

Irodalom

1. Maiman, T. H.: Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187 (8. Aug. 1960), 493–494.
2. Javan, A., Bennett, W. R. Jr., Herriott, D. H.: Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing He-Ne mixture. *Phys. Rev. Lett.* 6 (1. Febr. 1961) 106–110.
3. Schawlow, A. L.: Optikai maserek. *Fizikai Szemle* 11 (1961. szept.) 263–270, (*Scientific American*, June 1961)
4. Bakos J., Csillag L.: A lézer. *Fizikai Szemle* 13 (1963. okt.) 304–311.
5. Bakos J., Csillag L.: Lézer-típusok és alkalmazásai. *Fizikai Szemle* 13 (1963. dec.) 359–367.
6. Rigrod, V. W., Kogelnik, H., Brangaccio, D. J., Herriott, D. R.: Gaseous optical maser with external concave mirrors. *J. Appl. Phys.* 33 (Febr. 1962) 743–744.
7. Boyd, G. D., Gordon, J. P.: Confocal multimode resonator for millimeter through optical wavelength masers. *Bell Sys. Tech. J.* 40 (March 1961) 489–508.
8. Bakos J., Csillag L., Kántor K., Varga P.: Ezüsttükros nagyfrekvenciás gerjesztésű He-Ne laser. *KFKI Közl.* 13 (1965), 195–197.
9. White, A. D., Rigden, J. D.: Continuous gas maser operation in the visible. *Proc. IRE* 50 (July 1962) 1697.
10. Czitrovsky A., Farkas Gy., Bánó G. és munkatársai: Lézerfejlesztések és lézeralkalmazások a KFKI-ban, majd az SZFKI-ban. *Magyar Tudomány* (2005), 1499–1510.

ALÁZATRA NEVEL, HA EGY LAPON EMLÍTENEK A FÉLISTENEKKEL – Edwin F. Taylorral Bokor Nándor beszélget

– *A fizikusok között az egész világon, Magyarországon is, számos rajongója van a Téridőfizika című könyvnek, amelyet Ön és John Archibald Wheeler írt.¹ 1972-ben megjelent Öntől egy írás, amelyben beszámol arról, hogyan dolgoztak John Wheelerrel a Téridőfizika 1963-as kiadásán, valamint leírja személyes benyomásait is Wheelerről (többek között Wheeler érzelmi reakcióját, amikor mestere, Niels Bohr haláláról értesült 1962 novemberében) [2]. Az Ön és Wheeler közötti munkakapcsolat és barátság 1962-ben kezdődött, mielőtt Ön egyéves alkotói szabadságát töltötte a Princeton Egyetemen. Egyik teendője az volt, hogy jegyzeteket készítsen egy elsőéves fizika kurzus előadásaihoz, amelyet Wheeler egy 35 fős évfolyamnak tartott. Wheeler 6 hét relativitáselmélettel kezdte a kurzust!*

A fizikának mely főbb területei érdekelték, mielőtt John Wheelerrel találkozott? Mindig is különösen érdekelt a relativitáselmélet, vagy pedig Wheeler előadásmódja bozta ezt a területet igazán közel a szívéhez, amelyet azon az 1962-es elsőéves fizika kurzuson hallott?

– Apám, Lloyd W. Taylor, fizika tankönyveket írt, tehát a fizika iránti vonzalom számomra természetesen adódott. Első könyvem, a *Bevezető mechanika (Introductory Mechanics)*, azalatt került ki a nyomdából, mielőtt alkotói szabadságon voltam a Princeton Egyetemen. Abban a könyvben volt néhány fejezet a speciális relativitáselmületről. Wheeler intézte el, hogy legyek az asszisztense ezen a bevezető kurzuson, amit kiemelkedő képességű hallgatónak tartott.² Teljesen megbabo-

názott, ahogyan a speciális relativitáselméletet tárgyalta, és rögtön el is kezdtem az előadásokról jegyzetet írni. Ezt az egyik titkárnő stencilezte, és a félév végén kiosztottuk a hallgatónak. Ebből nőtt ki a *Téridőfizika*.

– *Milyen volt a könyv fogadtatása a fizikusok és az egyetemi hallgatók között? Azonnal lelkesen fogadták a szakmabeliek?*

– Nem a könyv szerzőjét érdemes kérdezni erről. Ő ugyanis „torz mintát” kap a reakciókból. Ha valaki utál egy tankönyvet, rendszerint nem fogja a véleményével külön megkeresni a szerzőt. Wheeler elég nagy név volt ahhoz, hogy a *Téridőfizikára* irányítsa a figyelmet, és a könyv kedvező kritikákat kapott.

– *Milyen pedagógiai kontextusban jelent meg a könyv? Más szóval: emlékei szerint milyen egyetemi tankönyvekből tanították az 50-es évek végén a speciális relativitáselméletet alsóéveseknek?*

– Amikor én alsóéves voltam, a bevezető fizika tankönyvben nem esett szó relativitáselmületről. Azt hiszem, csak a 60-as években, az MIT és a Berkeley által kiadott bevezető szintű tankönyvek megjelenésével került be a speciális relativitáselmélet a tananyagba, és azóta ott is maradt.

– *Tudna valamit mondani a könyv külföldi fogadtatásáról? Hány nyelvre fordították le? Emlékszik-e, melyik volt az első külföldi kiadás?*

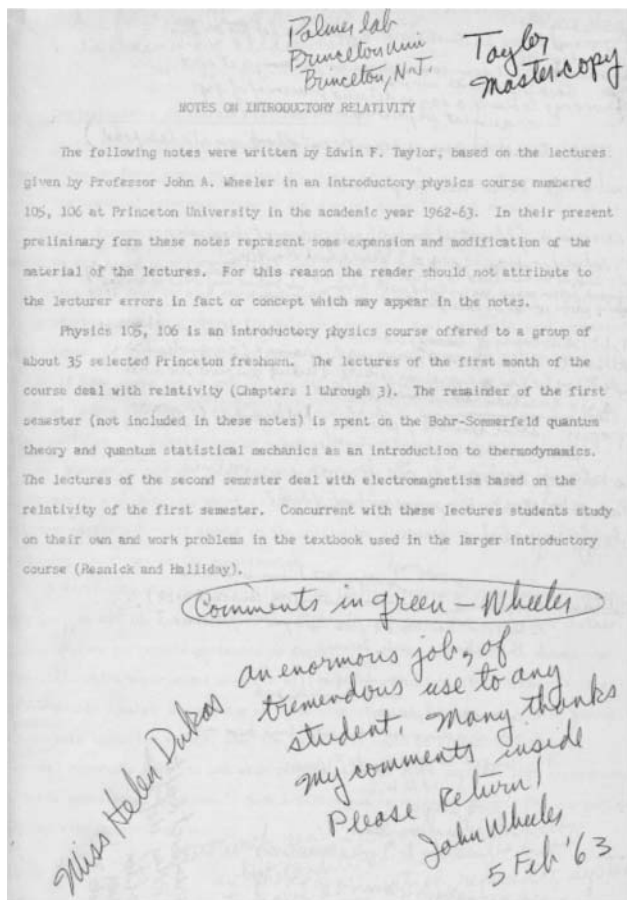
– Az orosz kiadás volt az első 1969-ben, aztán jött a francia 1970-ben, a lengyel 1972-ben és a magyar 1974-ben (ezt 2006-ban újra kiadták). Wheeler és én 1992-ben megjelentettünk egy második, átdolgozott változatot. Ezt 1994-ben kiadták németül, 1996-ban olaszul, 2012-ben pedig szlovákul. Az *Exploring Black Holes* pedig japánra fordítva jelent meg 2004-ben.

– *Használta-e a Téridőfizikát mint tankönyvet az MIT-n tartott előadásaihoz? És használta-e Wheeler a Princetonon a későbbi elsőéves diákjaival?*

Edwin F. Taylor a Massachusetts Institute of Technology emeritus kutatója 2013. július 11-én tart előadást az ELTE-n (erről és Taylor életútjáról lásd előző számunk 177–178. oldalait). Bokor Nándor a BME Fizikai Intézet oktatója.

¹ A könyv magyar nyelven 1974-ben jelent meg először, a második kiadás 2006-ban látott napvilágot [1].

² Olyan kurzus volt ez, amelyet elsőéves diákok kislétszámú, válogatott csoportjának tartottak. A csoportba például azok kerülhettek be, akik középiskolában egyetemi szintű alapképzést kaptak, vagy akik az emelt szintű központi felvételin kimagasló eredményt értek el.



Az 1962-es stencilezett előadásjegyzet első oldala (Edwin F. Taylor példánya).

– Azt hiszem, hogy azt az évet követően, amikor együtt dolgoztunk, Wheeler több bevezető kurzus már nem tartott. Én használtam az MIT-n a *Téridőfizikát*, de a legélvezetesebb az volt – és ez vonatkozott később a fekete lyukas könyvre is –, amikor a Harvard Egyetem esti képzést nyújtó intézményében tanítottam a könyvet. A feleségem és a lányom is szerzett ott diplomát. Később kis létszámú csoportoknak internetes kurzusokon is tanítottam mind speciális, mind általános relativitáselméletet.

– *El tudná röviden mondani, miből állt a munkája az MIT-n? Meddig tanított ott, és milyen oktatási kötelezettségei voltak?*³

– Az újító szemléletéről híres *Jerrold Zacharias* hívott az MIT-re. Az volt a megbízásom, hogy közreműködjek egy bevezető kvantumfizika könyv megírásában. A könyv az MIT Physics, A New Introductory Course nevű projekt részeként készült (csak később vették észre, hogy a projekt nevének kezdőbetűit összeolvasva a PANIC szó adódik). A kvantum-könyvnek jónéhány kéziratos vázlatát kipróbáltuk másodéves fizikus hallgatókkal, akiknek kötelező ez a kurzus; de más szakokról is szokták hallgatni néhányan. A végeredmény az *An Introduction to Quantum Physics* [4] című könyv lett, amelyet A. P.

³ Edwin F. Taylor oktatói filozófiájáról lásd [3].

French szerzőtársammal írtam. 1978-ban jelent meg, és ami számomra meglepő, még mindig egész sok fogy belőle.

– *2000-ben, majdnem 40 évvel azután, hogy a Téridőfizika első kiadását írták, Ön és John Wheeler egy újabb relativitáselmélet könyvvel állt elő. A címe Exploring Black Holes: Introduction to General Relativity [5], és bizonyos értelemben a Téridőfizika folytatásának tekinthető. A könyvben az a figyelemreméltó, hogy alsóéves egyetemisták számára íródott, és mégis részletesen elemzi az álló és forgó fekete lyukak körüli téridőt, illetve az Univerzum téridejét. Levezeti a fénysugarak és szabad tömegpontok világvonalait, és részletesen elemez olyan különleges gyakorlati vagy történeti jelentőségű példákat, mint a Merkúr perihélium-vándorlása, a gravitációs lencsehatás, a Penrose-folyamat (amellyel forgó fekete lyukak energiáját lehet megcsapolni), és a globális helyzetmeghatározó rendszer (GPS) relativisztikus vonatkozásai.*

Miért gondolja úgy, hogy jó az általános relativitáselméletet már az egyetemi tanulmányok elején oktatni?

– A természettudományi szakok hallgatóinak többsége érintőleg foglalkozott már a speciális relativitáselmélettel, mielőtt az egyetemre jött; az ősrobbanás, a felfúvódó világegyetem, a vörösetelőadás pedig olyan kifejezések, amelyekkel a sajtóban is gyakran találkozunk. A kozmológia aranykorában élünk, és ezt izgalmas témának tartják a diákok is. A kozmológiát pedig az általános relativitáselmélet tárgyalja. Könyvünk főhőse a metrika, amelyet az alsóéves fizika mindennapos matematikai eszköze, a differenciál- és integrálszámítás formalizmusával írunk fel.

– *1963 és 2000 között is folyamatos szakmai kapcsolatban maradt Wheelerrel?*

– Igen, tartottuk a kapcsolatot. Wheeleréknek és gyermekeiknek volt Maine partvidékén egy High Island nevű szigete. Ott a családommal meglátogattuk őket. És persze 1992-ben megjelentettük a *Téridőfizika* második, átdolgozott kiadását.

– *Kinek az ötlete volt, hogy készüljön egy külön könyv az általános relativitáselmületről?*

– Nem emlékszem. Arra viszont igen, hogy Wheeler High Island-i dolgozószobájának polcai roskadoztak híres általános relativitáselmélet könyve – a *Kip Thorne*-nal és *Charles Misner*rel közösen írt és 1973-ban megjelent *Gravitation* [6] című kötet – vázlataitól, úgyhogy „a levegőben lógott” egy alsóéveseknek szánt, kevesebb matematikát használó általános relativitáselmélet könyv ötlete.

– *Ön a John Wheelert köszöntő kötetben [2] részletesen leírja, milyen munkarend szerint dolgoztak Wheelerrel a Téridőfizikán. Eltérek-e ettől bármilyen fontos szempontból az Exploring Black Holes írásakor?*

– Nagyjából ugyanolyan volt a kettő, és azt hiszem, Wheeler más szerzőtársakkal is hasonló mun-

karend szerint dolgozott: meglátogattam Wheeleréket Princetonban vagy High Islanden, vittem hozzá az előző megbeszélésünk alapján összeállított vázlatot, és végignéztük. Wheeler átfogó módosításokat javasolt, gyakran kivágott és beillesztett részeket. Azután hazamentem, és újraírtam.

– *Egy részlet az előbb említett kötetből [2]: „Egyik szombaton John egy cambridge-i motelben szállt meg, a Harvard egyetemről északra. Ott egy teljes napon át birkóztunk az impulzus relativisztikus képletének levezetésével. A nap végére negyven kézzel írt oldalunk volt, tele diagramokkal, nyilakkal, szimmetriaérvekkel – vagyis a pedagógia teljes fegyvertárával. Másnap reggel elhatároztuk, hogy megpróbáljuk egy ábrában összefoglalni az érvelést. Miközben ezen dolgoztunk, az előző nap emelt építmény néhány egyszerű állítással omlott össze. A végeredmény: a relativisztikus impulzus képletének egyetlen általam ismert olyan levezetése, amely belefért egyetlen ábrába és annak feliratába (Téridőfizika, 1. kiadás, 85. ábra). John élvezettel mesélte nekem, hogy ő és Richard Feynman egyszer készítették egy olyan bonyolult diagramot, hogy kedvük lett volna ezt írni alá: »Az ábra felirata: lásd szöveg«, vagyis a teljes cikk egyetlen ábra felirata lett volna!”*

Tudna-e egy példát mondani az Exploring Black Holeson végzett munkából, amely hasonló módon emlékezetes maradt Önnek?

– Tudok bizony! Wheeler és én egyszer San Franciscóban jöttünk össze, az American Physical Society egyik ülésén. Én későn regisztráltam, így már csak drága hotelszobát kaptam. A szobát elárasztotta a napfény. Ebben a hotelszobában küzdöttünk azzal, hogy egyszerű levezetést adjunk egy fekete lyukba eső tömegpont globális energiájának képletére. Wheeler, csakúgy mint Feynmannel, most is teljes erőfeszítéssel állt a problémához, és sok oldalnyi ábrát és szöveget készített. Aztán hirtelen az egész szerkezet egyetlen, az úgynevezett Maximális Öregedés Elvéből kiinduló levezetéssé omlott össze, ami egyszerűen a híres ikerparadoxonból nő ki. Ennél az élménynél közelebb sosem kerültem a hirtelen megvilágosodás ekstatiszta örömehez. A Maximális Öregedés Elve és a metrika adja a két kulcsfontosságú eszközt, amelyekkel az általános relativitáselméletet tárgyaljuk.

– *Jelenleg Edmund Bertschinger kozmológussal dolgozik az Exploring Black Holes második változatán. Le tudná írni néhány szóban, milyen a vele végzett közös munka?*

– Nagyon hasonló, mint Wheelerrel, de ugyanakkor más is. Mindketten vezető beosztásúak vagyunk, tehát sok, egyformán fontos felelősség nyomja a vállunkat – Bertschinger esetében például az MIT Fizika Tanszékének vezetése. Mindkét együttműködés a vázlatokon végzett intenzív közös munkával jár: Wheelerrel ez néhány havonta egypár együtt töltött napot jelentett, Bertschingerrel pedig körülbelül minden héten egypár együtt töltött órát. Wheelerhez hasonlóan Bertschinger is a tárgy abszolút mestere;



Taylor és Wheeler 1999 nyarán, High Islanden.

mindkettőjüket lenyűgözve szoktam figyelni, ahogy széleskörű szakmai tudásukat a metrika és a Maximális Öregedés Elve tárgyalására fordítják.

– *Miért döntött úgy, hogy átdolgozza az Exploring Black Holes-t? Milyen fontos eltérések lesznek a második kiadásban az elsőhöz képest?*

– Az első kiadás közös írásának vége felé Wheeler azt mondta nekem: „Ne tőlem kérdezd, te mondd meg nekem.” Ráébredtem: azt jelezte ezzel, hogy kezd hanyatlani. Azt akarta, hogy én vegyem át a kezdeményező szerepet a könyv írásában. Úgyhogy a könyvet jó részt egymagam fejeztem be. A végeredmény, legalábbis véleményem szerint, nem okoz kárt az olvasóban, de néhány részletkérdésben nem pontos. A második kiadással nem lesz ilyen probléma! Ed Bertschinger abszolút lelkiismeretes kutató, és szigorú őrmester módjára ügyel arra, hogy az elmélet pontos, az alkalmazások pedig aktuálisak legyenek. Ráadásul időközben a műholdakról kapott adatok forradalmi változásokat hoztak a kozmoszról kialakított tudásunkban.

– *Az ember azt gondolná, hogy egy tankönyv megírása úgy zajlik, hogy a szerző először is világos koncepciót alakít ki a fejében a könyv felépítéséről, azután leül, és megírja, írás közben pedig megpróbál minden zavaró körülményt kiiktatni. Az Ön módszere, ahogyan a Exploring Black Holes második kiadásán dolgozik, egészen egyedülállónak tűnik. Gyakran módosítja (néha csak csiszolgatja, néha drasztikusan átdolgozza) a könyv fejezeit, és azután minden egyes új fejezetváltozatot feltölt a könyv honlapjára,⁴ ahol azokat bárki megnézheti. A személyes honlapján⁵ pedig kifejezetten kéri, hogy bárki fűzzön hozzájuk megjegyzéseket, tegyen kritikai észrevételeket. El tudná magyarázni, miért választotta ezt a sajátos munkamódszert? Nem lassítja le ez reménytelenül a munkát?*

⁴ exploringblackholes.com

⁵ eftaylor.com

– Gyakran szoktam – viccesen – mondani, hogy ha valaki ért egy tudományterületet, akkor nem szabad engedni, hogy tankönyvet írjon róla. A szakértő ugyanis, aki már tökéletesen uralja a részleteket, közben elfelejti azokat a kérdéseket, amelyek egy kezdő számára nehezek. Mi a hallgatóinkat hetente pluszpontokkal honoráltuk, ha olvasónaplót adtak be, amelyben megírták, mit találtak nehéznek vagy zavarosnak az arra a hétre kiadott fejezetben [3]. Megjegyzéseik közül némelyiket betettük a könyvbe is, ahol átfogalmazva, konfrontatív stílusban megfogalmazott ellenvetésként jelennek meg: „Hülyeség! Senki sem hiheti, hogy stb.”, amire azután udvariasan válaszolunk. Több olvasótól is hallottam, hogy az ilyen ellenvetés/válasz dialógusok gyakran pont akkor bukkannak fel a könyvben, amikor épp nehézségük támadt az olvasottakkal. A jelenlegi próbafejezeteket már jónéhány egyetemi oktató használta a kurzusaihoz. Ilyenkor tőlük is és a diákjaiktól is kapunk visszajelzést. Végül pedig a semmiből előbukkant egy maroknyi tanácsadó, akik rendszeresen elolvassák a próbafejezeteket, és javításokkal, javaslatokkal segítenek bennünket. Mindennek köszönhetően, úgy gondolom, a tankönyvünk nagyon is emberi vállalkozásként mutatja be az általános relativitáselméletet. Ez az egész folyamat valóban rengeteg időt igényel, de minden percét élvezem.

– *Több nagyszerű, alsóéveseknek szánt általános relativitáselmélet tankönyv jelent meg a közelmúltban. Ilyen például James Hartle Gravity [7] és Thomas Moore General Relativity Workbook [8] című könyve.⁶ Hol helyezné el az Önök által írt Exploring Black Holes a manapság megjelent többi alsóéves általános relativitáselmélet könyv között?*

– A Hartle- és a Moore-könyv is nagyszerű, és mindkettő vegyes stratégiát használ: alkalmazják a metrikát, és közben fokozatosan bevezetik a tenzorformalizmust. Számunkra az a központi kérdés: mit akarunk, mivel töltse a hallgató a rendelkezésére álló korlátozott időt? Úgy döntöttünk, hogy lényegében a hallgató összes idejét és teljes energiáját a metrika és a Maximális Öregedés Elve fontos alkalmazásaira fordítjuk, követve a bibliai intelmet:⁷ „Ami tennivalót csak talál a kezed, azt mind tedd meg...” Néhány kivételtől eltekintve a könyv utolsó négy fejezetéig csak a metrikára van szükség. Ott hasznosnak bizonyulnának a tenzorok, és a könyvünk elismeri ezt a hiányt. Az utolsó fejezetben elővezetjük az Einstein-egyenleteket, és megoldjuk őket szimmetrikus esetekre.

– *Abogy John Wheeler fogalmazott: „A dolgok mélyén minden, ami fontos, az végtelenül egyszerű.” Össze tudná egy-két mondatban foglalni a speciális és az általános relativitáselmélet alap gondolatait,*

⁶ Moore ajánló sorai az utóbbi könyvben jól példázzák a *Téridőfizika* hatását: „... Edwin Taylornak, akinek Wheelerrel közösen írt könyve évtizedekkel ezelőtt erre az útra terelt”.

⁷ Prédikátor 9:10

abogy a Téridőfizikában, illetve az Exploring Black Holesban szerepelnek?

– Az *Exploring Black Holes* hátoldalán négy jelmondat áll, amelyek persze csak a teljes könyv kontextusában nyernek értelmet:

1. A metrika leírja a téridőt.

2. A Maximális Öregedés Elve leírja a mozgást.

3. *Minden* mérést és megfigyelést inerciarendszerben végezz – görbült téridő esetén *lokális* inerciarendszerben.

4. A globális koordináták összekapcsolják a lokális inerciarendszereket.

A speciális relativitáselmélet az első két jelmondatra és a harmadik jelmondat első felére épül.

– *Van-e a relativitáselméleten kívül más területe is a fizikának, amelyet egészen más megközelítésben oktatna – vagy akár oktatott is –, mint a manapság megszokott módszerek?*

– A French-csel írott kvantumos könyvben polarizált fotonokkal illusztráltuk a kvantumos elveket. Ez lehetővé tette, hogy a diákok az eredményeket kísérletileg vizsgálják, egy kisméretű polárszűrőket és apró kalcitkristályt tartalmazó olcsó apparátust használva. Ezt leszámítva a pályám nagy részét a speciális és általános relativitáselmélet tanulása és tanítása tette ki.

– *1998-ban Önnek ítelték az American Association of Physics Teachers rangos kitüntetését, az Oersted Medalt [9]. Ezt a díjat évente ütik oda, „a fizika-oktatásból való kimagasló hozzájárulásért.” A kitüntetettek között szerepel Robert Millikan, Arnold Sommerfeld, George Uhlenbeck, Richard Feynman, Isaac Rabi, John Wheeler, Hans Bethe és Carl Sagan. Mesélne arról, hogyan nyerte el az Oersted Medalt?*

– Azért gondoltam, hogy soha nem fogom megkapni ezt a díjat, mert a szakmai teljesítményeim jobbra közös munkák voltak. Talán számított, hogy öt évig az *American Journal of Physics* főszerkesztője voltam; ki tudja? Igaz alázatra nevel, ha egy lapon említenek ezekkel a félistenekkel. A jelenlegi életcélom az, hogy visszamenőleg méltó legyek erre a megtiszteltetésre.

Irodalom

1. E. F. Taylor, J. A. Wheeler: *Spacetime Physics*. W. H. Freeman, 1966. Magyarul: *Téridőfizika*. Typotex, 2006.
2. J. R. Klauder (szerk.): *Magic without magic: John Archibald Wheeler, a collection of essays in honour of his sixtieth birthday*. W. H. Freeman, 1972. Taylor írása a kötetben *The Anatomy of Collaboration* címmel jelent meg és az exploringblackholes.com/AnatomyOfCollaboration.pdf linken olvasható.
3. E. F. Taylor: Csak a diák tudja. *Fizikai Szemle* 58 (2008) 345–347.
4. A. P. French, E. F. Taylor: *An Introduction to Quantum Physics (M.I.T. Introductory Physics)*. CRC Press, 1978.
5. E. F. Taylor, J. A. Wheeler: *Exploring Black Holes: Introduction to General Relativity*. Addison–Wesley–Longman, 2000.
6. Ch. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler: *Gravitation*. W. H. Freeman, 1973.
7. J. Hartle: *Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity*. Addison–Wesley, 2003.
8. T. Moore: *A General Relativity Workbook*. University Science Books, 2012.
9. en.wikipedia.org/wiki/Oersted_Medals