

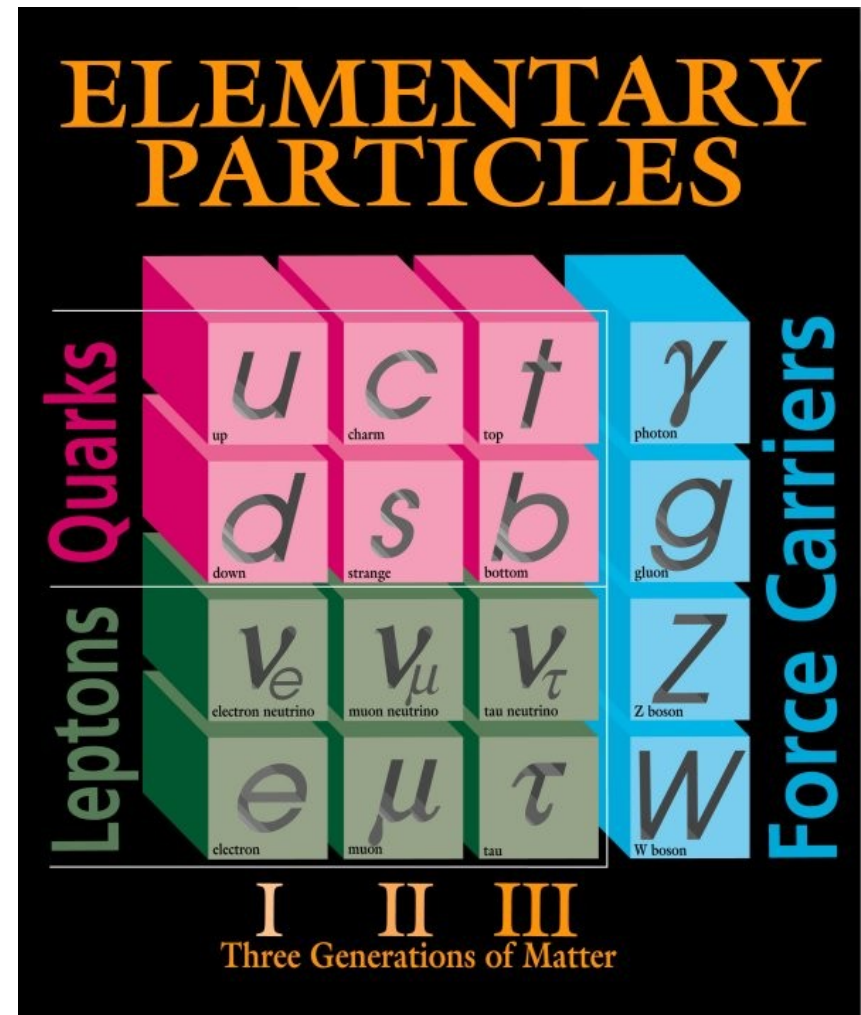
Részecskefizikai jelenségek és megfigyelési módszerek

Dezso.Varga@cern.ch

- Az elemi építőkövek és játékszabályok
- Fontos apróságok: invariáns tömeg, S
- A részecskefizikai mikroszkóp: gyorsítók
- Rejtőzködő kvarkok és gluonok: az erős kölcsönhatás természete
- Ritka folyamatok megfigyelési lehetőségei: leptonok, bomlások, jet-ek
- A top kvark példája

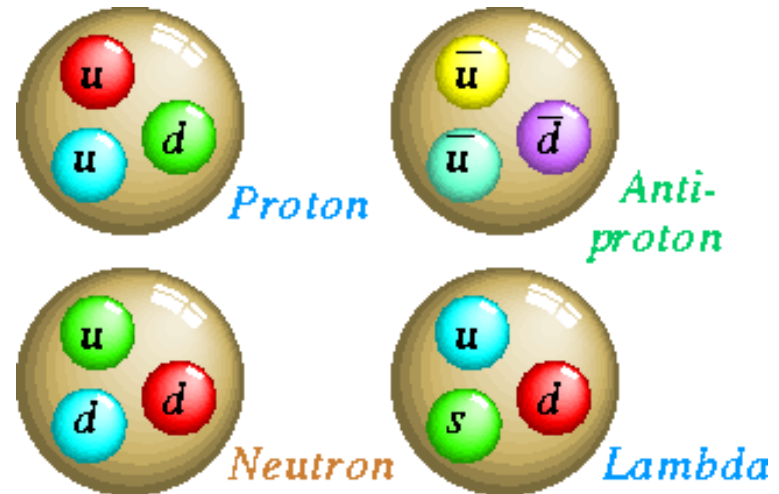
Építőkövek: kvarkok, leptonok, közvetítő bozonok, Higgs

- Közvetítő részecskék: relativitáselmélet tiltása a távolható erőkre nézve
- Közvetítő vektorbozonok: mértékelméleti háttér
(ld. Bajnok Zoltán e.a.)

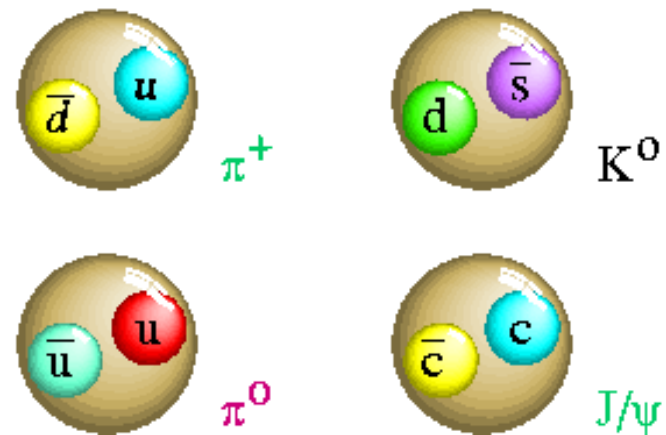


Kvarktartalmú részecskék: hadronok

- Barionok (3 kvark)



- Mezonok (kvark – antikvark pár)



Bomlási – kölcsönhatási hierarchia

- Erős kölcsönhatás

$$\Delta^{++} \rightarrow p + \pi^+ \quad (uuu) \rightarrow (uud) + (u\bar{d})$$

- Elektromágneses kölcsönhatás (1/137)

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma \quad (\text{önmagával annihilation})$$

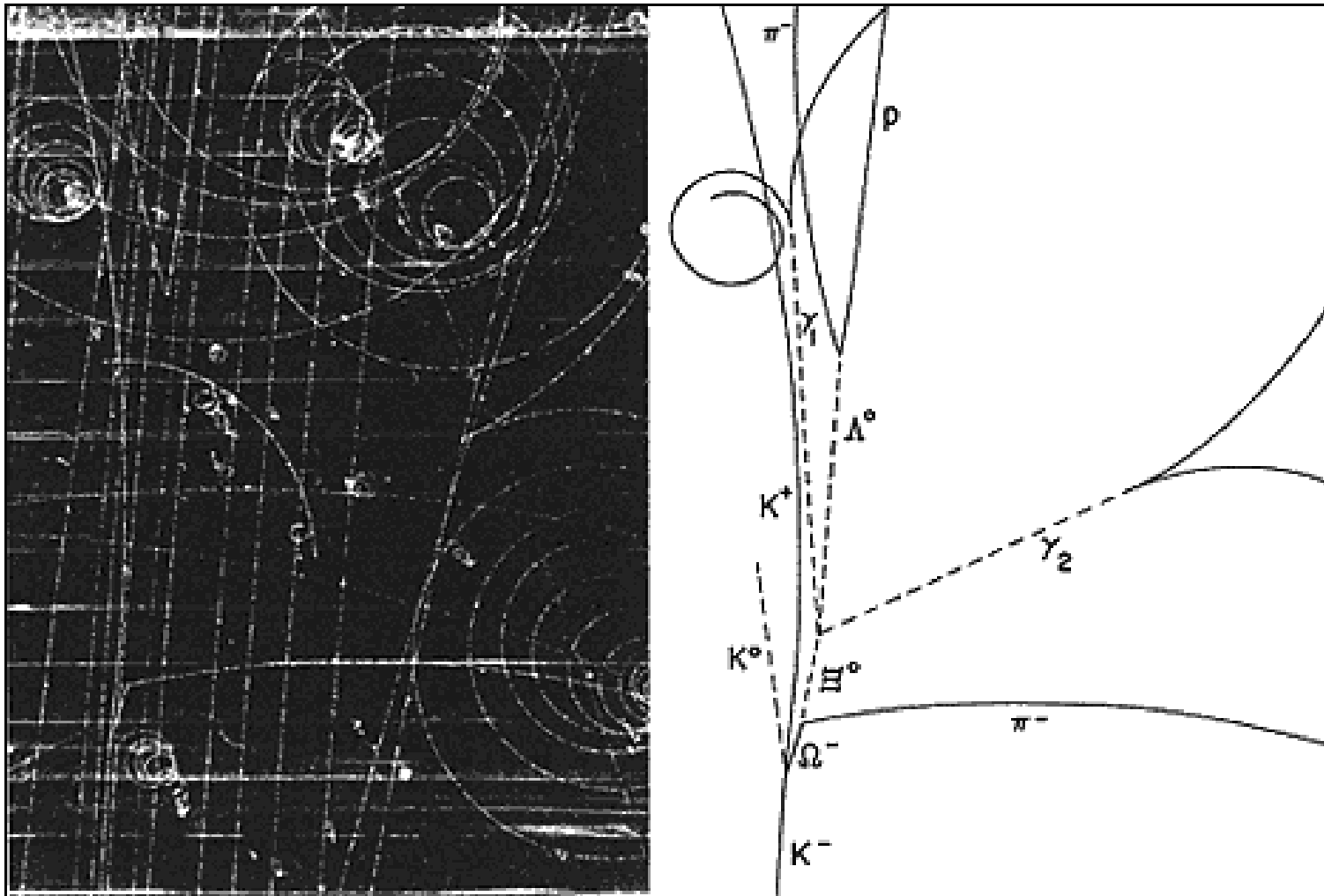
- Gyenge kölcsönhatás (nagy tömegű közvetítő)

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu \quad (u\bar{d}) \rightarrow W \rightarrow \mu \nu$$

Megmaradási szabályok

- Gyenge kölcsönhatás: kvarkszám, leptonszám
(a részletek igen összetettek, ld. Palla László e.a.)
- Elektromágneses továbbá: kvarkszám, leptonszám típus szerint külön-külön
- Erős kölcsönhatás továbbá: színsemleges végállapot helyre kell álljon

Omega barion felfedezése



- Keletkezés: erős kölcsönhatás (s kvarkok párban)
- Bomlás: gyenge kölcsönhatás szerint lépésekben

Fontos fogalmak

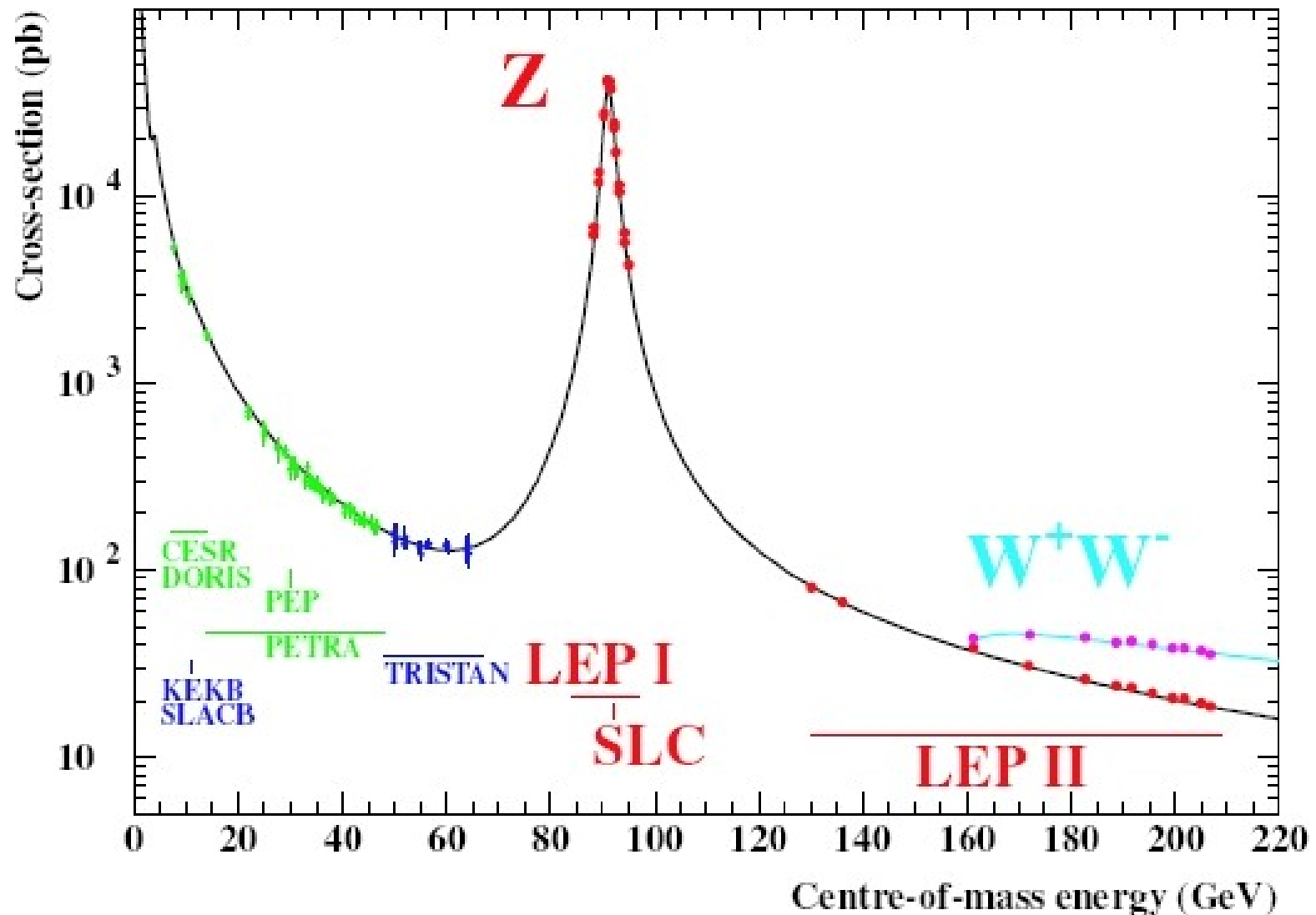
- Teljes ütközési tömegközépponti energia:

$$s = (p_1 + p_2)^2 \quad (\text{négyesvektorok!})$$

- Invariáns tömeg: két vagy több részecske tömegközépponti rendszerében mért teljes energia (ha ez bomlott volna, nyugalmi tömeg):

$$m_{inv}^2 = (p_1 + p_2 + \dots)^2$$

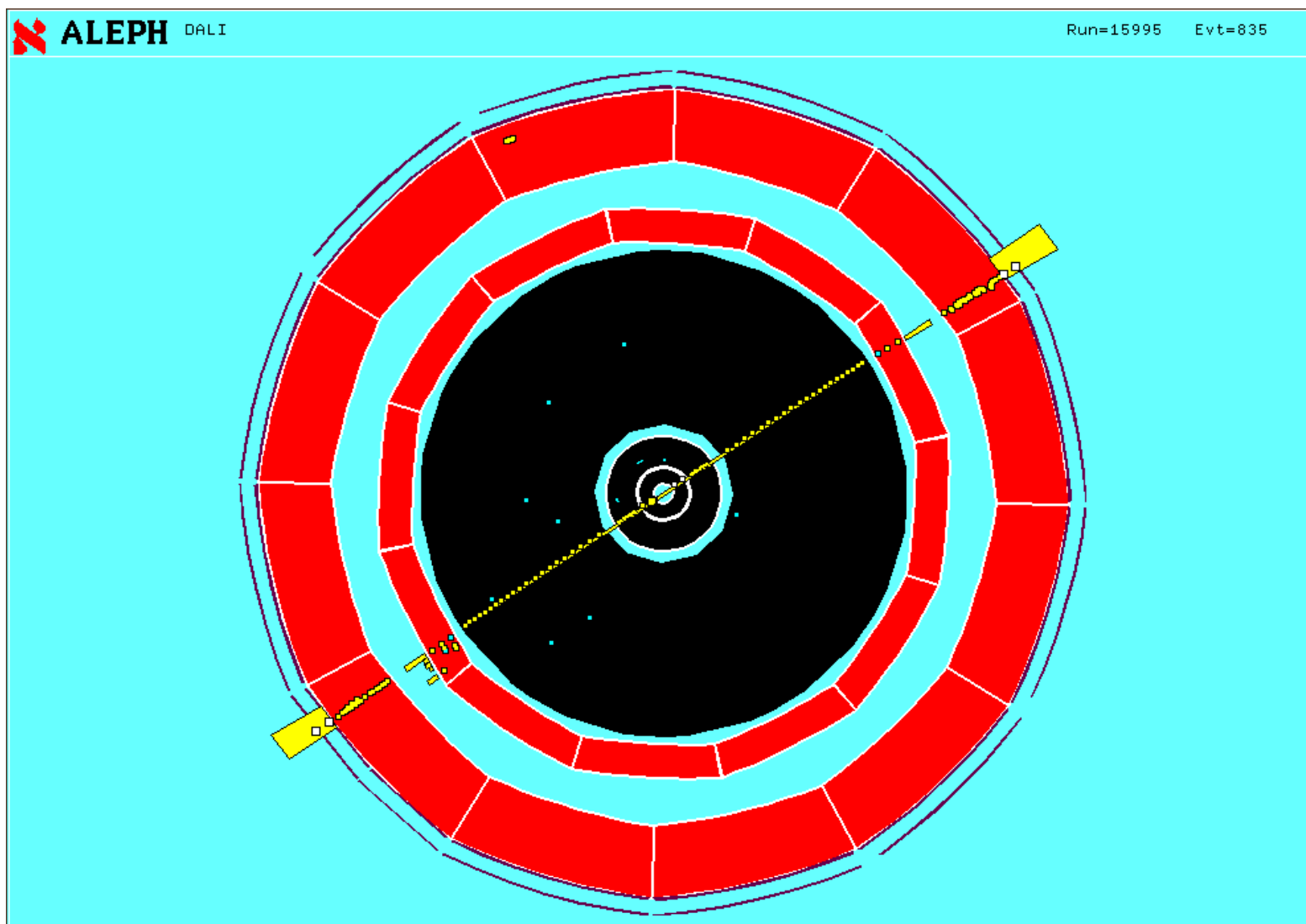
Z részecske keltési valószínűség



Elméleti megközelítés módja

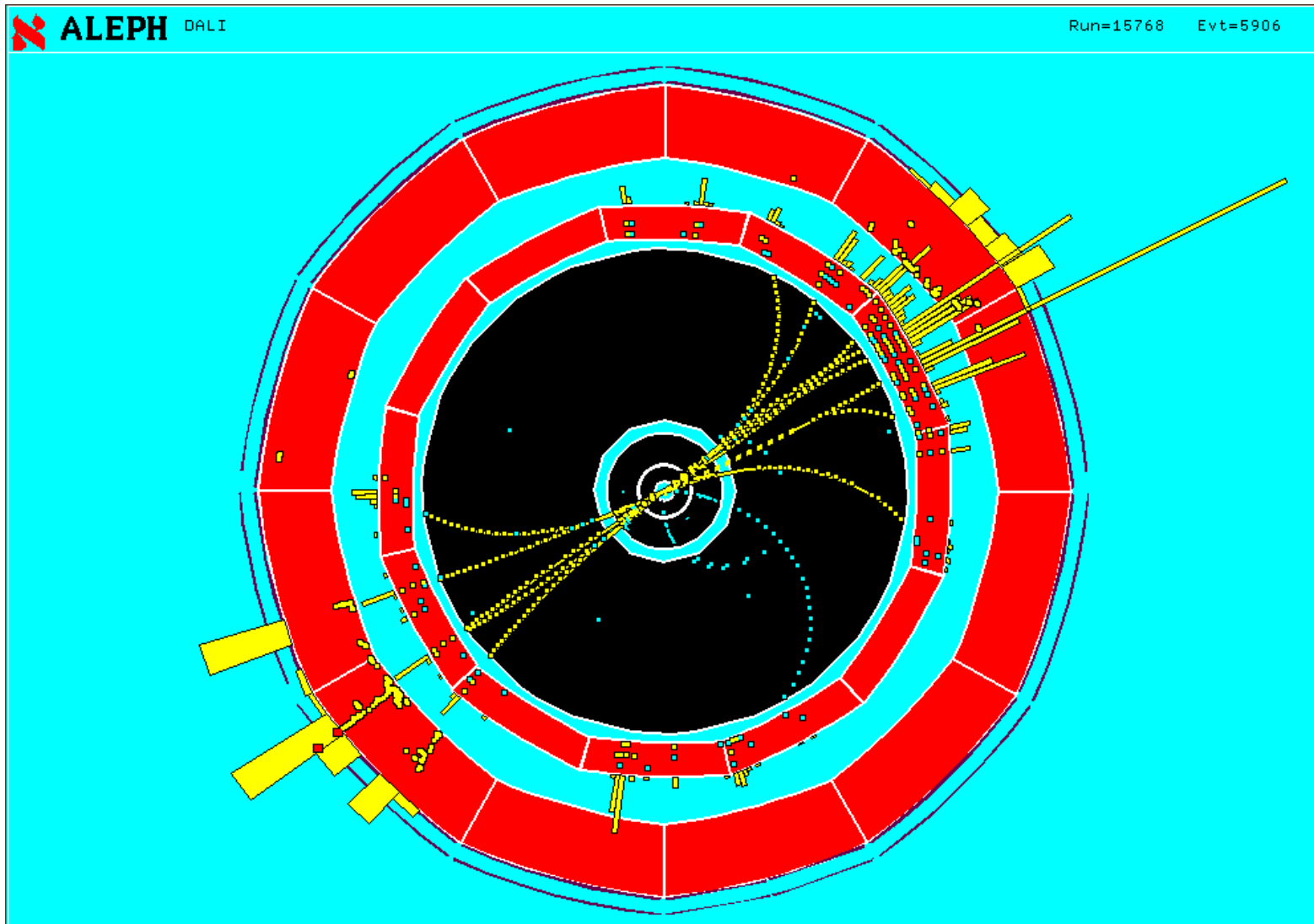
- Felírunk egy Lagrange-függvényt, szabad részecskékkel illetve kölcsönhatásokkal
- (ha ennek van értelme, akkor...)
- Perturbációszámítás rendjei: **Feynman-gráfok**
- (nem lehet önkényesen kihagyni, vagy behozni folyamatokat...)
- Keltési hatáskeresztmetszet, azaz a keletkezés valószínűsége kiszámolható adott folyamatra

Látható végállapot a detektorban:



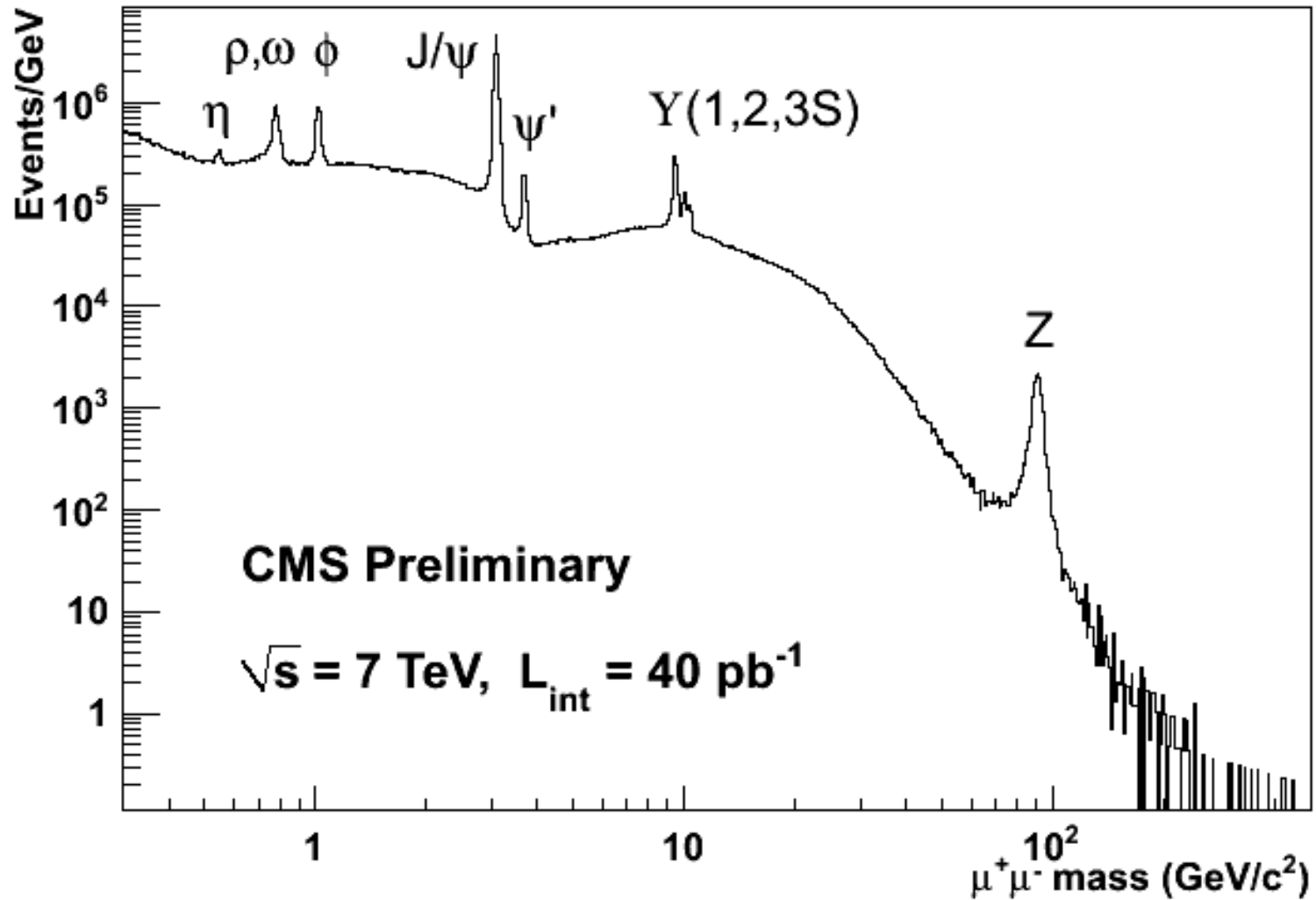
Z részecske bomlása két müonra

Kvarkok: szabadon nem léteznek...

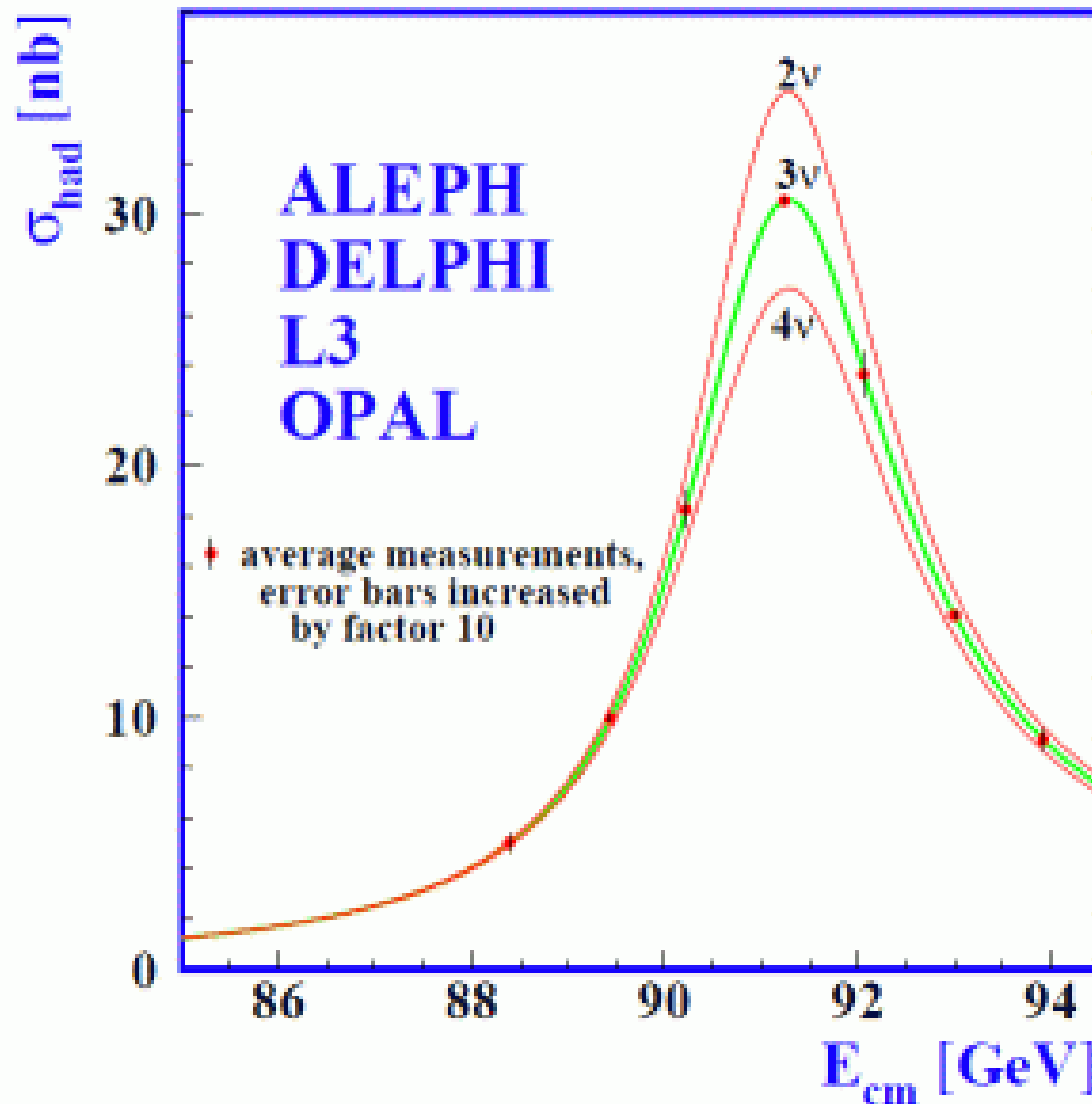


Z részecske bomlása két kvarkba:
a kvarkok részecskezáport (jetet) keltenek

$pp \rightarrow \text{müon pár invariáns tömeg}$

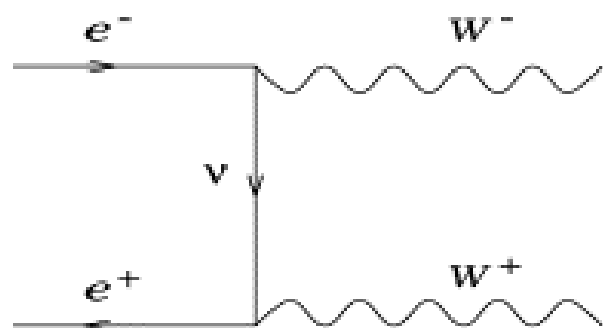
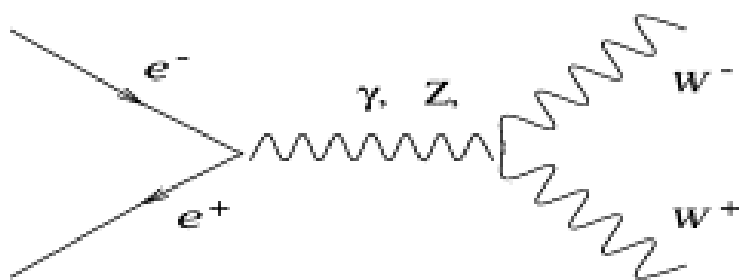


Miért fontos a hatáskeresztmetszet pontos (számolható) értéke?

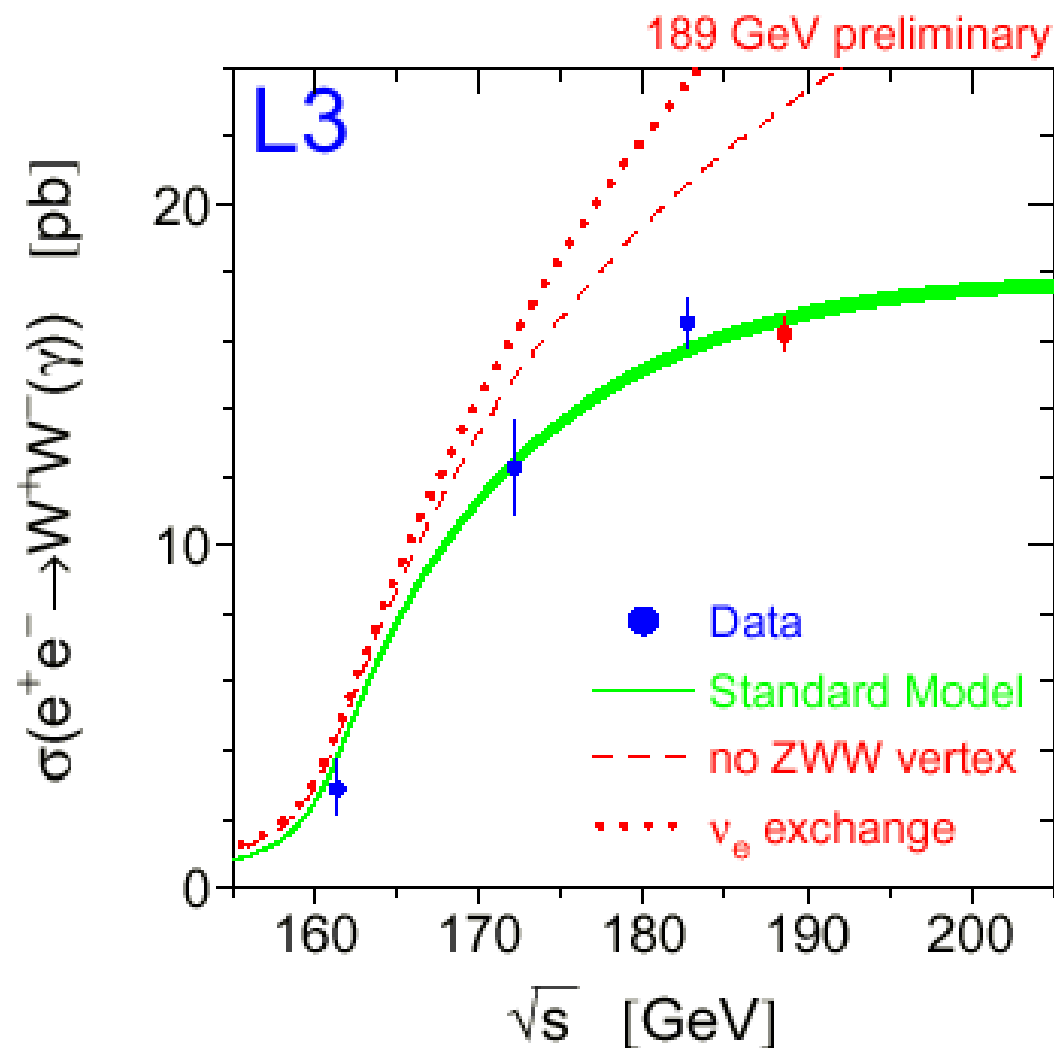


- Innen tudjuk, hogy három részecske-család van!

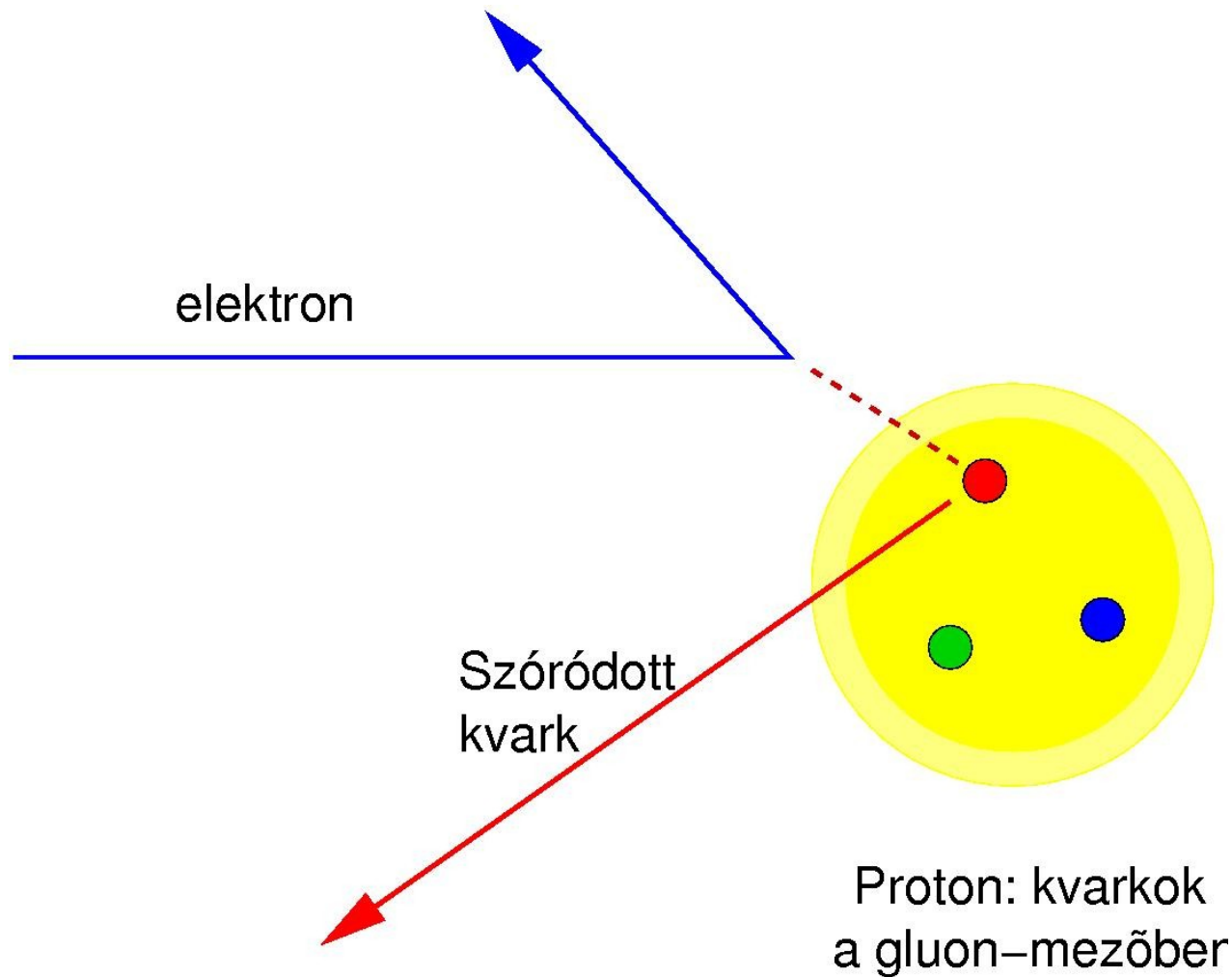
- Bizonyíték a mértékbozonok közötti kölcsönhatásra



(a)

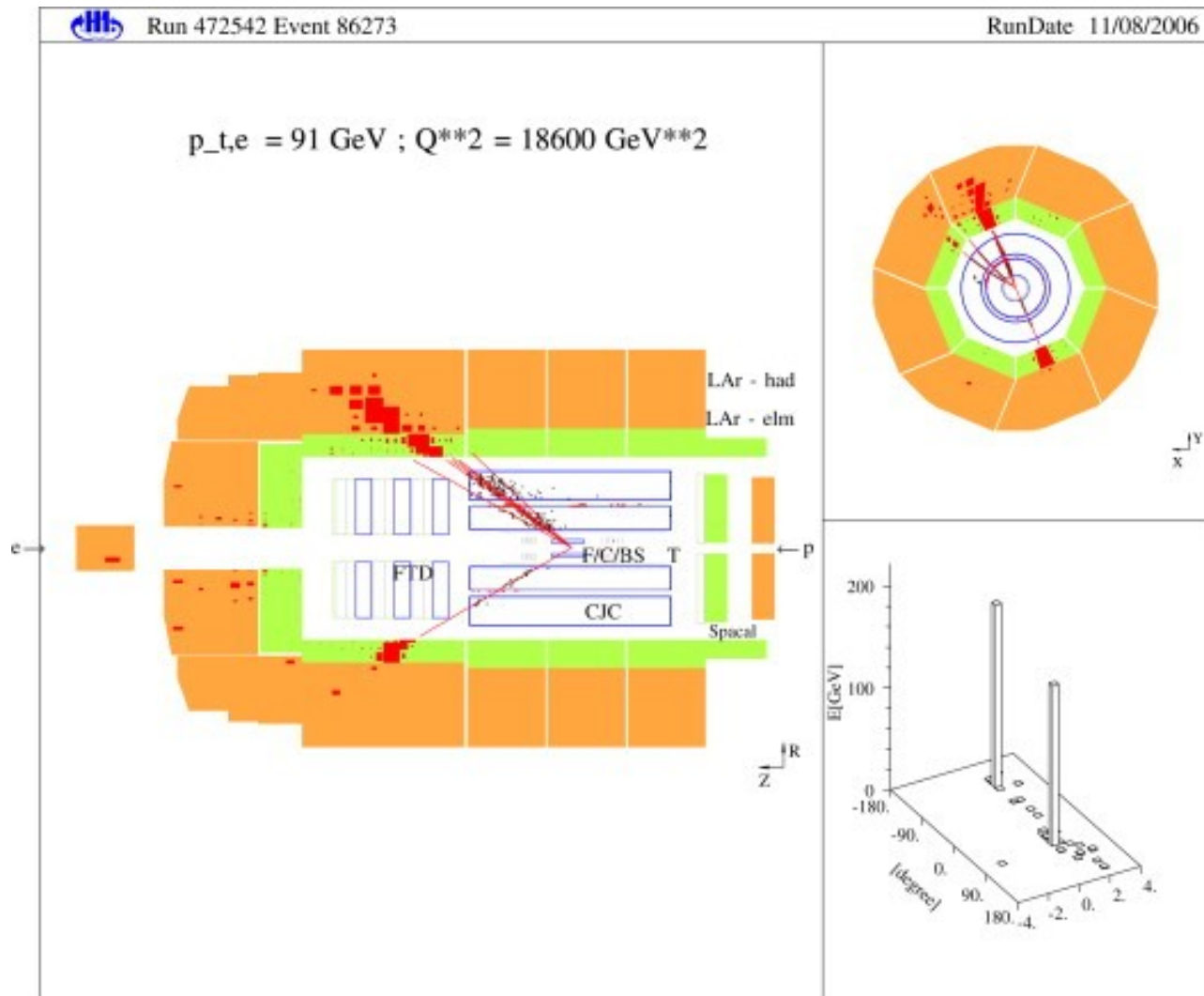


A kvarkok rejtélye: szabadon nem léteznek, csak hadronokba zárva

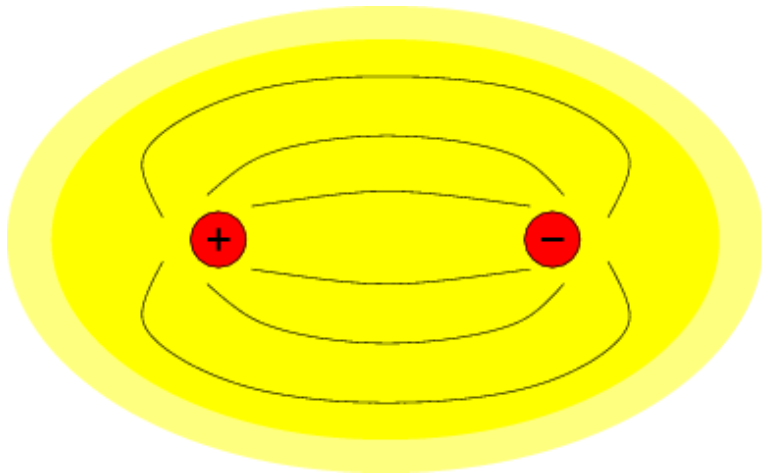


Kvarkok megfigyelése

- Elektron-kvark kölcsönhatás
- Szabadon nem léteznek, DIS (HERA)
- Partonok: kvarkok és gluonok energia szerinti valószínűség-sűrűsége (P.D.F.)



Elektromosság (mágnesség)

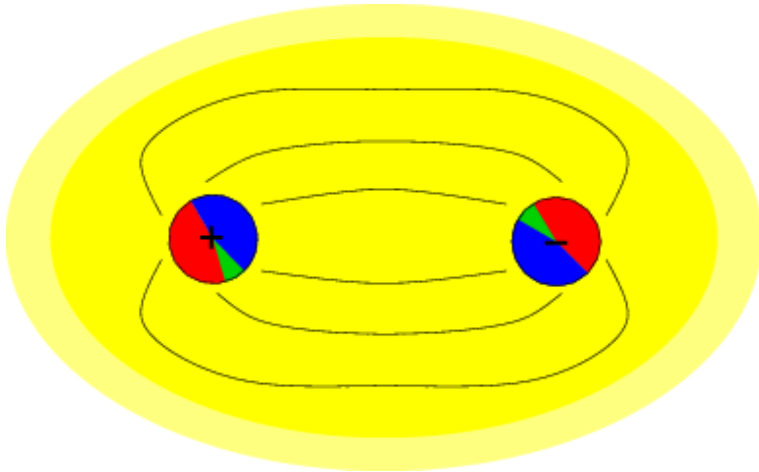


Elektromos erőter
töltések között:

elektromos mező

(Mezőelmélet: 1800-as évek, Maxwell, Faraday, Gauss, Hertz)
Modern verzióját ld. Dávid Gyula e.a.

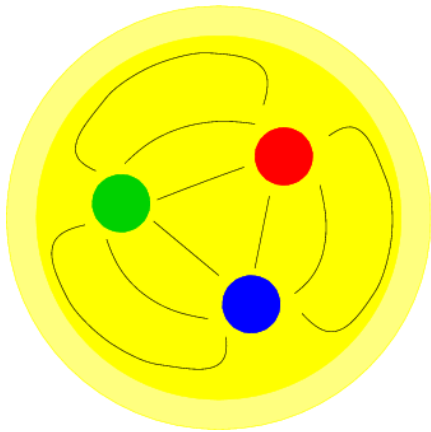
Erős kölcsönhatás: „színes” töltés



(Semmi köze a színhez...)

Arra utal, hogy nemcsak $+2e$ vagy $-3e$ lehet a töltés, hanem

$$2z + 4x - 3y \quad \text{“vektor”}$$

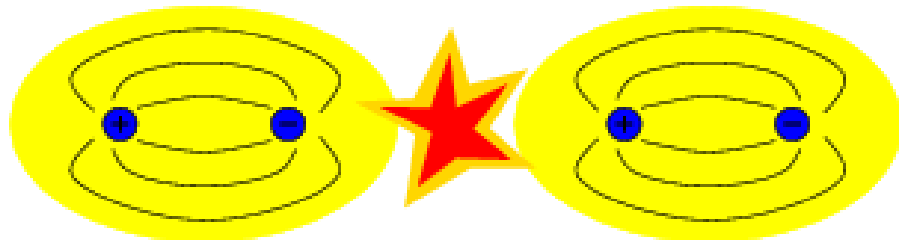
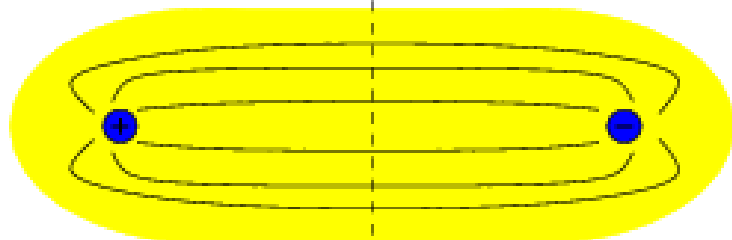
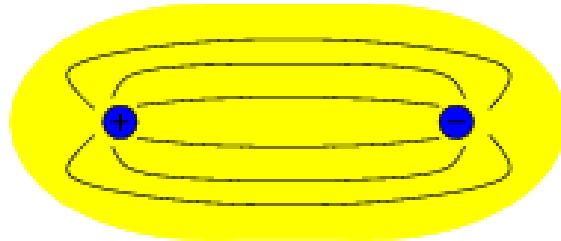
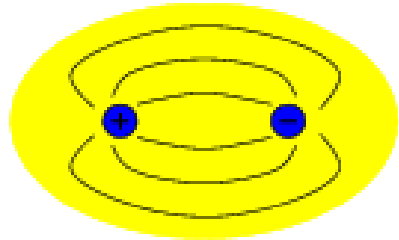


Kétféle “stabil” objektum létezik:
két kvark (szín - antiszín),
vagy három kvark (pl. proton)

Kvarkok: SU(3) definiáló ábrázolás ezen hat
Kísérletileg megfigyelhető végállapotban, ha
SU(3) csoport-hatásra nézve skalár-ábrázolás

Az erős kölcsönhatás igazi érdekessége:
a kölcsönhatást átvivő mezőnek is van töltése!

Kvarkok gluonok mezőjében



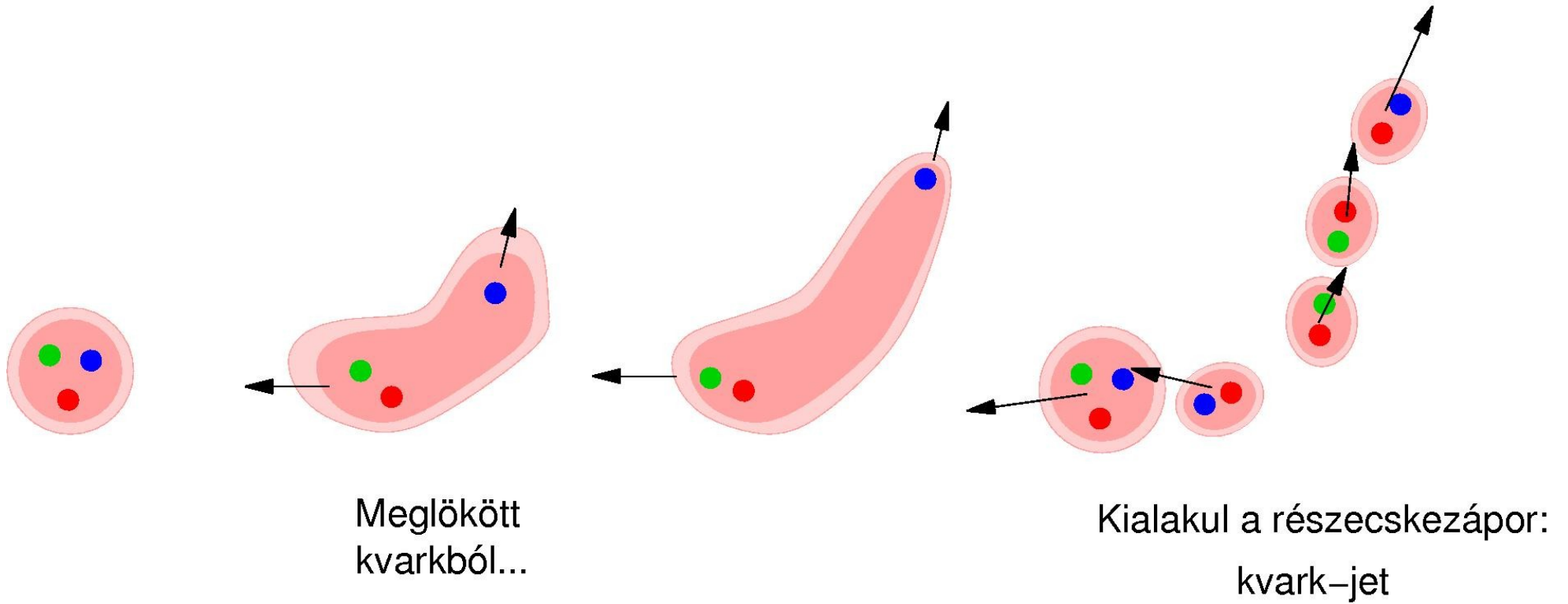
Ha szét akarunk
szedni egy kvark-párt,

széthúzzuk...

de nem engedi őket a
gluon-mező (cső)

... tovább húzzuk:
QM széthasítja
két újabb párra!

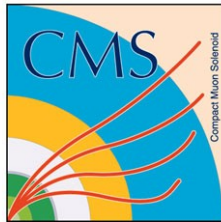
Tipikus hadron energia: 1 GeV –
az **erős kölcsönhatás energiaskálája**



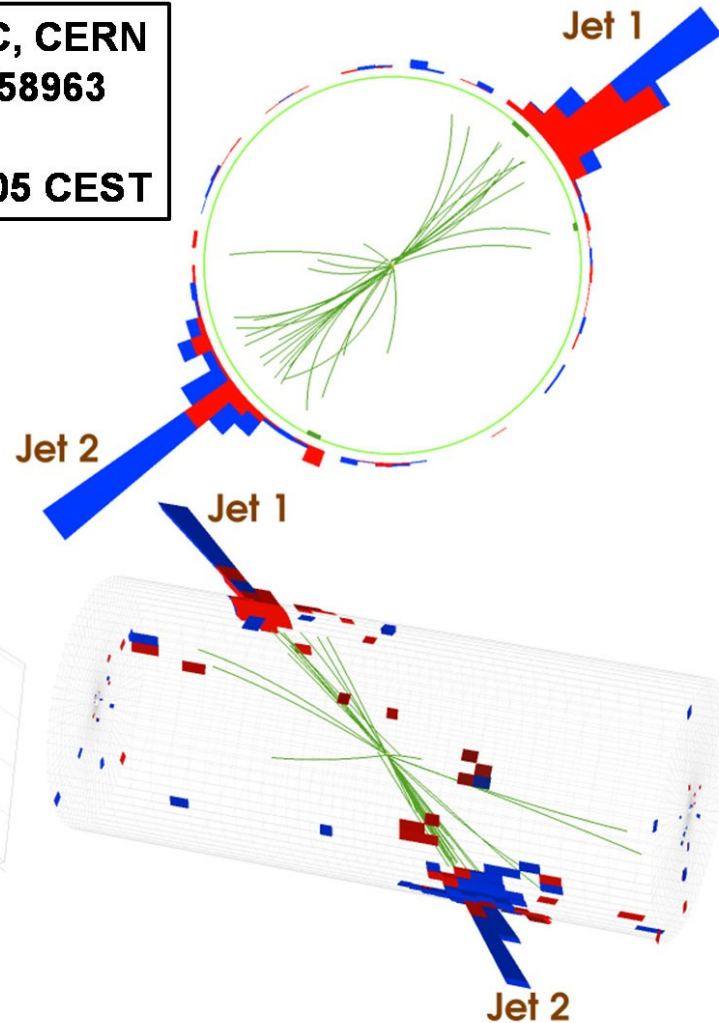
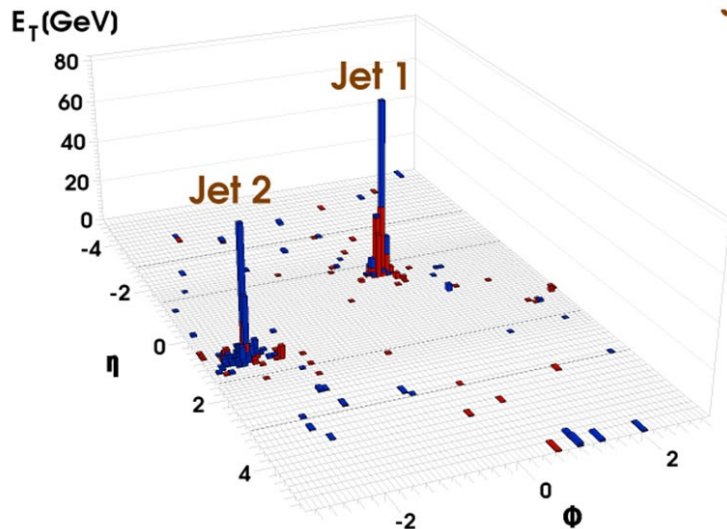
Szabad kvarkok nem léteznek:
mindig magukkal rángatnak további kvarkokat...

- Elméleti oldalról erősen kutatott terület
(ld Katz Sándor és Csörgő Tamás e.a.)

LHC: kvark-kvark ütközés (erős k.h.)

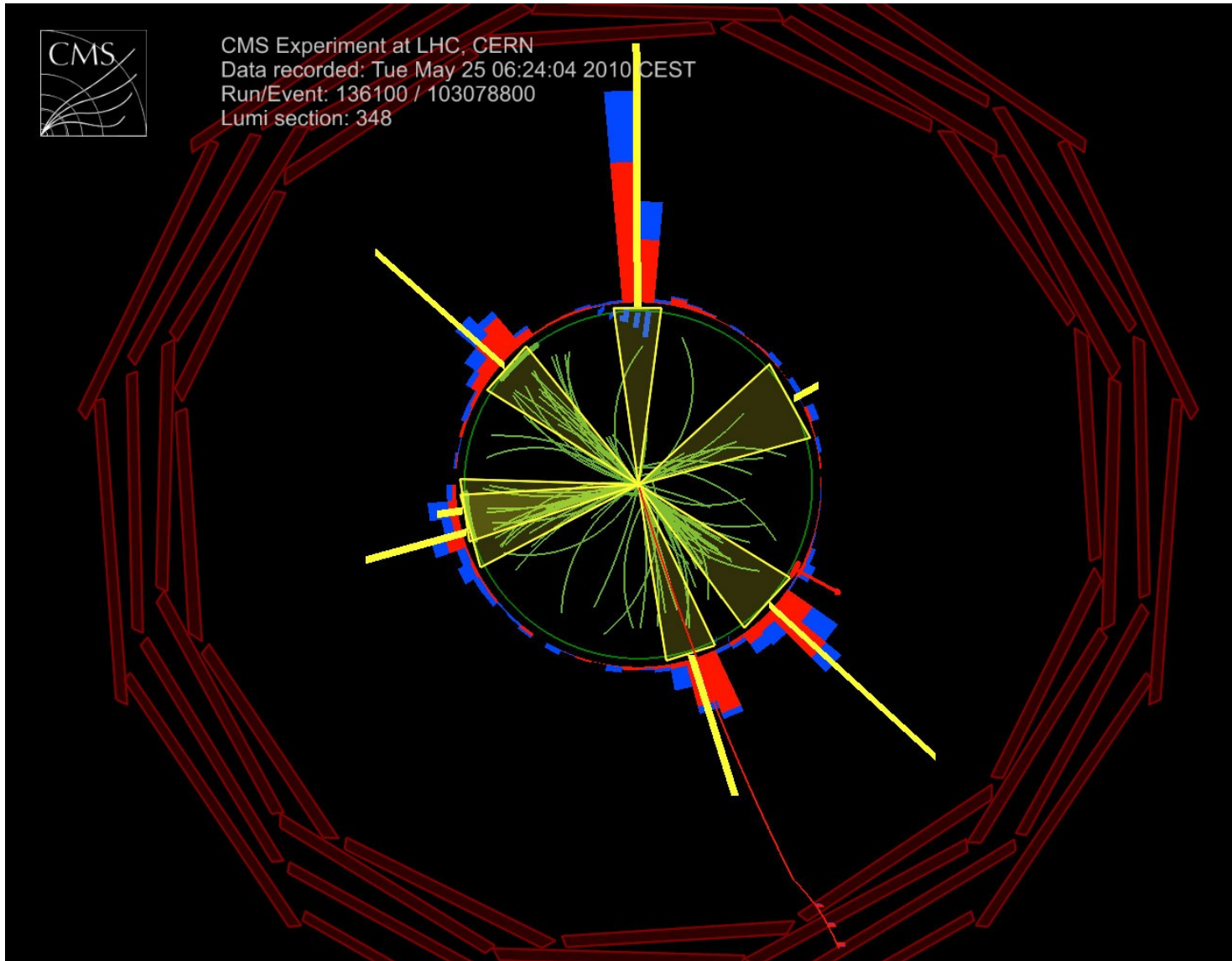


CMS Experiment at LHC, CERN
Run 133450 Event 16358963
Lumi section: 285
Sat Apr 17 2010, 12:25:05 CEST

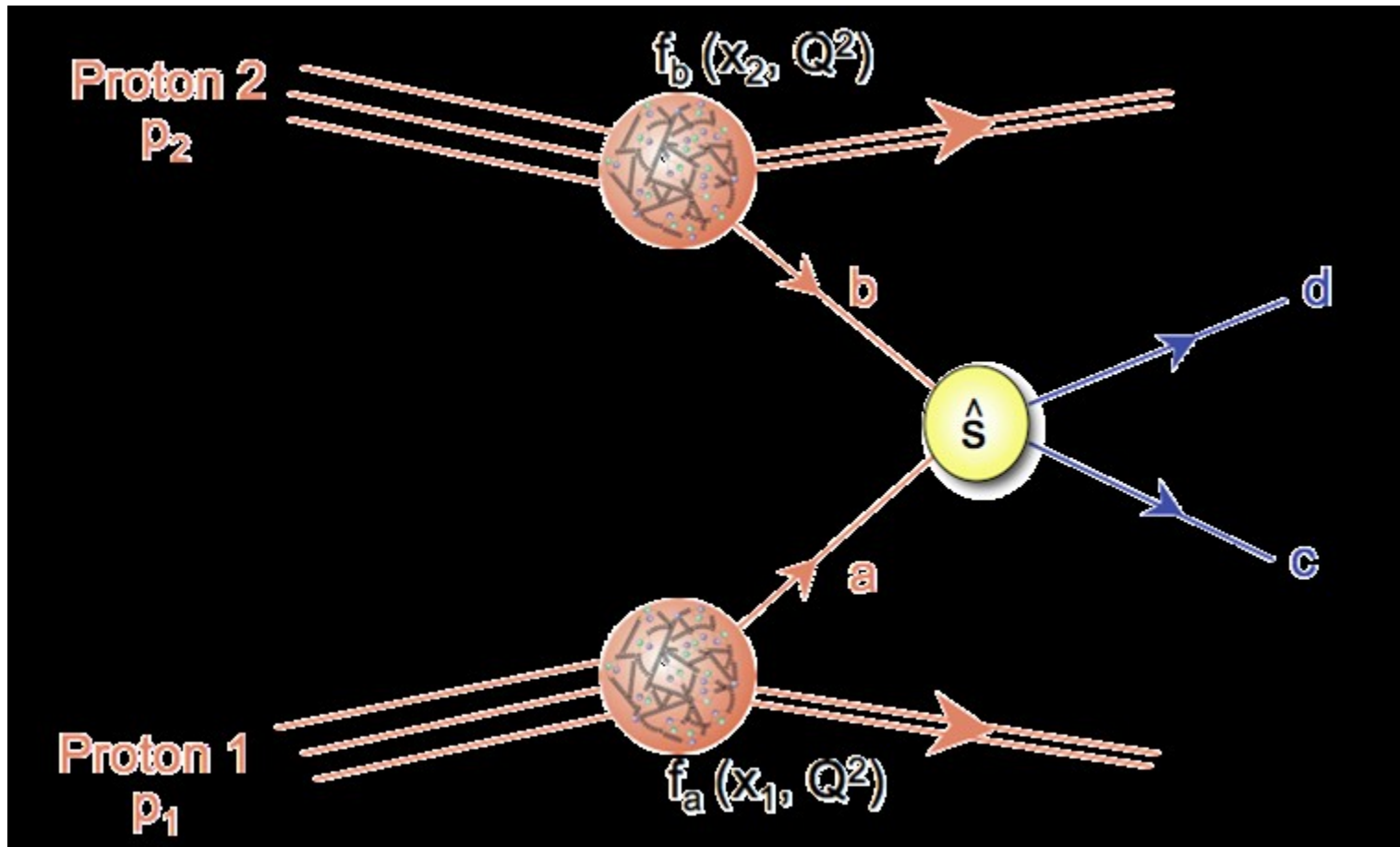


- Sok, változatos típusú részecske (főleg pionok, kaonok és könnyű barionok), pontatlan mérés

Kvarkok és gluonok: eléggé nagy energiás jet-ek ($\gg 1\text{GeV}$)

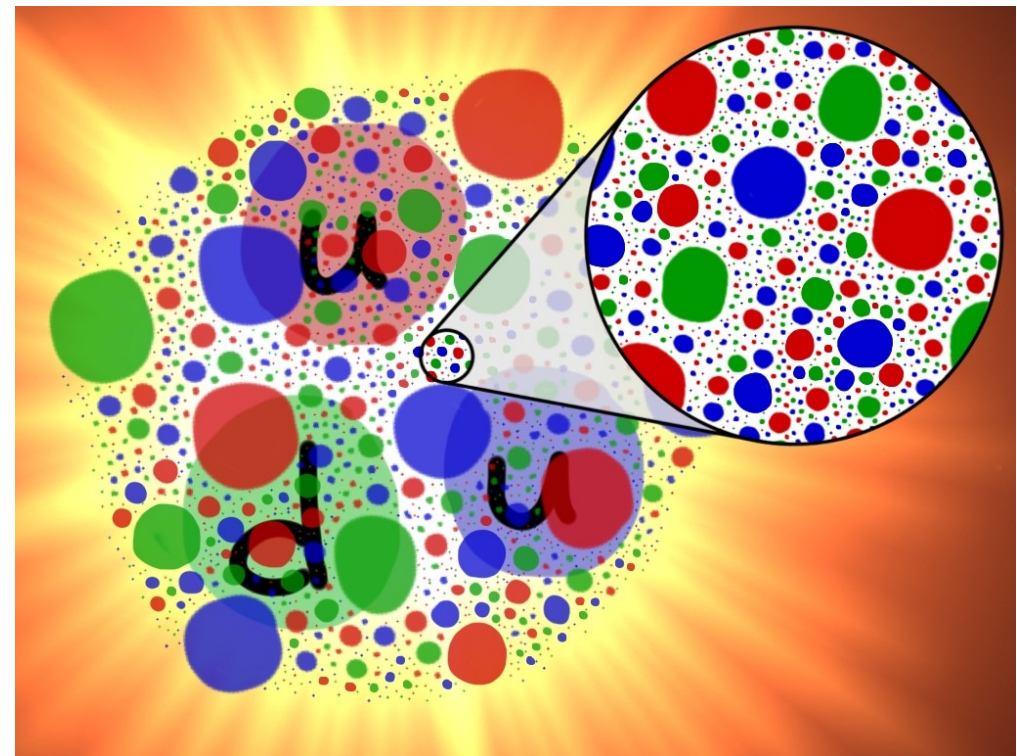
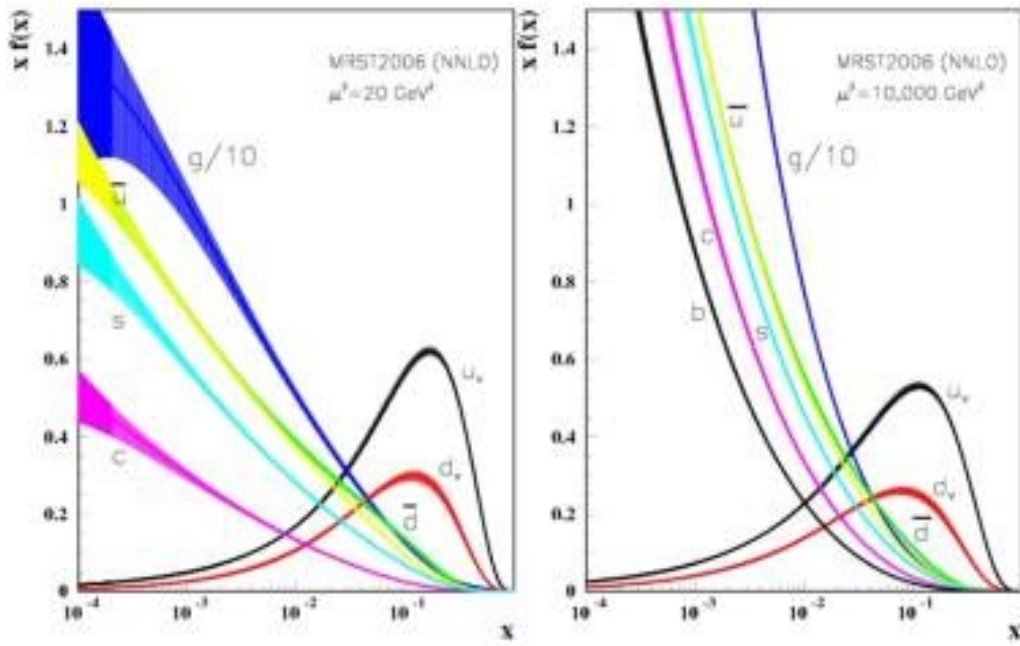


Parton-parton kölcsönhatás: elég nagy energián „faktORIZÁCIÓ”



„Partonok”: a proton alkotóelemei

- Energiafüggő!!! Kis energián 3 kvark, nagy energián sok-sok kvark és gluon...



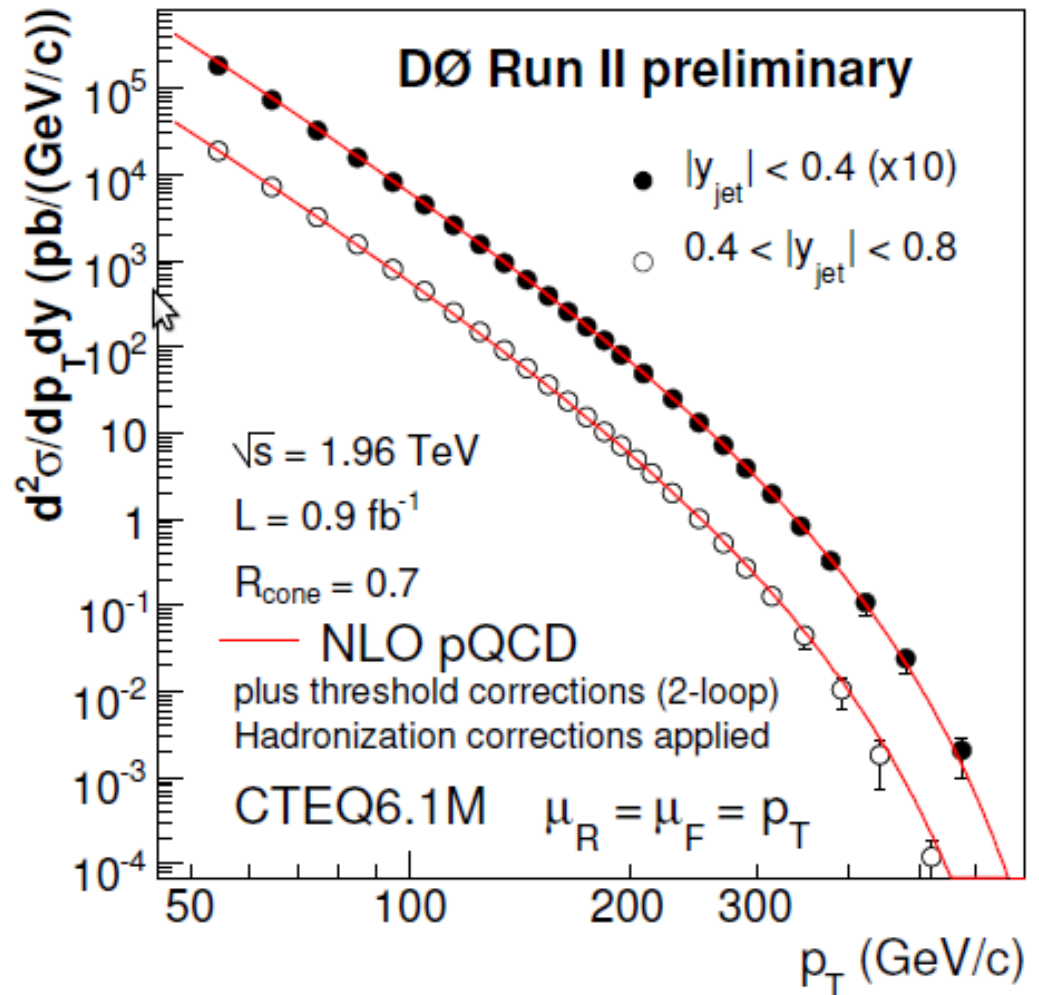
x : parton impulzushányada

(Kvantum-) Elektrodinamikai analógia

- Elektron = „csupasz elektron” + „foton tér”
- Gyors elektron: elektromos tér összenyomódik
- QED leírás: nagy energiás (gyors) elektron olyan mintha részben fotonnak látszana (sőt, pozitronnak...)
- Valahol mélyen kapcsolódni fog a renormálás kérdésköréhez (ld Jakovác Antal e.a.)

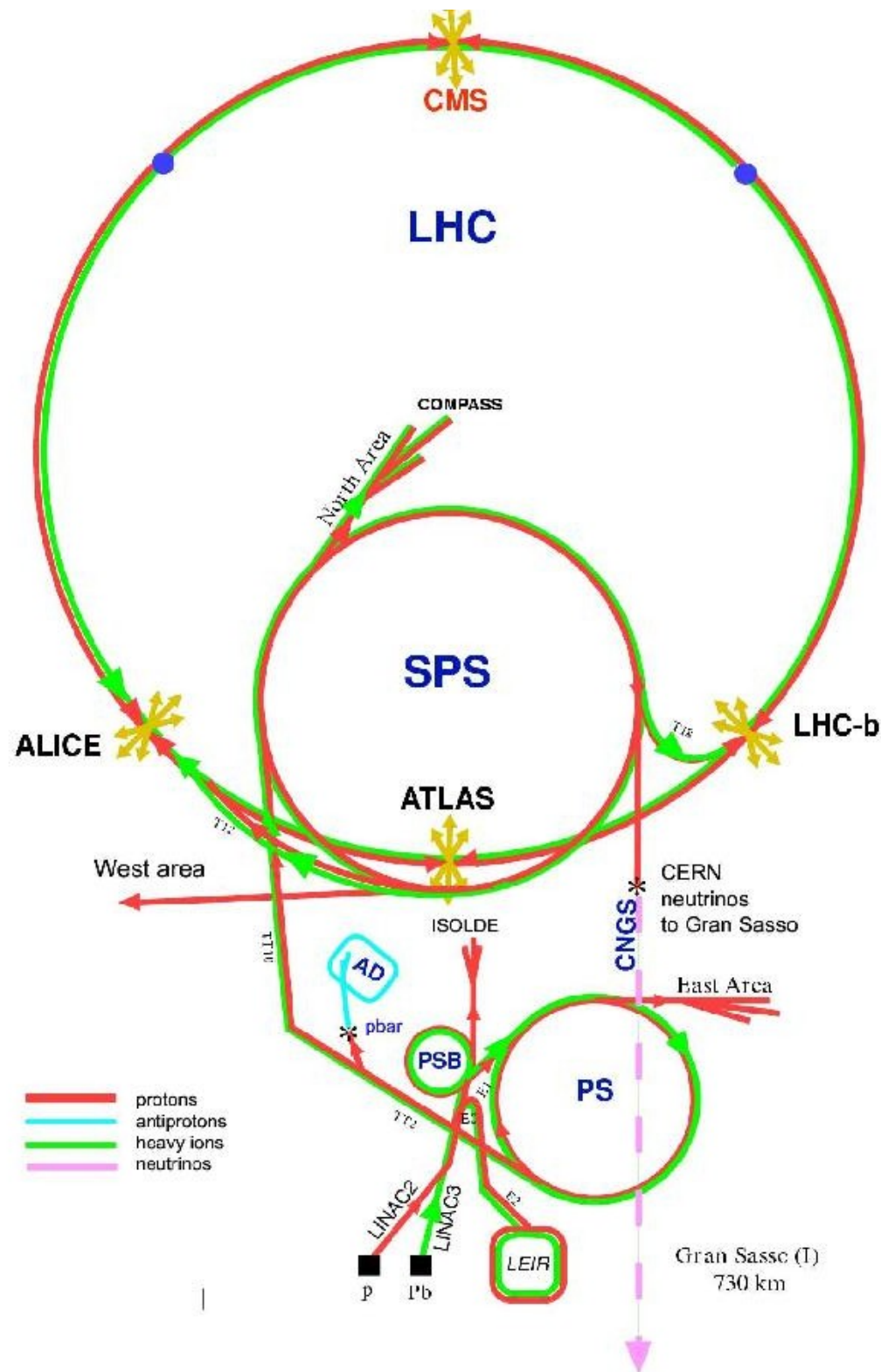
Jet (kvark vagy gluon) keltési valószínűség: a transzverz impulzus szerepe

- Kísérletileg akkor egyértelmű a helyzet, ha transzverz irányban jelentős energiát / impulzust visz a jet!



Részecskegyorsítók, kölcsonhatások létrehozása

- Mágneses térrel körpályán tartás
- Fókuszálás: kvadrupol tér
- Gyorsítás: mikrohullámú üregen áthaladás (jókor – a részecskék csomagokban futnak!)
- Ütköztetés: erős fókuszálás után precíziós átfedés elérése (néhány tíz mikron)

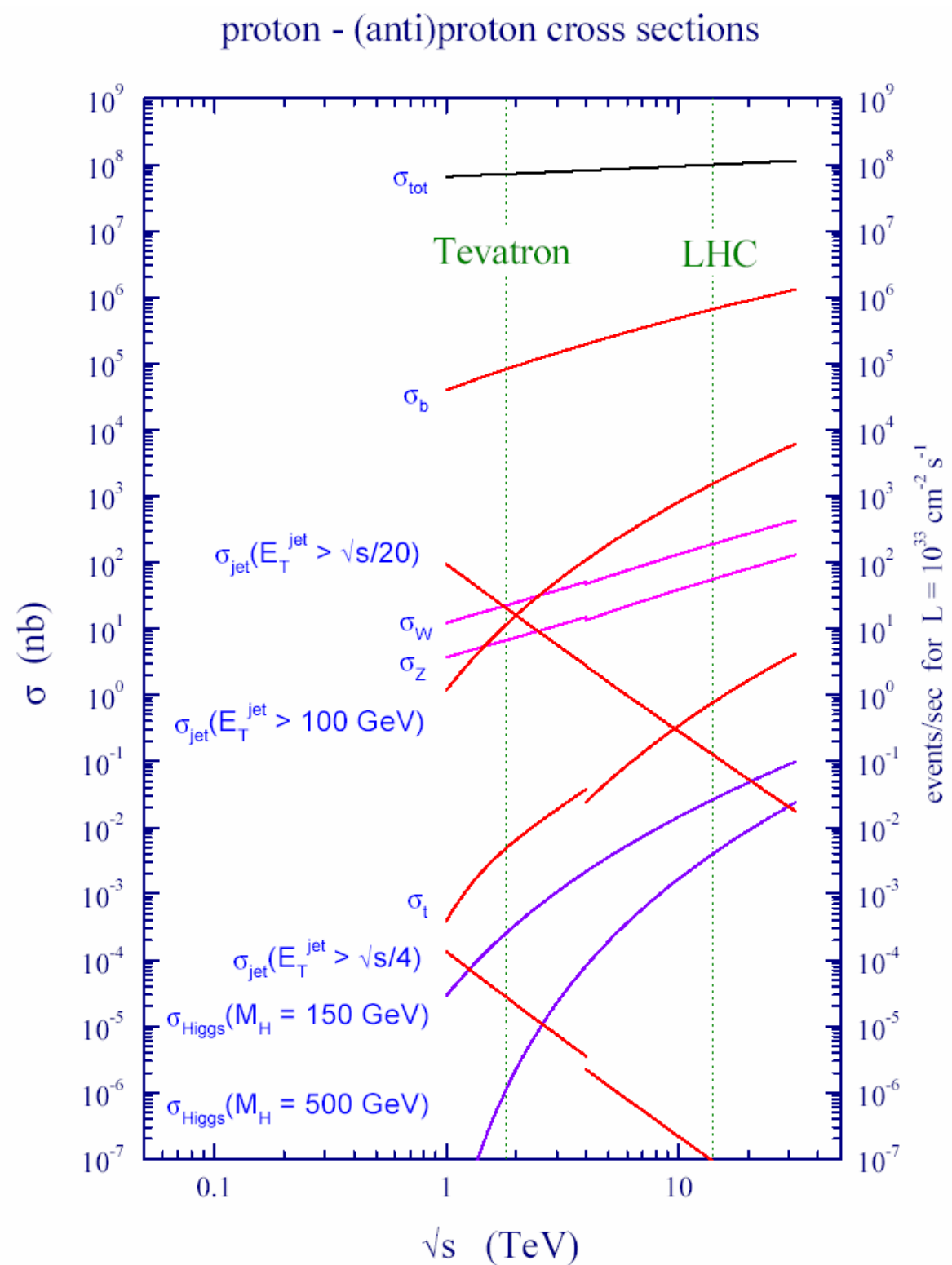


Több lépcsős
gyorsítás:

egy gyorsító
egy
nagyságrendet
növel csak
az energián

A folyamatok tipikus valószínűsége LHC energiákon

- Teljes hatáskeresztmetszet (erős k.h.)
- W,Z: gyenge k.h.
- Jetek, nehéz kvarkok: alacsony a P.D.F.
- Az események 99.99%-ában nincs jól látható jet!!!

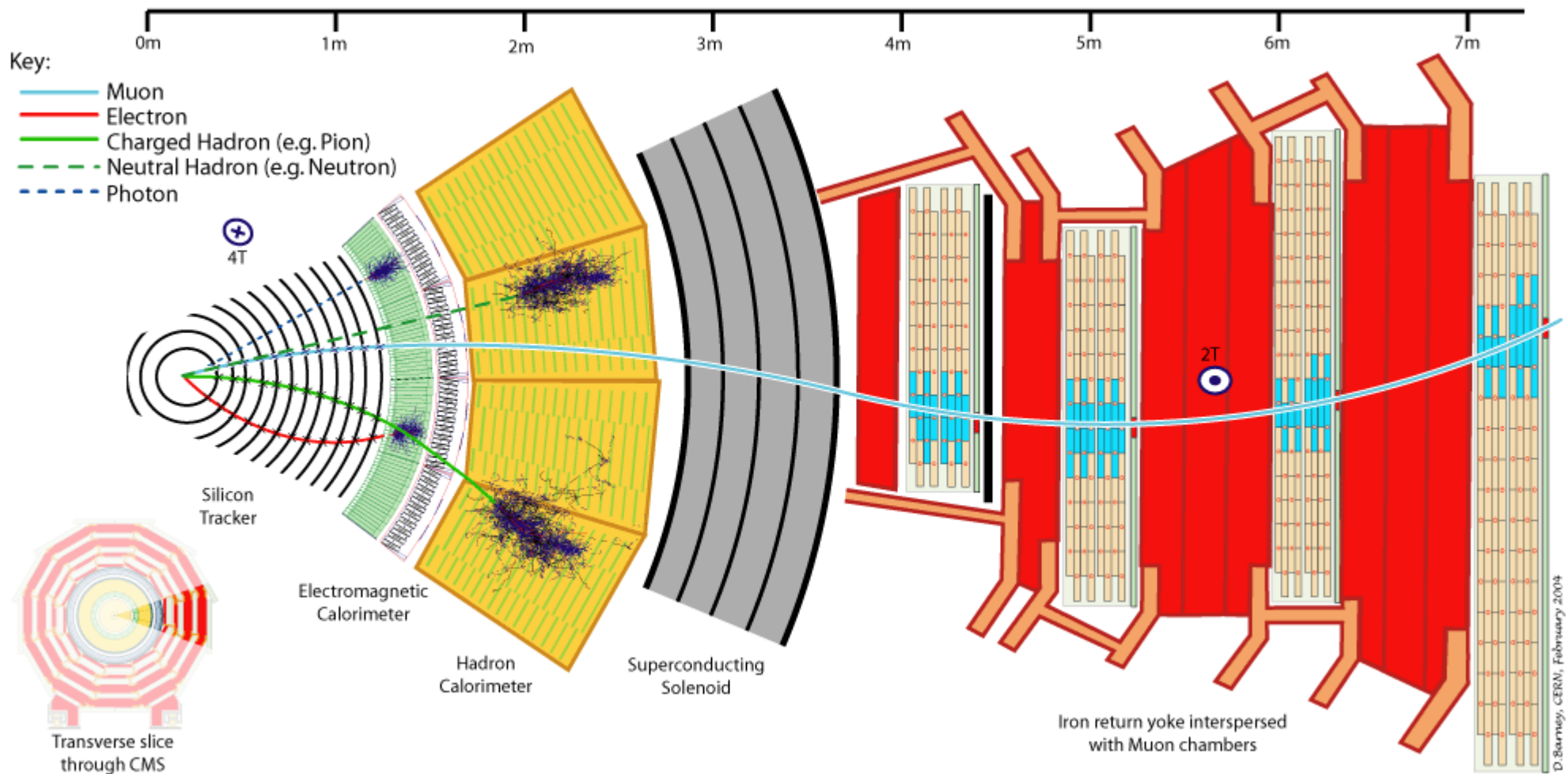


Ritka folyamatok megfigyelési lehetőségei

- A probléma: a keresett konfiguráció előállhat több folyamatban is (pl $Z \rightarrow$ két jet)
- Több nagy energiás jet egyidejűleg (több kvark)
- Leptonok! Müon vagy elektron
- B kvark jet: a gyenge bomlás megfigyelése

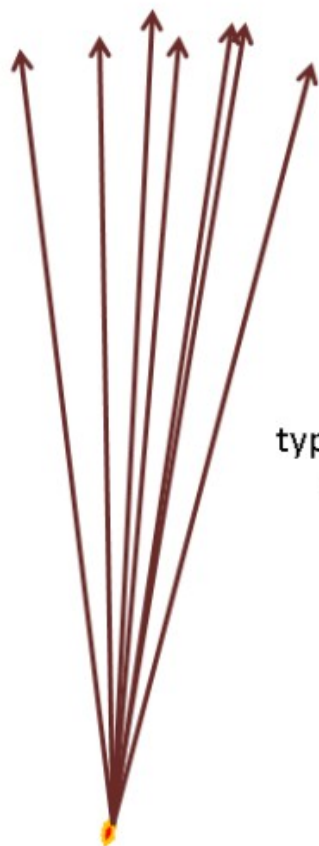
Tipikus detektor felépítése

- Hagymahéj szerkezet, pályamérés és kaloriméterek



B tagging, gyenge bomlás

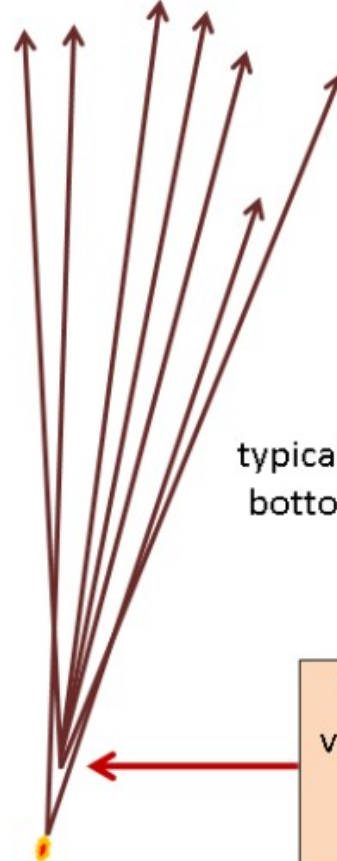
1 centimeter
0.4 inches



typical jet from
up quark

collision point

1 centimeter
0.4 inches



typical jet from
bottom quark

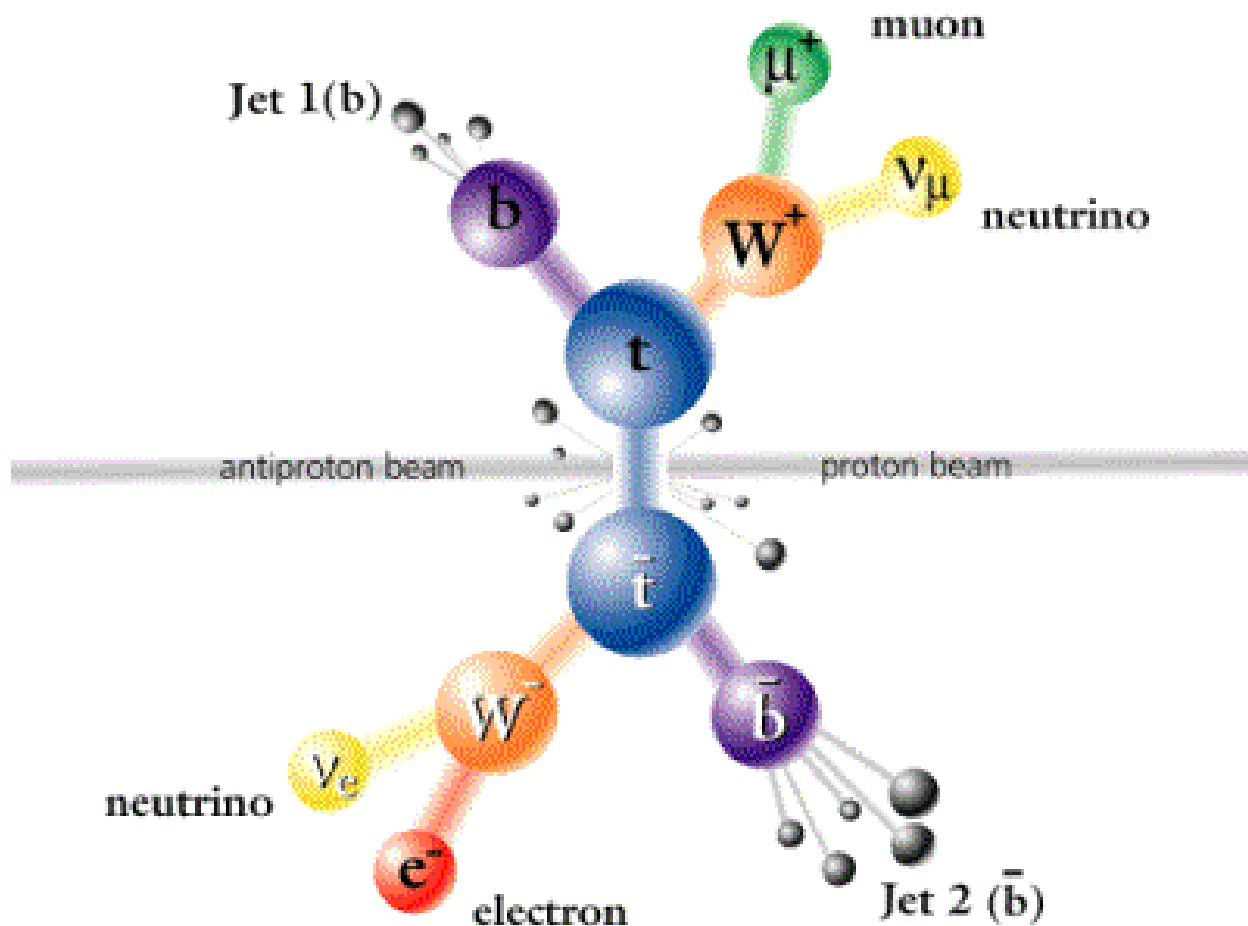
collision point

"secondary"
vertex where b
hadron
decayed

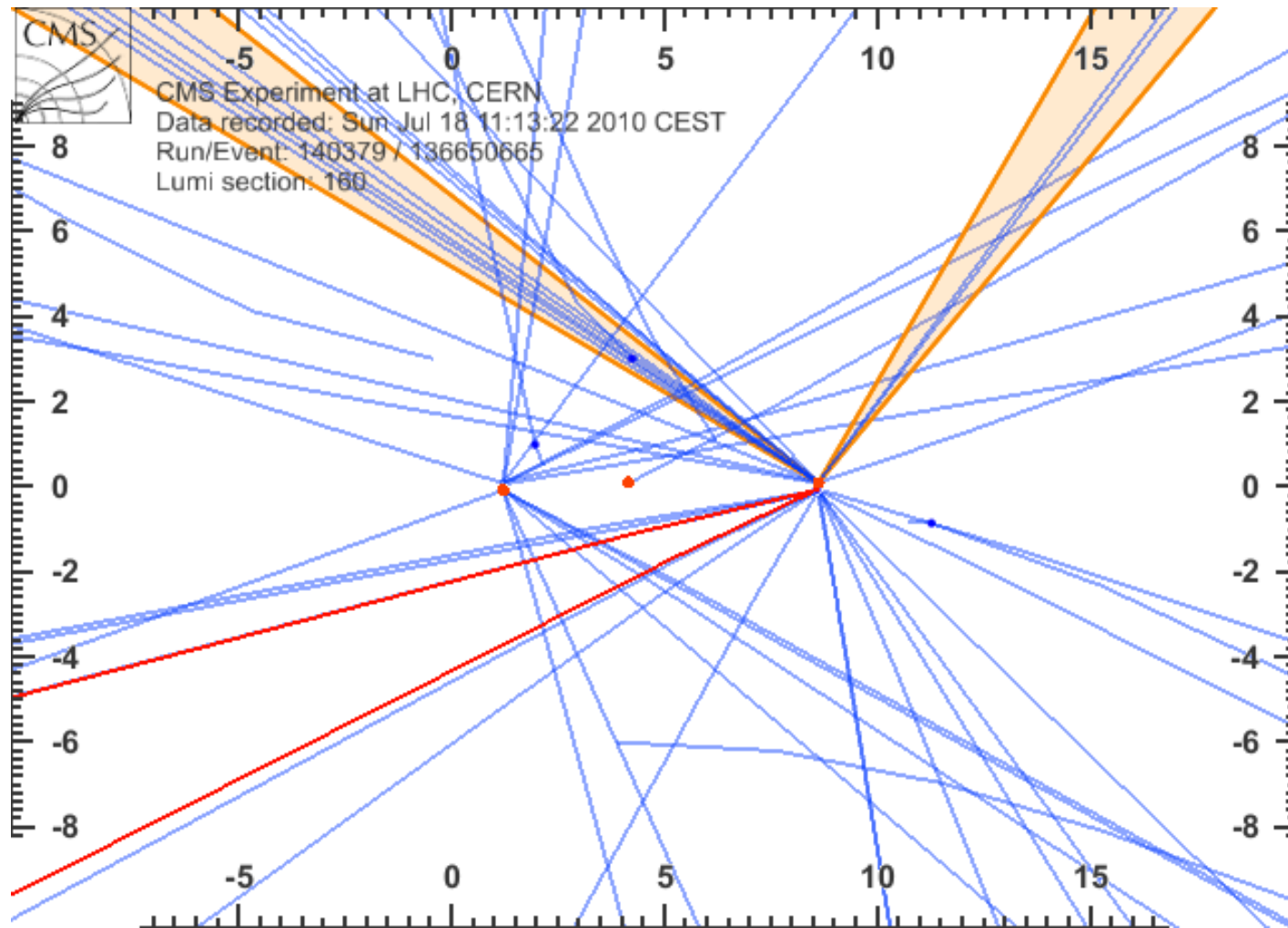
M. Strassler 2012

Top részecske megfigyelése LHC-n

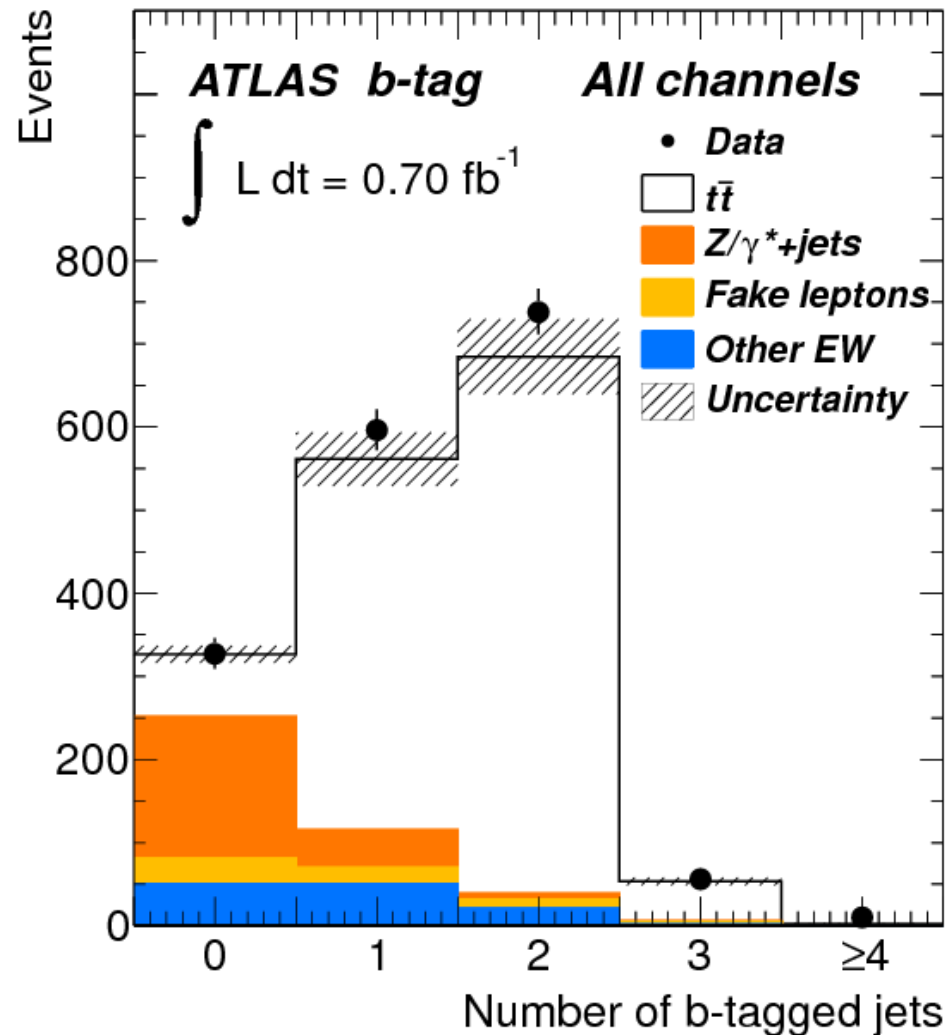
- (1) Hogyan bomlik – keressünk ígéretes bomlási csatornát



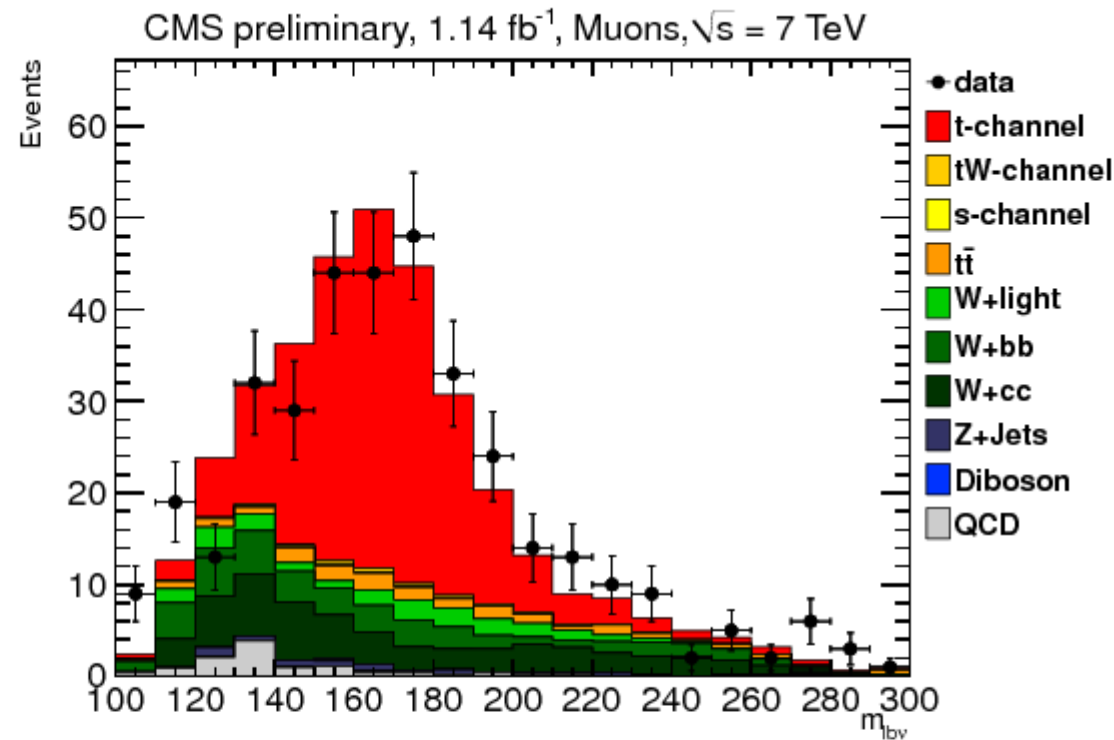
- (2) Keressünk ilyen eseményeket a detektorban



- (3) nézzük meg hogy a háttérhez viszonyítva releváns-e a mérés



- (4) rekonstruált (invariáns) tömeg-eloszlás
(helye a kvark tömege, szélessége az élettartam)



Konklúziók

- Kísérleti megfigyelések célja: az egyes részecskék kölcsönhatásainak feltérképezése
- A Standard modell a részecskék egy jól meghatározott rendszere, aránylag kevés kibúvót hagyva: sok ellenőrzési lehetőség, az elméleti modellek elvi részét is érintve
- LHC: kb. 1000 GeV energiáig a S.M. és az esetleges azon túli világ feltérképezése