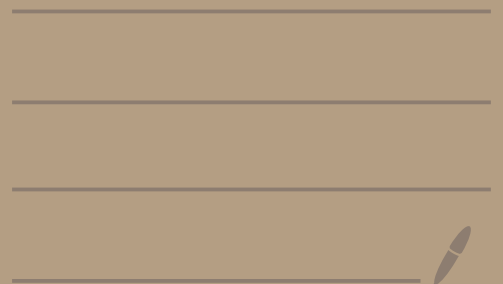


# Cinématique relativiste

Cours 3



# Introduction

On se rappelle le plan du cours sur la cinématique Newtonienne :

## I. L'espace-temps Newtonien

1. Temps et espace découplés, absolus
2. Espace physique : espace vectoriel euclidien
3. Observateurs, référentiels et mouvement

## II. Trajectoire newtonienne: éléments de géométrie euclidienne

1. Systèmes de coordonnées : repères géométriques
2. Notions sur les courbes paramétrées : repère local; repère mobile et abscisse curviligne
3. Évolution d'un repère local: formule de dérivation
4. Courbures et torsions : formules de Frenet, vecteur de Darboux

## III. Cinématique

1. Vitesse
2. Accélération
3. Exemple de mouvement
4. Cas particulier du mouvement à accélération centrale

## IV. Le problème du changement d'observateur (de référentiel)

En relativité restreinte l'espace-temps change de nature : il ne peut plus être traité en "3 + 1" dimensions où la dimension temps est séparée/découplée des 3 dim d'espace et traitée comme un paramètre homogène et absolu.

L'espace-temps devient un espace affine de dimension 4 donnant naissance à un espace vectoriel non-euclidien.

La notion d'observateur, la notion de simultanéité, la notion de repère local et de son évolution sont "chamboulées" en conséquence. On schématise les changements sur le plan du cours 1 sur la cinématique newtonienne ci-après :

## I. L'espace-temps Newtonien

1. Temps et espace découplés, absolus
2. Espace physique : espace vectoriel euclidien
3. Observateurs, référentiels et mouvement

→ I. L'e.-t. Minkowskien

## II. Trajectoire newtonienne: éléments de géométrie euclidienne → II. Ligne d'univers ...

1. Systèmes de coordonnées : repères géométriques
2. Notions sur les courbes paramétrées : repère local; repère mobile et abscisse curviligne
3. Évolution d'un repère local: formule de dérivation
4. Courbures et torsions : formules de Frenet, vecteur de Darboux

→ Partie à part:  
III. Observateur et ref local

## III. Cinématique

1. Vitesse
2. Accélération
3. Exemple de mouvement
4. Cas particulier du mouvement à accélération centrale

## → IV. Cinématique

new Fact. de Lorentz, dilatation des temps  
new Contraction des longueurs  
new Mouvement des photons

## IV. Le problème du changement d'observateur (de référentiel) → V. ...

new : Effet Doppler relativiste

new : Aberrations relativistes

Le plan du cours n°02 : cinématique relativiste devient:

## I. L'espace-temps de Minkowski

1. Espace affine de dimension 4
2. Espace vectoriel euclidien; non-euclidien
  - a. Tenseur métrique, géométrie, dualité
  - b. Classification des vecteurs; cône isotrope et flèche du temps
  - c. Orientation

## II. Ligne d'Univers: élément de géométrie minkowskienne

1. Ligne d'univers d'un point matériel ( $\mathcal{L}$ )
  - a. Paramétrage et temps propre
  - b. Champ de vecteurs tangent; quadri-vitesse (non physique)
  - c. Courbure: quadriaccélération (non physique)
  - d. Courbure et torsion: tétrade de Serret-Frenet
2. Géodésiques lumière
3. Géodésiques de genre temps

## III. Observateur et référentiel local

1. Simultanéité et mesure du temps
2. Mesure de distances spatiales
3. Référentiel local et son évolution le long d'une  $\mathcal{L}$ , formule de dérivation
4. Justification du caractère local

## IV. Cinématique

1. Facteur de Lorentz  $\Gamma$ 
  - a. Définition et exemples
  - b. Lien avec la quadri-vitesse et la quadriaccélération
  - c. Dilatation des temps *TD: Voyageur de Langevin*
2. Dérivées d'un vecteur le long d'une ligne d'univers
  - a. dérivée absolue
  - b. dérivée de Fermi-Walker
  - c. dérivée par rapport à un observateur
3. Vitesse relative à un observateur (vitesse physique usuelle)
  - a. Définition
  - b. Lien avec  $\Gamma$  et la quadri-vitesse, expression en terme de composantes
  - c. Vitesse relative maximale
  - d. Relation de réciprocité entre 2 observateurs et contraction des longueurs
4. Accélération relative à un observateur (physique, nouvelle)
  - a. Définition dans l'espace local de repos et exemple
  - b. Définition par rapport à l'observateur
  - c. Lien avec  $\Gamma$  et la quadriaccélération
5. Mouvement des photons
  - a. direction de propagation d'un photon
  - b. Vitesse de la lumière et son invariance
  - c. Vérifications expérimentales

## V. Le problème du changement d'observateur (de référentiel)

1. Loi de composition des vitesses
2. Effet Doppler-Fizeau
3. Aberrations relativistes
4. Loi de composition des accélérations

- a. Définition
- b. Lien avec  $\Gamma$  et la quadri-vitesse, expression en terme de composantes
- c. Vitesse relative maximale
- d. Relation de réciprocité entre 2 observateurs et contraction des longueurs

#### 4. Accélération relative à un observateur (physique, nouvelle)

- a. Définition dans l'espace local de repos et exemple
- b. Définition par rapport à l'observateur
- c. Lien avec  $\Gamma$  et la quadriaccélération

#### 5. Mouvement des photons

- a. direction de propagation d'un photon
- b. Vitesse de la lumière et son invariance
- c. Vérifications expérimentales

## II. Le problème du changement d'observateur (de référentiel)

1. Loi de composition des vitesses
2. Effet Doppler-Fizeau
3. Aberrations relativistes
4. Loi de composition des accélérations