

Table des matières

1	Objectifs et messages forts de la LP (disciplinaire)	1
2	Introduction générale de la leçon	1
3	Plan	1
3.1	De l'effet Doppler à l'étude d'une étoile double	1
3.2	Correction relativiste	2
4	Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon	2
5	Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels	2
6	Applications intéressantes pour la leçon	2
7	Bibliographie pour construire la leçon	3
8	Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique	3
9	Critique des choix pédagogiques de la leçon	3
10	Phase de question réponse	3

1 Objectifs et messages forts de la LP (disciplinaire)

- ▷ Redémontrer la formule de l'effet Doppler dans le cas classique en produisant une démonstration rigoureuse (qui ne l'était d'ailleurs pas pendant ma leçon...) pour une démonstration dans le cas le plus général voir le document envoyé par Louis
- ▷ Démontrer l'effet Doppler relativiste en passant par la transformation du quadri-vecteur d'onde
- ▷ Expliciter le lien entre l'effet Doppler longitudinal relativiste et l'effet Doppler classique en faisant un DL en β et en retrouvant l'expression classique.
- ▷ Montrer que l'effet doppler transverse est un résultat purement relativiste

2 Introduction générale de la leçon

En introduction je suis parti d'une image du télescope Hubble montrant des galaxies avec des couleurs caractéristiques rouge et bleu. J'ai alors introduit comme objectif d'expliquer ce phénomène en prenant comme exemple filé au cours de la leçon l'étude d'une étoile double.

3 Plan

3.1 De l'effet Doppler à l'étude d'une étoile double

► Position du problème

J'introduis la modélisation du système SS 433 (pas ouf en vrai car il n'y a pas de données expérimentales associées à ce système) et j'explique l'apparition de raie d'absorption (de l'hydrogène) que l'on pourrait observer sur terre. Je fais remarquer qu'il y a un décalage des raies observées par rapport à la raie dite absolue. Le but de la leçon va donc être d'expliquer ces décalages

► Effet Doppler

Je pose le cadre de la démonstration de l'effet Doppler à savoir

-Un référentiel fixe associé au récepteur dans lequel on étudie le mouvement de la source et de l'onde émise par celle-ci.

On arrive alors à l'expression suivante :

$$\lambda = \lambda' \left(1 + \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{c} \right)$$

► Analyse des résultats

En prenant les différents cas définie dans la première sous partie on en déduit le décalage Doppler des différentes raies. Introduction du blue-shift et du red-shift

Transition didactique : On explique pas de décalage quand $\vec{u}$ et $\vec{v}$ sont orthogonaux $\rightarrow$ Relativité

3.2 Correction relativiste

► Effet Doppler relativiste

On pose un nouveau cadre d'étude avec un référentiel associé à la source et à l'émetteur. Après l'introduction des quadri-vecteurs d'ondes associés aux deux référentiels on leur applique la transformation de Lorentz. On obtient alors la relation : $\lambda = \lambda'(\gamma \cos \theta)$

► Doppler longitudinal

On adapte la formule précédente au cas où $\theta=0$ et $\theta=\pi$, on discute du fait que les valeurs obtenues sont plus proches de la réalité car on a pris en compte la correction relativiste. On réalise ensuite un DL en β pour arriver à la même expression qu'en classique. On discute du fait que le décalage est assez important car on est en $\frac{1}{\sqrt{\beta}}$

► Effet Doppler transversal

On étudie le cas où $\vec{u}$ et $\vec{v}$ sont orthogonaux et on fait ressortir que l'on a une dépendance en $\sqrt{\beta^2}$ le décalage de la raie est donc plus faible. Ce terme est purement dû à un effet relativiste.

4 Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon

- ▷ J'ai choisi d'ouvrir sur la loi de Hubble pour revenir sur mon introduction
- ▷ Après discussion on aurait pu également conclure sur l'élargissement des raies dû à l'effet Doppler thermique et à l'effet pachenback qui lève la dégénérescence des niveaux d'énergies. Il y a alors un gros travail de la part des astrophysiciens pour remonter au décalage dû à l'effet Fizeau-Doppler

5 Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels

- ▷ Démonstration de l'effet Doppler classique avec la notion de référentiel que je n'ai pas su bien mettre en avant
- ▷ Notion de quadri-vecteurs et bien comprendre pourquoi on peut lui appliquer la transformation de Lorentz
- ▷ Bien se rendre compte de l'effet Doppler transverse et d'un effet purement relativiste

6 Applications intéressantes pour la leçon

- ▷ Radars
- ▷ Détection d'étoiles doubles, d'exo-planète, de vitesse de rotation d'un astre ou d'une planète
- ▷ Application au règne animal chauve-souris
- ▷ Échographie Doppler
- ▷ Station météo

7 Bibliographie pour construire la leçon

- ▷ Relativité restreinte Base et application, Claude Semay et Bernard Silvestre-Brac aux édition DUNOD
- ▷ Relativité Fondement et application ,PEREZ
- ▷ Apprendre les ondes, AMAURY MOUCHET, edition DUNOD

8 Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique

- ▷ On en trouve facilement sur internet une animation montrant le décalage des raies en fonction du temps d'observation. Il faut taper "gif Doppler étoiles doubles"

9 Critique des choix pédagogiques de la leçon

Le gros problème de la leçon c'est qu'elle n'utilise pas de résultat expérimentaux mais des résultats calculés à partir d'une vitesse lu sur wikipedia et des résultats que l'on montre dans le cours. De plus la modélisation du système SS433 et totalement caduc. Bref cette leçon est construite pour avoir une progression pédagogique logique mais le contenu scientifique expérimental est inexistant.

10 Phase de question réponse

Y a-t-il besoin d'une correction relativiste pour le radar ou pour l'échographie Doppler ?

Il faut regarder la vitesse de l'objet par rapport au récepteur. Dans ses deux cas de figure on a $v < c$ donc pas besoin de correction. A noter qu'ici la nature des ondes ondes misent en jeux ne sont pas les même. Il faut donc comparer pour le radar avec la vitesse de la lumière c alors que pour l'échographie il faut comparer avec la célérité de l'onde dans le milieu ($340m.s^{-1}$).

Quelle est la différence entre un repère et un référentiel ?

Repère → Trois axes fixe donnant des directions

Référentiel → Trois axes fixes ET un temps propre

Dans l'expression que tu donnes si β tend vers 1 alors ça diverge comment l'interpréter ?

Le seul cas ou ça diverge c'est quand la source s'éloigne. Si la source s'éloigne à la vitesse c en émettant des photons qui ont eux même une vitesse c vers nous alors on ne pourra jamais les voir arriver (Cette réponse utilise implicitement une composition des vitesses ce qui n'est pas forcément licite dans ce cas de figure.) Il faudrait alors invoquer la relativité général.

Dans le cadre des ondes sonores que ce passe t'il si un émetteur arrive avec une vitesse proche de celle de la célérité dans le milieu ?

On ne peut sans doute plus négliger de terme d'ordre deux dans l'expression que l'on a trouvé pour $\|\vec{S_1R_1}\|$ ni faire de DL.

La formule de l'effet Doppler transverse ne te fait pas penser à quelque chose ?

$\omega = \omega_0 \gamma \rightarrow T = \frac{T_0}{\gamma}$ On a alors la formule de dilatation des durées.

Comment à t'on verifié expérimentalement l'effet Doppler transverse ?

Grâce à une expérience en 2011 dans un collisionneur de particule.

Pour l'échographie quelle fréquence est utilisée ? Et comment est crée l'onde ?

C'est des ultra son à 40 kHz. Oreille [20Hz,20KHz]. C'est une piezo électrique qui crée l'onde. En effet celui ci est constitué d'une cristal diélectrique. Une pression exercé sur celui si engendre des charge surfacique qui crée une tension. Réciproquement une variation de tension créée une dilatation ou une contraction du matériaux. On a ainsi crée l'onde ultra sonore. RQ : Pour une échographie on utilise un gel pour faire une adaptation d'impédance et ainsi éviter une réflexion de l'onde. $Z_{corps} 640KPa.m^{-1}.s$ $Z_{air} 414Pa.m^{-1}.s$

Expliquez en quoi consiste l'expérience de Fizeau

C'est une expérience interférométrique utilisant un tube en U est dont les bras de l'interféromètre passe dans chaque bout du tube. Un bras voit une vitesse $c-v$ l'autre $c+v$. Il y a également une expérience pour mesurer la vitesse de la lumière avec une roue dentée.

Que veut dire H_α en spectroscopie ?

Ce sont les raies à partir de n égale à deux $\rightarrow$ raie de balmer

Comment à t'on découvert l'hélium ?

En regardant le soleil et en voyant des raies qui ne correspondait pas à celles de l'hydrogène bien connu à cette époque.

Connais-tu un phénomène de red shift qui n'est pas dû à la relativité restreinte ?

Le phénomène de red shift gravitationnel qui s'explique par la dilatation de l'espace temps lui même. Il a été montré expérimentalement en lâchant une source lumineuse de la tour Jefferson. Connaissant le décalage dû à l'effet Doppler classique. Ils ont pu remonter au décalage de l'effet Doppler gravitationnel.

Autre application de l'effet Doppler en astronomie ?

Pour connaître la vitesse et le sens de rotation d'un astre ou d'une planète (Jupiter). Une autre grande application est la détection d'exo-planète

C'est quoi un parsec ?

C'est la distance sous lequel est vu une unité astronomique sous 1 seconde d'arc 3,78 année lumière

Quelle idée d'expérience avez vous pour illustrer l'effet Doppler Faire tourner un tuyau au dessus de la tête et entendre une modulation du son émis par celui-ci. On peut aussi utiliser un obstacle en mouvement et envoyer une onde ultra sonore. En multipliant le signal émis et reçu et en filtrant le tout grâce à un filtre passe-bas. On obtient alors le Δf .

Connaissez-vous un paradoxe lié à la dilatation des durées

C'est le paradoxe des jumeaux. Un des deux jumeaux part dans un vaisseau spatial. Y a t'il un jumeau plus jeune que l'autre au retour de ce dernier ? On lève le paradoxe en disant que le vaisseau subit des phases d'accélération et de décélérations. On ne peut donc pas appliquer la relativité restreinte car on n'est pas dans le cas de référentiel inertiel.

Qu'es que l'effet Doppler thermique ?

C'est l'élargissement spectral d'une raie dû à la distribution de Maxwell-Boltzman des vitesses de la source. Il y a une évolution de l'élargissement en $\sqrt{T}$

Connaissez-vous une autre source d'élargissement de ces raies.

Certaines étoiles créent un champs magnétique très puissant il y a donc un effet Pachenback qui lève la dégénérescence de certain niveau. Néanmoins cet écart reste faible et l'élargissement Doppler thermique induit un recouvrement des raies. On observe donc un élargissement

Quel sont les deux types d'ondes que l'on envoie pour faire une écho Doppler ?

On envoie une onde en continue, on observe ainsi le flux sanguin dans les deux sens. Cependant on a pas d'information sur la profondeur d'observation. C'est pour cela qu'on envoi des ondes par slave. Elles nous renseignent sur la profondeur d'observation.