

Raffai Péter „Az interferometrikus gravitációshullám-detektorok alkalmazása az asztrofizikában és a gravitációkutatásban” című doktori disszertációjának bírálata.

Raffai Péter az Eötvös Gravity Research Group és a Ligo – Virgo Kollaboráció tagjaként az elmúlt években végzett kutatásait és eredményeit foglalja össze disszertációjában. Az értekezés témája időszerű, releváns, munkájával aktívan vizsgált kutatási területekhez nyújtott fontos hozzájárulást. A dolgozat az egyike az első, -lehet, hogy a legelső- a Magyarországon született magyar nyelvű, a kísérleti gravitációshullám-kutatás témájában megírt doktori disszertációknak, ennek számos előnyével és kihívásával.

A dolgozat alapvetően három nagy részre osztható. Egy általános jellegű nulladik (bevezető) részre, a hosszú gravitációshullám-tranziensek keresését ismertető első, valamint az interferometrikus detektorok kalibrálását, speciális környezeti zajainak vizsgálatát és az esetleges nem-newtoni gravitációs potenciálok kimérését bemutató második fejezetre. A dolgozat felépítése tiszta, logikus. A legelején található angol nyelvű összefoglaló segítségével a nem magyar ajkú érdeklődők is információt kaphatnak az elvégzett munkáról és annak főbb eredményeiről. Az előszó leginkább nem a fizikai kutatás vagy probléma háttéréről szól, hanem egy tárgyilagos és viszonylag részletes leírása a Ligo-Virgo kollaboráció működésének és a jelölt kollaborációban végzett munkájának. Bár számomra első olvasatra különös volt egy ilyen előszó, jobban átgondolva a fejezet ily módon való megírásának motivációja érthető. Ez a rész segíti a kollaborációs munkában járatlan olvasót, hogy a munka jellegét és az elért eredményeket jobban el tudja helyezni, súlyuknak megfelelően kezelni, hisz ez egyéni vagy kiscsoportos kutatómunkához képest az ilyen nagyméretű nemzetközi kollaborációban könnyebb az 'árral sodródni', de ugyanakkor nehezebb is az egyéni eredmények érvényesülését kivívni.

A dolgozatban bemutatott vizsgálati módszerek, a kutatás alapossága, részletessége a lehetséges hibák feltárása, megvizsgálása és bemutatása megfelelnek a korszerű kutatási módszereknek, elvárásoknak.

Külön értékelem, hogy a dolgozat magyar nyelven született! Ez mindig egy nehéz kérdés nemzetközi kollaborációs munka esetén. A dolgozat egészének nyelvezete, magyarsága megfelelőnek mondható. Kutatási területének szakszavait angol nyelvű kifejezéseit igyekszik magyarra fordítani, de sajnos ez nem mindenütt és nem is mindig magyarosra sikerül. Hogy csak néhány ilyen esetet említsek, például a 'matched filter' magyar megfelelője hiányzik, a 'false dismissal rate' magyartalan, érthetetlen fordításaként a 'hamis hibázási gyakoriság' kifejezést használja, holott a 'téves elvetési gyakoriság' sokkal inkább érthetőbb, pontosabb és magyarosabb lett volna. Ezekben a kifejezésekben a 'false' magyar megfelelője inkább a 'téves' és nem a 'hamis'. A 'squeezed light' kifejezést is inkább 'préselt fény'-nek és nem 'összenyomott fény'-nek az 'ultra-high vacuum'-ot pedig 'ultranagy-vákuum'-nak és nem ultra-alacsony vákuumnak mondjuk. Az alarm mint 'riasztás' helyett inkább a 'jelzést' használnám, hisz az alarm clock sem riasztó óra, hanem 'ébresztő óra'. Az 'injection' kifejezés magyarosított 'inkjektálás'-a helyett pedig talán a 'beültetett' vagy 'hozzáadott' szavak lennének pontosabbak. A magyar és angol betűszavak használata sem teljesen konzisztens. Ezeket a hiányosságokat azért is tartom különösen szerencsétlennek, mert fennáll a veszélye, hogy a témakörben a jövőben születendő dolgozatok is átvesszik ezeket a pontatlan kifejezéseket.

Sajnálattal tapasztaltam, hogy a szerző egyáltalán nem használ lábjegyzeteket, amelyek segítségével pedig sok helyen jobban, részletesebben és átláthatóbban el lehetett volna magyarázni különböző fogalmakat. A dolgozat egy másik gyengeségének tartom az irodalomjegyzék felépítését. Bár a benne szereplő tételek a dolgozatban történő előfordulásukkal megegyező sorrendben szerepelnek, egy tipikus olvasónak aki nem minden hivatkozást szeretne megnézni nem mindig

egyszerű megtalálni a megfelelő hivatkozást. Ha a szövegtörzsben a hivatkozások jellegét meghagyjuk akkor az irodalomjegyzékben ABC sorrendbe szedve kezelhetőbb, kereshetőbb lenne, de leginkább a sorszámozott hivatkozások lennének használhatóak. Manapság az internetes hivatkozások használata már természetszerű és elfogadott de arra ügyelni kellett volna, hogy, hogy csak időtálló hivatkozásokat használjunk, ne pedig specifikus szervereken személyes oldalakra mutató linkeket, hisz aki néhány év múlva olvassa a dolgot annak is meg kell tudni találnia a hivatkozások tartalmát. (Itt jegyzem meg, hogy például a GRB Wiki oldal már hiányzik is.)

A dolgozat fejezeteinek, valamint az általános leíró és a saját eredményeket bemutató szövegrészek terjedelmének arányát megfelelőnek tartom, de akár kicsit többet és részletesebben is írhatott volna az eredményekről a cikkekre való hivatkozások helyett.

A dolgozat címe tükrözi annak jellegét. Mégpedig, hogy a jelölt kutatómunkájának során számos különböző területen dolgozott és ezek szinte mindegyikén képes volt a már meglévő és elfogadott kutatási módszereket továbbfejleszteni, pontosítani, jobbítani.

A Hough, Locus és STAMP algoritmusok kifejlesztésében nyújtott kiemelkedő hozzájárulásával az interferometrikus detektorokkal eddig nem vizsgált gravitációshullám család – név szerinte a hosszú gravitációshullám-tranziensek – keresését, valamint a környezeti zajok és a gravitációshullám csatorna csatolódásának jobb vizsgálatát tette lehetővé. Az ezen a területen elért rendkívül hasznos munkáját, egyértelműen új tudományos eredménynek fogadom el. Ennek a fejezetnek egy hiányossága, hogy bármennyire is alapfogalom, a tf térképek előállítására nincs pontosan elmagyarázva, csak a hivatkozott cikkekben.

A GRB-k körüli időablakok lehetséges nagyságának vizsgálatát és behatárolását igazi hiánypótló munkának tartom! Az eddig alkalmazott laza feltételezések helyett szisztematikusan megvizsgálja a különböző forrástípusokat és fizikai folyamatokat amelyek az elektromágneses és a gravitációs jel észlelésének esetleges időkülönbségét okozhatja és ezek figyelembevételével tesz konzervatív javaslatot a használandó időablakokra.

Annak ellenére, hogy már számos korábbi szerző foglalkozott a témával nagyon hasonló megoldásokat alkalmazva, az interferométer működtetéséhez szintén fontos hozzájárulásnak tartom a jelölt a detektornak a gravitációs gradiens zajokra vonatkozó átviteli függvényének meghatározására tett kísérleti javaslatát és annak megvalósíthatósági tanulmányát.

A lehetséges nem-newtoni gravitációs potenciálok kimutatására tett kísérleti javaslat kétségkívül előremutató és értékes munka, de megítélésem szerint még rengeteg technikai és elméleti akadályt kell leküzdeni, hogy megvalósítható legyen, ezt támasztja alá például a tanulmányban használt sok közelítés is.

A dolgozatban nagyon pozitívnak tartom, hogy nem a sokszerzős kollaborációs cikkekre hivatkozik, hanem számos belső dokumentumra, valamint kevesebb szerzős cikkeknek is csak azokra a részeire amelynek létrejöttében jelentős szerepet vállalt. A bemutatott és referált folyóiratban megjelent tudományos eredmények mennyisége és minősége is megfelel a doktori fokozat követelményeinek.

A fentiekben megfogalmazott kritikák és pozitívumok összességének figyelembevételével, valamint részben ismerve a jelöltnek kollaboráción belül az elmúlt években elvégzett tevékenységét a dolgozatra az alábbi kérdések megválaszolása esetén '**summa cum laude**' minősítést javaslak!

A hosszú gravitációshullám tranziensek kereséséhez kapcsolódó kérdéseim a következők:

- A definíció szerint a hosszú gravitációshullám-tranziensek 1 és 10^5 másodperc közé esnek. A dolgozatban csak rövid jelek keresésére láthattunk példát. Kérdés: Mivel lehetne jellemezni és mennyire stacionárius a detektorzaj a 10^4 – 10^5 másodperc hosszakon? Hogyan aránylik ez a Ligo, Virgo detektorok tipikus 'locking' időszakainak hosszához? A jelenlevő nemstacionaritást, hogyan lehetne figyelembe venni a kereső algoritmusban?
- Bizonyos jelek esetén nem igaz, hogy a jel nem változik, vagyis stacionárius a Γ halmazon, hisz jól közelíthető idő-frekvencia-amplitúdó karakterisztikája van. Kérdés: Hogyan kéne ezt

figyelembe venni és mennyiben javítaná a keresési statisztikát specifikus jelalakok esetén ?

- A különböző kevésbé érzékeny de robusztus modellfüggetlen keresési algoritmusok a térképeken a küszöbérték feletti pixelekkal dolgoznak. Ezek a térképek és a rajtuk kialakuló alakzatok – megfelelő ábrázolás esetén – szabad szemmel is láthatók, felismerhetők. A mintafelismerés tipikusan olyan feladat amit az emberi szem és agy esetenként sokkal jobban és gyorsabban végez el mint az algoritmusok. Kérdés: A bemutatott algoritmusok bármelyike képes-e olyan alakzatot felismerni, ami – megfelelően begyakorolt – emberi szemlélő nem? Érdemes lenne-e, akár csak népszerűsítő céllal egy ilyen játékos alakzatkereső weboldalt létrehozni, ahol önkéntesek vizsgálhatják és kereshetik a valós és mesterségesen hozzáadott hosszú gravitációs hullám tranzienseket?
- Míg a Hough transzformáció az összes küszöbérték feletti ponton elvégzi a N paraméterrel leírható görbe illesztését a STAMP egy (globális) maximumból indul ki, így valószínűleg jóval gyorsabb. Kérdés: Hogyan aránylik egymáshoz a Hough és a STAMP számítási igénye 1 hónap felvett adaton? Hogyan függ ez az arány az adathossz hosszától?
- A folytonos hullámokat kereső csoport által alkalmazott Hough transzformációban a küszöbérték feletti pontokhoz 1-et az az alatti értékek 0 -t rendelnek. Mindezt azért, hogy a rövid tranziens (környezeti) zajok által okozott csúcsok ne kerüljenek figyelembe vételre túl nagy súllyal. Hosszú jelek vizsgálatakor a glitch-rate már befolyásolhatja STAMP algoritmust által választott kezdeti pixeleket. Kérdés: Milyen szinten jelenthet ez problémát?
- Hasonló képfeldolgozási problémák vannak az orvosi diagnosztikában (például szívkoszorú felismerése CT képeken) vagy a részecskefizikában (nyomvonalak rekonstrukciója). Kérdés: Milyen más már létező megoldások lettek megvizsgálva a Locus, Hough, STAMP algoritmusok kidolgozásakor. Miért vagy miért nem voltak alkalmazhatók?

Az időablak meghatározásával kapcsolatos kérdéseim:

- A jelenlegi detektorok érzékenysége a 8-10 Mp ($2-3 \cdot 10^{23}$ m) nagyságrendbe esik. Ha egy ilyen távolságból érkező egyébként elméletileg megegyező sebességű gravitációs hullám, illetve elektromágneses jel sebességei arányának 1-től való eltérése nagyobb mint 10^{-11} akkor a megérkezés időkülönbsége akár 1000 másodperc is lehet. Okozhat-e bármilyen asztrofizikai hatás ekkora sebességeltérést? Mekkora és milyen sűrűségű óriás molekulafelhőt kéne a fény útjába állítani, hogy értelmezni lehessen ilyen hatású effektív törésmutatót látható fényre, illetve gamma fotonokra? Létezik-e ilyen?

dr. Debreczeni Gergely
Wigner Fizikai Kutatóközpont
Gravitációfizikai Kutatócsoport

Kelt., Budapest, 2012. március 6.