

Table des matières

1	Objectifs de la LP	1
2	Capacités travaillées	1
3	Introduction générale de la leçon	1
4	Proposition de plan	2
4.1	Quadri-vecteur vitesse et synchrotron	2
4.2	Quadri-vecteur impulsion et collisions.	2
4.3	Quadri-vecteur d'onde et astrophysique.	2
5	Conclusion et ouvertures possibles :	2
6	Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels	3
7	Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon	3
8	Bibliographie pour construire la leçon	3
9	Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique	3
10	Critique des choix pédagogiques de la leçon	3

1 Objectifs de la LP

- ▷ Introduire de nouveau quadri-vecteurs, outils indispensables pour décrire de nouveaux phénomènes.
- ▷ Donner pour chaque quadri-vecteur un exemple solide d'application concrète et d'exercice "classique".

2 Capacités travaillées

- ▷ Calcul de changements de référentiels avec la transformation de Lorentz.
- ▷ Utilisation de la pseudo-norme pour des considérations énergétiques.
- ▷ Vérification des cas classiques et ultra-relativistes lorsque c'est possible.

3 Introduction générale de la leçon

L'émergence de la théorie de la relativité a très largement changé notre conception du temps et de l'espace. Depuis les premières découvertes infirmant l'éther luminifère puis le développement d'un formalisme mathématique adéquat, notamment par Einstein, jusqu'à aujourd'hui, la relativité nous a finalement laissé de remarquables clefs sur les deux infinis. Infiniment grand d'abord avec l'accès à des connaissances sur les objets spatiaux et l'univers ; infiniment petit ensuite, notamment pour l'étude des particules fondamentales. Dans ce cours, nous allons nous intéresser aux résultats de la cinématique relativiste, c'est-à-dire des considérations de vitesse et d'énergie, sans se préoccuper finalement des forces qui régissent les mouvements. Nous allons pouvoir retrouver un certain nombre de lois et de principes de la mécanique classique qui auront, nous le verrons, des applications directes.

4 Proposition de plan

4.1 Quadri-vecteur vitesse et synchrotron

► Quadri-vecteur vitesse

Retrouver le quadri-vecteur vitesse à partir de la transformation de Lorentz du quadri-vecteur position. Vérifier ensuite qu'il répond lui-même à la transformation de Lorentz. Bien souligner la différence entre les vitesses et les facteurs de Lorentz qui se trouvent dans cette transformation : $\gamma; \gamma' et \gamma_e$ Vérifier la conservation de la pseudo-norme.

► Rayonnement synchrotron

Montrer la directivité du rayonnement pour une particule émettant des photons de façon isotrope dans son référentiel propre mais avec une vitesse de $0.999c$ dans le référentiel du labo.

Transition : En mécanique on aime les raisonnements énergétiques. On peut introduire un autre quadri-vecteur.

4.2 Quadri-vecteur impulsion et collisions.

► Quadri-vecteur impulsion.

Définition, expression de $m = \gamma m_0$, expression de l'énergie avec m_0 et p .

► Collision élastique

Calculs de l'angle entre deux particules identique après percussion de la première sur la seconde immobile.

Transition : Pour les particules de masse nulle (les photons), ils ont une impulsion mais leur vitesse est pourtant c .

4.3 Quadri-vecteur d'onde et astrophysique.

► Quadri-vecteur d'onde.

Définition. Lien avec le quadri-vecteur impulsion.

► Effet Doppler relativiste.

Calculs des effets Doppler longitudinal et transversal, comparaison avec les cas classiques. Applications astrophysiques.

5 Conclusion et ouvertures possibles :

Au cours de cette leçon, nous avons donc balayé une certaine partie de la cinématique relativiste en introduisant notamment quelques quadri-vecteurs particulièrement intéressants et fort à propos pour expliquer quelques phénomènes.

Bien évidemment, si la cinématique est très intéressante et permet de cerner bien des phénomènes, elle est évidemment insuffisante : c'est la dynamique qui nous expliquera comment le quadri-vecteur vitesse (et les autres) vont pouvoir changer et comment ils vont le faire. Il faudra alors invoquer notamment une version du principe fondamental de la dynamique en relativité, voire entrer dans la relativité générale, notamment en changeant de métrique... Mais c'est une autre histoire.

Possibilité d'ouvrir sur les collisions inélastiques et les accélérateurs ; ou la dynamique relativiste et la relativité générale. Au choix, rester dans la zone qui vous est la moins inconfortable.

Conclure la leçon en avançant que la relativité est mal nommée, finalement : ce qui nous intéresse, c'est précisément ce qui est absolu, notamment la conservation de l'invariant relativiste ou le passage entre référentiels à l'aide de la transformation de Lorentz.

6 Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels

- ▷ Une bonne compréhension des transformées de Lorentz et des paradoxes apparents de la mécanique relativiste.
- ▷ La distinction entre vitesse v d'un objet dans le référentiel (\mathcal{R}) , sa vitesse v' dans le référentiel (\mathcal{R}') et la vitesse relative de (\mathcal{R}') par rapport à (\mathcal{R}) , v_E

7 Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon

- ▷ Collisions inélastiques en tout genre. Désintégrations
- ▷ Problèmes de diffusion Compton.
- ▷ Durée de vie de particules, sources "supraluminiques".

8 Bibliographie pour construire la leçon

- ▷ *Cours de relativité restreinte*, Frédéric MOULIN, 24/09/2021. Ma source principale pour les deux premières parties, y compris pour les graphiques.
- ▷ *Relativité restreinte et structure atomique de la matière*, C. Grossetête, Ellipses. L'effet Doppler y est très bien traité.
- ▷ *Mécanique relativiste, cours, exercices et problèmes avec résolutions*, J.P.Durandea
- ▷ *Relativité restreinte, des particules à l'astrophysique*, Ericourgoulhon, EDP Sciences, Physique. Hyper formel.
- ▷ *Relativité restreinte - Bases et applications - Cours et exercices corrigés* - 2e édition, Claude Semay, Bernard Silvestre-Brac, Dunod

9 Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique

- ▷ Probablement des codes python pour tracer les graphiques de la leçon, ce serait la classe.
- ▷ Un effet Doppler classique en expérience? Nul ne niera que les expériences pour des leçons de relativité c'est légèrement inutile.

10 Critique des choix pédagogiques de la leçon

La leçon permet un balayage complet des aspects de la cinématique relativiste et permet d'armer les élèves pour faire face à n'importe quel exo.

Le correcteur a noté que pour lui, les collisions se trouvaient plutôt dans la dynamique. Je m'inscris en faux, de même qu'une bonne partie de la classe, contre cette remarque. Mais il faut se tenir prêt à défendre ça devant un jury tatillon. Le cas échéant, ne pas hésiter à citer l'étymologie grecque : *κινεειν* veut dire "mettre en mouvement", "bouger", "déplacer", voire "changer", "exciter", "presser", "remettre en question". *δυναμις*, en revanche, signifie "force" (dans le sens physique, moral ou militaire), "puissance", "pouvoir".

- IL FAUT PENSER EN QUATRE DIMENSIONS, MARTY! -