

Sommaire :

1. Introduction à la relativité

- Relativité galiléenne
- Limites de la mécanique classique
- Postulats de la relativité restreinte
- Structure de l'espace-temps

2. Géométrie de l'espace-temps

- Espaces vectoriels et variétés
- Coordonnées et changements de repères
- Métrique de Minkowski
- Intervalles d'espace-temps
- Cônes de lumière

3. Calcul tensoriel

- Tenseurs covariants et contravariants
- Opérations tensorielles
- Produit tensoriel
- Contraction d'indices
- Changement de coordonnées
- Tensor métrique

4. Géométrie différentielle

- Variétés différentielles
- Champs de vecteurs
- Dérivée covariante
- Symboles de Christoffel
- Transport parallèle
- Géodésiques

5. Courbure de l'espace-temps

- Tenseur de Riemann
- Tenseur de Ricci
- Scalaire de courbure
- Identités de Bianchi
- Interprétation physique de la courbure

6. Principe d'équivalence

- Masse inertielle et gravitationnelle
- Chute libre
- Référentiels accélérés
- Gravitation et géométrie

7. Équations d'Einstein

- Construction des équations du champ
- Tenseur énergie-impulsion
- Constante cosmologique
- Signification physique des équations

8. Solutions exactes des équations d'Einstein

- Solution de Schwarzschild
- Trou noir de Schwarzschild
- Horizon des événements
- Géodésiques autour d'un corps massif
- Solution de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW)

9. Tests expérimentaux de la relativité générale

- Avance du périhélie de Mercure
- Déviation de la lumière
- Décalage gravitationnel vers le rouge
- Retard des signaux radar
- Ondes gravitationnelles

10. Cosmologie relativiste

- Univers homogène et isotrope
- Expansion de l'Univers
- Équations de Friedmann
- Big Bang
- Énergie noire et matière noire

11. Trous noirs

- Formation des trous noirs
- Singularités
- Rayons de Schwarzschild
- Horizons et causalité
- Introduction aux trous noirs en rotation

12. Ondes gravitationnelles

- Approximation linéaire
- Propagation des ondes
- Polarisation
- Détection expérimentale

13. Exercices corrigés

- Exercices de calcul tensoriel
- Géodésiques et métriques
- Applications des équations d'Einstein
- Problèmes de cosmologie
- Études de solutions exactes

14. Annexes mathématiques

- Rappels d'algèbre linéaire
- Équations différentielles
- Notations tensorielles
- Constantes physiques utiles

15. Bibliographie et références

- Ouvrages classiques
- Articles fondamentaux
- Références de cosmologie et gravitation