a l'élasticité qui est divisée par quelque chose qui est de l'ordre de la facteur d'inertie donc une masse par rapport à un mouvement où en électricité il va y avoir une perméabilité au champ électrique ou une perméabilité au champ magnétique c'est toujours lié à une inertie donc l'inertie c'est quelque chose qui s'oppose au mouvement, qui s'oppose au changement donc typiquement chez Newton c'est la masse parce que c'est la masse qui fait que vous devez accélérer et que si il n'y avait pas de masse vous pourriez accélérer tout ce que vous voulez c'est la masse qui fait la relation entre la force et l'accélération donc dans le cas des ondes acoustiques ce rapport s'est égal au carré

notes

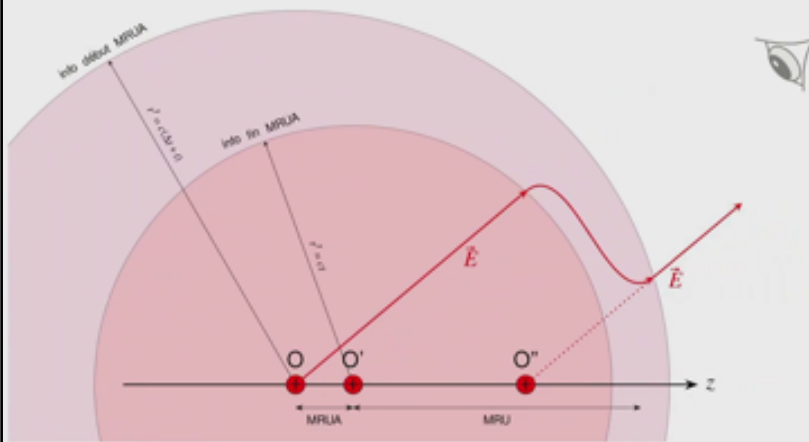
résumé

33m 26s



Une perturbation du champ électromagnétique

2.3.4



On regarde ce qui se passe si la charge est accélérée entre O et O'

Vidéo explicative (16min)

- Les élec
- Solu
- Rés
- Vers cour

de la vitesse du son dans le milieu où on est et ça va donner donc c'est égal à la racine de la tension divisé par la masse linéique dans l'air vous aurez quelque chose qui va être lié la tension ça va être lié à la pression et puis le μ ça va être lié à la densité donc il y aura toujours ce rapport entre des éléments d'inertie et d'institut c'est bien ce qui se passe dans une onde il y a une partie de l'énergie qui va être transférée il faut que ça résiste un peu à des placements c'est l'élasticité qui explique comment les choses vont résister et puis vous avez besoin aussi quelque chose qui va transmettre l'énergie ça va être l'inertie qui va faire ça le principe d'inertie qui va faire ça ce qu'est une équation d'onde et comment dans un cas très simple on arrive à la résoudre alors c'est une équation différentielle, une équation au dérivé partiel ça se résout pas comme avec un claquement de doigts des systèmes qui, enfin des solutions les sinus et les cosinus sont des solutions de ces équations-là et donc c'est pour ça qu'après il y a l'analyse de fourrier qui travaille avec des sinus et des cosinus et il y a toute une manière de résoudre ces équations on va pas aller plus loin dans cet aspect-là, ce qui était important pour moi c'est vous montrer ce qu'est une équation d'onde alors bon, puisqu'on a une équation d'onde et qu'on dit que la lumière est une onde électromagnétique, on doit trouver une équation d'onde qui représente qui représente ça donc ça veut dire que j'ai besoin aussi par rapport à ce que j'ai dit sur des ondes, j'ai besoin de savoir c'est quoi

notes

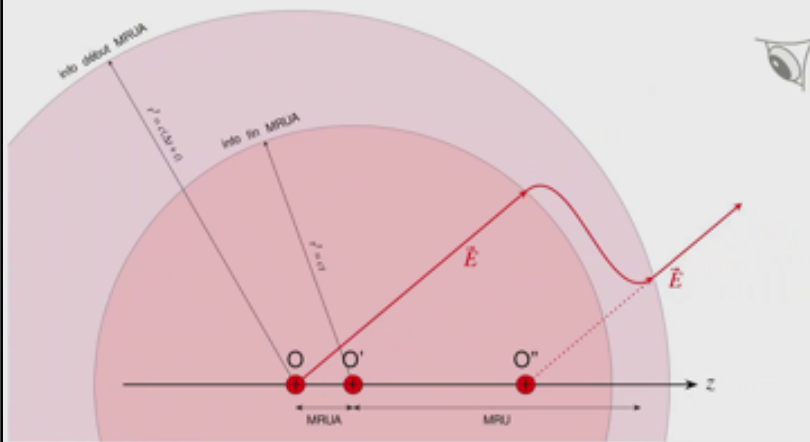
résumé

34m 47s



Une perturbation du champ électromagnétique

2.3.4



On regarde ce qui se passe si la charge est accélérée entre O et O'

Vidéo explicative (16min)

- Les élec
- Solu
- Rés
- Vers cour

la perturbation dont on parle et puis on a encore besoin de savoir c'est-on, est-ce que c'est une onde qui est longitudinale, ça veut dire c'est une perturbation qui va dans le sens où on se déplace ou est-ce qu'on est plutôt dans une onde qui est perpendiculaire, qui a une variation qui est perpendiculaire à la manière dont elle se déplace et c'est le cas des ondes lumineuses comme l'histoire de la corde alors que le son je vous ai déjà expliqué, la pression elle varie dans la même direction que varie la progression du son

notes

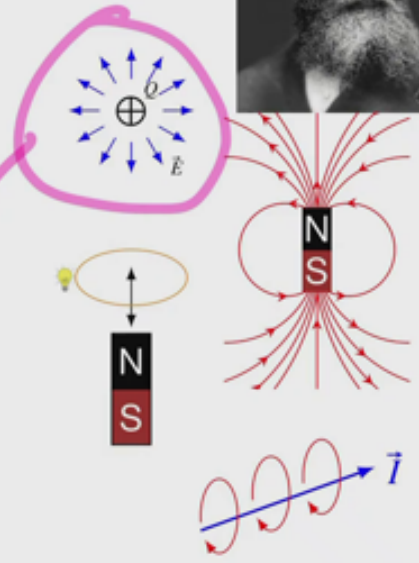
résumé

2.3.4 Équations de Maxwell (1865)



- Les équations de Maxwell synthétisent les connaissances sur électricité et le magnétisme au milieu du XIX^e siècle
- Solution algébrique dans les situations simples
- Résolution numérique dans les autres situations
- Version: formulation locale dans le vide (pas de charge, pas de courant):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Gauss E : } \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \\ \text{Gauss M : } \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \\ \text{Faraday : } \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{Ampère : } \vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{array} \right.$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

35 / 65

et puis comme c'est une onde la lumière est une onde une onde ça veut dire qu'on aura des fréquences, des longueurs d'ondes et tous ces éléments-là qui représentent les caractéristiques du dôme alors ça je vous avais déjà présenté c'est juste un rappel, je vous avais présenté au début je vous avais dit une onde électromagnétique ça veut dire qu'il y a déjà on va partir d'une charge une charge elle a la caractéristique, la propriété de créer autour d'elle un champ un champ électrique donc là c'est un plus, on pense c'est un proton mais ce serait la même chose, si ce n'est que les flèches ce serait dans l'autre sens mais c'est la même chose donc autour d'une charge, il y a un champ radial qui elle a l'impact de la charge sur l'espace, la même manière si vous mettez une masse, il y a un champ gravifique qui va s'établir autour de la masse, qui fait que n'importe quelle masse qui va se trouver à proximité va sentir qu'il y a une masse là et puis va être attirée alors dans l'aspect gravifique il n'y a que des attractions alors que dans l'aspect électrique il y a des attractions et des répulsions à cause de ce champ électrique, si je mets quelque part par là une charge si elle est positive, elle va être repoussée si elle était électrique, si elle est négative, elle serait attirée si je mets un électron, il va arriver sur le proton si je mets un autre proton, il va fuir mais si maintenant on va tout parler d'un électron mais en plus ça ne change rien de l'explication cet électron va éventuellement être accéléré c'est ce qui va se passer par exemple quand les électrons vont passer d'une orbitale

notes

résumé

37m 48s

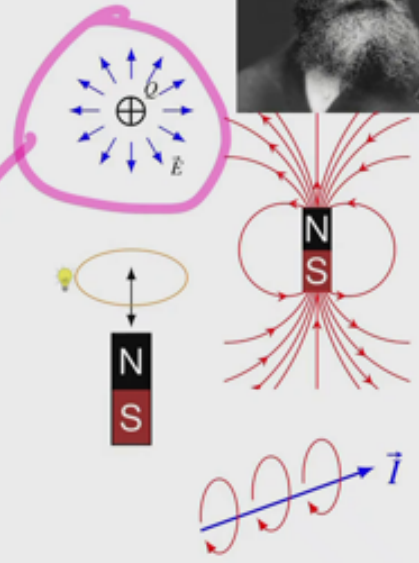


2.3.4 Équations de Maxwell (1865)



- Les équations de Maxwell synthétisent les connaissances sur électricité et le magnétisme au milieu du XIX^e siècle
- Solution algébrique dans les situations simples
- Résolution numérique dans les autres situations
- Version: formulation locale dans le vide (pas de charge, pas de courant):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Gauss E : } \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \\ \text{Gauss M : } \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \\ \text{Faraday : } \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{Ampère : } \vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{array} \right.$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

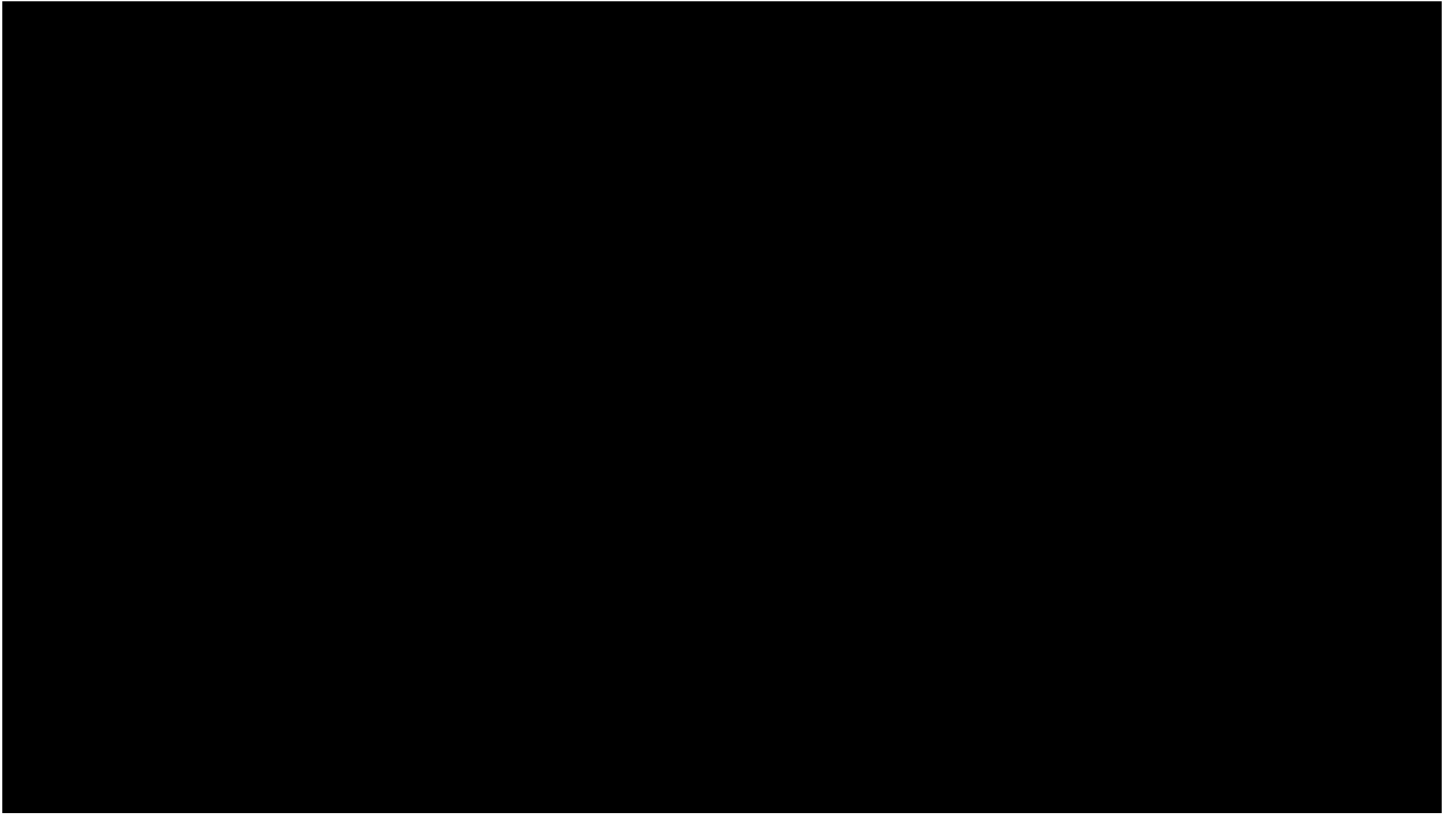
March 25, 2025

35 / 65

à une autre il va y avoir une accélération de l'électron donc là vous avez un cercle qui est en rouge clair et il représente le fait que au moment où vous avez votre l'électron est en haut, il va être accéléré, c'est information qui est accéléré donc ça veut dire la déformation du champ électrique autour de lui j'ai besoin d'informations pour le changer alors c'est pas des petits bonhommes qui vont changer les démons de Maxwell qui vont changer mais ça veut dire que c'est information du fait que la charge a changé de position elle doit arriver quelque part dans l'espace et bien la formation elle peut pas aller plus vite que la vitesse de la lumière donc c'est pour ça que c'est représenté sous la forme d'un cercle qui va avec le temps augmenter petit à petit le fait que j'ai commencé à accélérer ma charge, je vais arriver jusqu'au bout de l'univers puis moi je vais accélérer ma charge entre haut et au prime, bien au prime elle va obtenir une vitesse et elle va rester la même vitesse, on va faire autre chose en sérieuse c'est intéressant, c'est ce qui se passe entre haut et au prime

notes

résumé



donc ce qui se passe en haut prime c'est que là j'arrête d'accélérer donc ça veut dire depuis ce moment-là le champ électrique il doit rester le même puisqu'il accélère plus il n'y a aucune raison de changer le champ électrique donc ça représente il faut un certain moment pour que cette information arrive aussi donc ça représente le cercle qui est en rose un petit peu plus foncé un petit peu plus prononcé donc si vous regardez c'est pas dit que l'oeil soit bien placé en fait l'oeil il faudrait le placer juste contre la partie rose clair donc l'oeil reçoit pendant un moment l'information que le champ électrique est dans une direction et puis pendant un moment on sait pas trop ce qui se passe et c'est ça la perturbation en fait la perturbation dont on parle dans ce cas là c'est le fait que pendant tout petit laps de temps l'orientation du champ électrique elle est pas claire elle est perturbée et c'est ça le photon expliqué avec les mains avec les doigts

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....



2.4.14 Camera ultra rapide: 100'000 images/s



Technologie de capteur

Les caméras à haute vitesse s'appuient sur des technologies de capteurs avancées comme le CMOS et le CCD pour capturer efficacement les mouvements rapides avec une interférence de bruit minimale. Les capteurs CMOS sont particulièrement appréciés dans ce type de caméras pour leur faible consommation d'énergie et leurs vitesses de lecture plus rapides. Cela rend la technologie CMOS idéale pour les séquences à haute vitesse, car elle assure une capture fluide des événements rapides sans compromettre la qualité de l'image. La capacité du CMOS à fournir un retour d'information en temps réel et une performance supérieure dans diverses conditions améliore considérablement la fonctionnalité des caméras à haute vitesse.

Vitesse d'obturation et sensibilité à la lumière

La vitesse d'obturation est une fonction critique des caméras haute vitesse, car elle doit être suffisamment rapide pour figer le mouvement et éviter la floue de mouvement. Cela est essentiel pour analyser précisément les sujets en mouvement rapide. De plus, la sensibilité à la lumière joue un rôle important dans les performances de l'appareil, surtout dans les environnements faiblement éclairés comme la surveillance nocturne et les arènes sportives intérieures. Les caméras haute vitesse doivent équilibrer la sensibilité et la vitesse d'obturation pour fournir des images claires, même dans des conditions de luminosité difficiles.

Stockage et gestion des données

Le volume de données immense généré par des taux d'images élevés nécessite des solutions de stockage sophistiquées telles que des SSD haute vitesse pour s'assurer que aucune image n'est perdue. De plus, des systèmes de gestion de données efficaces sont cruciaux pour gérer les grandes tailles de fichiers provenant des enregistrements à haute vitesse, qui sont essentiels pour un traitement et une analyse postérieurs approfondis. Cela permet aux utilisateurs d'extraire des informations précieuses des enregistrements sans rencontrer de goulots d'étranglement liés aux données, tout en maintenant l'intégrité des captures haute vitesse.

à la fin du 19e du 19e siècle on a déjà compris pas mal de choses avec l'électricité on a en paire qui a fait une théorie de ce que je vous explique des particules on a pas encore découvert l'électron mais en fait le fait qu'une charge négative va avoir une dynamique on est capable de faire l'électrodynamique ça veut dire d'expliquer selon les lois de Newton avec en plus les influences des forces électriques qui va se passer à une particule qui rentre dans un champ et tout ces choses là et puis un écossais Maxwell va réussir à mettre les équations ensemble et c'est ce qu'on appelle les équations de Maxwell et c'est ce qui fond au niveau écrit on avait bien commencé à comprendre qu'il y avait des liens de l'électricité et le magnétisme mais en tout cas c'est ces équations là qui vont rassembler ce qu'on sait au niveau des champs électriques et des champs magnétiques donc là je vous les montre pour faire le malin mais on ne va pas travailler dessus on ne va pas vous demander de travailler sur ces équations comme déjà les équations d'on je vous ai dit que c'était pas hyper simple à traiter ça c'est encore plus compliqué parce que ça c'est un système d'équations c'est pas une équation à résoudre c'est quatre équations à résoudre en même temps mais c'est quand même intéressant de savoir ce qu'elle dise ces équations alors là il y a plusieurs formes là je vous ai donné celles qui expliquent ce qui se passe dans le vide où on a du champ électrique du champ magnétique qui peut s'influencer dans l'autre mais il n'y a pas de charge donc ce qu'on est en train de regarder dans l'espace qu'on est en train

notes

résumé

42m 26s



2.4.14 Camera ultra rapide: 100'000 images/s



Technologie de capteur

Les caméras à haute vitesse s'appuient sur des technologies de capteurs avancées comme le CMOS et le CCD pour capturer efficacement les mouvements rapides avec une interférence de bruit minimale. Les capteurs CMOS sont particulièrement appréciés dans ce type de caméras pour leur faible consommation d'énergie et leurs vitesses de lecture plus rapides. Cela rend la technologie CMOS idéale pour les séquences à haute vitesse, car elle assure une capture fluide des événements rapides sans compromettre la qualité de l'image. La capacité du CMOS à fournir un retour d'information en temps réel et une performance supérieure dans diverses conditions améliore considérablement la fonctionnalité des caméras à haute vitesse.

Vitesse d'obturation et sensibilité à la lumière

La vitesse d'obturation est une fonction critique des caméras haute vitesse, car elle doit être suffisamment rapide pour figer le mouvement et éviter la floue de mouvement. Cela est essentiel pour analyser précisément les sujets en mouvement rapide. De plus, la sensibilité à la lumière joue un rôle important dans les performances de l'appareil, surtout dans les environnements faiblement éclairés comme la surveillance nocturne et les arènes sportives intérieures. Les caméras haute vitesse doivent équilibrer la sensibilité et la vitesse d'obturation pour fournir des images claires, même dans des conditions de luminosité difficiles.

Stockage et gestion des données

Le volume de données immense généré par des taux d'images élevés nécessite des solutions de stockage sophistiquées telles que des SSD haute vitesse pour s'assurer que aucune image n'est perdue. De plus, des systèmes de gestion de données efficaces sont cruciaux pour gérer les grandes tailles de fichiers provenant des enregistrements à haute vitesse, qui sont essentiels pour un traitement et une analyse postérieurs approfondis. Cela permet aux utilisateurs d'extraire des informations précieuses des enregistrements sans rencontrer de goulots d'étranglement liés aux données, tout en maintenant l'intégrité des captures haute vitesse.

d'analyser il n'y a pas de charge donc la première loi qui quand on l'exprime puis qu'il y a des charges normalement c'est de dire que c'est la concentration de charge qui crée le champ donc la loi de charge parce que vous êtes dans le vide ça veut dire que je sais pas si vous savez lire ce que j'ai écrit ça s'appelle la divergence donc c'est la généralisation de la dérivée par rapport à l'espace c'est la somme des dérivées dans les trois dimensions de l'espace et vous voyez que c'est un produit scalaire donc c'est un résultat scalaire c'est pas un résultat vectoriel qui donne ce résultat je sais pas si vous savez ce triangle à l'envers on l'appelle nabla donc ça représente la divergence et bien ça vaut 0 alors il y a un schéma que j'ai représenté qui représente cette équation mais juste pas dans la bonne situation parce que ces 0 s'il n'y a pas de charge donc là j'ai juste exprimé que s'il y a une charge ça fait un champ qui est radial donc s'il y a une charge c'est comme ça s'il n'y a pas de charge il n'y a rien, ça va être constant le champ va pas changer et je vous laisse aller en pause et on continue cette merveilleuse découverte de Maxwell à votre tour de pause ah prenez place on y va Pierre on y va on pense que je peux faire on va le trouver ok avant de reprendre nos équations de Maxwell je voulais vous proposer grâce à à l'aide de Pierre Vetz un merveilleux préparateur des auditoires j'ai pensé quand même qu'on fait de l'optique et puis que vous êtes en science criminelle donc il me semblait que les caméras super rapides étaient

notes

résumé

2.4.14 Camera ultra rapide: 100'000 images/s



Technologie de capteur

Les caméras à haute vitesse s'appuient sur des technologies de capteurs avancées comme le CMOS et le CCD pour capturer efficacement les mouvements rapides avec une interférence de bruit minimale. Les capteurs CMOS sont particulièrement appréciés dans ce type de caméras pour leur faible consommation d'énergie et leurs vitesses de lecture plus rapides. Cela rend la technologie CMOS idéale pour les séquences à haute vitesse, car elle assure une capture fluide des événements rapides sans compromettre la qualité de l'image. La capacité du CMOS à fournir un retour d'information en temps réel et une performance supérieure dans diverses conditions améliore considérablement la fonctionnalité des caméras à haute vitesse.

Vitesse d'obturation et sensibilité à la lumière

La vitesse d'obturation est une fonction critique des caméras haute vitesse, car elle doit être suffisamment rapide pour figer le mouvement et éviter la floue de mouvement. Cela est essentiel pour analyser précisément les sujets en mouvement rapide. De plus, la sensibilité à la lumière joue un rôle important dans les performances de l'appareil, surtout dans les environnements faiblement éclairés comme la surveillance nocturne et les arènes sportives intérieures. Les caméras haute vitesse doivent équilibrer la sensibilité et la vitesse d'obturation pour fournir des images claires, même dans des conditions de luminosité difficiles.

Stockage et gestion des données

Le volume de données immense généré par des taux d'images élevés nécessite des solutions de stockage sophistiquées telles que des SSD haute vitesse pour s'assurer que aucune image n'est perdue. De plus, des systèmes de gestion de données efficaces sont cruciaux pour gérer les grandes tailles de fichiers provenant des enregistrements à haute vitesse, qui sont essentiels pour un traitement et une analyse postérieurs approfondis. Cela permet aux utilisateurs d'extraire des informations précieuses des enregistrements sans rencontrer de goulots d'étranglement liés aux données, tout en maintenant l'intégrité des captures haute vitesse.

quelque chose d'intéressant en prenant la pause j'ai mis quelques quelques-uns de 3 images que j'avais mais on est capable d'en produire ici j'ai un slide je vous le transmettrai à la fin de il vient d'en fin du chapitre je vais le recharger, vous ne l'avez pas actuellement ce slide, il sera tout à la fin du chapitre je vous le mettrai en fait c'est intéressant pour faire des images on en a besoin en science vous en avez éventuellement besoin en ballistique ou des choses comme ça ça peut être intéressant d'avoir une caméra ultra rapide on en fait quand même un assez grand usage pour comprendre ce qui se passe vraiment on a besoin de l'optique, on a besoin de voir donc là vous avez quelques éléments c'est plus pour votre distraction qu'autre chose avec une caméra qui vaut 10 000 francs 16 000 francs combien ? ça dépend je ne veux pas dire le prix c'est cher on arrive à faire des choses très très intéressantes on a besoin et ça c'est la limite de la technologie on a besoin d'avoir une très belle optique pour bien capturer les choses on a besoin surtout d'une gestion ensuite de l'information qui soit hyper rapide parce qu'à 100 000 images par seconde donc ça veut dire qu'il faut réussir à gérer l'information en un 100 000ème de seconde il faut pouvoir j'espère combien il y a un million de pixels il y a combien ? ça correspond à 1200-800 c'est du standard c'est pas énorme il faut faire le calcul c'est pas loin donc on va juste vous faire une démonstration les chiffres qui valent ce qui valent mais on est vraiment au niveau technologique qui sont vraiment à la pointe de ce qu'on est capable de faire

notes

résumé

2.4.14 Camera ultra rapide: 100'000 images/s



Technologie de capteur

Les caméras à haute vitesse s'appuient sur des technologies de capteurs avancées comme le CMOS et le CCD pour capturer efficacement les mouvements rapides avec une interférence de bruit minimale. Les capteurs CMOS sont particulièrement appréciés dans ce type de caméras pour leur faible consommation d'énergie et leurs vitesses de lecture plus rapides. Cela rend la technologie CMOS idéale pour les séquences à haute vitesse, car elle assure une capture fluide des événements rapides sans compromettre la qualité de l'image. La capacité du CMOS à fournir un retour d'information en temps réel et une performance supérieure dans diverses conditions améliore considérablement la fonctionnalité des caméras à haute vitesse.

Vitesse d'obturation et sensibilité à la lumière

La vitesse d'obturation est une fonction critique des caméras haute vitesse, car elle doit être suffisamment rapide pour figer le mouvement et éviter la floue de mouvement. Cela est essentiel pour analyser précisément les sujets en mouvement rapide. De plus, la sensibilité à la lumière joue un rôle important dans les performances de l'appareil, surtout dans les environnements faiblement éclairés comme la surveillance nocturne et les arènes sportives intérieures. Les caméras haute vitesse doivent équilibrer la sensibilité et la vitesse d'obturation pour fournir des images claires, même dans des conditions de luminosité difficiles.

Stockage et gestion des données

Le volume de données immense généré par des taux d'images élevés nécessite des solutions de stockage sophistiquées telles que des SSD haute vitesse pour s'assurer que aucune image n'est perdue. De plus, des systèmes de gestion de données efficaces sont cruciaux pour gérer les grandes tailles de fichiers provenant des enregistrements à haute vitesse, qui sont essentiels pour un traitement et une analyse postérieurs approfondis. Cela permet aux utilisateurs d'extraire des informations précieuses des enregistrements sans rencontrer de goulots d'étranglement liés aux données, tout en maintenant l'intégrité des captures haute vitesse.

donc là en fait là on a la petite vidéo qu'on a faite celle-ci elle est tournée à 3 000 images seconde c'est pas très rapide mais c'est déjà beaucoup plus que ce qu'on peut faire avec du matériel conventionnel on voit déjà pas mal de détails pour la mécanique ça c'est déjà pas mal et puis cette caméra peut... alors ça c'est en pleine résolution on peut monter à cette vitesse après on peut monter jusqu'à 650 000 images seconde mais là on est on est limité à une résolution de 128 x 8 pixels c'est une question de bande passante même si on calcule tous les 650 000 secondes on va on va prendre 1000 pixels on va prendre 1000 pixels c'est énorme sans contexte il y a la formation couleur il y a 3 informations je ne sais pas combien de niveau de... peut-être 256 de luminosité on va essayer on peut essayer de faire... si je reviens ici on voit que l'un des problèmes c'est que je vais mettre quelque chose ici que si on travaille à 3 000 images seconde avec la lumière normale ça suffit pas on peut essayer d'ouvrir le diaphragme au maximum il n'y a pas assez si on ouvre le diaphragme on perd en nette ça c'est embêtant il faut mettre la lumière ici je vais essayer de faire la nette là on est nette mais on voit que c'est difficile de faire la nette donc je vais fermer un peu le diaphragme ça c'est déjà mieux par contre on manque tout de suite de lumière si par exemple je me mets en on va augmenter le on va augmenter la vitesse là je vais mettre un on va essayer d'aller à 10 000 non on va déjà aller à

notes

résumé

2.4.14 Camera ultra rapide: 100'000 images/s



Technologie de capteur

Les caméras à haute vitesse s'appuient sur des technologies de capteurs avancées comme le CMOS et le CCD pour capturer efficacement les mouvements rapides avec une interférence de bruit minimale. Les capteurs CMOS sont particulièrement appréciés dans ce type de caméras pour leur faible consommation d'énergie et leurs vitesses de lecture plus rapides. Cela rend la technologie CMOS idéale pour les séquences à haute vitesse, car elle assure une capture fluide des événements rapides sans compromettre la qualité de l'image. La capacité du CMOS à fournir un retour d'information en temps réel et une performance supérieure dans diverses conditions améliore considérablement la fonctionnalité des caméras à haute vitesse.

Vitesse d'obturation et sensibilité à la lumière

La vitesse d'obturation est une fonction critique des caméras haute vitesse, car elle doit être suffisamment rapide pour figer le mouvement et éviter la floue de mouvement. Cela est essentiel pour analyser précisément les sujets en mouvement rapide. De plus, la sensibilité à la lumière joue un rôle important dans les performances de l'appareil, surtout dans les environnements faiblement éclairés comme la surveillance nocturne et les arènes sportives intérieures. Les caméras haute vitesse doivent équilibrer la sensibilité et la vitesse d'obturation pour fournir des images claires, même dans des conditions de luminosité difficiles.

Stockage et gestion des données

Le volume de données immense généré par des taux d'images élevés nécessite des solutions de stockage sophistiquées telles que des SSD haute vitesse pour s'assurer que aucune image n'est perdue. De plus, des systèmes de gestion de données efficaces sont cruciaux pour gérer les grandes tailles de fichiers provenant des enregistrements à haute vitesse, qui sont essentiels pour un traitement et une analyse postérieurs approfondis. Cela permet aux utilisateurs d'extraire des informations précieuses des enregistrements sans rencontrer de goulots d'étranglement liés aux données, tout en maintenant l'intégrité des captures haute vitesse.

7 200 alors je vais mettre 1, non je vais mettre à 10 000 comme ça on va voir ce que ça donne on va essayer de faire le ballon 10 000 images seconde donc là on voit déjà que c'est déjà un petit peu limite je vais juste refaire la la balance des blancs

notes

résumé

2.3.4 Équations de Maxwell (1865)



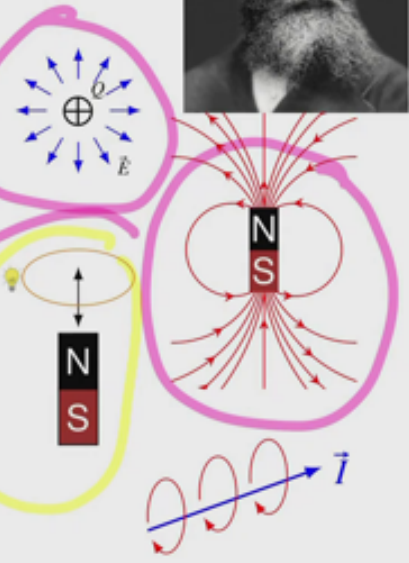
- Les équations de Maxwell synthétisent les connaissances sur électricité et le magnétisme au milieu du XIX^e siècle
- Solution algébrique dans les situations simples
- Résolution numérique dans les autres situations
- Version: formulation locale dans le vide (pas de charge, pas de courant):

$$\text{Gauss E : } \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\text{Gauss M : } \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\text{Faraday : } \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{Ampère : } \vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

35 / 65

on va déjà juste essayer de faire peut-être on refait une vidéo pour voir déjà juste donc là en fait on a on a un laps de temps de 0 à 3 secondes donc en fait on a un trigger qui doit prendre un peu près au milieu à des certaines vitesses il faut trigger ça électroniquement parce qu'on y arrive plus manuellement donc je te dirais top on devrait pas être très faux je vais essayer de m'arrêter comme avant t'es sûr t'es prêt ? top je sais peut-être pas si mal on verra non ça doit aller normalement donc ce qui est incroyable avec cette caméra c'est filmant permanent le moment où on appuie ça va transférer toute l'information dans une rame externe mais ça ça prend du temps donc on verra là le trigger est vers la fin donc déjà on a pas c'est 3000 à 10 000 et puis on voit que c'est ça prend du temps et là on voit que il y a plus d'informations mais c'est donc là je n'en peux à côté mais ça suffit pour l'allumer donc on voit déjà on voit déjà un nombre de détails ça sera un autre monde on est dans une autre dimension ça c'est juste l'allumette qui s'allume mais ça nous finit plus donc là on a accès à un niveau d'information de détails qui est assez intéressant on peut essayer de faire le ballon simplement tu vas appuyer comme ça faire le bruit on verra ce que ça donne en général on fait 2-3 essais pour on va faire comme ça ça va être assez rigolo je vais désoumer on va faire comme ça alors quand ça fait le bruit tu appuies ok on y va on va faire ça va faire c'est comme

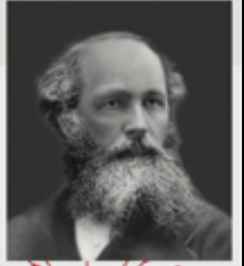
notes

résumé

51m 22s



2.3.4 Équations de Maxwell (1865)



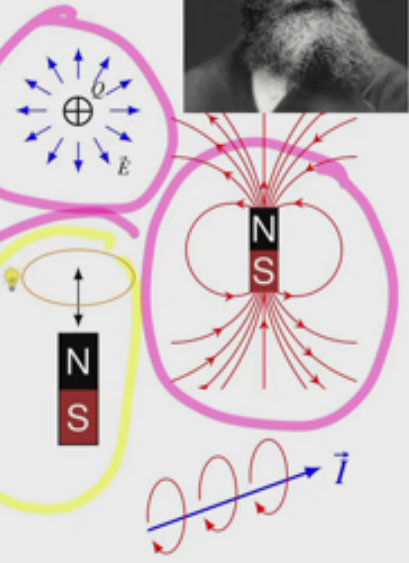
- Les équations de Maxwell synthétisent les connaissances sur électricité et le magnétisme au milieu du XIX^e siècle
- Solution algébrique dans les situations simples
- Résolution numérique dans les autres situations
- Version: formulation locale dans le vide (pas de charge, pas de courant):

$$\text{Gauss E : } \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\text{Gauss M : } \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\text{Faraday : } \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{Ampère : } \vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

35 / 65

ça prend il y a un trigger on verra mais je pense qu'on aura ça va jouer alors le cadrage est pas excellent mais c'est très rapide normalement on va voir j'aurais dû le faire plus haut souvent avec ces caméras rapides ce qui conduit en temps c'est la mise en place c'est le pour avoir ce qu'on veut pour avoir le bon éclairage la bonne ouverture la bonne profondeur de champ même en voie qu'à 10 000 images secondes c'est court je vais juste regarder je sais pas si on peut l'avancer je vais essayer d'en arrêter on va voir on voit rien mais toi ça c'est image par image ça c'est un 10 000 secondes alors on verra ah quand même on va bien on va dire qu'il y a un attends ça fait mais ça dure donc ça a duré 10 images 10 000 secondes si je vais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ou à peut-être 20 000 secondes super merci Pierre ça fait une pause au milieu des équations donc on était au milieu des, enfin, à la fin de la première équation de Maxwell qui, quand il y a une charge dit finalement le champ électrique autour de la charge, il est radial il y a là une équation similaire par rapport au champ magnétique donc comme il n'y a pas de charge de champ magnétique, cette équation s'écrit la même chose qu'on soit dans le vide sans charge qui aille des charges électriques autour elle va être la même chose

notes

résumé

2.3.5 Équation d'onde

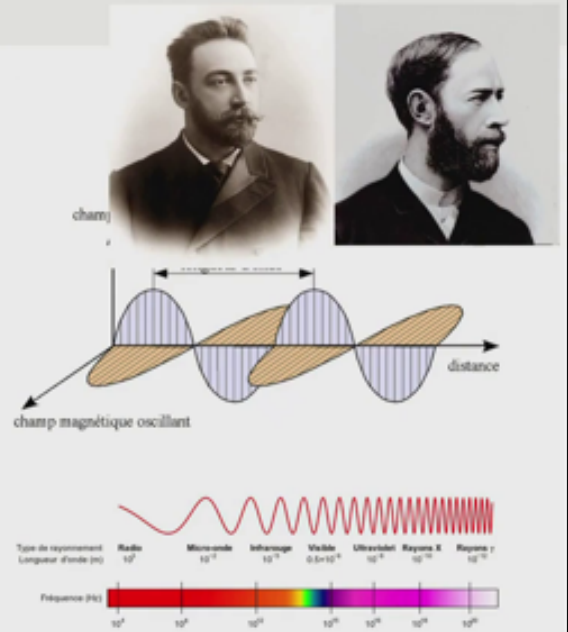
A partir des équations de Maxwell, on s'est rendu compte qu'une équation d'onde pouvait être déterminée: on avait enfin compris ce qu'était la lumière, une onde électromagnétique. Piotr Lebedev (1866-1912), Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à les mettre en évidence expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases}$$

avec $\Delta \bullet = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 \bullet}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des séries de fonctions sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega_i t)$$



et elle est représentée

notes

résumé

56m 45s



Maxwell (1865)

thésisent les connaissances sur
milieu du XIX^e siècle
tuations simples
autres situations
s le vide (pas de charge, pas de

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Physique Générale II

March 25, 2025

35 / 65

2.3.5 Équation d'onde

A partir des équations de Maxwell, on a pu enfin comprendre ce qu'était la lumière électromagnétique. Piotr Lebedev et Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à le démontrer expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \Delta \vec{B} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases}$$

avec $\Delta \bullet = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 \bullet}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des ondes sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(kr - \omega t)$$

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

par ce dessin là qui représente ce qui se passe autour d'un aimant qu'on a un champ magnétique qui va s'installer autour d'un aimant mais les commentistes n'est pas à votre programme cette année mais il n'y a pas de charge magnétique il y a toujours un moment magnétique donc il y a toujours la charge et c'est l'aspect moins qui sont liés

notes

résumé

56m 50s



Maxwell (1865)

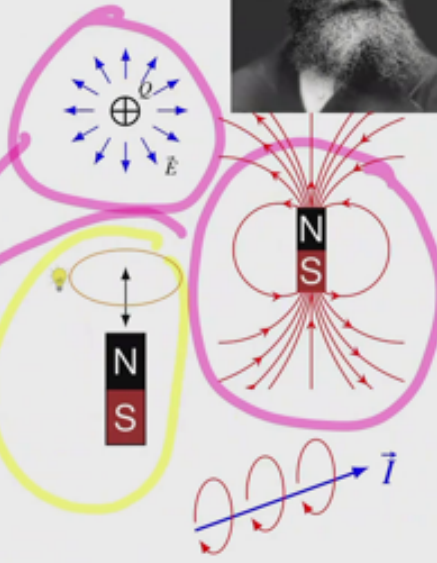
synthétisent les connaissances sur
le milieu du XIX^e siècle
des situations simples
et les autres situations
dans le vide (pas de charge, pas de

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



Physique Générale II

March 25, 2025

35 / 65

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

2.3.5 Équation d'onde

A partir des équations de Maxwell, on peut enfin comprendre ce qu'était la lumière électromagnétique. Piotr Lebedev et Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à le démontrer expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = \\ \Delta \vec{B} = \end{cases}$$

avec $\Delta \bullet = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 \bullet}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des ondes sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r}$$

donc ça va faire un champ qui a cet espère un petit peu en papillon ces deux lois s'appellent les lois de Gauss électrique et magnétique la troisième équation de Maxwell elle fait un lien si vous voyez bien

notes

résumé

57m 18s



2.3.5 Équation d'onde

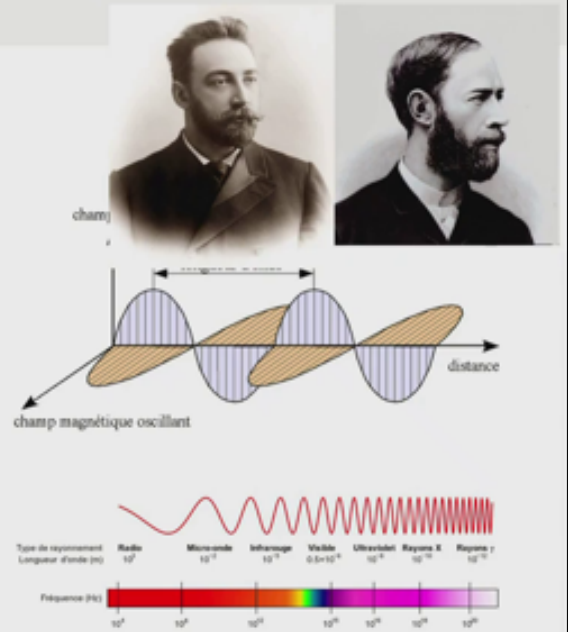
A partir des équations de Maxwell, on s'est rendu compte qu'une équation d'onde pouvait être déterminée: on avait enfin compris ce qu'était la lumière, une onde électromagnétique. Piotr Lebedev (1866-1912), Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à les mettre en évidence expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases}$$

avec $\Delta \bullet = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 \bullet}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des séries de fonctions sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega_i t)$$



entre le champ électrique et le champ magnétique et elle dit alors ce qui est écrit en mathématiques ce qu'on appelle un rotationnel donc ça c'est lié au dérivé mais

notes

résumé

57m 36s



2.3.4 Équations de Maxwell (1865)



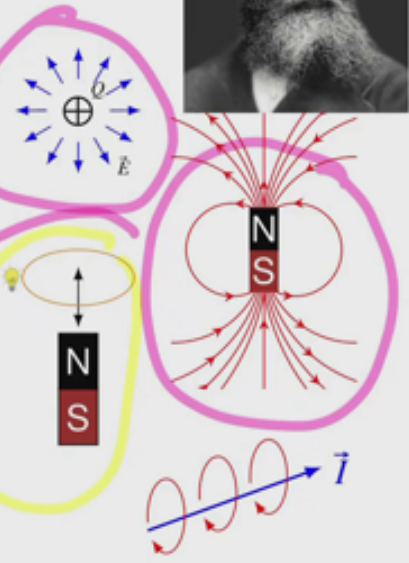
- Les équations de Maxwell synthétisent les connaissances sur électricité et le magnétisme au milieu du XIX^e siècle
- Solution algébrique dans les situations simples
- Résolution numérique dans les autres situations
- Version: formulation locale dans le vide (pas de charge, pas de courant):

$$\text{Gauss E : } \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\text{Gauss M : } \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\text{Faraday : } \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{Ampère : } \vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

35 / 65

c'est plutôt que simplement avoir la somme des dérivés dans toutes les directions on regarde ce qui se passe dans certaines des directions et voir si ça aura une tendance à provoquer une rotation c'est pour ça qu'on appelle ça un rotationnel je ne sais pas si vous avez vu ça en maths

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

57m 52s



2.3.5 Équation d'onde

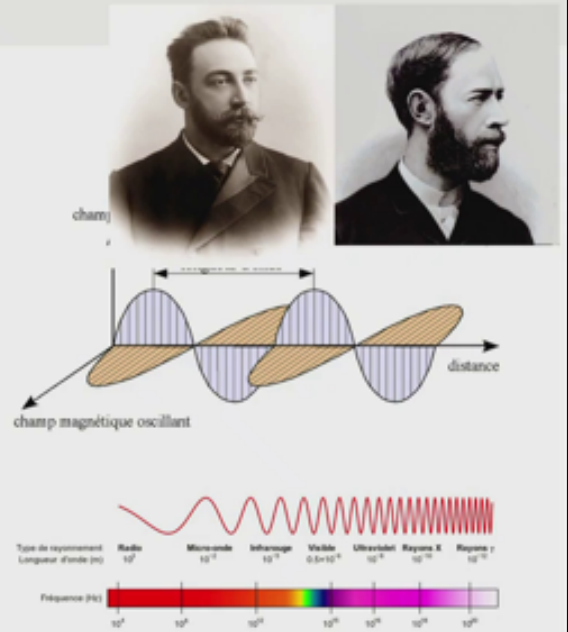
A partir des équations de Maxwell, on s'est rendu compte qu'une équation d'onde pouvait être déterminée: on avait enfin compris ce qu'était la lumière, une onde électromagnétique. Piotr Lebedev (1866-1912), Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à les mettre en évidence expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases}$$

avec $\Delta \bullet = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 \bullet}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des séries de fonctions sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega_i t)$$



vous avez vu déjà ça en maths ou bien pas je ne sais pas si vous le verrez donc vous reconnaissez probablement vous connaissez le système du chapeau là donc ça ça représente ce qu'on appelle le produit vectoriel et ça veut dire que si je multiplie deux vecteurs ça va me donner un vecteur qui est perpendiculaire aux deux vecteurs et que je le multiplie alors là ce qui est un peu particulier c'est qu'un c'est un vecteur et puis l'autre c'est un opérateur de dérivation et puis là on dit que le rotationnel du champ électrique est égal à moins la dérivée par rapport au temps du champ magnétique donc la variation du champ magnétique est liée au champ électrique c'est ça au fond qu'on exprime et puis ça s'appelle la loi de Faraday et puis après donc elle est représentée par ce schéma là hop là ce schéma là donc il y a une boucle de un fil électrique et puis on fait passer on fait déplacer un aimant à l'intérieur de cette boucle et ça va provoquer un courant à l'intérieur de la boucle donc c'est la manière avec les mains d'expliquer cette équation l'équation de Faraday le rotationnel du champ électrique est égal à moins la dérivée du champ magnétique et puis il y a la loi inverse qui dit que le rotationnel du champ magnétique est proportionnel à la variation dans le temps du champ électrique et ça c'est représenté par le quatrième dessin et c'est ce qui va provoquer que si vous avez un courant qui va se déplacer autour du courant vous avez un champ magnétique je vais pas aller plus loin dans l'explication de ça c'est pas l'électromagnétisme n'est pas dans votre programme je veux pas m'absentir à-dessous mais ça c'est

notes

résumé

58m 5s



2.3.5 Équation d'onde

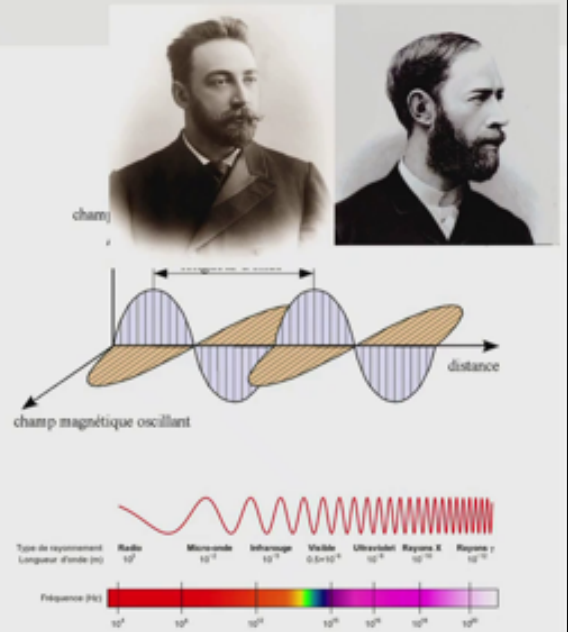
A partir des équations de Maxwell, on s'est rendu compte qu'une équation d'onde pouvait être déterminée: on avait enfin compris ce qu'était la lumière, une onde électromagnétique. Piotr Lebedev (1866-1912), Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à les mettre en évidence expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases}$$

avec $\Delta \bullet = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 \bullet}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des séries de fonctions sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega_i t)$$



quatre équations qui permettent d'expliquer on va dire probablement 90% de ce que vous avez autour de vous les ipads, les téléphones je sais pas inventer n'importe quoi c'est n'importe quoi technologie qui a toujours un phénomène électrique et électromagnétique les moteurs les moteurs électriques etc tout ça est régi par ces équations là je m'attends, enfin je n'ai jamais vous demandé ni de les résoudre ni de les ressortir par coeur etc mais c'est quand même important qu'une fois vous les ayez eu devant vos yeux c'est des équations fondamentales de la physique et à la fin du 19ème siècle on pensait qu'avec ces équations là on avait découvert tout ce qui était possible de découvrir en physique alors quelque chose qui est intéressant c'est que vous voyez ici vous avez le champ électrique et le champ magnétique donc ça veut dire que vous pourriez ces deux équations, l'équation de Faraday l'équation d'Empere vous pourriez la mettre l'une à l'intérieur de l'autre

notes

résumé

2.3.5 Équation d'onde

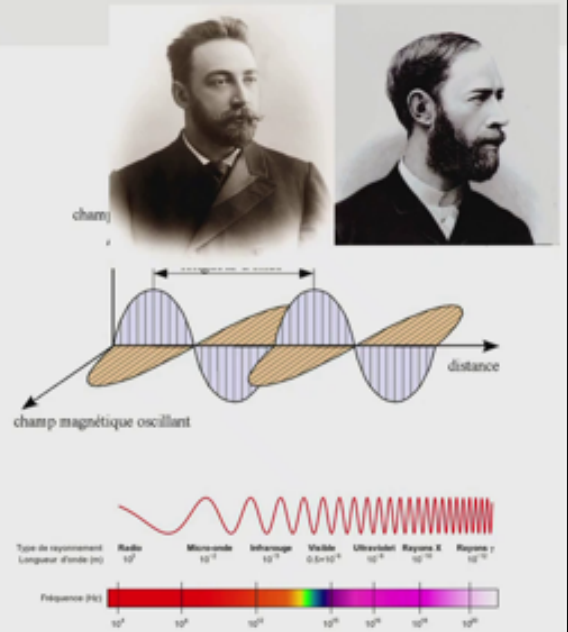
A partir des équations de Maxwell, on s'est rendu compte qu'une équation d'onde pouvait être déterminée: on avait enfin compris ce qu'était la lumière, une onde électromagnétique. Piotr Lebedev (1866-1912), Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à les mettre en évidence expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases}$$

avec $\Delta = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des séries de fonctions sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega_i t)$$



vous pourriez manipuler ces équations de manière à voir ce qui se passe en ayant à un bout de votre équation le champ électrique et à l'autre bout la variation du champ électrique dans le temps et bien si vous faites ça vous arrivez à le faire pour le champ électrique et pour le champ magnétique et vous arrivez à une équation d'ondes et c'est là où je voulais arriver si je vous ai montré tout ça c'est juste pour arriver à ça ça veut dire que on avait on connaissait les ondes lumineuses les ondes sonores on connaissait comment se comportait un tuyau d'orgue, une flûte, un violon etc par contre on n'avait aucune idée ce qui était vraiment la lumière et puis on a réussi enfin c'est pas nous je peux pas dire l'équipe enfin Maxwell et les gens avec qui il a travaillé on réussit à mener ça dans une théorie unifiée et les gens ont commencé mathématiquement à manipuler ces équations et se sont dit mais bon sang il y a une équation d'ondes là on arriverait c'est quoi ces ondes et puis ils sont rendus compte qu'il y avait un sur je ne donne pas plus d'été avec ça mais en fait ici vous aviez un sur la vitesse de la lumière comme par hasard on s'était bien rendu compte alors c'était pas écrit dans la nature quand on l'a fait mais on a eu des chiffres on s'est dit ah mais tiens ça c'est l'inverse de la vitesse de la lumière etc et donc ça veut dire qu'on avait une équation qui nous disait il existe des équations des ondes électromagnétiques mais on n'en avait jamais vu après des gens qui ont dit ah oui la lumière c'est ça mais il s'agissait ensuite de

notes

résumé

61m 14s



2.3.5 Équation d'onde

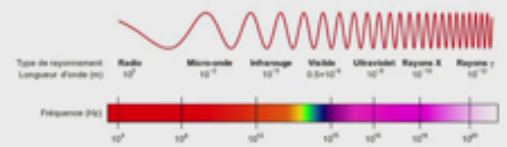
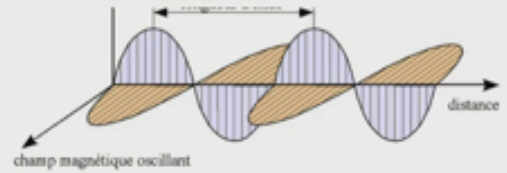
A partir des équations de Maxwell, on s'est rendu compte qu'une équation d'onde pouvait être déterminée: on avait enfin compris ce qu'était la lumière, une onde électromagnétique. Piotr Lebedev (1866-1912), Heinrich Hertz (1857-1894) arriveront à les mettre en évidence expérimentalement.

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases}$$

avec $\Delta \bullet = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 \bullet}{\partial x_j^2}$, le laplacien

Les solutions de cette équation sont des séries de fonctions sinusoïdales (série de Fourier)

$$E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega_i t)$$



les produire comme on voulait et là vous avez deux personnages ça s'appelle Piotrlet Bedev qui a été souvent oublié

notes

résumé

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.



ensuite Heinrich Herz ils se sont dit bon ben on va on va réussir à mettre en évidence ces ondes électromagnétiques donc il a passé des heures et des heures dans son labo au début on n'avait pas les bonnes valeurs on n'aurait pas équilibré les choses correctement et puis les premières étincelles qu'il a réussi à produire elles étaient toutes petites et puis donc il voulait travailler dans le noir etc il a travaillé pendant des années dans le noir à la fin que ça lui a même abîmé la vue et il a finalement les deux indépendamment avec quelques années de différence

notes

résumé

63m 12s



2.4 Polarisation de la lumière

on réussit à fabriquer, à montrer qu'on arrivait à fabriquer des ondes électromagnétiques et puis il y avait les ondes lumineuses, il y avait les ondes radios

notes

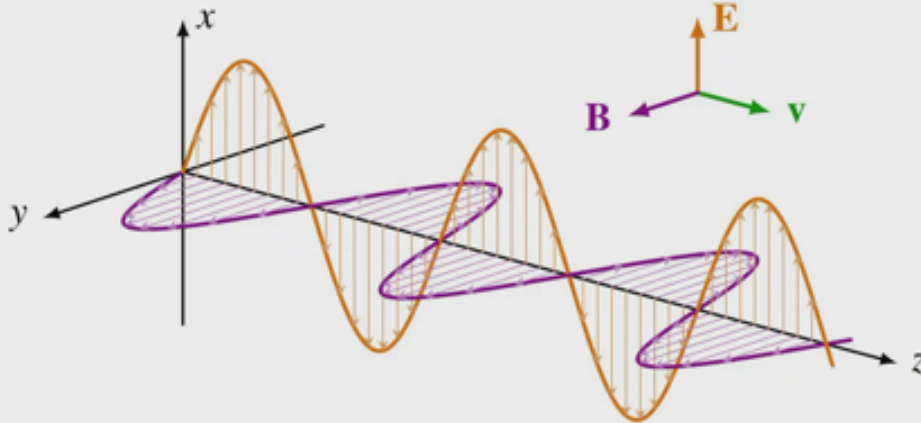
résumé

63m 46s



2.4.2 Polarisation

- La polarisation est un phénomène qui est exclusif aux ondes transverses
- Lors du passage d'un électron à un niveau moins élevé d'énergie un photon polarisé selon un plan est émis
- La polarisation consiste donc à sélectionner des photons



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

49 / 65

il y avait toutes sortes d'ondes électromagnétiques qu'on a réussi à mettre en évidence et c'est à ma connaissance quasiment la seule fois, en tout cas une des rares fois où on a découvert quelque chose parce que les équations nous disaient que c'était possible alors peut-être c'est ce qui va arriver avec les ondes gravitationnelles c'est aussi la même chose mais ça veut dire que normalement il se passe quelque chose puis on envoie une équipe de physicien, de mathématicien, statisticien et à la fin on se dit ah oui voilà ça doit être ça qui s'est passé et là c'est l'inverse qui s'est passé et ça reste assez rare dans l'humanité on avait des équations on s'est dit ah mais ça fait une équation d'ondes cherchons les ondes et on les a trouvées donc voilà c'est presque plus de la description mais donc et l'onde qu'on a trouvée est un petit peu particulière par rapport aux ondes d'une onde acoustique c'est la pression et puis il y a la vitesse de l'air aussi qui va évoluer comme ça dans le temps là mais on a besoin d'un milieu pour les ondes elle est commanditaire on n'a pas besoin de milieu ça peut se passer dans le vide mais quand on a besoin d'un autre on a besoin d'une entre vous avez toujours en fait une double onde vous avez en fait une onde c'est pourquoi on appelle elle électromagnétique vous avez une variation du champ électrique et puis vous avez une variation perpendiculairement une variation du champ magnétique et c'est les équations de Maxwell qui font que quand il y en a un qui change ça fait changer l'autre c'est plus facile d'écrire les équations d'ondes des ondes électromagnétiques alors là il y a encore des êtres

notes

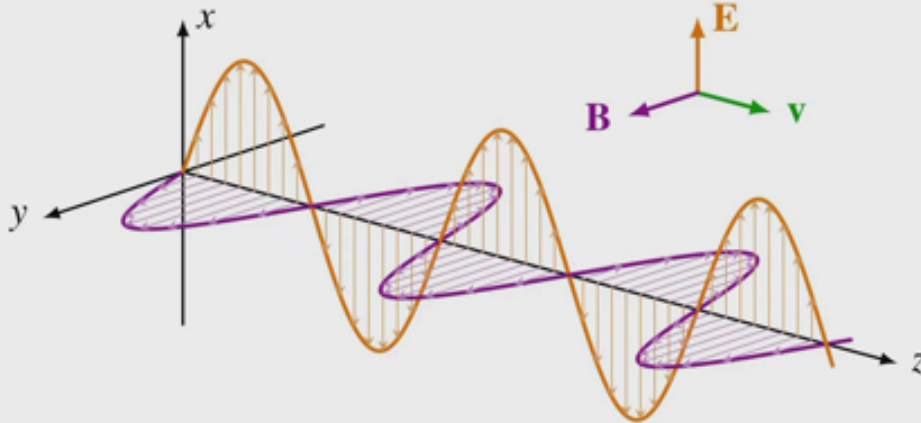
résumé

63m 55s



2.4.2 Polarisation

- La polarisation est un phénomène qui est exclusif aux ondes transverses
- Lors du passage d'un électron à un niveau moins élevé d'énergie un photon polarisé selon un plan est émis
- La polarisation consiste donc à sélectionner des photons



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

49 / 65

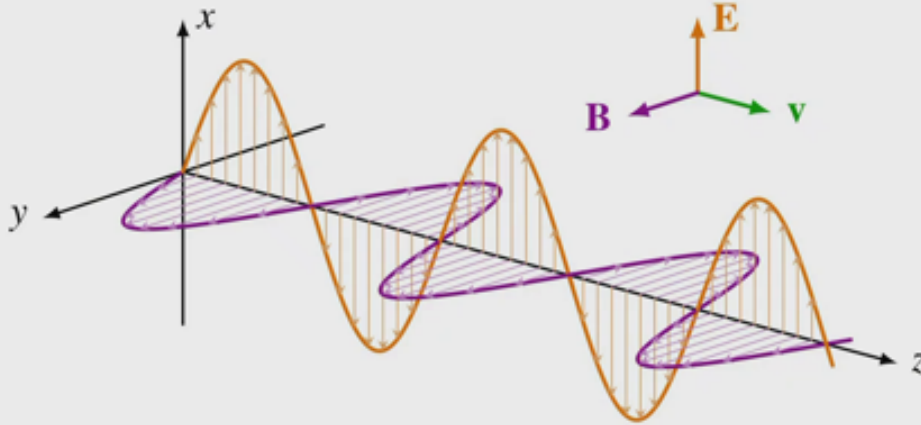
mathématiques que vous n'avez peut-être pas rencontrés souvent là vous avez un triangle avant il était la pointe en bas maintenant il est la pointe en haut et on appelle ça laplacien c'est monsieur Laplace qui a analysé ça j'ai juste expliqué explicitement en bas ce que vous voulez dire ce laplacien donc j'ai écrit le laplacien de quelque chose j'ai mis en point pour dire de quelque chose c'est égal à la somme dans les 3 directions de l'espace on parle les 3 directions de l'espace des la dérivée seconde par rapport aux directions de l'espace donc avant on avait la première dérivée on avait travaillé avec la première dérivée des différentes fonctions là on travaille avec la seconde dérivée et puis c'est bien ce qu'on a besoin pour dire que c'est des équations des équations d'ondes c'est que la dérivée seconde par rapport à autant est égal à une proportion de la dérivée par rapport seconde par rapport à l'espace c'est ça qui fait qu'on a une équation de D'Alembert et puis les solutions de ces équations c'est une onde électromagnétique comme je l'ai écrit en dessous là vous avez déjà vu je vous ai fait un petit peu travailler sur les ondes qui ont ω t moins moins c etc c'est la même chose si ce n'est que les 3 directions avec les 3 directions de l'espace donc ça veut dire que le \mathbf{k} a une direction, est un vecteur et le \mathbf{r} est aussi une direction ça peut se mettre dans toutes les directions mais c'est une onde qui est le résultat de cette équation et c'est en général des ondes sinusoidales qui permettent le mieux d'avoir ça comme solution et quand la solution n'est pas sinusoidale on peut la décomposer en somme de solutions sinusoidales

notes

résumé

2.4.2 Polarisation

- La polarisation est un phénomène qui est exclusif aux ondes transverses
- Lors du passage d'un électron à un niveau moins élevé d'énergie un photon polarisé selon un plan est émis
- La polarisation consiste donc à sélectionner des photons



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

49 / 65

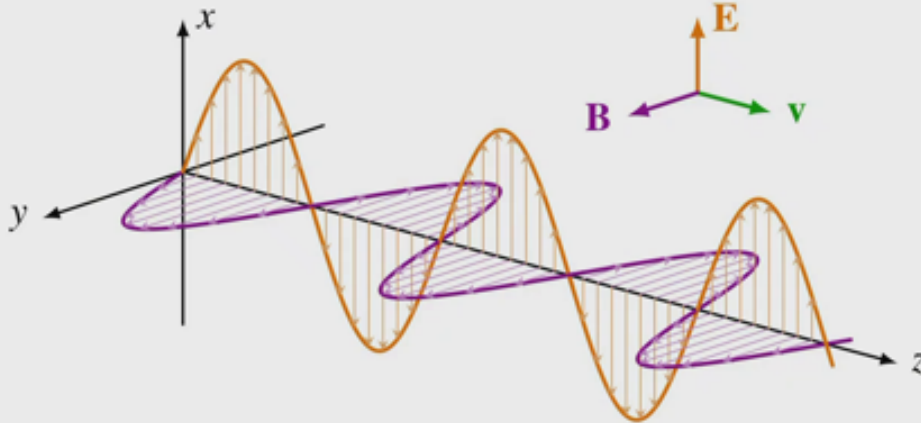
voilà pour les équations les équations d'ondes je vais profiter comme je vais faire les choses un petit peu dans le des ordres après je voulais vous parler de la diffraction mais comme j'ai fait monter les expériences je voulais quand même les utiliser pas avoir fait travailler Pierre pour rien donc c'est les expériences qui sont là dans l'auditoire elles se rapportent au sous-chapitre qui vient juste après donc je reviendrai je reviendrai la semaine prochaine sur la diffraction et puis j'expliquerai un petit peu mieux l'enjeu de la polarisation de la lumière mais je voulais vous montrer les expériences donc le fait que la lumière soit s'étendent dans un champ d'un champ électrique et dans un champ magnétique et dans une direction alors on va pouvoir utiliser le fait cette direction là le fait par exemple que sur le dessin vous voyez on a représenté verticalement le champ le champ électrique et horizontalement il y a le champ le champ magnétique alors dans la réalité quand vous avez une source de lumière ça va pas être toujours comme ça avec toujours le champ électrique vertical et toujours le champ magnétique horizontal ça va être comme ça pendant un moment différents photons vont avoir différents comportements donc on va dire qu'on a une polarisation circulaire c'est ça mais dans tous les sens possible toutes les rotations possibles par rapport à la direction à laquelle par contre on n'est jamais orienté la variation du champ électrique et du champ métrique sont jamais dans la même direction où on se déplace il est toujours un perpendiculaire c'est bien une onde perpendiculaire mais donc comme les ondes ont cette propriété d'avoir un angle droit entre le champ magnétique et le champ électrique on peut jouer avec ça et c'est ce que font

notes

résumé

2.4.2 Polarisation

- La polarisation est un phénomène qui est exclusif aux ondes transverses
- Lors du passage d'un électron à un niveau moins élevé d'énergie un photon polarisé selon un plan est émis
- La polarisation consiste donc à sélectionner des photons



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 25, 2025

49 / 65

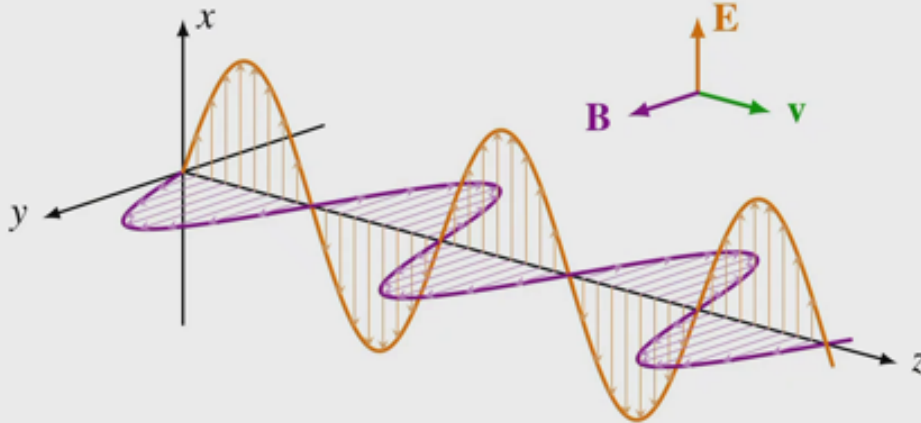
c'est ce qu'on fait avec la polarisation alors on peut utiliser la polarisation pour utiliser des ondes surtout d'une direction et obtenir un certain nombre de choses puis on utilise aussi dans les lunettes qui sont les haroïdes pour baisser le soleil parce que ça permet d'avoir qu'une partie du soleil donc quand on a réussi à inventer ça ça permet de faire des lunettes par exemple pour les pilotes qui vont avoir parfois le soleil qui arrive droit dans leurs yeux ils peuvent pas fermer les yeux donc il fallait trouver un moyen pour faire un peu d'extinction sur la lumière qui arrive alors il y a un certain nombre de phénomènes qui utilisent ça Non, tu peux... Ecoute, il y a assez de lumière. Ok, ok, c'est bon, ça marche. C'est tout bon. Je suis protégé, j'ai quelqu'un avec qui l'entend, j'ai des problèmes, il y a un médecin c'est génial. Là, vous avez un cristal qui est un peu spécial. Il a... On s'en appelle une double réfringence. Si vous regardez sur l'écran, vous voyez qu'on n'arrive pas bien à lire. Parce qu'en fait, il y a deux images. À travers le cristal, il y a deux images. Si vous ne mettez pas le cristal, vous allez à lire. Mais le cristal... Et puis ici, j'ai un filtre polaroïde. J'ai un filtre qui va enlever certaines... Une des directions de maison d'électromagnétiques. Et dans la bi-réfringence, une des images, elle a une certaine orientation. Et l'autre, elle a une autre orientation. Et donc, vous voyez qu'en changeant... On filtre... C'est l'autre image que je vais voir. Donc j'ai deux images et j'arrive à en sélectionner une. Parce qu'elles n'ont pas la même polarisation et je peux trier entre mes deux flux. Une autre utilisation qu'on peut faire

notes

résumé

2.4.2 Polarisation

- La polarisation est un phénomène qui est exclusif aux ondes transverses
- Lors du passage d'un électron à un niveau moins élevé d'énergie un photon polarisé selon un plan est émis
- La polarisation consiste donc à sélectionner des photons



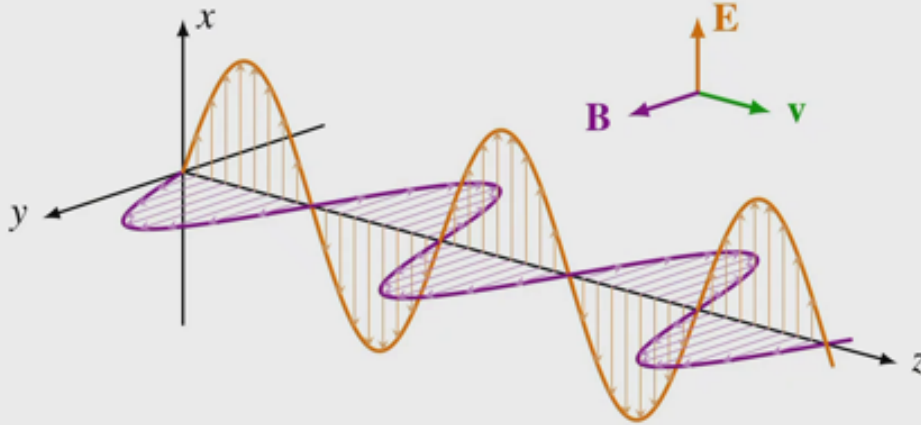
de la polarisation de la lumière, c'est par exemple pour vérifier ou analyser les tensions à l'intérieur d'un matériel transparent. Alors bon, des clés amolettes transparentes, on n'en fait pas beaucoup. Mais par contre, on fait du vert et des fois on veut qu'il y ait de l'attention dans le vert et des fois on ne veut pas qu'il y ait de l'attention dans le vert. Et on peut vérifier. Donc ce qu'on va faire, c'est qu'on va avoir deux filtres, puis on va mettre un objet entre les deux. Donc ça veut dire qu'il n'y a qu'à la lumière avec une certaine polarisation qui vont finalement arriver sous mon objet. Et puis elle va être changée ou pas par l'objet. Puis je vais l'analyser par une deuxième partie et puis je vais pouvoir voir où il se passe des choses et les tensions à l'intérieur d'un matériel transparent, elles vont changer la polarisation de la lumière. Donc la projection est là sur la porte. Donc il y a peut-être mieux comme image. Vous voyez qu'il y a des zones qui sont plus claires et des zones qui sont plus foncées et je vais exercer une certaine tension sur la pièce. Et normalement ça va changer. Vous pouvez voir qu'il y a des zones qui vont se révéler. Alors en mécanique par exemple, on va utiliser ça pas pour analyser des clés amolettes transparentes, mais on va faire un objet transparent qui ressemble à un objet mécanique qui nous intéresse. On va pouvoir regarder où vont s'exercer les différentes tensions et donc par exemple savoir où est-ce que ça va se détériorer, que ça va commencer à se déchirer, que ça va commencer à se casser. Donc ça, je répète, on a toujours besoin de la lumière. La lumière générale

notes

résumé

2.4.2 Polarisation

- La polarisation est un phénomène qui est exclusif aux ondes transverses
- Lors du passage d'un électron à un niveau moins élevé d'énergie un photon polarisé selon un plan est émis
- La polarisation consiste donc à sélectionner des photons



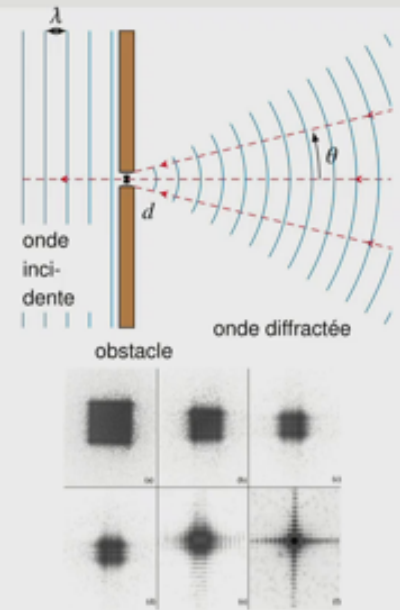
n'est pas polarisée. On la polarise par un premier filtre. On va lui faire vivre quelque chose par exemple, on traverse un milieu transparent. Après on va l'analyser, on va mettre les deux filtres parallèles. Donc normalement il ne devrait passer que ce qui n'a pas changé et puis tout ce qui a changé ne va pas pouvoir passer et donc va être assombri. Voilà.

notes

résumé

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.



Une autre expérience ici, c'est celle qui est la 13. Donc c'est ici au fond de l'auditoire, on a un bac d'eau. Vous voyez pas grand chose, non ? On a de la lumière qui arrive à un certain angle. Et ça s'appelle l'angle de Brewster. On va regarder, c'est un slide dans la suite du cours. Et quand le rayon lumineux qui n'est donc pas polarisé, qui a des ondes qui arrivent avec toutes les possibilités de polarisation, vous voyez que les flèches perpendiculaires, c'est les plus grandes, mais en fait elles existent dans toutes les directions autour du rayon lumineux.

notes

résumé

75m 16s

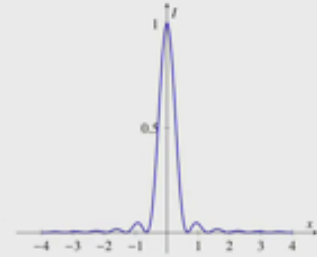


2.3.7 Figure de diffraction

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

Quand elles vont arriver sur la surface, elles vont se séparer entre la partie qui est réfractée dans l'eau et la partie qui est réfléchiée. Et la partie qui est réfléchiée, elle n'aura plus que des composantes qui sont parallèles à la surface de l'eau. Donc le champ électrique qui va être parallèles à la surface de l'eau. Et puis par contre, ce qui va rentrer à l'intérieur de l'eau, lui aura principalement des composantes qui sont perpendiculaires à la surface de l'eau, dans ce cas-là, mais en fait qui sont perpendiculaires au chemin. Bon, l'autre, elles sont aussi perpendiculaires, mais vraiment parallèles à la surface de l'eau. Et là, les noms, c'est l'angle de Brewster. Ça ne se passe pas pour n'importe quel angle. Et c'est probablement quand, si comme moi, vous rentrez sur chions lorsque le soleil se couche, il y a des moments où la surface du lac a vraiment des reflets particuliers. Je pense que c'est vraiment lié à ça. Alors là, la démonstration, elle n'est pas... Mais donc il y a une tâche ici, je ne sais pas si vous arrivez à l'avoir. Donc si je ne fais aucune polarisation, ou du moins que je suis parallèle à la polarisation avec laquelle il sort, j'ai tout le rayon qui passe. Puis si je mets un polariseur qui est perpendiculaire à la polarisation qui est ressortie, il n'y a rien qui passe parce que j'arrête tous les rayons qui ont une certaine angle de polarisation. Donc là, c'est ce qui se passe quand on est ici. C'est là qu'on a juste le long qui est réfléchi, mais le polarisateur ne fait rien, le laniseur laisse tout passer. Et puis quand je me mets perpendiculairement, j'arrête seulement celle qui a une certaine direction, puis il se trouve

notes

résumé

76m 13s

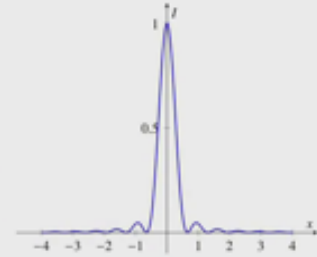


2.3.7 Figure de diffraction

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

que c'est justement celle qui était réfléchiée par la surface de l'eau. Donc ce phénomène de polarisation, il arrive dans la nature. Ce n'est pas un truc qui est juste inventé. Je vous ai montré un cristal de feldspat au tout début qui a cette double référence. Et puis c'est aussi le cas de la surface de l'eau à certains angles, dans l'équité, ce n'est pas seulement l'eau, mais qui va donc laisser réfléchir seulement certains photons qui ont une polarisation donnée. Là, je répète un peu les mêmes choses. Je vais les passer éventuellement. Je les aurais encore la semaine prochaine pour continuer à expliquer. Donc ça, c'est le phénomène de polarisation de la lumière, qui est un phénomène qui est possible seulement avec les ondes qui sont transverses, perpendiculaires au chemin de déplacement. Si on a une onde qui est parallèle au chemin de déplacement, on ne peut pas faire une polarisation. Donc on ne peut pas polariser le son. Ce n'est pas possible de polariser le son. Quelle heure est-il ? Moins dix. Je vais reprendre le cours dans son rythme normal. Ok. Donc on est dans ce chapitre en train de regarder les conséquences du fait que notre lumière est aussi une onde. Dans la première partie du cours, on avait simplement utilisé le fait qu'il allait tout droit. Et puis il y avait quelques propriétés. On avait regardé comme ça la réfraction, la réflexion, etc. Là on rentre dans un modèle déjà d'un ordre un peu plus élevé. Et donc on essaie de regarder tout ce qui peut arriver. Donc je vous ai maintenant montré pourquoi c'est des ondes électromagnétiques. C'est une équation d'ondes qui vient de la perturbation du champ électromagnétique. Donc on peut aller regarder aussi des propriétés connues des ondes qui sont

notes

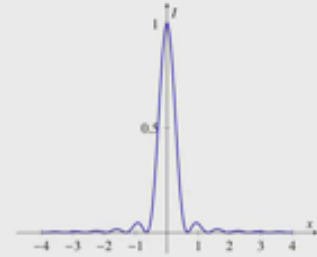
résumé

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

possibles avec les ondes acoustiques, qui sont possibles avec les ondes lumineuses, qui sont typiques de ce qu'on appelle les phénomènes ondulatoires. Donc un des phénomènes importants ondulatoires, c'est ce qu'on appelle la diffraction. Si vous avez une onde lumineuse qui a une certaine longueur d'onde qui doit passer par un orifice qui est du même ordre de grandeur que sa longueur d'onde, alors il se passe un phénomène qu'on appelle la diffraction. Vous voyez qu'avant la paroi, donc il faut lire le schéma de gauche à droite, avant la paroi on avait une onde plane, on avait des fronts d'onde qui arrivaient comme des vagues, comme ça sur un port, qui arrivaient parallèlement à la paroi. Et puis il y a la partie qui est brune, donc c'est fermé, c'est obturé, et la seule ouverture c'est la partie qui est ouverte, l'espèce de petit canal, etc. Et il est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. Alors si cette situation est telle, alors après l'orifice, on va voir se développer non pas une onde plane, mais une onde qui est sphérique et qui va aller dans certaines directions. Il y a une sorte d'ouverture, vous voyez, un cône d'ouverture. Et le cône d'ouverture, l'angle, l'écart angulaire, il va être lié au rapport entre la longueur d'onde et la largeur de l'épaisseur. Donc c'est pour ça que c'est écrit, theta est égal à lambda sur d, vous voyez sur le schéma, le lambda c'est la longueur d'onde, donc la distance entre deux moments de l'onde qui sont les mêmes. Le d, il faut deviner parce qu'il peut dire, a placer dans le schéma, mais ça représente la largeur de l'ouverture.

notes

résumé

2.3.8 Interférence

longueur d'onde λ alors l'onde incidente est
lit comme un diaphragme.

e à la longueur d'onde λ alors l'onde est très
ouvelle source d'onde quasi circulaire.

ériode T , la même célérité c et, par



- Lorsque deux ondes de même longueur λ se rejoignent le jeu des déphasages va provoquer des additions et 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

March 25, 2025 39 / 65

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale

Et puis le theta, ça représente l'ouverture pour avoir une image, par exemple, si vous avez un écran pour avoir l'image centrale sur un écran. Donc vous voyez quelques images en dessous. Donc vous pouvez avoir, et ça va un peu dépendre de la distance et du rapport des longueurs d'onde, vous pouvez avoir, vous voyez, là c'est pour une ouverture qui serait un carré. Si le carré est assez grand par rapport à l'onde, vous allez voir sur le mur en face une image de ce carré. Donc là je l'ai mis en noir, mais bon si c'est de la lumière, vous allez voir en clair la partie qui est en noir sur mon schéma, puis il restera obscur, vous comprenez la différence. Puis après on va commencer à avoir une orifice qui est de plus en plus petit. Et vous pouvez voir qu'il va commencer à se passer des choses. Mon carré va d'abord commencer à diminuer, donc là je suis encore dans une image qui ressemble à l'image de l'orifice. Puis après, quand je vais en plus regarder ça relativement assez loin, l'image de mon orifice va se déformer et vous voyez que vous avez une image centrale avec, je ne sais pas comment appeler ça, des crêpeaux sur les côtés, etc. Si c'était un cercle, ce serait un peu la même chose, mais ce serait des anneaux. Donc vous avez une image centrale, puis après vous avez des petites répliques sur les côtés. Vous enfrez ce que vous voulez, mais on parle de deux types de diffraction, on parle de frenal et de frais en affaires, donc ça commence par frenal, ça c'est quand on regarde relativement proche du l'orifice,

notes

résumé

83m 6s



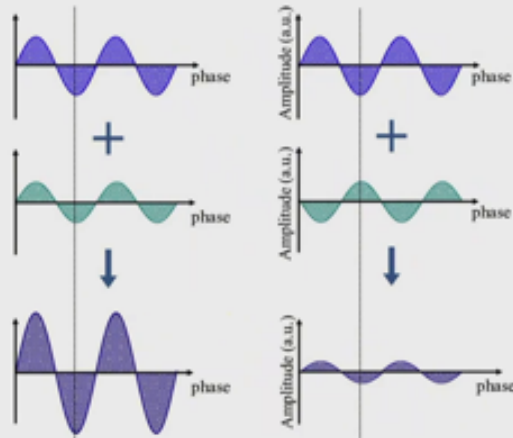
2.3.9 Diffraction par

de longueur λ se rejoignent, provoquer des additions et des

insensibles de grandes onde d'un endroit à un autre:

exemple pour analyser les spectromètre

est connue, on peut utiliser les caractéristiques analyse des réseaux



Principe : Lorsque la lumière passe par une fente et se diffracte, les ondes interfèrent.

Conditions d'interférence :

- Interférence constructive (frange brillante)

$\delta = 0$

avec m un nombre entier.

- Interférence destructive (frange sombre)

$\delta = \ell$

Effet de la diffraction : L'intensité diminue à l'éloignement de la seule fente.

celui de frenal en affaires c'est quand on regarde très très loin de l'orifice. Donc là, de nouveau pour votre plaisir, vous aimez tellement les équations, je ne résiste pas, vous en montrez quelques-unes. Voilà, c'est pour que vous l'ayez vu, ça ne va pas d'autres prétentions que ça. Donc si on essaie de calculer à quoi ressemble l'image,

notes

résumé

85m 21s



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.



donc par exemple si on voulait vraiment faire de l'optique ondulatoire,

notes

résumé

85m 46s

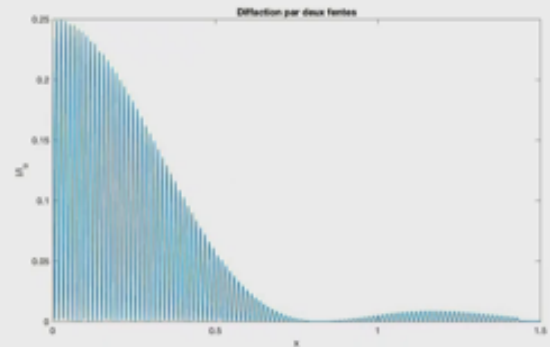


2.3.10 Intensité résultante

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.



il faudrait que je vous montre comment on arrive à ce résultat, on ferait le calcul pour arriver à ce résultat. Mais donc l'image que je vous ai montrée, si on voulait la calculer, elle ressemblerait à ça, y étant l'intensité qu'on va repérer sur l'écran, et puis elle va être proportionnelle à I_0 , l'intensité de la lumière qui est arrivée jusqu'à l'orifice, et puis on a une fonction un peu particulière, elle s'appelle Sinc,

notes

résumé

85m 50s

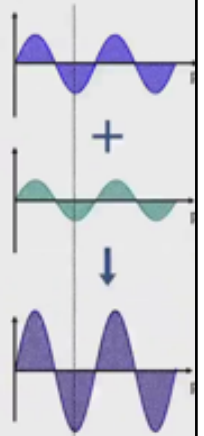


2.3.8 Interférence

onde incidente est
 .
 alors l'onde est très
 asi circulaire.
 é c et, par



- 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



March 25, 2025

39 / 65

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

en fait c'est un sinus carré de x divisé par x , c'est une fonction un peu particulière qu'on utilise dans cette situation-là,

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

86m 22s

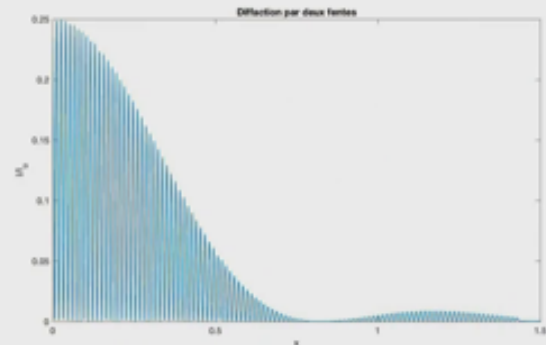


2.3.10 Intensité résultante

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 l'argument, le x c'est un π , voilà on a toujours ces π parce que c'est le rapport entre la fréquence et puis la pulsation, soit la dimension caractéristique de notre orifice, soit le rayon, non plutôt le diamètre du cercle, soit le côté d'un carré, et puis divisé par l'AMDA, c'est la longueur d'onde, et puis elle c'est la distance entre l'orifice et l'écran, à laquelle vous regardez ce qui se passe. Et puis vous voyez ce que j'ai essayé de vous présenter avec les images, donc vous avez une tâche centrale qui est très très importante, et puis après vous avez des sortes d'échos qui vont se passer, qui vont diminuer très très vite. Et puis là je ne vous explique pas du tout ce qui se passe par le fait que c'est un carré ou c'est un cercle, etc. Vous pouvez encore expliquer ça pour expliquer la totalité du phénomène. Il y a un autre aspect de la diffraction qui se passe, mais ce serait plutôt dans le cas finalement des ondes sonores, par exemple si vous habitez près de l'autoroute, près par exemple d'un mur, protège son et puis qui s'arrête, donc dans la diffraction il y a le fait que ça déforme ces images, mais il y a aussi le fait que ça change l'orientation avec laquelle se déplacent les ondes. Donc là vous avez trois situations qui sont représentées, une où vous avez un orifice qui est relativement grand par rapport à la longueur d'onde, donc ça veut dire que vous avez votre onde plane qui arrive, elle va se déformer un peu, mais elle va quasiment continuer presque aussi plane qu'elle était avant avec un petit peu de courbure, etc. Après si vous avez votre orifice qui devient plus petit, donc on a

notes

résumé

86m 32s

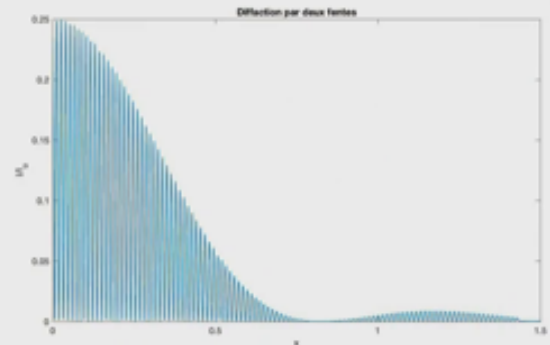


2.3.10 Intensité résultante

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.



la diffraction qui s'installe, ça veut dire que vous avez du son, de la lumière qui va partir, pas seulement continuer à avancer dans la direction initiale de propagation, mais qui va aussi s'écarter et se disperser. Et puis vous avez une situation aussi, vous avez une diffraction sur un bord, ça peut arriver avec le son, ça peut arriver aussi avec la lumière, et là en fait vous voyez que le bord au lieu de vraiment arrêter la propagation de l'onde, elle va la courber, vous avez, vous voyez, que j'ai dessiné les fronts d'ondes qui commencent à dévier, à partir sur une ouverture, sur la moitié d'une dimension. Donc ça typiquement c'est un problème si c'est phonique, si c'est acoustique, ça c'est un problème si vous avez une protection du bruit et puis qu'elle s'arrête, vous pouvez toujours avoir des maisons, des habitants qui sont derrière la protection de bruit, mais en fait ils vont quand même recevoir le bruit parce qu'en fait il y a une diffraction sur le bord d'arrêt du truc. Je sors, j'arrête là, je regarde quel est mon autre. Mais je vais quand même, si vous me laissez une minute, je vais quand même vous protéger. Ensuite il y a la fenêtre de diffraction puis il y a l'interférence, le fait que les ondes vont se combiner qui arrivent de différents endroits, de temps en temps elles arrivent au même moment en étant fortes, elles vont s'additionner, puis de temps en temps elles arrivent une est faible et l'autre est forte, alors elles vont s'annuler. C'est ça qu'on appelle l'interférence, puis je vais terminer sur cette belle image. Si vous avez donc deux trous, je reviendrai à une revente, je vais terminer sur cette image-là. Vous voyez que j'ai cette même sync qu'avant,

notes

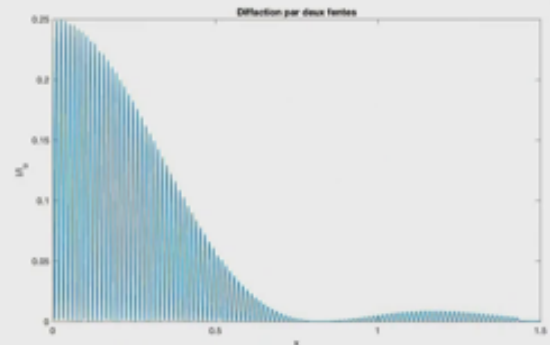
résumé

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.



mais comme j'avais l'onde qui passait par deux trous, ça a rayé mon image, ça a créé une fréquence supplémentaire parce que des ondes arrivant d'un trou et de l'autre se sont parfois combinées pour être plus fortes, mais elles se sont aussi souvent combinées pour disparaître. Donc la première image que je vous ai présentée qui était celle du sync, vous voyez à quoi elle ressemble, maintenant j'arrivais pas à présenter bien, j'ai pris juste une partie et puis maintenant si vous voulez cette image elle est assurée. Donc j'ai la même forme qu'avant, j'ai ce sync, mais elle est multipliée par un coccinus qui est d'une fréquence plus grande qui va assurer mon résultat. Sur les images qui vont se projeter, la même chose. Le carré que je vais projeter, c'est d'avoir la diffraction et puis je vais avoir l'interférence, mon carré en plus, il va commencer à être haché en différentes directions. Je vais en prendre ça, je vous expliquerai ça encore en détail la prochaine fois. Je vous retrouve vendredi avec plaisir. N'il n'y a pas les exercices, c'est important, j'ai le plaisir à vous voir le vendredi, on peut discuter encore plus. Venez.

notes

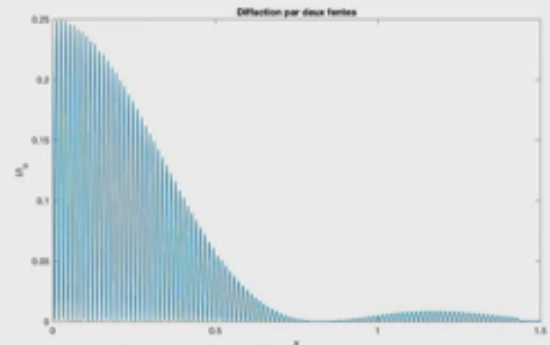
résumé

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.



par exemple, s'il y avait un écran, pour avoir l'image centrale sur un écran. Donc vous voyez quelques images en dessous. Donc vous pouvez avoir, et ça va un peu dépendre de la distance et du rapport des longueurs d'onde, vous voyez là, c'est pour une ouverture qui serait un carré. Si le carré est assez grand par rapport à l'onde, vous allez voir sur le mur en face une image de ce carré. Donc là je l'ai mis en noir, mais bon si c'est de la lumière, vous allez voir en clair la partie qui est en noir sur mon schéma et il restera obscur, vous comprenez la différence. Puis après on va commencer à avoir une orifice qui est de plus en plus petit et vous pouvez voir qu'il va commencer à se passer des choses. Mon carré va d'abord commencer à diminuer. Donc là je suis encore dans une image qui ressemble à l'image de l'orifice. Puis après, quand je vais en plus regarder ça relativement assez loin, l'image de mon orifice va se déformer et vous voyez que vous avez une image centrale avec des crénaux sur les côtés, etc. Si c'était un cercle, ce serait un peu la même chose, mais ce serait des anneaux. Donc vous avez une image centrale, puis après vous avez des petites répliques sur les côtés. Vous enfrez ce que vous voulez, mais on parle de deux types de diffraction. On parle de freinel et de fraun offert. Donc ça commence par freinel. Ça c'est quand on regarde relativement proche du l'orifice, puis celui de fraun offert c'est quand on regarde très très loin de l'orifice. Donc là, de nouveau pour votre plaisir. Vous aimez tellement les équations que je ne résiste pas. Vous en montrez quelques-unes. Voilà, c'est pour

notes

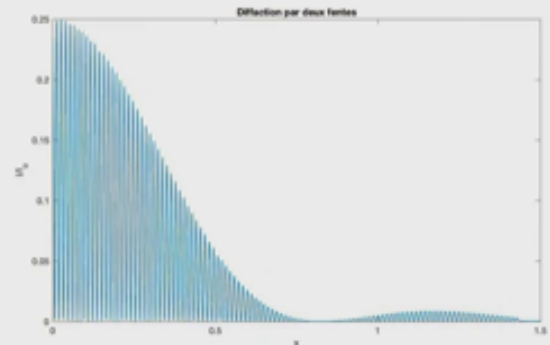
résumé

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.



que vous l'avez vu. Ça ne va pas d'autres prétentions que ça. Donc si on essaie de calculer à quoi ressemble l'image, donc par exemple si on voulait vraiment faire de l'optique ondulatoire, il faudrait que je vous montre comment on arrive à ce résultat. On ferait le calcul pour arriver à ce résultat. Mais donc l'image que je vous ai montrée, si on voulait la calculer, elle ressemblerait à ça, i étant l'intensité qu'on va repérer sur l'écran. Et puis elle va être proportionnelle à I_0 , l'intensité de la lumière qui est arrivée jusqu'à l'orifice. Et puis on a une fonction un peu particulière. Elle s'appelle SYNC. En fait, c'est un sinus carré de x divisé par x . C'est une fonction un peu particulière qu'on utilise dans cette situation-là. Et l'argument, le x , c'est un π . Voilà, on a toujours ces π parce que c'est le rapport entre la fréquence et puis la pulsation. Fois la dimension caractéristique de notre orifice, soit le rayon, non plutôt le diamètre du cercle, soit le côté d'un carré, et puis divisé par l'AMDA, c'est la longueur d'onde, et puis elle, c'est la distance entre l'orifice et l'écran, à laquelle vous regardez ce qui se passe. Et puis vous voyez ce que j'ai essayé de vous présenter avec les images. Donc vous avez une tâche centrale qui est très, très importante. Et puis après, vous avez des sortes d'échos qui vont se passer, qui vont diminuer très, très vite. Et puis, là, je ne vous explique pas du tout ce qui se passe par le fait que c'est un carré ou c'est un cercle, etc. Il faut encore expliquer ça pour expliquer la totalité du phénomène. Il y a un autre aspect de la diffraction qui se passe, mais ce serait plutôt dans

notes

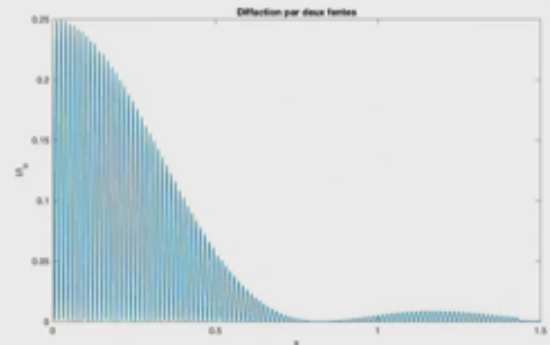
résumé

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.



le cas, finalement, des ondes sonores. Par exemple, si vous habitez près de l'autoroute, près d'un mur, protège son et puis qui s'arrête. Donc dans la diffraction, il y a le fait que ça déforme ces images, mais il y a aussi le fait que ça change l'orientation avec laquelle se déplacent les ondes. Donc là, vous avez trois situations qui sont représentées. Une où vous avez un orifice qui est relativement grand par rapport à la longueur d'onde. Donc ça veut dire que vous avez votre onde plane qui arrive. Elle va se déformer un peu, mais elle va quasiment continuer, presque aussi plane qu'elle était avant, avec un petit peu de courbure, etc. Après, si vous avez votre orifice qui devient plus petit, donc on a la diffraction qui s'installe. Ça veut dire que vous avez du son ou de la lumière qui va partir, pas seulement continuer à avancer dans la direction initiale de propagation, mais qui va aussi s'écarter et se disperser. Et puis vous avez une situation aussi, vous avez une diffraction sur un bord. Ça peut arriver avec le son, ça peut arriver aussi avec la lumière. Et là, en fait, vous voyez que le bord, au lieu de vraiment arrêter la propagation de l'onde, elle va la courber. Vous avez, vous voyez, que j'ai dessiné les fronts ondes qui commencent à dévier et à partir sur une ouverture, sur la moitié d'une dimension. Donc ça, typiquement, c'est un problème si c'est phonique, si c'est acoustique. Ça, c'est un problème si vous avez une protection du bruit et puis qu'elle s'arrête. Vous pouvez toujours avoir des maisons, des habitants qui sont derrière la protection de bruit, mais en fait, ils vont quand même recevoir le bruit, parce qu'en fait, il y a une diffraction

notes

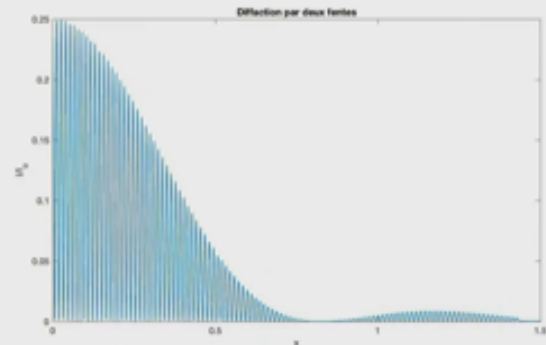
résumé

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.



sur le bord d'arrêt du truc. Je sors, j'arrête là, je regarde quel est mon autre. Mais je veux quand même, si vous me laissez une minute, je veux quand même vous protéger. Ensuite, il y a la fenêtre de diffraction, puis il y a l'interférence. Le fait que les ondes vont se combiner et qui arrivent de différents endroits, de temps en temps elles arrivent au même moment en étant fortes, elles vont s'additionner, puis de temps en temps elles arrivent une est faible et l'autre est forte, alors elles vont s'annuler. Et c'est ça qu'on appelle l'interférence. Puis je vais terminer sur cette belle image. Si vous avez donc deux troubles, je reviendrai, je vais terminer sur cette image-là. Vous voyez que j'ai cette même sync qu'avant, mais comme j'avais l'onde qui passait par deux trous, ça a rayé mon image, ça a créé une fréquence supplémentaire, parce que des ondes arrivant d'un trou et de l'autre se sont parfois combinés pour être plus fortes, mais elles se sont aussi souvent combinées pour disparaître. Donc la première image que je vous ai présentée qui était celle du sync, vous voyez à quoi elle ressemble. Maintenant j'ai pris, je n'arrivais pas à présenter bien, j'ai pris juste une partie. Et puis maintenant, si vous voulez, cette image, elle est achurée. Donc j'ai la même forme qu'avant, j'ai ce sync, mais il est multiplié par un cosinus qui est d'une fréquence plus grande qui va achurer mon résultat. Et sur les images qui vont se projeter, la même chose. Le carré que je vais projeter, ça va avoir la diffraction et puis je vais avoir l'interférence, mon carré en plus, il va commencer à être aché en différentes directions. Je vais en reprendre ça, je vous expliquerai ça encore en

notes

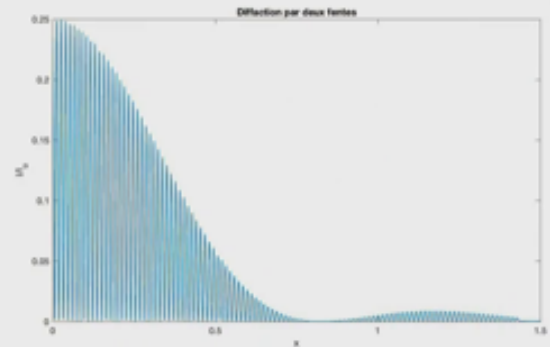
résumé

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.



détail la prochaine fois. Je vous retrouve vendredi avec plaisir. Mililisez pas les exercices, c'est important, mais j'ai le plaisir à vous voir le vendredi. On peut discuter encore plus. Venez. Je vous souhaite une bonne soirée, vous avez bien mérité après un mardi chargé. Mais vous avez le sourire cette fois.

notes

résumé