

# Gravitációshullám-asztrfizika

## Dolgozati tematika

### 1. A gravitációs hullámok általános relativitáselméleti háttere I.

- Az Einstein egyenlet hullámmegoldása.
- A GH-ok kölcsönhatása geodetikus mozgást végző tömegpontokkal.

### 2. A gravitációs hullámok általános relativitáselméleti háttere II.

- A GH-ok kölcsönhatása az interferométer lézerével.
- A GH detektorok irányérzékenysége, antenna faktorok.

### 3. Gravitációs hullámok keltése I.

- A gravitációs sugárzás forrása, multipól sorfejtés. Összehasonlítás az elektromágneses sugárzással.
- Tömegpont-kettősrendszer gravitációs sugárzása.

### 4. Gravitációs hullámok keltése II.

- Miért nem tudjuk detekálni a Nap-Föld rendszer gravitációs sugárzását?
- Összehasonlítás: GH kontra időben változó newtoni gravitációs tér.

### 5. Gravitációshullám-detektorok

- Tömegrezonátorok, interferometrikus detektorok. Működési elvek.
- Detektorok világszerte. Detektorok ma és a jövőben.

### 6. A LIGO

- A LIGO detektorok műszeres felépítése, zajforrásai, és a zajcsökkentés lehetőségei.

### 7. Zajhatások I.

- A lézer sörétzaja és a lézernyomás zaja. A zajcsökkentés lehetőségei. Standard Quantum Limit.

## **8. Zajhatások II.**

- A szeizmikus zaj. A zajcsökkentés lehetőségei. Invertált inga.

## **9. Zajhatások III.**

- Hőmérsékleti zajok. A zajcsökkentés lehetőségei.

## **10. A LIGO adata**

- A LIGO adat előállítása, és általános jellemzése.
- A véletlen és determinisztikus adatsorok tulajdonságai.

## **11. Adatreprezentációk és adtműveletek.**

- Műveletek adatsorokkal folytonos és diszkrét esetben. Fourier transzformáció, korreláció, konvolúció.
- Adatreprezentációk: idősor, spektrum, idő-frekvencia térképek.

## **12. A teljesítmény spektrum és becslési módszerei**

- A PSD és ASD definíciója és jellemzése.
- A PSD nem-parametrikus és parametrikus becslési módszerei. A PSD becslése periodogrammal és Bartlett-módszerrel.
- A PSD becslése Welch-módszerrel. Ablakfüggvények.

## **13. A jel-zaj arány**

- A jel-zaj arány (signal-to-noise ratio, SNR). Számolása idő-, frekvenciatérben, és logaritmikus skála mellett.
- Monokromatikus hullám SNR-ja idő- és frekvencia térben számolva.

## **14. Adatszűrések**

- Spektrum szűrés és fehérítés. Szűrők átviteli függvénye. Szűrés idő térben és frekvencia térben.
- Notch szűrés. Zero Phase szűrés.

## **15. Adatsorok idő-frekvencia térben**

- Adatanalízis idő-frekvencia térben.
- Short Time Fourier Transform (STFT). Spektrogram.

- Wavelet transzformáció. Scalogram.
- Event Trigger Generator.

## **16. Jelek detektálása gravitációshullám-detektorokkal I.**

- A jelkeresés általános menete. Asztrofizikai jeltípusok. Bázisfüggvények. Keresési módszerek.
- Célzott keresés és vak keresés. Jelkeresés egy és több detektorral. Adatminőségi zászlók és vétők. Felső korlát becslés.

## **17. Jelek detektálása gravitációshullám-detektorokkal II.**

- Adatsorok statisztikája jelekkel és azok nélkül. Teszt statisztikák.
- Hamis riasztási valószínűség és hamis tévesztési valószínűség. A riasztás feltétele. A teszt statisztika optimális megválasztása.
- Hamis riasztási ráta, detektálási valószínűség. ROC görbe.

## **18. Gravitációs hullám sztochasztikus háttér**

- Gravitációs hullám sztochasztikus háttér forrásai és keresési stratégiája. Eddigi eredmények.

## **19. Periodikus jelek**

- A periodikus GH-jelek forrásai és keresése. A jelkeresést nehezítő fizikai effektusok. Periodikus jelforrások célzott és vak keresése.

## **20. Bepirálózó kettősök jelei I.**

- A bepírázó kettősök jellemzése, fajtái, eseményrátái. A bepírázás fázisai és hullámformái. A poszt-newtoni formalizmus. Zérus és nemzérus spinű kettősök, kis- és nagy tömegű kettősök.

## **21. Bepirálózó kettősök jelei II.**

- A bepírázó kettősök keresésének stratégiái. Matched filtering. A szűrők paramétertere zérus és nemzérus spinek esetén. A paramétertér metrikája és lefedése.

## **22. Gravitációshullám-kitörések**

- Kitörésekről általában. GH kitörések keresése az X-pipeline algoritmussal.
- GH kitörések keresése az Omega-pipeline algoritmussal.

### **23. Multimessenger-csillagászat gravitációshullám-detektorokkal**

- A gravitációshullám-detektorok hálózatainak forráslokalizációs módszerei és pontossága
- Multimessenger-csillagászat különböző EM-hullámhosszakon (rádió, optikai, UV, röntgen)
- Multimessenger-csillagászat neutrínódetektorokkal