

# BESZÁMOLÓ

a 2016/17-es első félév kutatómunkájáról

Szendi Zsuzsanna

## 1. Fő adatok

Neptun kód: HF42KU

Tanulmányok kezdete (Doktori Iskola): 2016/17 tanév

Képzés típusa: nappali, állami ösztöndíjjal

Témavezető: Dr. Biró Tamás Sándor

Belső konzulens: Dr. Jakovác Antal

Tanszék: ELTE Atomfizika Tanszék

## 2. Beszámoló

Az alábbi fejezetekben részegységekre bontva található meg a félév legfontosabb eredményei. Az első alfejezet bevezető jellegű, a jobb megértés érdekében a téma alapfogalmai, a főbb kérdések, a doktori képzés előtt publikált, lényeges eredmények található meg benne. Az előrelépések fejezetben található a jelenlegi félév eredményei, amit a konferenciárészvételeket összegző rész követ. Csak nemzetközi konferenciák kerülnek említésre. A tanulmányok fejezetben csak a doktori képzés keretein belül felvett tantárgyakat listázom. A félév teljes összefoglalója megtalálható továbbá egy összegző táblázatban.

Mivel a munka analitikus és numerikus számításokat is tartalmaz, csak a fontos végeredmények és szemléletes ábrák kerülnek itt bemutatásra, részletesebben

a hivatkozott publikációkban, és a jelzett konferenciahonlapokon olvashatnak az eredményekről.

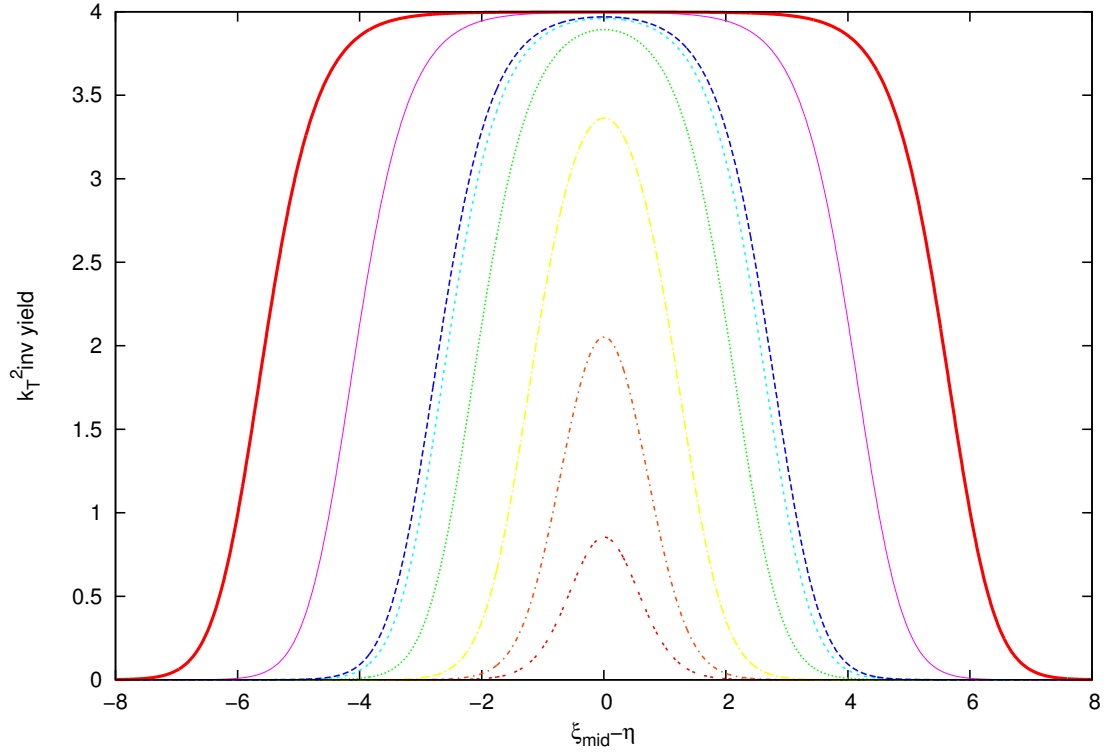
## 2.1. A téma és a korábbi eredmények összefoglalása

A nagyenergiájú gyorsítós kísérletek megjelenésével egy időben alakultak ki azok az elméletek, melyek a mikroszkópikus kvantumtérelmélet megoldása nélkül próbálták megmagyarázni, leírni az ütközések dinamikáját. Az ütközések folyamatának több fázisú, QCD-t mellőző leírására a tűzgömbmodellt, a gyors termalizációt és néhány hidrodinamikai elvet használunk a dinamika és a lejátszódó folyamatok leírására. Statisztikus és hidrodinamikai modellek egyaránt illeszthetők a kísérleti adatokra. A nagyenergiás proton-proton ütközésekben, a nehézionütközésekben keletkező hadronok és fotonok spektruma a kísérletei eredmények alapján hidrodinamikai folyást is mutat. A jelenségek leírását megkísérelhetjük az említett makroszkópikus modellek nélkül is, töltött részecskék sugárzására alapozva. A téma célja, hogy rávilágítsunk arra, hogy elemi töltések sugárzása közben keletkező klasszikus fotonspektrumra is illeszthető hidrodinamikai folyás, pszeudohőmérséklet [1] [2]. Tekintsünk egyetlen, egyenes vonalú pályán, konstans gyorsulással mozgó ponttöltést pszeudoklasszikus értelemben. A klasszikus elektrodinamikát használva leírhatjuk a töltés sugárzását. A Jackson formulából kiindulva megkaphatjuk a fotonszámot, amit felhasználva az alábbi fotonszámeloszlás nyerhető:

$$k_{\perp}^2 \frac{dN}{k_{\perp} dk_{\perp} d\eta} = 2\alpha_e \left| \int_{v_1}^{v_2} e^{i\ell k_{\perp} \gamma v} dv \right|^2, \quad (1)$$

ahol  $k$  a négyesimpulzus,  $\alpha$  a finomszerkezeti állandó,  $\gamma$  a Lorentz-faktor,  $g$  a gyorsulás,  $v$  a sebesség,  $c$  a fénysebesség. A kifejezésben szereplő  $\eta$  a foton rapiditása, míg az  $l$  paraméter egy hossz dimenziójú egység,  $\ell = c^2/g$ .

Az eredményt analitikusan csak határesetekben vizsgálhatjuk. Nagy lassulási időkre platót tartalmazó görbét kapunk, míg kis lassulási időkre Gauss-görbe szerű eredményeket kapunk. Amennyiben megvizsgáljuk a nagy  $k_{\perp}$  határesetet, azt tapasztaljuk, hogy a spektrum exponenciális, aminek következtében egy hőmérsékleti paraméter is il-



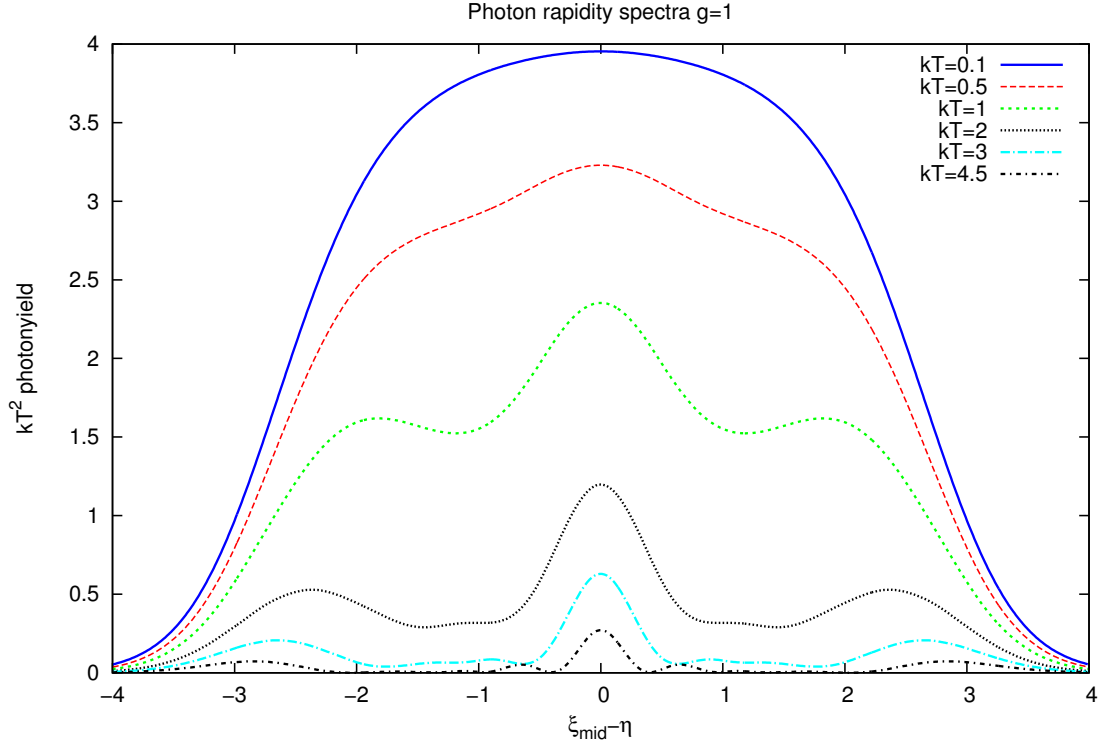
1. ábra. Fotoneloszlás a rapiditás függvényében

leszhető. Ez jelen esetben az Unruh-hőmérséklet  $\pi$ -szerese.

A foton-rapiditás spektrumokat vizsgálva, azt tapasztaljuk, hogy az eredmények hasonlóak a hidrodinamikai Bjorken-plató és Landau-harang görbékhez. Numerikusan a két viselkedés közötti átmenet is kimutatható. A jelenséget szemlélteti az 1. ábra.

## 2.2. Kutatómunkában történt előrelépések

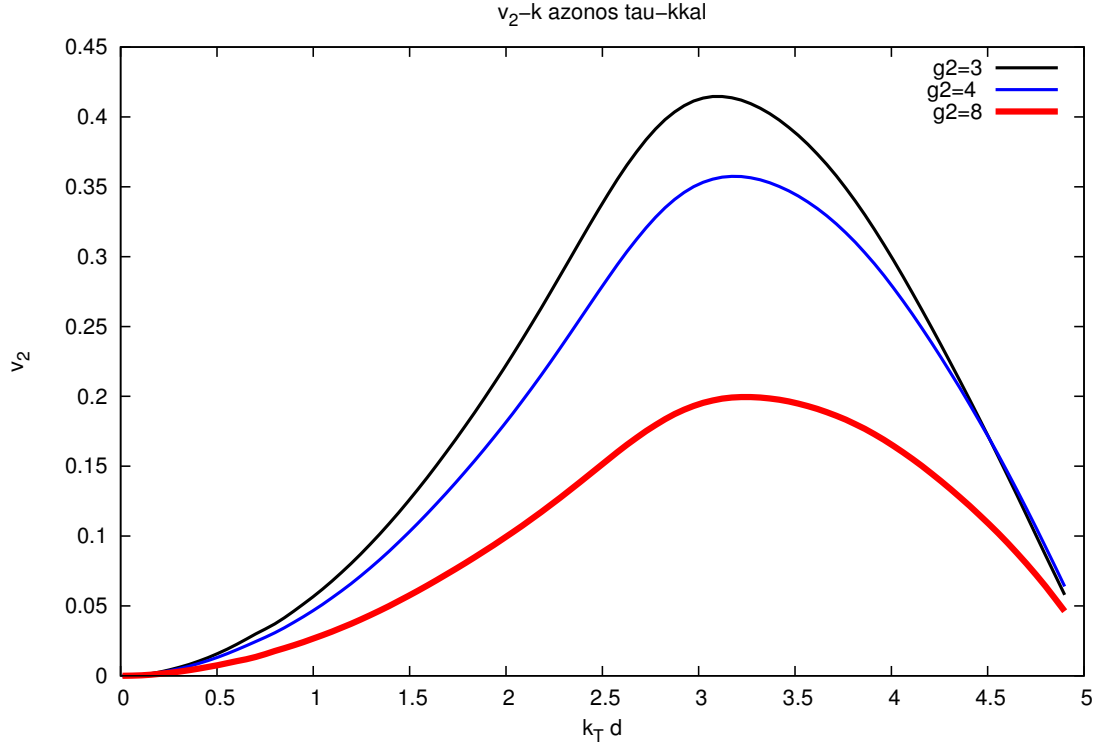
A nehézionütközésekben nyilvánvalóan nem reális elképzelés egyetlen ponttöltés kiválasztása. A modell csak a jelenség szemléltetésére alkalmas, azonban tovább bővítve valós elméletet jelenthet. Az egy töltés alapú modellt értelemszerűen, első lépésben, két töltés együttes vizsgálatára terjeszthető ki. A kibővítést két módon elvégezhetjük. Az egy töltés sugárzásához hasonló rapiditás-spektrumok ábrázolása az egyik lehetőség. A kísérleti adatokra azonban így még nem illeszthetünk, ezért



2. ábra. Fotonszámeloszlás a rapiditás függvényében, két töltés sugárzása alapján

megvizsgáltuk azt is, hogyan lehet a modellünk, a hidrodinamika és a nagy energiás kísérletek között kapcsolatot találni. A két töltéses rendszer leírása a következő megfontolásokkal válik kezelhetővé. A két töltés egy dipólt alkot. A köztük lévő távolság anizotrópiát visz a rendszerbe. A töltések konstans gyorsulással mozognak. Az első lépés az egyenes vonalon mozgó töltések vizsgálata. A hidrodinamikai modellekhez hasonló eredményt vártunk, azonban már az egy töltéses rendszerben is megtalálható volt az interferencia, így nem volt világos, hogyan alakulnak a spektrumok két ponttöltés esetén. Egy jellegzetes eredmény látható a 2. ábrán.

Az ábrán látható csúcsok annak következményei, hogy a két töltés közti kezdeti fáziseltolódás változhat, így az eltolódás következtében középen is találhatunk csúcsokat. Mindezt alátámasztja, hogy a platón látszó csúcs kisimul, a fázisátlagolás után a csúcsok eltűnnek. Egy lehetséges megközelítés, ha az elliptikus folyásra jellemző áramlási koefficienseket meghatározva összehasonlítást végzünk a kísérleti



3. ábra. Elliptikus folyás paramétere a tranzverz momentum függvényében

adatokkal. Technikailag mindezt a Jacobi-Anger formula használatával tehetjük meg, ugyanis a formulában szerepel a  $v_n$  paraméter, mely a  $\cos(n\theta)$  tag relatív amplitúdóját jelenti. Az összefüggés:

$$v_n = \frac{2R_n J_n(k_\perp d)}{|A_1|^2 + |A_2|^2 + R_0 J_0(k_\perp d)}. \quad (2)$$

Az egyenletben szereplő  $R_n$  tag az amplitúdók arányait és a fázist jelölik, pontosan a  $R_n := 2\Re(i^n A_1 A_2^*) = 2|A_1||A_2| \cos(\delta + n\frac{\pi}{2})$  összefüggéssel írható le a paraméter, ahol  $\delta$  a fázist jelöli. Az egyenletben szereplő  $J_n$  és  $J_0$  a Bessel-függvényeket jelöli. A számításokat numerikusan elvégezve  $v_2$ -re, a 3. ábrát nyerhetjük.

A trend látható az ábrán, a kezdeti emelkedés után, nagyobb tranzverz momentum esetén újra csökken a koefficiens értéke. A trendek összhangban vannak a kísérleti adatokkal, azokra illesztés végezhető, melynek eredménye megtalálható a hivatkozásban :[3].

Az eredmények fontos előrelépést jelentenek, ugyanis a modell használhatósága egy

és két ponttöltés sugárzása esetén is látszik. A további vizsgálatok célja annak bizonyítása, hogy több töltésre, és nem egyenes vonalú mozgásra is alkalmazható az elképzelés.

Az elmélet jelentősége abban rejlik, hogy a hidrodinamikában megszokott, azonban a nagy energiás fizikában nem egyértelmű, kezdeti feltételekre nincs szükség, továbbá hőtartályt sem tételezünk fel.

### 2.3. Konferenciárészvétel

A 2016/17-es félévben a következő konferenciákon vettem részt, és adtam elő:

- ACHT 2016, Csáktornya (Cakovec), Horvátország, <http://umbriel.phy.hr/ACHT2016/>
- Zimanyi Winter School, 2016, Budapest, <http://zimanyischool.kfki.hu/17/>

Az ACHT, azaz az Austrian-Croatian-Hungarian Meeting, elsősorban a kvantumtérelméletek új eredményeivel foglalkozott, míg a Zimányi Téli Iskola kifejezetten a nehézionfizika új eredményeit tárta fel. Mindkét konferencián előadóként szerepeltem. A konferenciák weboldalai a felsorolásban feltüntetett linkeken keresztül érhetők el.

### 2.4. Tanulmányok

A félév során az alábbi kurzusokat hallgattam:

- Erősen kölcsönható anyag fázisszerkezete, oktató: dr. Lévai Péter
- Statisztikus térelmélet, oktató: dr. Szép Zsolt

## 2.5. Összefoglaló táblázat

Téma leírása	Gyorsuló ponttöltések vizsgálata, alkalmazhatósága nehézionütközésekben
Új eredmények	Két töltés sugárzásának vizsgálata, rapiditáseloszlások, kísérleti adatokra illesztés
Konferenciák	ACHT, Horvátország; Zimányi Téli Iskola, Budapest

## Hivatkozások

- [1] T.S. Biró, Z. Szendi, Z. Schram, EPJ A 50 (2014) 62
- [2] T.S. Biró, Z. Szendi, Z. Schram, J. Phys. Conf. Ser. 509 (2014) 012027
- [3] TS Biró, M Horváth, Z Schram, EPJ A 51, 75 (2015)