

# Gravitációshullám-asztrófizika

## Vizsgatematika

### 1. A gravitációs hullámok általános relativitáselméleti háttere

- Az Einstein egyenlet hullámmegoldása.
- A GH-ok kölcsönhatása geodetikus mozgást végző tömegpontokkal.
- A GH-ok kölcsönhatása az interferométer lézerével.
- A GH detektorok irányérzékenysége, antenna faktorok.

### 2. Gravitációs hullámok keltése

- A gravitációs sugárzás forrása, multipól sorfejtés. Összehasonlítás az elektromágneses sugárzással.
- Tömegpont-kettősrendszer gravitációs sugárzása.
- Összehasonlítás: GH kontra időben változó newtoni gravitációs tér.

### 3. A LIGO műszeres felépítése, zajforrásai, érzékenysége

- A LIGO detektorok műszeres felépítése, zajforrásai, és a zajcsökkentés lehetőségei.
- A lézer sörétzaja és a lézernyomás zaja. A zajcsökkentés lehetőségei. Standard Quantum Limit.
- A szeizmikus zaj. A zajcsökkentés lehetőségei. Invertált inga.
- Hőmérsékleti zajok. A zajcsökkentés lehetőségei.

### 4. Adatsorok jellemzése, műveletek adatsorokkal, adatrepresentációk

- Véletlen és determinisztikus adatsorok tulajdonságai.
- Műveletek adatsorokkal folytonos és diszkrét esetben. Fourier transzformáció, korreláció, konvolúció.
- Adatrepresentációk: idősor, spektrum, idő-frekvencia térképek.

### 5. 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.

## **6. Műveletek LIGO adatokkal, zajkezelés**

- A jel-zaj arány (signal-to-noise ratio, SNR).
- Spektrum szűrés és fehérités. Szűrők átviteli függvénye. Szűrés idő térben és frekvencia térben.
- Notch szűrés. Zero Phase szűrés.

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

- Adatanalízis idő-frekvencia térben.
- Short Time Fourier Transform (STFT). Spektrogram.
- Wavelet transzformáció. Scalogram.
- Event Trigger Generator.

## **8. Jelek detektálása gravitációshullám-detektorokkal**

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

## **9. Gravitációs hullám sztochasztikus háttér és periodikus jelek**

- Gravitációs hullám sztochasztikus háttér forrásai és keresési stratégiája.
- A periodikus GH-jelek forrásai és keresése. A jelkeresést nehezítő fizikai effektusok. Periodikus jelforrások célzott és vak keresése.

## **10. Bespirálózó kettősök jelei és gravitációshullám-kitörések**

- A bespirálózó kettősök jellemzése, fajtái, eseményrátái. A bespirálózás fázisai és hullámformái. A poszt-newtoni formalizmus. Zérus és nemzérus spinű kettősök, kis- és nagy tömegű kettősök.
- A bespirálózó kettősök keresésének stratégiái. Matched filtering. A szűrők paramétertere zérus és nemzérus spinek esetén. A paramétertér metrikája és lefedése.
- GH kitörések keresése az X-pipeline algoritmussal.
- GH kitörések keresése az Omega-pipeline algoritmussal.

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

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