

A RELATIVITÁSELMÉLET KITERJESZTÉSE

1. Röviden a relativitáselméletről

A relativitáselmélet mind a mai napig sok ember számára a fizika legérthetlenebb, legmisztikusabb fejezetének számít. Sokan szeretnék „megdönteni”, de eddig még senkinek sem sikerült! A tömeg-energia egyenértékűségét kifejező képlet ($E = mc^2$), mely az atom-energia felszabadításához kapcsolódik, sokak számára ismert. Az egyik legkényesebb kérdés az *iker-paradoxon*, miszerint ha egy ikerpár egyike fénysebességhez közeli sebességgel egy nagyobb űrutazást tesz, visszatérésekor akár évekkal fiatalabb lesz ikertestvérénél. Annak ellenére, hogy a *relativisztikus idődilatációra* számos közvetlen és közvetett bizonyítékunk van, az emberek többsége erősen kétli ennek valóságtartalmát. Ugyancsak sokak számára elfogadhatatlan, hogy a c vákuumbeli fénysebességnél nem létezhet nagyobb sebesség. Eddig sem a csillagászoknak, sem a laboratóriumi kutatóknak nem sikerült fénysebességnél nagyobb sebességet kimutatni. A részletes elemzések már régen igazolták, hogy információt nem lehet fénysebességnél gyorsabban továbbítani, ellenkező esetben például az ok és okozat „felcserélődne”, és ezzel megvalósulhatna a fantáziaszült „időutazás” a múltba.

A relativitáselméletnek két részterülete van, a speciális- és általános relativitáselmélet, mindkettő *Albert Einstein* (1879-1955) nevéhez fűződik, bár számos kortársának neve is említésre lenne méltó, akik részleteiben hasonló, vagy azonos eredményekre jutottak. Mindkét elméletben közös a tér és az idő geometriai összekapcsolása. A tér és idő minden fizikai jelenség, a kémia, biológia, végső soron az élet színpada, tehát a tér és idő matematikai egyesítése „*téridő*” formában nemcsak egy különleges természettudományos eredmény, de nagy filozófiai siker is. A speciális relativitáselmélet születési idejét 1905-re datálják, 2005-ben számos ünnepség, konferencia emlékezett meg Albert Einsteinról és elméletéről. A modern kvantumfizika ma már elképzelhetetlen lenne a speciális relativitáselmélet nélkül. Minden új elméleti és kísérleti kutatásnál alapkövetelmény a *relativisztikus invariancia* (általánosan: *relativisztikus kovariancia*) teljesülése.

A közhiedelemmel ellentétben, a speciális relativitás matematikája az egyszerűbbek közé tartozik. Az általános relativitáselmélet (amely egyben a gravitáció modern elmélete) viszont magasabb szintű, speciális matematikai ismereteket igényel, ez az ún. *differenciálgeometria*. Einstein nagy álma volt az egész fizika felépítése geometriai elvekre, és bár neki ezt a programot „csak” a gravitációra sikerült teljesítenie, a fizika geometrizálása mind a mai napig csak egy reményteljes alternatíva maradt a fizika Nagy Egyesítési (Grand Unification) törekvéseiben.

A jelen munkában a speciális relativitás egy lehetséges kiterjesztésével foglalkozom, de nem vizsgálom ennek következményeit az általános relativitásra. Bizonyára az Olvasók többsége találkozott már valamilyen relativitáselméleti könyvvel, és ha a matematikai részeket részben vagy egészben nem is értette meg, a szöveges részekből a fizikai koncepciót többé-kevésbé megértette. A lényeg azonban akár egy mondatban is összefoglalható: az *inerciarendszerek* semmiféle fizikai kísérlettel nem különböztethetők meg, azaz nincs *newton-i abszolút koordinátarendszer*. Ebből az elvből következik a fénysebesség állandóságának elve, függetlenül az inerciarendszer megválasztásától.

Érthetően nem lehet itt célom a speciális relativitáselméletnek még csak a rövidített ismertetése sem. Emlékeztetőül csak a *Lorentz-transzformációt* emelem ki az elméletből, mely szerint transzformálnunk kell a tér és idő koordinátákat, amikor áttérünk egyik inerciarendszerről a másikba. Két inerciarendszer pusztán egy *állandó v sebességgel* tér el egymástól, ez a sebesség szerepel az ismert Lorentz-faktor képletében:

$$L = \sqrt{1 - v^2 / c^2} . \quad (1.1)$$

Ha egy testet v sebességre felgyorsítunk, akkor energiája, és ezzel együtt a tömege megnő, a speciális relativitáselmélet szerint a tömeg növekedése:

$$m = m_0 / L^- = m_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2} \geq m_0, \quad (1.2)$$

ahol az m_0 a test nyugalmi tömege. A képletből következik, ha egy test minél jobban megközelíti a fénysebességet, annál nagyobb és nagyobb energiát kell befektetni a gyorsításához, a fénysebesség eléréséhez elméletileg végtelenül nagy energiát kellene befektetni. A relativisztikus tömegnövekedést a gyorsítókban már régen megfigyelték, a mérések igazolják (1.2) képlet érvényességét.

A fizikai kölcsönhatások számos változatában igazi gyakorlati jelentősége a *fizikai kötéseknek* van, hiszen e folyamatokból nyerhető az energia. Ebben az értelemben fizikai kötéseknek tekintjük a kémiai kötések is, melyek során elemek, vagy molekulák más elemekkel, molekulákkal egyesülnek és közben energia szabadul fel (egyszerű példa a fa, szén, olaj, stb. elégetése). A legerősebb kötések az atommagoknál tapasztalhatók, a fejlesztés alatt álló fúziós atomerőművekben könnyű atommagok egyesülése során hatalmas energia szabadul fel. (A szabályozatlan fúziós folyamat a hidrogénbombában valósul meg, mely nagyságrendekkel nagyobb energiát szabadít fel, mint a „hagyományos” maghasadásos atombomba.) Az energiát termelő kötési folyamatok során minden esetben tömegcsökkenés következik be, a tömegcsökkenés mértéke a speciális relativitáselmélet $E = mc^2$ képletével egyszerűen számítható.

Könnyű észrevenni, hogy a relativisztikus tömegnövekedéssel szemben (melyhez energiaközlés szükséges), a *fizikai kötéseknel tömegcsökkenés lép fel* és ezzel jelentős energia szabadul fel. A két folyamat annyira szimmetrikus, hogy a fizikai kötésekre is felírhatjuk a Lorentz faktort csupán egy egyszerű előjel módosítással:

$$L^+ = \sqrt{1 + v^2 / c^2}, \quad (1.3)$$

és így beszélhetünk *relativisztikus tömegcsökkenésről* is:

$$m = m_0 / L^+ = m_0 / \sqrt{1 + v^2 / c^2} \leq m_0. \quad (1.4)$$

Természetesen a fenti képletekben szereplő v sebesség nem egyezik meg a hagyományos definícióval, a képlet szerint korlátlanul nagy lehet, a tömeg végtelenül kicsi, tehát megfelelő fizikai értelmezést kell találnunk.

Meg kell említeni egy másik nagyon fontos, tömegcsökkenéssel és energia felszabadulással járó folyamatot is. Erre az első példa a radioaktív bomlás felfedezése volt 1896-ban, amikor a francia *Becquerel* fényképező lemezt hagyott a fiókjában *uránsó* mellett. A fényképező lemez előhívása mutatta az uránsó árnyéklenyomatát. Igaz, ekkor még messze nem volt tisztázott a jelenség fizikai háttere. A legfontosabb kutatásokat a *Curie házaspár* végezte (Marie Skłodowska-Curie asszony, lengyel származású vegyész és férje Pierre Curie francia fizikus), akik kemény munkával kivonták az uránérc feldolgozásának maradékából a sugárzó elemet, a *rádiumot*. Kiderült, hogy a tiszta rádium sötétben gyengén világít, hőt is fejleszt. De Curie-ék sokáig nem értették, nem is érthették a rádium sugárzás valódi természeti hátterét. Éveknek kellett eltelnie, hogy a kutatók megértsék a radioaktivitás fizikai jelenségét, mely az elemek (atomok) átalakulásával jár, különböző bomlási folyamatokon keresztül. Az atomerőművekben szintén az uránatom 235-ös tömegszámú izotópjának radioaktív bomlása adja az energiát. Az urán magok nagyon lassú, természetes bomlását (hasadását) *lassú neutronokkal* történő besugárzása gyorsítja fel, és a hasadási termékek között két-három neutron is szerepel. A hasadáskor keletkező *gyors neutronok* lassítás után további urán magokat képesek hasítani,

ez a folyamat a *láncreakció*. A fentiek értelmében a radioaktív bomlás is felfogható relativisztikus tömegcsökkenésnek.

Megjegyzés: A relativitáselméletben hibásan elterjedt a „relativisztikus tömegnövekedés” kifejezés, holott tudjuk, hogy a részecskék tömege („nyugalmi tömeg”) Lorentz-invariáns. Helyes kifejezés, hogy a részecske gyorsítása során a részecske energiája növekszik a relativisztikus képlet szerint:

$$E = E_0 / L = E_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2} \geq E_0. \quad (1.3)$$

Szokásos kiemelni, hogy az energia koordináta-rendszer-függő, azaz nem Lorentz-invariáns. A fenti képletekben tehát valójában mindenütt energia-növekedésről, illetve energia-csökkenésről van szó. Nyugalmi tömeggel rendelkező részecskék esetén azonban beszélhetünk ekvivalens tömegről (különösen a $c = 1$ egységrendszerben), a fentiekben tehát ekvivalens tömegekről van szó.

2. A sajátsebesség és sajátimpulzus bevezetése

A jelen munka kiemelt fizikai fogalmai a *sajátsebesség* és *sajátimpulzus*, melyek a fizikában jelenleg nem ismertek, nem definiáltak. Ezek az elnevezések a *sajátimpulzus-momentum*, közzismertebben a *spin* fogalmának természetes megfelelői, melyek az elemi részecskéket, atommagokat jellemezzék. A spin a részecskék speciális, csak a kvantummechanikában értelmezhető forgó mozgását jelenti, a szokásos magyar elnevezése: a részecske *sajátperdüllete*. Mint ahogy a spin nem hasonlítható egy makroszkopikus forgáshoz, a sajátsebesség, illetve sajátimpulzus sem hasonlítható a klasszikus sebesség, illetve impulzus ismert fogalmaihoz. Ezek a speciális fogalmak a részecskék belső mozgásaihoz kapcsolhatók, közvetlenül nem figyelhetők meg, csak áttételesen, például a részecskék *energiaállapotait* határozzák meg.

Az „elemi részecske” fogalom ma már elavult, hiszen az elektron (pozitron) kivételével minden elemi rész (proton, neutron, mezonok, stb.) mai ismereteink szerint összetett (az alkotórészek a különböző *kvarkok*). Ennek ellenére, jobb híján megtartjuk ezt a régi, megszokott elnevezést „részecske”, vagy „elemi rész” formában. Részecskének nevezünk minden olyan relatíve kicsiny objektumot, melynek specifikus tömege, töltése, spinje és egyéb kvantumjellemezője van (pl. *barionszám*, *leptonszám*, *ritkaság*, stb.).

Minden testhez, atomhoz, molekulához, elemi részecskéhez egyértelműen hozzárendelhetünk sajátsebességet, illetve sajátimpulzust, melyek az elemi részek belső alkotórészeinek mozgására jellemzők. A relativitáselmélet tételei, egyenletei meghatározó részben *tömegpontokra* vonatkoznak (az elmélet alapvetően nem foglalkozik egy test kiterjedésével, méreteivel, alakjával), ezért a következőkben minden esetben tömegpontokról lesz szó, függetlenül attól, hogy mikrorészecskéről, vagy makroszkopikus méretű testről van szó. Ismeretes, hogy a Newton-i mechanikában a Nap és bolygói, így a Föld is tömegpontként szerepel, amennyiben az egész Naprendszert vizsgáljuk.

Ha az (1.1) képletben szereplő v sebességet iv -re cseréljük, akkor ennek négyzete $-v^2$ lesz. (Az i a *képzetes egység*, melynek négyzete -1 .) Tehát ha a Lorentz-transzformáció képleteiben a sebességet tisztán képzetes értékűnek választjuk, akkor a legegyszerűbb úton eljutunk az (1.4) képletre. Klasszikusan az impulzus definíciója tömeg szorozva a sebességgel. Ha a mindig valós tömeget egy tisztán képzetes sebességgel szorozzuk meg, akkor maga az impulzus is tisztán képzetes lesz és négyzete negatív értékű lesz. Természetesen a sajátsebesség, illetve a sajátimpulzus három-három független komponensű vektorok, hasonlóan a közönséges sebességhez, illetve impulzushoz. Egy tömegpont klasszikus sebességét, illetve impulzusát a továbbiakban megkülönböztetésül *külső sebességnek*, illetve *külső impulzusnak* nevezük. Értelemszerűen a sajátsebesség, illetve sajátimpulzus a tömegpont *belső sebessége*, illetve *belső impulzusa*.

A speciális relativitáselméletben az energia, impulzus és a nyugalmi tömeg között minden inerciarendszerben fennáll a következő, alapvető összefüggés:

$$E^2 - c^2 \mathbf{p}^2 = m_0^2 c^4, \quad (2.1)$$

ahol itt is c a fénysebességet jelöli. Ez az egyenlet a sajátimpulzus bevezetésével az alábbi módon módosul:

$$W^2 + c^2 \mathbf{P}^2 = m_0^2 c^4; \quad (2.2)$$

ahol W a tömegpont belső energiája, $\mathbf{P}$ a sajátimpulzusa. A $\mathbf{P}$ itt már valós vektor, ugyanis itt már az egyenletben az $\mathbf{i}^2 = -1$ tényezőt figyelembe vettük. A $\mathbf{p}$ mechanikai impulzus egy test, vagy tömegpont téridőbeli mozgására jellemző vektor. A W belső energia és a $\mathbf{P}$ sajátimpulzus a tömegpont mozgásától független, a tömegpont belső fizikai tulajdonságára jellemző mennyiségek, melyek együtt egy négydimenziós vektort alkotnak. Ezen az úton eljutottunk a relativitáselmélet egy lehetséges kiterjesztéséhez.

Aki kissé mélyebben ismeri a relativitáselméletet, egyből felismeri, hogy a fenti egyenletek formálisan csak a *metrikus tenzorban* különböznek. A metrikus tenzor a négydimenziós téridő „szerkezetét” adja meg. A kiterjesztésünk szerint egy testhez, vagy tömegponthoz *kétféle metrikus tenzor* rendelhető. A külső téridőbeli mozgáshoz a *Minkowski-féle pseudo-euklideszi téridő* és *metrikus tenzora* tartozik. A test, vagy tömegpont belső mozgáshoz egy *közönséges, négydimenziós euklideszi metrikus tenzor* rendelhető, a belső mozgás formálisan a *négydimenziós euklideszi téridőben* valósul meg.

A fentiek értelmében egy testhez, vagy tömegponthoz az ismert, külső v sebességen kívül rendelhetünk egy V belső sebességet, vagy sajátsebességet is. A speciális relativitáselmélet kiterjesztését a sajátsebesség és sajátimpulzus bevezetése jelenti. Elméleti szempontból nagyon fontos tény, hogy a mind a speciális-, mind az általános relativitáselmélet meghatározó egyenletei visszavezethetők a *legkisebb hatás elvére*. A speciális relativitáselmélet szabad tömegpontra vonatkozó *hatásfüggvénye*:

$$S^- = -m_0 c^2 \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - v^2 / c^2} dt. \quad (2.3)$$

A kiterjesztett speciális relativitáselmélet hatásfüggvénye a tömegpont V sajátsebességével definiálható:

$$S^+ = -m_0 c^2 \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 + V^2 / c^2} dt. \quad (2.4)$$

A fenti *hatásintegrálok* ismeretében a relativisztikus mechanika mindkét (külső és belső) változata egyszerűen, formális matematikai eljárással levezethető.

Fontos elméleti következményekkel jár, hogy a Lorentz transzformációk matematikai értelemben *csoportot* alkotnak, amely meghatározza a téridő szimmetriáit. A tömegpont belső téridő szimmetriáját a fentiek értelmében a négydimenziós téridő *ortogonális transzformációinak* csoportja határozza meg. Beszélhetünk tehát a *tömegpont külső*, illetve *belső Lorentz csoportjáról*, és így külső és belső szimmetria-csoportokról. A téridő külső és belső szimmetriacsoportja egyaránt definiálja a külső és belső *négyes-impulzust*, *impulzusmomentumot* (pálya- és spin-momentumokat).

Már a jelen fejezet elején utaltam arra, a fentiekben megadott definíciók az elemi részek másik fontos tulajdonságára, a kvantált impulzusmomentumra (perdületre), azaz a spinre emlékeztetnek. Minthogy a kvantummechanika spin-fogalma nem azonosítható a makroszko-

pikus perdülettel, a testek szemléletes forgásával, a részecskék sajátsebessége sem azonosítható a szemléletes sebességfogalommal. Ezért jelöltük v helyett V -vel a sajátsebességet. A speciális relativitáselmélet a megszokott külső sebességre ad egy axiomatikus korlátot, miszerint semmiféle fizikai objektum nem haladhatja meg a fénysebességet. Ennek az axiómának egy alternatív megfogalmazása szerint információt nem lehet fénysebességnél gyorsabban továbbítani. A részecskék sajátsebességére ez az axióma nem szükségszerűen érvényes. Kérdés, van-e gyakorlati értelme annak, hogy egy részecskén belül mekkora az információ terjedési sebessége? A részecskéken belül nem tudunk közvetlenül sebességeket mérni, csak elméleti számításokkal tudunk következtetni az alkotó részek sebességeire.

A kiterjesztett elmélet értelmében a részecskén belüli kölcsönhatások sebessége is tetszőlegesen megnőhet, valamint az ismert *Lorentz kontrakcióval* szemben (a mérő rudak rövidülése a sebességgel) a mérő rudak megnyúlásával, speciálisan itt a részecskék méretének megnövekedésével is kell számolnunk. Az idő folyamának sebességtől függő lelassulásával szemben a részecskén belül az idő üteme tetszőlegesen felgyorsulhat.

A sajátsebesség és sajátimpulzus fogalmait pusztán elméleti hipotézisnek kell tekintenünk és csak a sikeres alkalmazásaik alapján győződhetünk meg a fizikai realitásukról. A gyakorlati alkalmazhatóság bemutatása a jelen munka egyik kiemelt célja.

3. A tömeg szerkezete

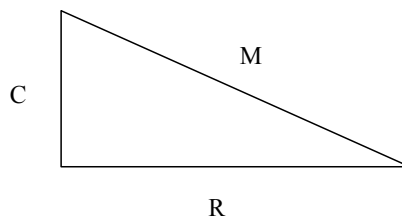
Ha a sajátimpulzust definiáló (2.2) egyenletet elosztjuk a fénysebesség negyedik hatványával, azaz c^4 -el, akkor az egyenlet dimenziója tömeg-négyzet lesz:

$$M^2 = R^2 + C^2, \quad (3.1)$$

ahol bevezetésre kerültek az alábbi jelölések:

$$R^2 = W^2 / c^4; \quad C^2 = P^2 / c^2; \quad M^2 \equiv m_0^2. \quad (3.2)$$

Az (3.1) tömegegyenletben R a bázistömeg (más néven *maradéktömeg*), C a sajátimpulzus-tömeg. Az M tömeg a nyugalmi tömeggel egyenlő, de a sajátimpulzus fogalmának bevezetésével módosított értelmet és jelölést kap: M -et *megfigyelhető*, vagy *mérhető tömegnek* nevezük. A mérhető tömeg két komponens négyzetösszege, a komponensek (a *tömegparaméterek*) *Pitagorász tétele* szerint egy derékszögű háromszöget, a *tömegháromszöget* alkotják az 3.1 ábra szerint:



3.1 ábra: A tömegháromszög: M = mérhető tömeg, C = sajátimpulzus tömeg
 R = bázistömeg (maradéktömeg).

Az elemi részek belső szerkezetéről a fizika még mindig igen keveset tud, az intenzív kutatások ellenére. A részecskefizika tudományának aktuális „toplistáját” az ún. *Standard Modell* vezeti, mely reményteljesnek néz ki, de még nem beszélhetünk végleges sikerről. Példaként megemlíthető, hogy az elektron részecskét a fizika egyszerűnek, szerkezet nélkülinek tartja, ugyanakkor évszázados megoldatlan probléma az elektron tömegének eredete. A mai napig eldöntetlen kérdés, hogy az elektron tömege tisztán, vagy csak részben elektromágneses eredetű. (A tömeget jelenleg felosztjuk mechanikai és elektromágneses tömeggre, de magának a tömegnek, mint a *tehetetlenség mértékének* eredete sem tisztázott.) A sajátimpulzus fogalmának bevezetésével talán lehetőség nyílhat a jövőben a kérdés végleges megválaszolására.

4. Fény és anyag

A modern fizika megszületésére a fény (elektromágneses hullámok) és az anyag kapcsolatának vizsgálata vezetett (relativitáselmélet, kvantumfizika). Beigazolódott, hogy a fény és anyag viselkedésének közös fizikai háttere van (kvantummechanika). A közös pont megtalálásának első lépése *de Broglie* anyaghullám hipotézise volt 1924-ben. A fényhullámokhoz részecske (foton) rendelhető (Einstein, 1905), az anyagi részecskékhez hullám rendelhető. A fénysugarak legegyszerűbb hétköznapi kölcsönhatását a fény interferenciája jelenti. Az interferencia kimutatható az anyaghullámoknál is, ezt legkorábban *Davisson* és *Germer* (1927) kísérlete igazolta elektronokra. Azóta számos részecskére (atomokra) is sikerült kísérletileg igazolni a hullámtulajdonságot, az anyaghullám interferenciáját.

A jelen munka egy újabb hozzájárulást jelent a fény és az anyag egységes fizikai értelmezéséhez. A fény (elektromágneses hullám = EM hullám) *térfogati energiasűrűsége* az elektrodinamikából a következő képlettel adható meg:

$$w = \frac{\epsilon_0}{2} \mathbf{E}^2 + \frac{1}{2\mu_0} \mathbf{B}^2, \quad (4.1)$$

ahol $\mathbf{E}$ az elektromos térerősség vektora, $\mathbf{B}$ a mágneses indukció vektora, ϵ_0 a vákuum dielektromos állandója, μ_0 a vákuum permeabilitása. A (4.1) kifejezést elemi térfogatra integrálva megkapjuk az EM hullám energiáját egy adott pont elemi környezetében. Tudjuk, hogy az EM hullámban az elektromos energia periodikusan alakul át mágneses energiába és viszont. Ezért (4.1)-ben az elektromos és mágneses komponens egyenlő súllyal szerepel. Az elektromos és mágneses komponensek egymásra merőleges hullámok, E illetve H maximális amplitúdóval. A honlapom egyik dolgozatában megmutattam, hogy a tömeghez hosszúság dimenziójú mennyiség rendelhető, amelyet az anyaghullámok amplitúdójával azonosítottam:

<http://www.geocities.com/fhunman/massampl.pdf>

A fényhullámok és az anyaghullámok egyesített fizikai modelljében a fényhullámokat is anyaghullámoknak kell tekintenünk, pontosan fogalmazva: a fényhullámok az anyaghullámok speciális esetei. A (4.1) kifejezésben az elektromos, illetve mágneses hullámok amplitúdói négyzetesen szerepelnek, melyekhez anyaghullám értelemben tömegnégyzetek rendelhetők:

$$M^2 = X^2 + Y^2; \quad (X^2 = Y^2), \quad (4.2)$$

ahol X az elektromágneses térerősség, Y a mágneses térerősség időben átlagolt amplitúdója.

Ez az alak megfelel a (3.1) általános tömegszerkezeti képletnek.

Az elektromos és mágneses energiák fizikailag különbözők, ezért célszerű az *elektromágneses tömeg* négyzetét komplex alakban felírni:

$$M^2 = MM^* \sim (X + iY)(X - iY) \equiv X^2 + Y^2. \quad (4.3)$$

A két komponenst különböző betűkkel jelöljük, utalva ezek eltérő fizikai jelentésükre.

Az elektromágneses tömeg definíciója természetesen különbözik az EM hullám (foton) nyugalmi tömeg definíciójától, mely utóbbi a fénysebességgel történő terjedés miatt csak zérus lehet.

5. Kvantummechanika

De Broglie 1924-es anyaghullám hipotézise valós tudománnyá vált a kvantummechanika 1925-26. évi megszületésével. Az anyaghoz (tömeghez) hullám rendelhető, amelynek paramétereit egyértelműen definiálnunk kell (amplitúdó, frekvencia, hullámhossz, fázis). A tömeghez rendelhető anyaghullám részleteiről a következő munkámban olvasható:

$$\text{http://www.geocities.com/fhunman/mass.html} \quad (5.1)$$

A tömeg szerkezetét definiáló (3.1) egyenlet értelmezhető a tömeg hullámtermészetéből is. A tömeghez rendelhető anyaghullám amplitúdója a tömeggel arányos az (5.1) munka hipotézise szerint. Legyen két anyaghullám fáziskülönbsége $\pi / 2$, a két hullám interferenciáját a következő kifejezés jellemzi:

$$M^2 = (M_a \sin \alpha + M_b \cos \alpha)^2; \quad \alpha = \omega t - \mathbf{k} \mathbf{r} . \quad (5.2)$$

amely részletesen a következő:

$$M^2 = M_a^2 + M_b^2 + 2M_a M_b \sin \alpha \cos \alpha \equiv M_a^2 + M_b^2 + M_a M_b \sin 2\alpha . \quad (5.3)$$

Az amplitúdó-négyzet (tömeg-négyzet) tér- és időbeli átlagolásával a szinuszos tag zérust eredményez:

$$\hat{M}^2 = M_a^2 + M_b^2 , \quad (5.4)$$

amely ekvivalens a (3.1) általános tömegszerkezeti képlettel.

A tömeg szerkezetére vonatkozó (3.1) alakot a *kvantummechanika* más szemszögből is alátámasztja. Ugyanis a különböző fizikai tulajdonságú elemi részecskék *relativisztikus hullámegyenletei* felírhatók egy általános alakban:

$$\mathbf{D}_\mu \mathbf{D}^\mu \Psi = M^2 \Psi; \quad (\mu = 0, 1, 2, 3) , \quad (5.5)$$

ahol Ψ az elemi rész *komplex hullámfüggvénye*, $\mathbf{D}_\mu$ az adott részecskére jellemző *négyes-impulzus operátor*, mely magába foglalhatja tetszőleges külső erőter potenciálját is (kölsönhatás külső erőterrel). M a részecske megfigyelhető (nyugalmi) tömege. A részecske kötött állapota (térben lokalizált állapota) esetén a hullámfüggvény *egységre normált*:

$$\int_{\Omega} \Psi^* \Psi d\Omega = 1 . \quad (5.6)$$

Ez azt jelenti, hogy a részecske az Ω téridő tartományban egységnyi valószínűséggel, azaz biztosan a tartományon belül található. A megtalálási valószínűség egyben jelentheti a tömegeloszlás valószínűség-sűrűségét is:

$$M^2 \int_{\Omega} \Psi^* \Psi d\Omega \equiv M^2 \int_{\Omega} [(\text{Re} \Psi)^2 + (\text{Im} \Psi)^2] d\Omega \equiv R^2 + C^2 \equiv M^2 . \quad (5.7)$$

A hullámfüggvény komplex tulajdonságából tehát egyértelműen következik a tömeg szerkezetére vonatkozó (3.1) egyenlet, amelyet a kvantummechanikától függetlenül, a speciális relativitás kiterjesztéséből kaptam. Ismeretes, hogy a kvantummechanikában a részecske hullám-

függvényének fázisa határozatlan. Alapfeltevésünk, hogy a részecske tömegparaméterei (a bázistömeg, illetve a sajátimpulzus tömeg) részecske-specifikus Lorentz-invariánsak. A tömegparaméterek definiálásával megszűnik a hullámfüggvény fázisának határozatlansága. A részecskék kölcsönhatása során azonban a hullámfüggvények fázisai természetesen változhatnak, mivel maga az M kísérleti tömeg is változik (pontosabban, a részecske energiája változhat, ami a mérhető M változásában jelenik meg).

Összefoglalás

A relativitáselmélet a tömegpontok téridőbeli mozgását (mechanikáját) terjesztette ki a nagysebességű mozgások területére, hozzáigazítva a mechanikát az elektrodinamikához. A jelen munkában a speciális relativitáselmélet matematikai formalizmusát alkalmaztam a tömegpontok (részecskék) belső szerkezetére. A tömeg szerkezetére vonatkozó feltevés használhatóságát már régóta tanulmányozom, elsősorban a gravitáció, a fekete test sugárzás és az atommagfizika vonatkozásában. Nagy lehetőségeket érzek az elemi rész fizikai alkalmazások területén is. A kiterjesztett relativitáselmélet inspiráló hatása a honlapom számos dolgozatában tetten érhető:

<http://www.geocities.com/fhunman>

Sarkadi Dezső
okleveles fizikus
2009. április

Email: dsarkadi@freemail.hu dsarkadi@freemail.hu

Irodalom

- Albert Einstein: A speciális és általános relativitás elmélete. *Gondolat*, 1963.
Novobátzky Károly: A relativitás elmélete. *Tankönyvkiadó*, 1964.
Jánossy Lajos: Relativitáselmélet és fizikai valóság. *Gondolat*, 1967.
Albert Einstein: Válogatott tanulmányok. *Gondolat*, 1971.
Jánossy Lajos: Relativitáselmélet a fizikai valóság alapján. *Akadémia*, 1973.
E. F. Taylor, J. A. Wheeler: Téridő fizika. *Gondolat*, 1974.
L. D. Landau, E. M. Lifsic: Klasszikus erőterek.
(Elméleti fizika sorozat, 2. kötet). *Tankönyvkiadó*, 1976.
Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete. *Gondolat*, 1986.
Hraskó Péter: Relativitáselmélet. *Typotex*, Bp., 2002.
J. Norwood: Századunk fizikája. *Műszaki Könyvkiadó*, 1981.
R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands: Mai fizika. *Műszaki Könyvkiadó*, 1970.
J. B. Zeldovics, A.D. Miskisz: Az alkalmazott matematika elemei. *Gondolat*, 1978.
Nagy Károly: Elektrodinamika. *Tankönyvkiadó*, 1968.
Modern fizikai kisenciklopédia. Szerk.: Fényes Imre, *Gondolat*, 1971.