

ATOMMAGFIZIKA II.
(NUCLEAR PHYSICS II.)

**RÉSZECSKÉK ÉS
KÖLCSÖNHATÁSAIK
(PARTICLES AND THEIR
INTERACTIONS)**

(Harmadik, korszerűsített kiadás)
(Third up-dated edition)

FÉNYES TIBOR

DEBRECENI EGYETEMI KIADÓ, 2013
DEBRECEN UNIVERSITY PRESS, 2013

I. INTRODUCTION

II. PRODUCTION OF PARTICLES, ACCELERATORS, DETECTORS

III. PROPERTIES OF PARTICLES, QED, CONSERVATION LAWS

IV. COLLISIONS, QUARK STRUCTURE OF NUCLEONS

V. MESONS

VI. BARYONS

VII. STRONG INTERACTION

VIII. WEAK INTERACTION

IX. ELECTROWEAK INTERACTION

X. STANDARD MODEL

XI. BEYOND STANDARD MODEL

XII. APPENDIX

I. BEVEZETÉS

I.1. A részecskefizika tárgya és jellegzetességei

I.2. Rövid áttekintés a részecskékről és kölcsönhatásairól

I.3. Mértékegységek a részecskefizikában

Irodalom az I. fejezethez

II. RÉSZECSKÉK ELŐÁLLÍTÁSA, GYORSÍTÓK, MÉRŐBERENDEZÉSEK

II.1. Részecskék előállításához vezető reakciók

II.2. Gyorsítók

II.2.1. Rögzített céltárgyas gyorsítók

II.2.2. Ütközőnyalábos gyorsítók

II.2.3. Áttekintés a részecskefizikai gyorsítókról

II.2.4. A részecskefizikai gyorsítók fejlesztésének irányai

II.3. Mérőberendezések és módszerek

II.3.1. Részecskedetektorok és detektorrendszerek

II.3.2. Mérhető mennyiségek, részecskék azonosítása

Irodalom a II. fejezethez

Feladatok a II. fejezethez

III. A RÉSZECSKÉK JELLEMZŐI, KVANTUMELEKTRODINAMIKA, MEGMARADÁSI TÖRVÉNYEK

III.1. A részecskék alapvető jellemzői

III.2. Lorentz-invariáns hullámegyenletek

III.2.1. Klein–Gordon-egyenlet

III.2.2. Dirac- és Weyl-egyenletek

III.2.3. A Dirac-egyenlet megoldásai

III.3. A kölcsönhatások kvantumozás leírása, az aranyszabály

III.4. A kvantumelektrodinamika (QED) alapjai

III.4.1. Maxwell-egyenletek, a foton

III.4.2. Feynman-szabályok

III.4.3. Néhány QED számítás eredménye

III.4.4. Renormálás, töltésárnyékolás, futó csatolási állandó

III.4.5. Lamb-eltolódás, az elektron és müon mágneses nyomatéka

III.5. Megmaradási törvények

Irodalom a III. fejezethez

Feladatok a III. fejezethez

IV. ÜTKÖZÉSEK. A NUKLEONOK KVARKSZERKEZETE

IV.1. e^+e^- -ütközések

IV.1.1. A $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$, $\tau^+\tau^-$ reakciók

IV.1.2. Rezonanciák az e^+e^- -ütközésekben

IV.1.3. Hadronok előállítása nem rezonáns e^-e^+ -ütközésekben, a kvarkok létére mutató jelek

IV.2. Lepton-nukleon és hadron-nukleon mélyen rugalmatlan ütközések, szerkezetfüggvények, a nukleonok kvarkszerkezete

IV.2.1. Az ep -ütközések, a nukleonok szerkezetfüggvényei

IV.2.2. Neutrínó-nukleon-ütközések

IV.2.3. Hadron-nukleon-ütközések, a nukleonok kvarkszerkezete

IV.3. Fragmentációs függvények e^+e^- , ep , és pp -ütközésekben

Irodalom a IV. fejezethez

Feladatok a IV. fejezethez

V. MEZONOK

V.1. Kísérleti adatok és rendszerezésük

V.1.1. A mezonok elnevezése, szimbólumok

V. 1.2. A mezonok kísérleti adatai, mezonmultiplettek

V.2. Nehéz kvarkokból felépített mezonok

V.2.1. $c\bar{c}$ -, $b\bar{b}$ -állapotok

V.2.2. A pozitronium- és kvarkóniumnívók egybevetése

V.2.3. Kvark-antikvark-potenciál

V.2.4. Bomlásmódok, közepes élettartamok

V.3. Könnyű és középnehéz kvarkokból felépített mezonok

V.3.1. Pszeudoskalár-mezonok

V.3.2. Vektormezonok

V.3.3. Izoskalár, izovektor és K -mezonok spektrumai

V.3.4. Mezontömegek

V.3.5. Bomlásmódok

Irodalom a V. fejezethez

Feladatok a V. fejezethez

VI. BARIONOK

VI.1. Kísérleti adatok, barionmultiplettek

VI.1.1. A barionok elnevezése, szimbólumok

VI.1.2. A barionok kísérleti adatai, barionmultiplettek

VI.2. A barionok tömege, mágneses nyomatéka és bomlásmódjai

VI.2.1. A barionok tömege

VI.2.2. A barionok mágneses nyomatéka

VI.2.3. A barionok bomlásmódjai

Irodalom az VI. fejezethez

Feladatok az VI. fejezethez

VII. ERŐS KÖLCSÖNHATÁS, KVANTUMSZÍNDINAMIKA (QCD)

VII.1. Kvar-k-gluon-kölcsönhatás, QCD potenciál

VII.2. Kvantumszindinamika $\leq 0,1$ fm távolságoknál

VII.2.1. A QCD számítások alapjai, Feynman-szabályok

VII.2.2. A kvarkok aszimptotikus szabadsága

VII.2.3. Az erős kölcsönhatás csatolási erőssége (α_s)

VII.3. A hadronok fizikája

VII.3.1. A hadronok szerkezete

VII.3.2. Hadronspektroszkópia, kvarkmodellek

VII.3.3. Hadronspektroszkópiái rács-QCD számítások

VII.3.4. A hadronok kölcsönhatásai

VII.4. Erős kölcsönhatás az atommagokban

VII.4.1. Az EMC-jelenség

VII.4.2. Magerők, effektív kölcsönhatások

VII.4.3. Hipermagok

VII.5. Az erősen kölcsönható anyag fizikája

VII.5.1. A maganyag fázisdiagramja

VII.5.2. Az erősen kölcsönható anyag nukleon szabadsági fokokkal

VII.5.3. Az erősen kölcsönható anyag nagy energiáknál

VII.5.4. Az erősen kölcsönható anyag nagy barionsűrűségeknél

Irodalom a VII. fejezethez

Feladatok a VII. fejezethez

VIII. GYENGE KÖLCSÖNHATÁS

VIII.1. A gyenge kölcsönhatás és különböző formái

VIII.2. Leptonikus gyenge kölcsönhatások

VIII.2.1. Néhány példa a leptonikus gyenge kölcsönhatásokra

VIII.2.2. A leptonikus gyenge kölcsönhatások univerzalitása

VIII.3. Kvarkok és a gyenge kölcsönhatás

VIII.3.1. A pionok bomlása

VIII.3.2. A neutron bomlása

VIII.3.3. A kvarkállapotok keveredése. Cabibbo-szög

VIII.3.4. A Cabibbo–Kobayashi–Maskawa-mátrix

VIII.4. A W^\pm - és Z^0 -bozonok előállítása és bomlásaik

VIII.4.1. W^\pm - és Z^0 -bozonok $p\bar{p}$ -ütközésekből

VIII.4.2. Z^0 -, W^\pm - bozonok e^+e^- -ütközésekből

VIII.5. A CP-szimmetria sérülése a mezonok bomlásában

VIII.6. Neutrínók és átalakulásaik

VIII.6.1. A neutrínók átalakulásának kísérleti kimutatása

VIII.6.2. A neutrínóoszilláció kvantummechanikai elmélete

VIII.6.3. A neutrínófizikai újabb eredmények összegzése

VIII.6.4. A neutrínófizika fejlődési irányai

VIII.6.5. A neutrínófizika néhány alkalmazása

Irodalom a VIII. fejezethez

Feladatok a VIII. fejezethez

IX. ELEKTROGYENGE KÖLCSÖNHATÁS

IX.1. A gyenge kölcsönhatás Fermi-modelljének továbbfejlesztése

IX.2. Az elektromágneses és gyenge kölcsönhatások egyesítése

IX.2.1. Királis fermionállapotok

IX.2.2. Gyenge izospin, hipertöltés

IX.2.3. Az elektrogyenge kölcsönhatás

IX.2.4. A W^\pm - és Z^0 -bozonok tömege

Irodalom a IX. fejezethez

Feladatok a IX. fejezethez

X. MÉRTÉKELMÉLETEK, STANDARD MODELL (SM)

X.1. A relativisztikus térelmélet Lagrange-formalizmusa

X.2. Mértékinvariancia, a QED és QCD Lagrange-energiasűrűségei

X.3. Spontán szimmetriasértés, Higgs-mech., az elemi észecskék tömege

X.4. Az elektrogyenge modell Lagrange-energiasűrűsége, Feynman-szabályok

X.5. A standard elektrogyenge modell kísérleti alapjai

X.6. A standard modell

X.6.1. Sikerek és megoldatlan problémák

X.6.2. A Higgs-bozon-kutatások

Irodalom a X. fejezethez

XI. TÚL A STANDARD MODELLEN

XI.1. Szuperszimmetria-modellek

- XI.1.1. SUSY-modellek és bevezetésük indoklása
- XI.1.2. A szuperszimmetria-modellek alapjai
- XI.1.3. Elméleti becslések a SUSY-részecskék tömegére
- XI.1.4. Elméleti becslések a SUSY-részecskék bomlására
- XI.1.5. A SUSY-részecskék előállítási és vizsgálati lehetőségei
- XI.1.6. Kísérleti eredmények

XI.2. Nagy egyesítési elméletek

- XI.2.1. Áttekintés az egyesítési elméletekről
- XI.2.2. A nukleon bomlása
- XI.2.3. A Yukawa-csatolások egyesítése

XI.3. Szuperhúr-elméletek, extra dimenziók

XI.4. További modellek

Irodalom a XI. fejezethez

Feladatok a XI. fejezethez

XII. FÜGGELÉK

XII.1. A relativisztikus kinematika és dinamika néhány összefüggése

XII.2. A feladatok megoldásai

XII.3. A részecskefizika fejlődésének rövid időrendi áttekintése

TÁBLÁZATOK

TÁRGYMUTATÓ

SZÍNES KÉPEK

FONTOSABB ÖSSZESÍTETT ADATOK (Summary)

Oldalak száma (pages):	616
Ábrák száma (figures):	157
Táblázatok száma (tables):	55
Tárgymutató címszavai (index)	~1000
Forrásmunkák száma (references)	~700

A kötet megvásárolható:

Debrecenben a **Sziget könyvesboltban**, Egyetem tér 1, fszt.

A kötet megrendelhető (the volume can be ordered from):

A Debreceni Egyetemi Kiadó honlapján: www.dupress.hu

A kötet ára (price): 4500 Hu Ft

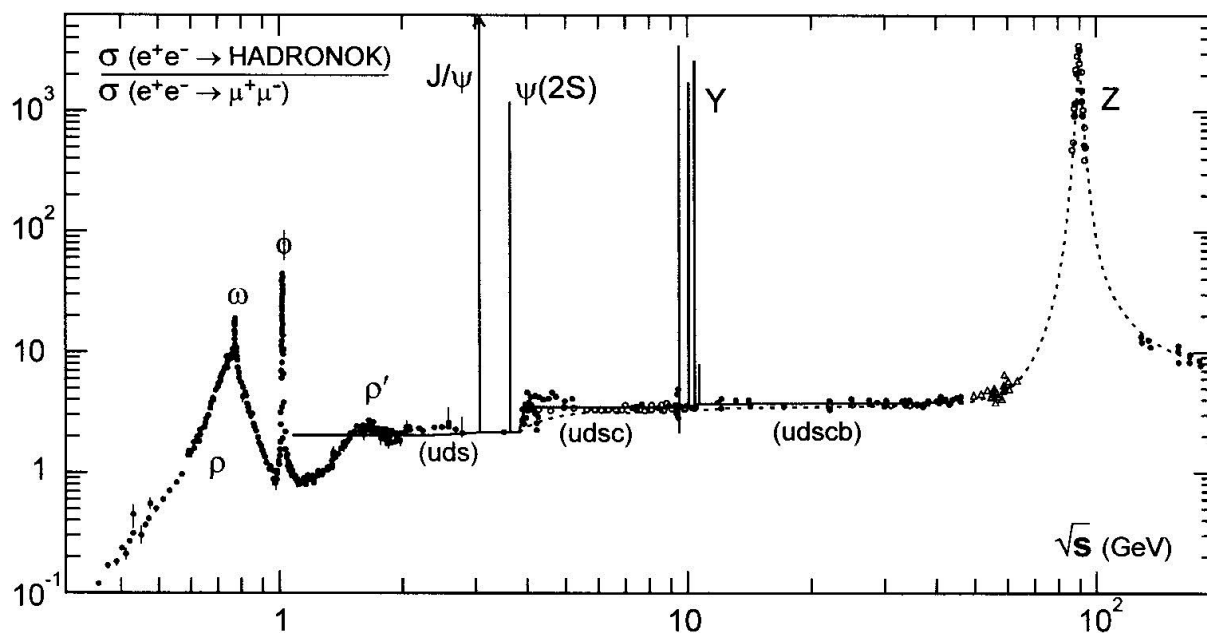
ATOMMAGFIZIKA I.

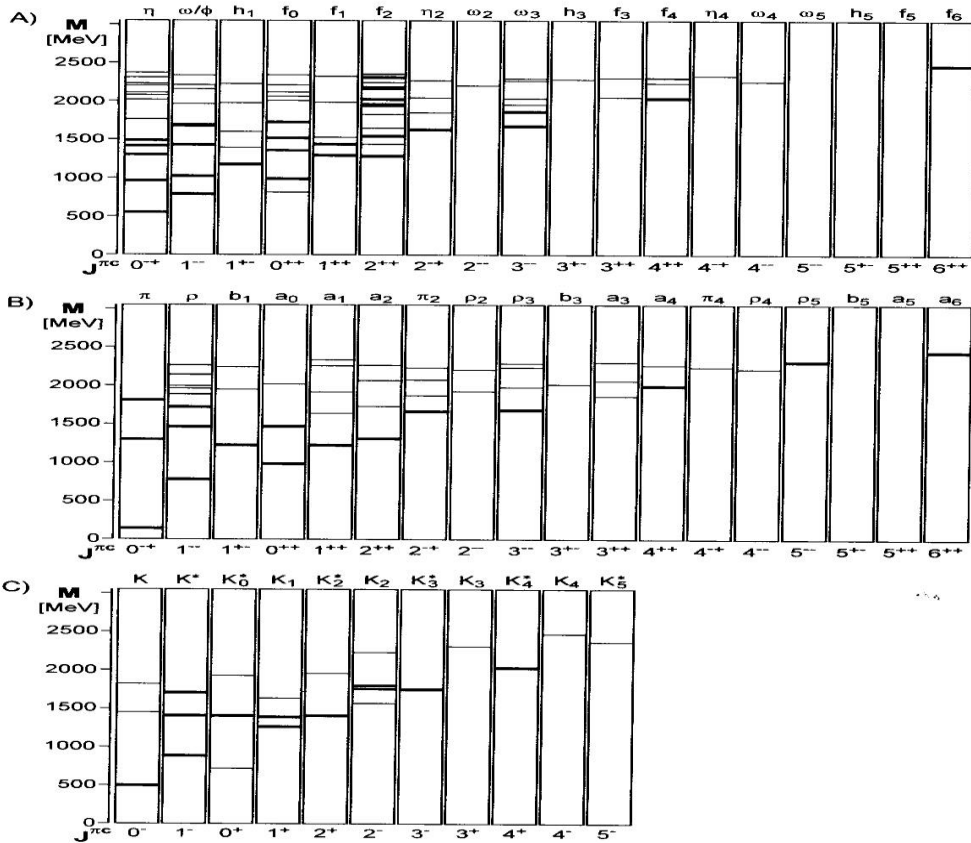
**Második, korszerűsített kiadás
Szerkesztette**

FÉNYES TIBOR

Debreceni Egyetemi Kiadó, 2009

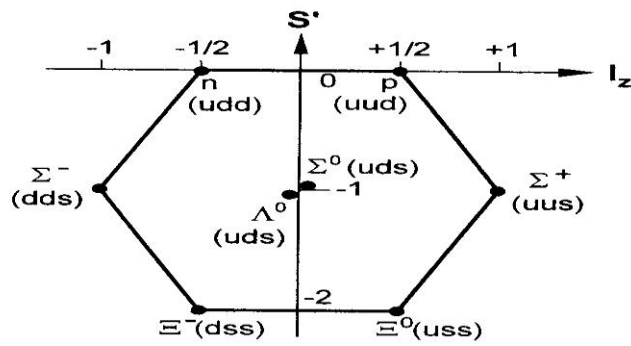
TÖMEG (GeV/c ²)		KVARKOK, LEPTONOK			TÉRKVANTUMOK
		I. CSALÁD	II. CSALÁD	III. CSALÁD	BOZONOK [Higgs]*
10 ³		FERMIONOK, J = 1/2			[H]
10 ²			$z_t = +2/3 \rightarrow$	(t _R) (t _G) (t _B)	
10 ¹			$z_b = -1/3 \rightarrow$	(b _R) (b _G) (b _B)	
10 ⁰		$z_c = +2/3 \rightarrow$	(c _R) (c _G) (c _B)	(τ ⁻)	
10 ⁻¹		$z_s = -1/3 \rightarrow$	(s _R) (s _G) (s _B)	(μ ⁻)	
10 ⁻²		(d _R) (d _G) (d _B)	$\leftarrow z_d = -1/3$		
10 ⁻³		(u _R) (u _G) (u _B)	$\leftarrow z_u = +2/3$		
10 ⁻⁴		(e ⁻)			
10 ⁻¹⁰				(ν _τ)	TÖMEG NÉLKÜLI BOZONOK <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> (γ) Foton J = 1 (g_i) Gluon i = 1, ... 8 </div>
10 ⁻¹¹				m(ν _τ)	
10 ⁻¹²		(ν _e)	(ν _μ)	m(ν _μ)	
10 ⁻¹²		m(ν _e) < 2eV			



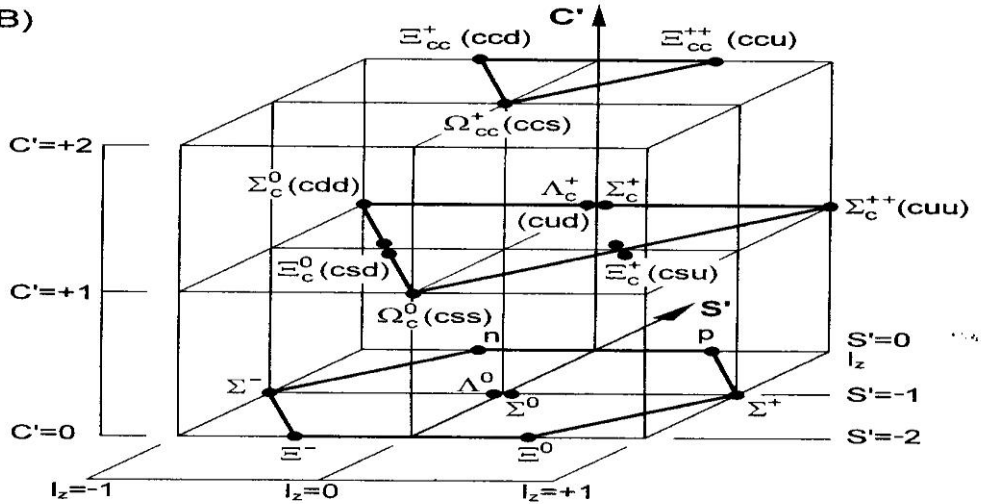


A)

M	ΔM
(MeV/c ²)	
939	
	254
1193	
1116	
	202
1318	

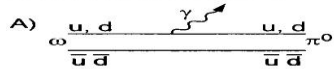


B)

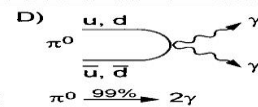
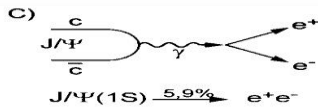


MEZONOK BOMLÁSMÓDJAI

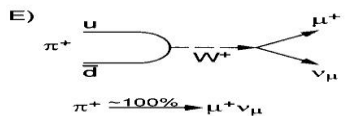
ELEKTROMÁGNESES



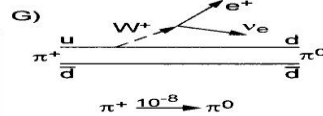
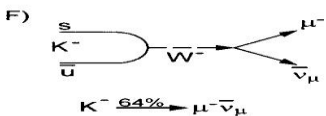
$\omega (782) \xrightarrow{8,3\%} \pi^0 \gamma$



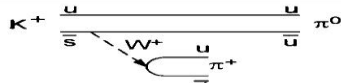
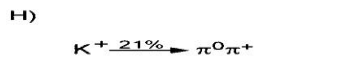
GYENGE LEPTONIKUS



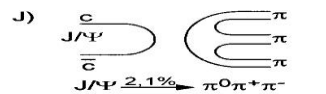
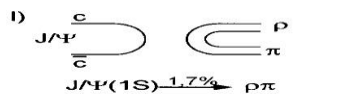
GYENGE FÉLIG LEPTONIKUS



GYENGE NEM LEPTONIKUS

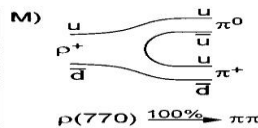
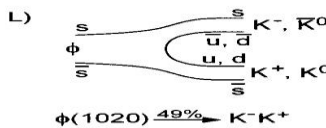
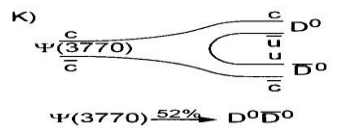


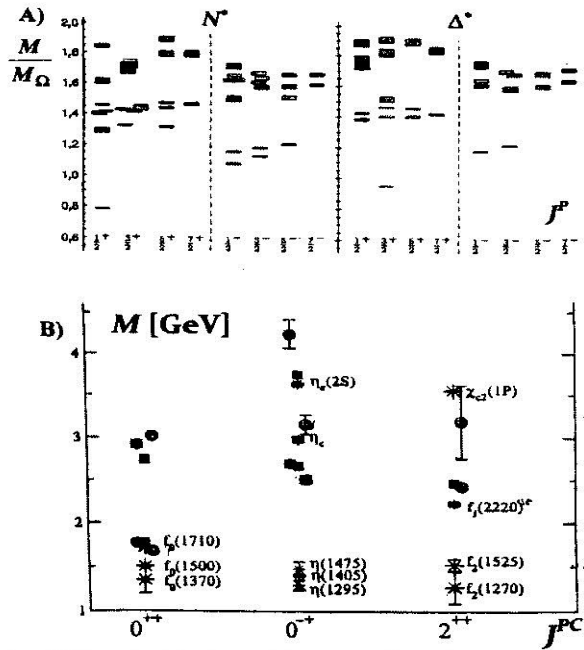
ERŐS OZI TILTOTT



BOMLÁSOK 2 VAGY 3 GLUON EMISSZIÓJÁVAL

ERŐS OZI MEGENGEDETT

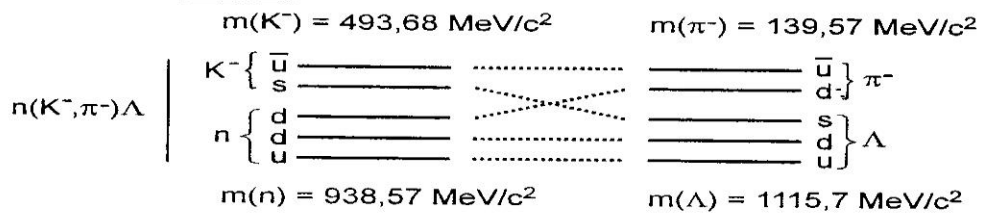




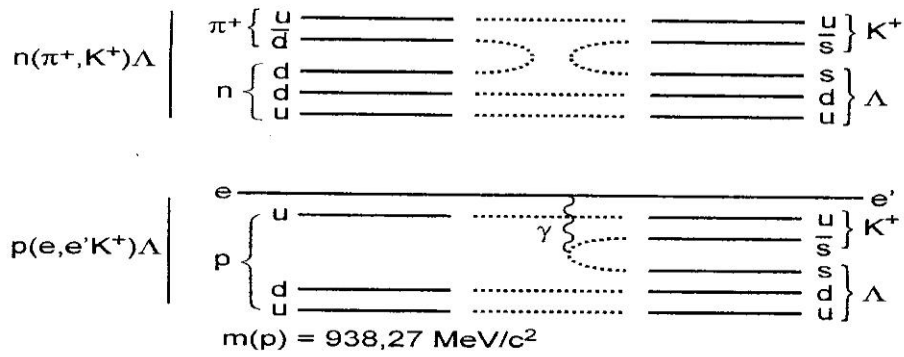
VII. 19. A. ábra. Rács-QCD-számítások a nukleonok (N^* és Δ^*) gerjesztett állapotaira viszonyítva az Ω -barion számított tömegére [$m(\Omega^-)$, kísérleti] = 1672,4 MeV]. Az állapotok spin-paritás szerinti bontásban vannak ábrázolva. Edwards R. G. et al. (arXiv:1104.5152[hep-ph]) alapján.

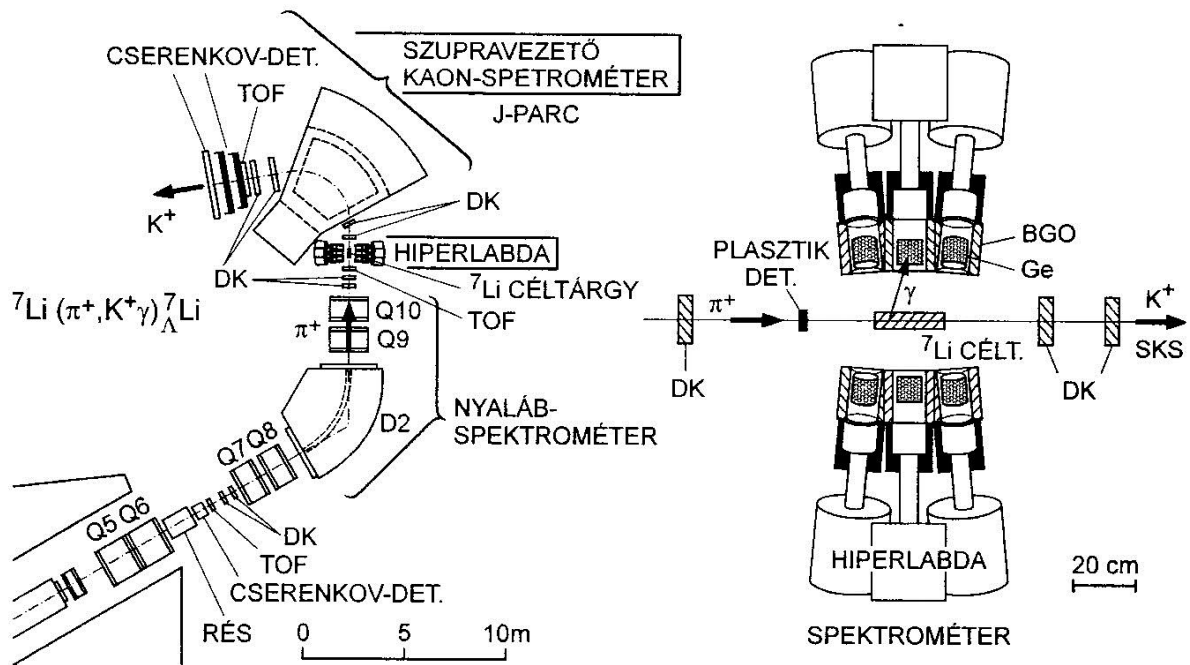
B. Rács-QCD-előrejelzések a gluonlabda-tömegekre (M). Az üres (vagy besötétített) körök nagyobb (vagy kisebb) rácsközökre vonatkoznak. A *-ok a részecske nevével kísérleti állapotokat jelölnek, megfelelő kvantumszámokkal. A négyzetek korábbi tengerkvarkok nélküli rác-QCD-számításokat mutatnak. Richards és mts. [2010] alapján.

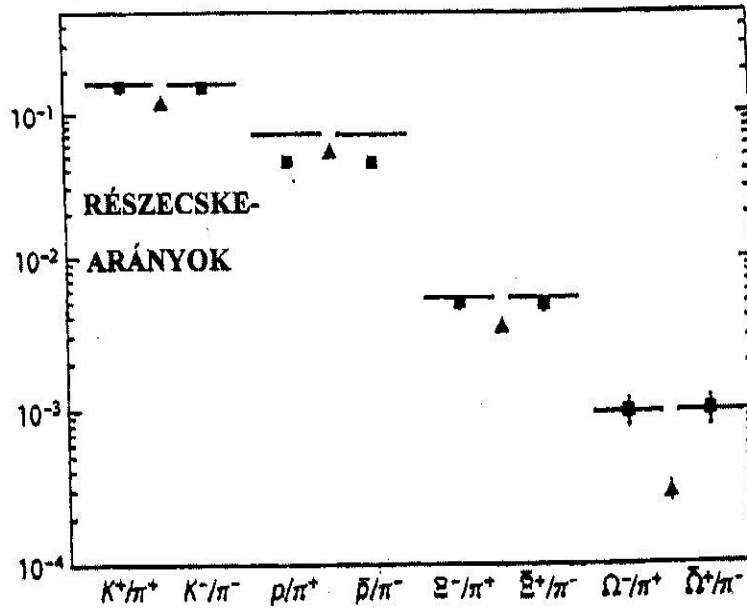
s-KVARK-CSERE



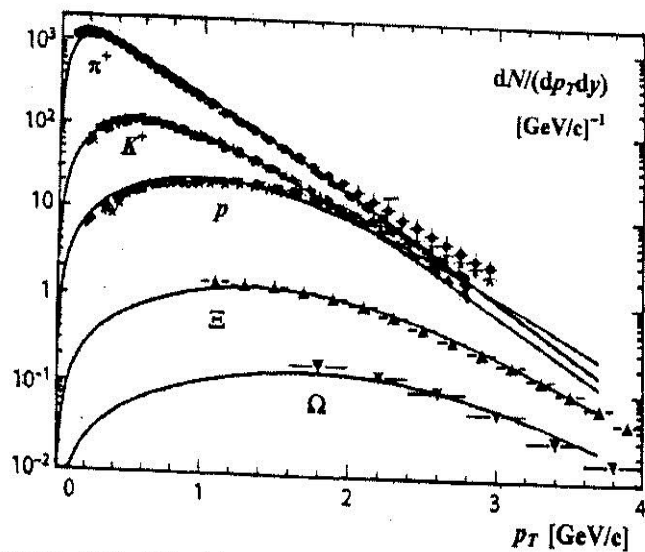
s \bar{s} -PÁRKELTÉS





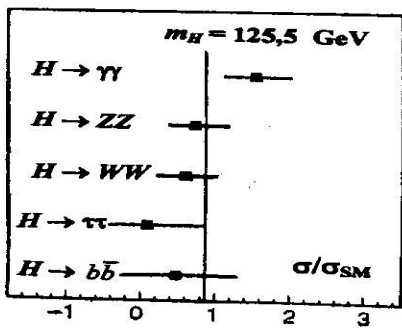


VII. 37. ábra. Részecskearányok centrális PbPb- (négyzetek) és pp -ütközésekben (háromszögek) LHC, ALICE előzetes eredmények alapján. A mérések paraméterei: PbPb-ütközéseknél $\sqrt{s_{NN}} = 2,76$ TeV, 0–20% centralitás; pp -ütközéseknél $\sqrt{s} = 7$ TeV. A vonalak a termikus modell számítási eredményeit jelzik. A modellben $T = 164$ MeV és $\mu_b = 1$ paramétereket használtak. Müller és mts. [2012] alapján.

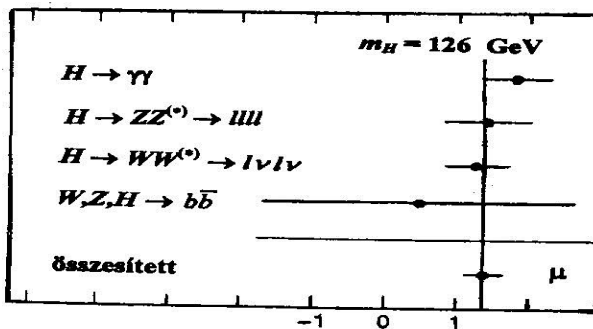


VII. 38. ábra. Centrális PbPb-ütközésben azonosított részecskék spektruma: $dN/(dp_T dy)$ a merőleges impulzus (p_T) függvényében. CERN ALICE előzetes eredmények $\sqrt{s_{NN}} = 2,76$ TeV energiánál. A folytonos és szaggatott vonalak hidrodinamikai számítások eredményeit mutatják, amelyeket $p_T < 3$ GeV/c-nél a kísérleti adatokra normálták. Müller és mts. [2012] összefoglaló munkája alapján.

A) CMS



B) ATLAS



C) TEVATRON

