

## Elementy szczególnej i ogólnej teorii względności

Celem wykładu jest zapoznanie doktorantów z podstawami szczególnej i ogólnej teorii względności ze szczególnym zwróceniem uwagi na założenia fizyczne i wykorzystywany aparat matematyczny geometrii różniczkowej i rachunku tensorowego.

Proponowany plan wykładu:

1. Czasoprzestrzeń Arystotelesa: geometria, absolutny charakter czasu i odległości przestrzennej między zdarzeniami.
2. Czasoprzestrzeń Galileusza i Newtona: pojęcie układu inercjalnego, absolutny charakter czasu i względny charakter odległości przestrzennej między zdarzeniami, geometria czasoprzestrzeni. Przyczynowość w czasoprzestrzeniach Arystotelesa i Galileusza
3. Zasada względności Galileusza. Eksperyment Michelsona-Morleya. Postulaty Einsteina, zasada względności Einsteina
4. Transformacja Lorentza i jej konsekwencje: składanie prędkości, stałość prędkości światła w różnych układach inercjalnych, dylatacja czasu, względność równoczesności, skrócenie odległości. Paradoks bliźniąt i paradoks parkowania. Grupa Lorentza i Poincaré
5. Czasoprzestrzeń Minkowskiego: zdarzenia, metryka Minkowskiego, element liniowy w metryce Minkowskiego = interwał czasoprzestrzenny, stożki świetlne; diagramy Minkowskiego: kalibracja osi, geometryczna interpretacja dylatacji czasu i skrócenia odległości; linie świata cząstek, parametryzacje linii świata, czas własny.
6. Elementy mechaniki relatywistycznej: czterowektory prędkości, przyspieszenia, pędu dla cząstek materialnych i fotonów, czterowektor energii i pędu, energia relatywistyczna i zasada zachowania energii relatywistycznej, defekt masy; zasady wariacyjne w mechanice klasycznej
7. Grawitacja newtonowska: potencjał grawitacyjny, masa grawitacyjna i inercjalna i ich równoważność
8. Zasady ogólnej teorii względności: równoważności, względności, minimalnego sprzężenia grawitacyjnego i korespondencji.
9. Opis zakrzywionej czasoprzestrzeni: współrzędne lokalne, metryka, lokalne układy inercjalne, stożki świetlne; długość, pole, objętość i objętość czterowymiarowa, hiperpowierzchnie w czterowymiarowej czasoprzestrzeni, pola wektorowe i tensorowe w zakrzywionej czasoprzestrzeni, Relacje między czasoprzestrzeniami specjalnej i ogólnej teorii względności
10. Krzywizna i linie geodezyjne, tensor krzywizny i tensor Ricciego, linie geodezyjne, wyznaczanie symboli Christoffela z równań linii geodezyjnych, współrzędne normalne Riemanna i układy swobodnie spadające
11. Eksperyment myślowy z nielokalną windą, wektor dewiacji geodezyjnej, równania Einsteina w pustej czasoprzestrzeni, newtonowska granica równań geodezyjnych: związek potencjału grawitacyjnego z elementem metryki  $g_{00}$
12. Tensor energii-pędu: definicja i przykłady, prawo zachowania energii i pędu
13. Równania Einsteina: wyprowadzenie, własności, stała kosmologiczna i jej współczesna interpretacja
14. Rozwiązanie Schwarzschilda równań Einsteina: założenia dotyczące symetrii czasoprzestrzeni, wyprowadzenie metryki, jej własności, osobliwości metryki Schwarzschilda

15. Linie geodezyjne w metryce Schwarzschilda: ich postać, całki pierwsze, równanie radialne i uogólnienie formuły Bineta
16. Zastosowanie równiań linii geodezyjnych w metryce Schwarzschilda: precesja perihelium dla cząstek masowych i ugięcie światła, soczewkowanie grawitacyjne
17. Schwarzschildowska czarna dziura: zapadanie grawitacyjne ciał niebieskich, współrzędne Eddingtona- Finkelsteina, geometria horyzontu zdarzeń, współrzędne Kruskala-Szekeres, tunele czasoprzestrzenne.
18. Fale grawitacyjne

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] R. D'Inverno, *Introducing Einstein's relativity*, Clarendon Press, Oxford, 1998
- [2] M. P. Hobson, G. Efstathiou, A. N. Lasenby, *General relativity: an introduction for physicists*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
- [3] J.B. Hartle, *Grawitacja, Wprowadzenie do ogólnej teorii względności Einsteina*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 2010.
- [5] R. K. Sachs, H. Wu, *General relativity for mathematicians*, Springer-Verlag, New York, 1977.
- [5] Y. Choquet-Bruhat, *Introduction to general relativity, black holes & cosmology*, Oxford University Press. Oxford, 2015
- [6] W.A. Ugarow, *Szczególina teoria względności*, PWN, Warszawa, 1985
- [7] slajdy do poszczególnych wykładów