

A relativitáselmélet alapjai

További olvasnivaló a kiadó kínálatából:
Bódizs Dénes: Atommagsugárzások mérés technikái
Frei Zsolt – Patkós András: Inflációs kozmológia
Geszti Tamás: Kvantummechanika
John D. Jackson: Klasszikus elektrodinamika
Patkós András – Polónyi János: Sugárzás és részecskék
Edwin F. Taylor – John A. Wheeler: Tér-időfizika

Hraskó Péter

A RELATIVITÁSELMÉLET ALAPJAI



TYPOTEX

Budapest, 2009

A könyv a Typotex Kiadó által indított,
az Igényes Tankönyvkiadásért Program keretében jelent meg.

© Hraskó Péter; Typotex, 2009

ISBN 978 963 279 027 5

Témakör: *fizika*

Kedves Olvasó!

Önre gondoltunk, amikor a könyv előkészítésén
munkálkodtunk. Kapcsolatunkat szorosabbra fűzhetjük, ha
belép a *TypoKlubba*, ahonnan értesülhet új kiadványainkról,
akcióinkról, programjainkról, és amelyet a *www.tygotex.hu*
címen érhet el. Honlapunkon megismerkedhet kínálatunkkal is,
egy-egy könyveinknél pedig új fejezeteket, bibliográfiát,
hivatkozásokat találhat, illetve az esetlegesen előforduló hibák
jegyzékét is letöltheti.

Kiadványaink egy része e-könyvként (is) kapható:

www.interkonyv.hu

Észrevételeiket a *velemeney@tygotex.hu* e-mail címen várjuk.

Kiadja a Typotex kiadó, az 1795-ben alapított
Magyar Könyvkiadók és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.

Felelős kiadó: Votisky Zsuzsa

Nyomdai előkészítés: Gerner József

A borítót tervezte: Tóth Norbert

Terjedelem: 10,8 (A/5) ív

Készült a Multiszolg Bt. nyomdájában

Felelős vezető: Kajtor István

Tartalom

Előszó	9
1. Az idődilataációtól az $E = mc^2$ -ig	13
1.1. Vonatkoztatási rendszerek és inerciarendszerek	13
1.2. Az optikai Doppler-effektus és az idődilataáció	18
1.3. Az egyidejűség relativitása	24
1.4. A sajátidő és az ikerparadoxon	31
1.5. A Lorentz-kontrakció	33
1.6. A sebességösszeadás	36
1.7. A tömegpont mozgásegyenlete	40
1.8. Nő-e a testek tömege a sebességük növelésével?	45
1.9. A tömegpont mozgási energiája	47
1.10. A nyugalmi energia: az $E = mc^2$ képlet	48
1.11. Ekvivalens-e egymással a tömeg és az energia?	52
2. A Lorentz-transzformáció	61
2.1. A koordinátaidő	61
2.2. A fénysebesség mérése egy irányban	65
2.3. A Minkowski-koordinátarendszer	67
2.4. A Lorentz-transzformáció	68

2.5.	A téridő-intervallumok osztályozása	71
2.6.	Téridő-diagramok	74
2.7.	A kauzalitási paradoxon	83
2.8.	Az idődilatació a téridő-diagramon	88
2.9.	A Doppler-effektus számítása Lorentz-transzformációval	91
2.10.	A sajátidő és a koordinátaidő kapcsolata. . .	91
2.11.	Az ikerparadoxon számítása	94
2.12.	A koordinátarendszer gyorsuló vonatkoztatási rendszerben: Az ikerparadoxon a gyorsuló vonatkoztatási rendszer nézőpontjából	96
2.13.	A koordinátarendszer gyorsuló vonatkoztatási rendszerben: a forgó Föld	100
2.14.	A Lorentz-kontrakció számítása...	102
2.15.	Kontrahálódik-e egy forgó korong kerülete?	104
2.16.	Rövidebbnek látszanak-e a testek, ha mozognak?	106
2.17.	A sebességösszeadás (folytatás)	108
2.18.	A tömegpont mozgásegyenlete (folytatás)	109
2.19.	A négyesimpulzus	112
2.20.	Nulla tömegű részecskék	114
2.21.	Az elektromágneses mező transzformációja	115
2.22.	A Thomas-precesszió	118
2.23.	A Sagnac-effektus	120
3.	Az általános relativitáselmélet	123
3.1.	A súlyos és a tehetetlen tömeg	123

3.2. Az ekvivalencia-elv	126
3.3. Az $m^* = m$ reláció pontos jelentése	129
3.4. Az inerciarendszerek lokálitása	130
3.5. A súlyerő	132
3.6. A GP-B kísérlet	133
3.7. A fényelhajlás	136
3.8. A perihélium-vándorlás	138
3.9. A gravitációs vöröseltolódás	139
Záró megjegyzések	145
Mutató	151

Előszó

Hosszú évek óta tanítok relativitáselméletet, és fokozatosan arra a meggyőződésre jutottam, hogy az elmélet elfogadott bevezetési módja ugyan valószínűleg a lehető leglogikusabb, didaktikai szempontból azonban nem igazán szerencsés. A hagyományos tárgyalásban, amely lényegében Einstein 1905-ös gondolatmenetét követi, a Lorentz-transzformáció bevezetése megelőzi a relativisztikus effektusok – az idődilatáció, a Lorentz-kontrakció, a sebességösszeadás (és a néhány hónappal későbbi cikkben közölt $E = mc^2$ képlet) – tárgyalását. Ennél természetesebb sorrendet nehéz elképzelni, de a buktatója az, hogy magának a Lorentz-transzformációnak a meggyőző, fogalmilag tiszta megalapozása egyáltalán nem egyszerű feladat. A Lorentz-transzformáció levezetése a fénysebesség állandóságán és az órák Einstein-féle szinkronizálásán alapul, és ennek a két összetevőnek a kölcsönös viszonya nagyon gyakran válik félreértés áldozatává. Könnyen alakul ki ugyanis az emberben az a benyomás, hogy a szinkronizálási eljárással tulajdonképpen mesterségesen kényszerítjük ki a fénysebesség állandóságát, és ez még azoknál is a bizonytalanság forrása lehet, akik nem jutnak el ennek a problémának a tudatos megfogalmazásáig.

Ebben a kis könyvben arra teszek kísérletet, hogy a hagyományos sorrendet megfordítsam: a relativisztikus effektusokat anélkül mutassam be, hogy előzetesen szó esne az órák szinkronizálásáról és a Lorentz-transzformációról. Úgy gondolom, hogy ez a feladat teljes mértékben megoldható úgy, hogy utóbb, amikor azután sor kerül a Lorentz-transzformációkra, már csak finomítani (és persze továbbgondolni) kelljen azt, amiről korábban szó volt, anélkül, hogy szükség lenne bárminek a helyesbítésére vagy visszavonására. Ennek a programnak megfelelően a Lorentz-transzformációról csak a 2. fejezetben lesz szó, de a speciális relativitáselméleti effektusokat tárgyaló 1. fejezetet (és az általános relativitáselmélet alapjait ismertető 3. fejezetet is) meg lehet érteni a 2. fejezet ismerete nélkül. Másrészt a relativisztikus effektusok átgondolása során az olvasó elsajátíthatja a relativitáselmélet szemléleti alapjait, és ez megkönnyítheti a számára, hogy a 2. fejezet tanulmányozása közben elkerülje azokat a buktatókat, amelyekről fentebb szó volt.

Azt a célt azonban nem tűztem ki magam elé, hogy a könyv az alkalmazott matematika szempontjából egyszerűbb legyen, mint a hagyományos sorrendet követő tankönyvek – de nem is bonyolultabb náluk. A relativitáselméletnek ezek a fejezetei nem igényelnek nehéz matematikát, a középiskolai matematika és a differenciálszámítás alapfokú ismerete elegendő a megértésükhöz.

A könyv azoknak az előadásoknak az alapján készült, amelyeket 2007 őszi szemeszterében az ELTE Doktori Iskoláján tartottam fizikatanárok számára. Köszönetemet fejezem ki az

Iskola szervezőinek és résztvevőinek a támogatásukért és közreműködésükért.

Hraskó Péter