

Doktori Értekezés Tézisei

Gravitomágnesség a relativitáselmélet oktatásában

Vető Balázs

ELTE TTK Elméleti Fizikai Tanszék

Budapest, 2010.

Bevezetés

A gravitomágnesség jelensége a newtoni mechanika értelmében mozgó tömegek között fellépő kölcsönhatás. Ez a kölcsönhatás gyengesége miatt, laboratóriumi körülmények között nem kimutatható. A gravitomágneses kölcsönhatás az általános relativitáselmélet kis sebességekre és gyenge gravitációs terekre érvényes közelítéséből vált ismertté az 1900-as évek közepe táján. A kölcsönhatás gyakorlati kimutatása a 2007-ben véget ért Gravity Probe B kísérletben történt meg. A gravitomágnesség tanítása hiányzik a hazai felsőfokú fizikaoktatásból.

Célkitűzések

Értekezésemben, a relativitáselmülethez kapcsolódó gravitomágnesség jelenségének egyetemi oktatására dolgozok ki tematikát és módszertant. Az oktatási, hallgatói célcsoport a fizika MSC képzésben résztvevő, illetve érdeklődő, végzős fizika BSC hallgatók. A gravitomágnesség oktatása lehet önálló tárgy, vagy egy relativitáselmélet kurzus része. A dolgozatban összeállított tantárgyi curriculum egy speciálkollégium alapját képezi, ahhoz jegyzetként használható. Az anyagból azonban kiválaszthatók relativitáselmélet előadásba beilleszthető részletek.

A gravitomágnesség oktatásának megtervezése során a tárgyi ismeretek átadása mellett a másik célkitűzés a szemléletformálás. A tematika összeállításával a szakirodalomban előforduló fontosabb témákat és alkalmazásokat szándékozom lefedni. A módszertan a hallgatóság már korábban megszerzett, elektrodinamikai ismereteire épít. Módszertani célkitűzés, hogy az elektrodinamikai ismeretek új, a hallgatók számára ismeretlen területen történő alkalmazása szélesítse a tárgyi szemléletet és segítse fizikai gondolkodás fejlődését. Az értekezésben ismertetett tananyag új tárgyi ismereteket ad és a szakirodalmi tárgyalásnál egyszerűbb megközelítésben mutat be relativisztikus jelenségeket.

Eredmények és következtetések

1. *Az elektromágnesség és a speciális relativitáselmélet*

A XIX. századi fizika együttesen elektromágnesség néven ismeri, de független jelenségként kezeli az elektromos töltések között fellépő Coulomb- és a mozgó elektromos töltések között fellépő mágneses kölcsönhatást. Levezetéssel igazolom, hogy a speciális relativitáselmélet alkalmazása esetén, a mozgó elektromos töltések között fellépő mágneses kölcsönhatás léte következik az elektrosztatika és a speciális relativitáselmélet törvényeiből. A tézis állításának erős szemléletformáló hatása van, mivel korábban megismert jelenségek között állapít meg új kapcsolatot.

2. *A gravitomágnesség jelensége*

A fizikaoktatás a tömegvonzás jelenségének tanításakor – a jelenség gyenge hatása miatt – nem foglalkozik gravitomágnességgel, a mozgó tömegek között fellépő

gravitomágneses erőhatással. Az értekezésben kifejtem, hogy a gravitomágneses jelenség léte következik a Newton-féle gravitációs törvényből és a speciális relativitáselméletből.

A speciális relativitáselmélet gravitáció leírására történő alkalmazása kritikus, mivel a tömegvonzás megzavarja az inercia rendszereket. Ezért, a fejezet második részében, az általános relativitáselmélet alapján írom fel a gravitomágnesség jelenségét, gyenge gravitációs tér és kis sebesség közelítésben. A speciális relativitáselmélet alapján levezetett gravitomágneses Lorentz-erő nagysága egy kettős faktoriall elmarad ugyan az általános relativitáselméletből származtatott gravitomágneses kölcsönhatás pontosabb, kísérlettel is igazolt erősségétől, de módszertani jelentősége mégis óriási, mert a fogalmilag sokkal bonyolultabb általános relativitáselmélet nélkül, pusztán elektromágneses analógia alapján tárja fel a jelenség létezését.

3. *Az általános relativitáselméletből származtatott gravitomágneses alaptörvények*

Szakirodalmi kutatás alapján összefoglalom és SI rendszerbe illeszttem a gravitomágnességet leíró fizikai mennyiségeket és törvényeket, valamint párhuzamba állítom őket elektromágneses megfelelőikkel. Módszertani érték, hogy az elektromágneses és gravitomágneses jelenségek hasonlóságának felismertetése, az analógiás gondolkodás tudatos használatával megkönnyíti az új ismeretek elsajátítását a hallgatók számára.

4. *Gyakorlati példák összeállítása a gravitomágnesség jelenségéhez*

Saját kidolgozású példákon és gondolatkísérleteken mutatom be a gravitomágnesség gyakorlati alkalmazását:

- Mozgó tömegek gravitomágneses tere
- Gravitomágneses erő és forgatónyomaték
- Gravitomágneses indukció jelensége
- Forgó testek gravitomágneses dipólmomentuma
- Pörgettyűk viselkedése gravitomágneses térben
- Távoli testek gravitomágneses hatása a forgó Földön
- Gravitációs hullámok

A gyakorlati példák és gondolatkísérletek segítik a jelenség mélyebb megértését és fontos részét képezik a gravitomágnesség tananyagának, mert az elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazása önálló hallgatói munkával is feldolgoztatható.

5. *A Földdel kapcsolatos gravitomágneses jelenségek*

A gravitomágneses Poisson-egyenlet megoldásával meghatározom a forgó Föld gravitomágneses terét és megmutatom, hogy egy külső megfigyelő számára a forgó Föld körül kialakuló gravitomágneses tér dipóltér. A Föld felszínén kívül bármely pontban olyan teret tapasztalunk, mintha azt egy a Föld középpontjában lévő, pontszerű dipólus hozná létre. Az elektrodinamikában megismert Biot-Savart-törvény gravitomágneses alkalmazásával meghatározom távoli objektumoknak a Föld vonatkoztatási rendszerében keltett gravitomágneses terét és megvizsgálom

ennek a Földön mozgó testekre kifejtett hatását. Megmutatom az Univerzum tömege által keltett gravitomágneses tér és a Coriolis-erő kapcsolatát. A levezetések módszertani értéke, hogy korábban megszerzett ismeretek új területen történő alkalmazásával a tudástranszfer folyamatát építi be a hallgatói munkába.

6. *A Gravity Probe B kísérlet értelmezése a gravitomágnesség alapján*

Meghatározom a Föld körül keringő műhold fedélzetén tartózkodó megfigyelő által érzékelhető gravitomágneses teret. A tér ebben az esetben két komponensből áll; a Föld keringése, illetve a Föld tengely körüli forgása által gerjesztett gravitomágneses térből. A kapott gravitomágneses tér felhasználásával levezetem, a poláris körpályán mozgó műhold fedélzetén elhelyezett, szabad pörgettyű precesszióját. A kapott eredmény megegyezik a Schiff-féle formulával, az általános relativitáselmélet alapján számolt és a Gravity Probe B kísérletben megerősített precesszió mértékével. A tézisben leírt módszerrel az általános relativitáselmélet eszközeinél egyszerűbb módon juttatom el a hallgatókat a geodetikus precesszió és a Lense-Thirring effektus megértéséhez.

7. *A geodetikus precesszió és a Lense-Thirring-effektus elektromágneses analógiája*

Az elektromágneses és gravitomágneses jelenségek további hasonlóságának bemutatásaként gondolat-kísérletben vizsgálom két, ellentétes töltésű szigetelő test Coulomb- kölcsönhatás által kötött rendszerét. A testek egyike egy pörgettyű, amelynek tömege jóval kisebb a másikénál. Ha ez a pörgettyű, a központi nagyobb tömeg körül körpályán kering, akkor az elektromágneses forgatónyomaték következtében forgástengelye a Gravity Probe B kísérletben alkalmazott pörgettyűkhöz hasonlóan precesszálni fog. Megjelenik a geodetikus precesszió megfelelője, melynek mértéke függ a két test fajlagos töltésétől. Amennyiben a központi test saját tengelye körül forgást is végez, akkor a Lense-Thirring-effektusok elektromágneses hasonmása is fellép.

A bemutatott gondolat-kísérlet módszertani értéke a megismerési folyamatban alkalmazott analógia megfordítása. Az értekezés korábbi részében az elektromágneses jelenségek gravitációs megfelelőit fedeztük fel a tanulási folyamatban. Ebben a pontban az általános relativitáselmélet által megismert gravitomágneses jelenségek elektromos megfelelőit keressük. A gondolatmenet rámutat arra, hogy az új területen kifejlesztett elméleti eredmények, illetve módszerek alkalmazása termékenyen hozzájárulhat az eredetileg alapul vett terület ismereteinek bővüléséhez.

A tézisek alapjául szolgáló publikációk

Vető B. Az elektromos kölcsönhatás a speciális relativitáselmélet szemszögéből *Fizikai Szemle* 2009/4. 127-131.

Vető B. Gravitáció és gravitomágnesség, *Fizikai Szemle* 2010/9. 296-299.

B. Vető Gravity Probe B experiment and gravitomagnetism, *Eur. J. Phys.* 2010. vol. 31. p. 1123-1130.