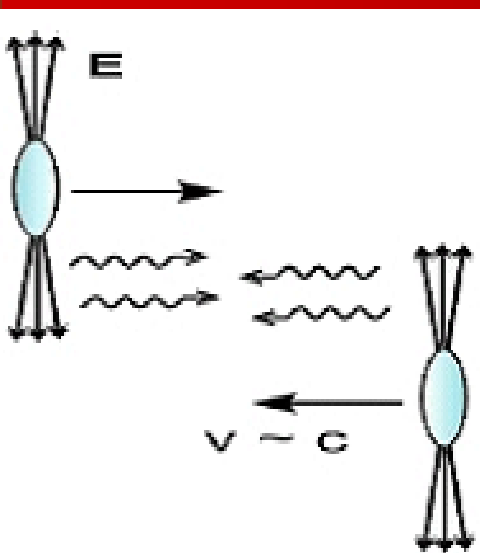


J/Ψ keletkezés ultra-periférikus ütközésekben

Csanád Máté (ELTE, PHENIX, TOTEM)

Magyar Magfizikus Találkozó, 2009., Jávorkút



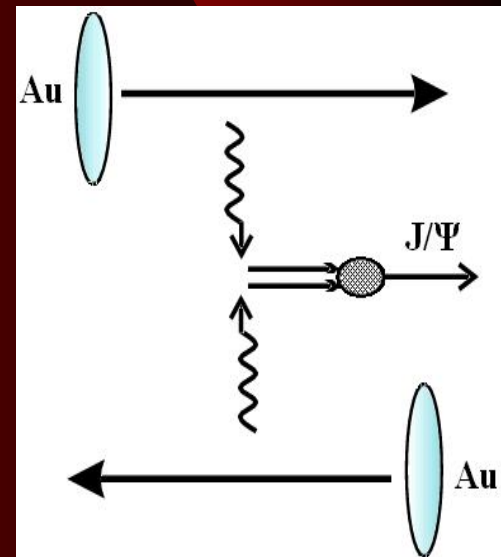
- **UPC fizika**

- Foton-foton kölcsönhatás
- Fotonnyaláb A+A ütközésben

- **RHIC mérések**

- Kísérleti jelek
- Háttér
- Eredmények

- **LHC, TOTEM?**



Bevezetés

- A nemlineáris QCD dinamika kis x és kis Q^2 esetében az elméleti érdeklődés középpontjában
- Gluon-disztribúciós függvények: $G(x, Q^2)$
- Foton \rightarrow vektormezon folyamatok:

$$\left. \frac{d\sigma(\gamma N \rightarrow VN)}{dt} \right|_{t=0} \approx \frac{\alpha_s \Gamma_{ee}}{3\alpha_e M_V^5} 16\pi^3 \left(xG(x, Q^2) \right)^2$$

- Foton-foton kölcsönhatás: e^+e^- és ep mérések (HERA)
 - Fermi 1924.: Egy relativisztikus részecske elektromágneses terem fotonok folytonos spektrumával ekvivalens
- Új irányok:
 - Nagyobb energia
 - Nehézion-nyalábok

Foton-foton kölcsönhatás

- Nagyenergiás $\gamma\gamma$: kiegészíti a „hagyományos” e^+e^- , ep vagy pp ütközéseket (QCD/QED, vagy SM-en túli folyamatok vizsgálatára)
- Nagyenergiás foton: többkomponensű „rendszer”

$$|\gamma\rangle = c_0 |\gamma_0\rangle + \sum_{V=\rho^0, \omega, \Phi, J/\Psi, \Upsilon} c_V |V\rangle + \sum_{q=u, d, s, c, b} c_q |q\bar{q}\rangle + \sum_{l=e, \mu, \tau} c_l |l\bar{l}\rangle$$

- γ_0 dominál, de a $\gamma \rightarrow V, qq$ fluktuációk erősen kölcsönhatnak és nagy járulékot adnak a $\gamma\gamma$ hatáskeresztmetszetekbe

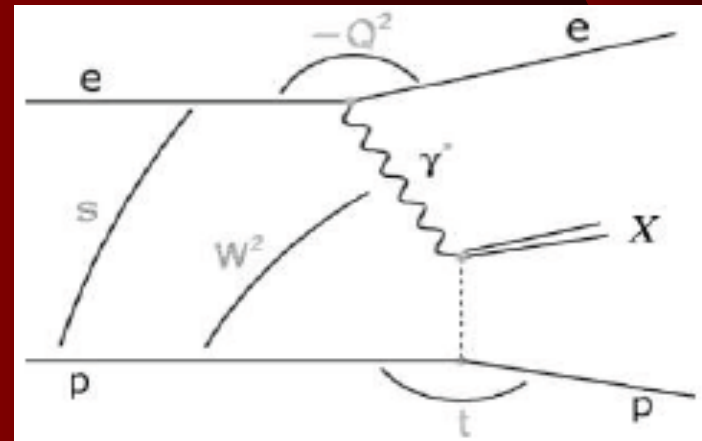
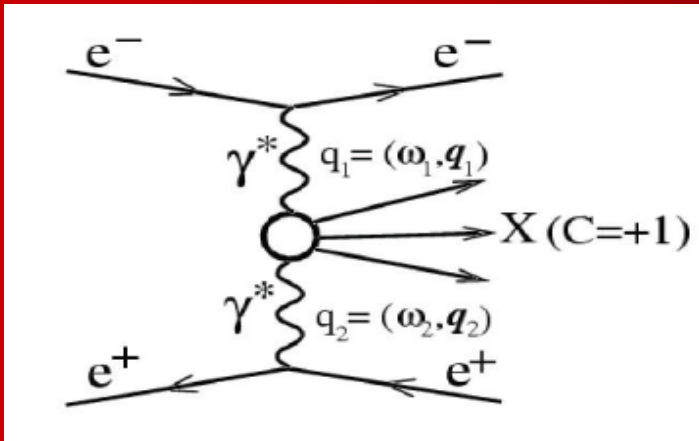
$\gamma\gamma$ ütközések létrehozása

- Töltött részecske EM tere = „ekvivalens” fotonok fluxusa

- Weizsacker-Williams formula a γ -spektrumra (e^\pm nyalámban, $z=E_\gamma/E_e$):

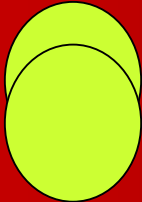
$$\frac{dN}{dz} \approx \frac{\alpha_{em}}{2\pi} \frac{1}{z} \left(1 + (1-z)^2\right) \ln \frac{Q_{max}^2}{Q_{min}^2} \quad Q_{min}^2 = \frac{m_e^2 z^2}{1-z} \quad Q_{max}^2 = m_V^2 \text{ (e.g.)}$$

- Kis impulzus-átadás \Rightarrow kis p_t -s termékek & majdnem valós fotonok ($Q^2 \sim 0$)

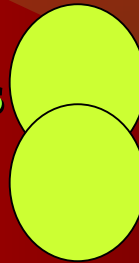


$\gamma\gamma$ nukleon-nukleon ütközésekben

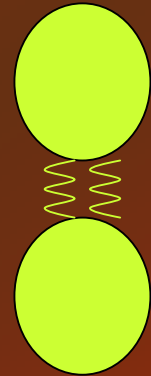
Centrális
ütközés:



Periférikus
ütközés:



Ultra-periférikus
ütközés:



- **Két nehézion nem fed át**

- $b > b_{\min} \approx 2R$
- Ultra-Peripheral Collision (UPC)

- **Kibocsát egy majdnem valós fotont**

- $z = E_\gamma / E_A$, $x = z m_A b_{\min} / K \dots$ Bessel függvények

- fluxus:
$$\frac{dN_\gamma}{dz} \approx \frac{\alpha_{em} Z^2}{2\pi} \frac{1}{z} \left(2xK_0(x) - x^2 (K_1^2(x) - K_0^2(x)) \right)$$

- **Ez kölcsönhat a másik maggal**

- **Nagy hatáskeresztmetszet ($\sim Z^4$)**

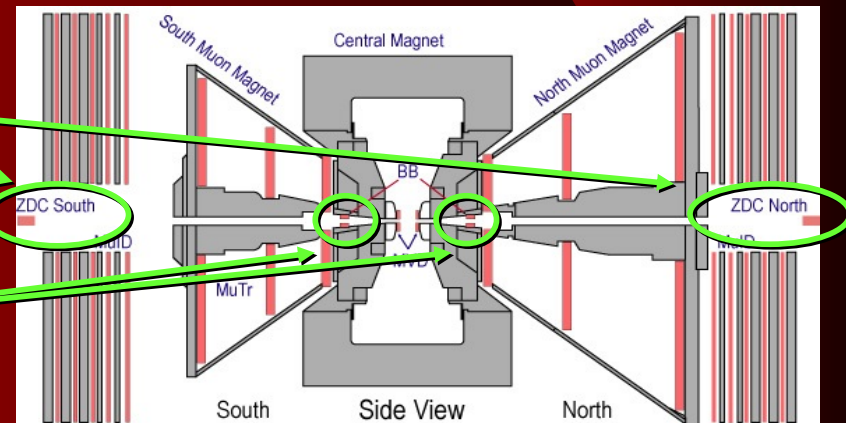
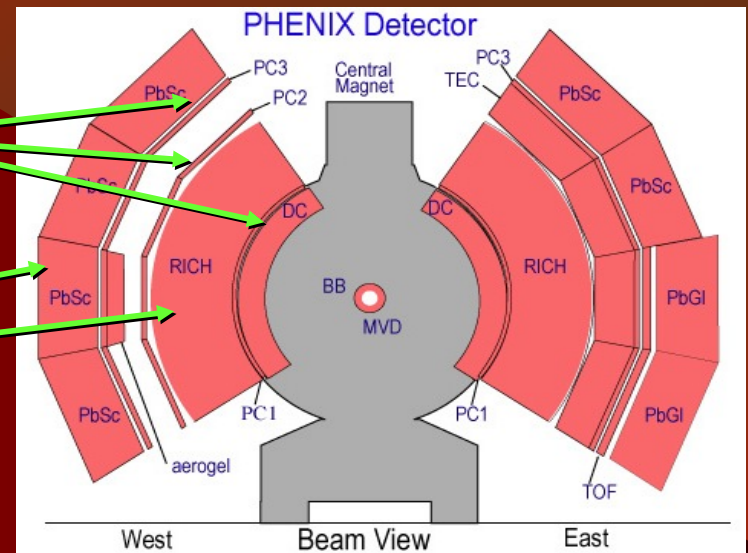
Kutatási színhely: BNL@RHIC

- **RHIC: Au+Au @ $E_{\text{cms}} = 200 \text{ GeV/nucleon} + \dots$**
 - Au+Au, Cu+Cu, pp+pp, d+Au ütközések 500 GeV/nucl.-ig
 - 4 kísérleti együttműködés:
BRAHMS, PHENIX, PHOBOS, STAR
- **PHENIX: több száz kutató, rengeteg kutatási téma**



PHENIX UPC detektorok

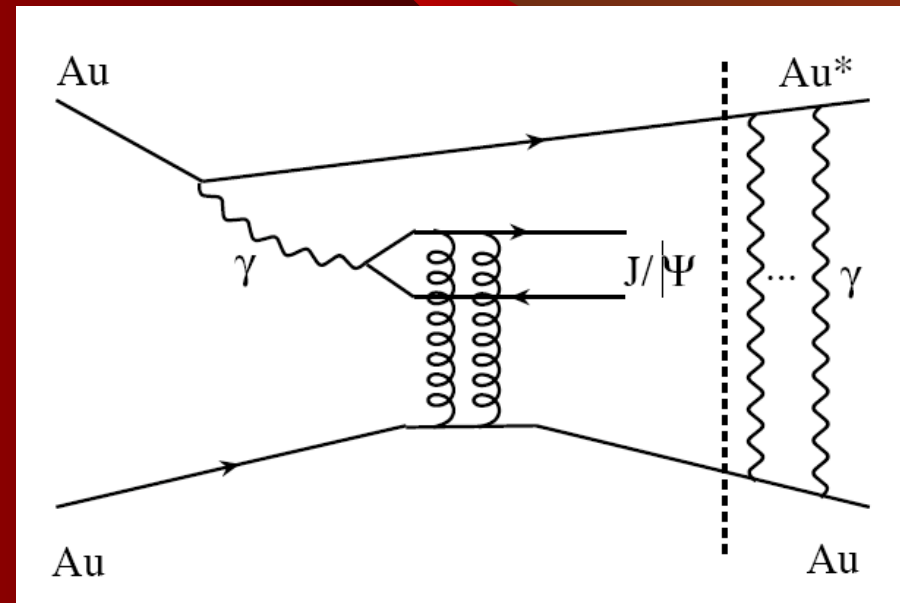
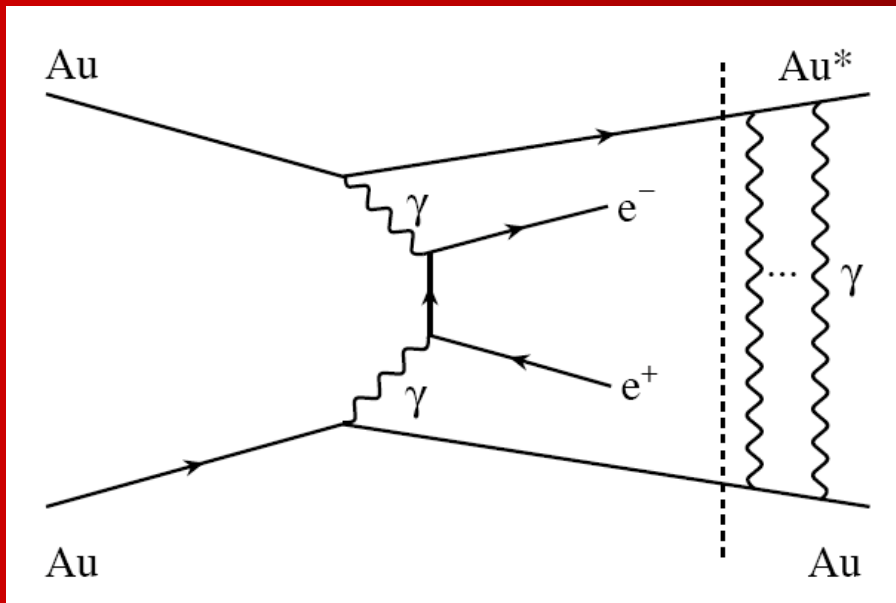
- DC + PC: Részecske-nyomkövetés (e^\pm impulzusa).
- EMCal + RHIC: e^\pm azonosítás.
- ZDC: Előreszórt neutronok (Au^* bomlás):
- BBC: Töltött részecskékre trigger



J/ Ψ keletkezés UPC-ben

- **Különféle folyamatok**

- Dielektron kontinuum: $A + \gamma + \gamma \rightarrow A^* + e^+ e^-$
- Koherens J/ Ψ keletkezés: $\gamma + A \rightarrow A^* + J/\Psi (\rightarrow e^+ e^-)$



- Inkoherens keletkezés (Coulomb-szétesés):
 $\gamma + A \rightarrow A' + xN + J/\Psi (\rightarrow e^+ e^-)$, sokkal nagyobb p_t

Kísérleti jelek

- **Centrális rapiditás:**

- Alacsony multiplicitás: $N < 15$ (inkább $N = 2$)
- Alacsony p_t (nagy hullámhossz, “koherencia feltétel”):
 $E_{\text{photon,max}} \sim \gamma/R \sim 3\text{GeV}$ (80GeV az LHC-nál)
- Nulla ösztöltés
- Keskeny dN/dy $y=0$ körül

- **Nagy rapiditás:**

- Coulomb-gerjesztett A^* bomlása neutron-előreszórással
(Xn)

Folyamatok Au+Au UPC-ben

STAR:

- PRL 89 272302 (02), Koherens ρ keletkezés,
 $\gamma+A \rightarrow A^*+\rho(\rightarrow\pi^+\pi^-)$
- PRC 70 031902 (04), Dielektron kontinuum alacsony m_{inv} esetén, $\gamma+\gamma \rightarrow e^+e^-$

• PHENIX:

- nucl-ex/0601001 (prelim.), 0903.2041 (végleges)
- J/Ψ keletkezés: $\gamma+A \rightarrow A^*+J/\Psi(\rightarrow e^+e^-)$
- Dielektron kontinuum nagy m_{inv} esetén: $\gamma+\gamma \rightarrow e^+e^-$

A lehetséges háttér

- **„Nem-fizikai” folyamatok:**

- Kozmikus sugarak: nincs ZDC, nincs ütézési hely (vertex)
- Nyaláb-gáz ütközések: nincs vertex, nagy multiplicitás, aszimmetrikus dN/dy

- **Fizikai folyamatok:**

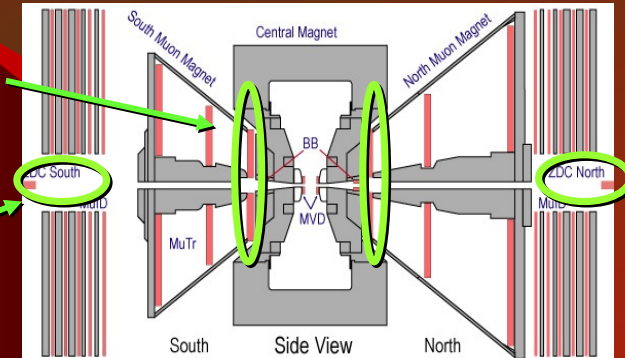
- Periférikus A+A: “nagy” multiplicitás, nagy p_t
- Hadronikus diffrakció (Pomeron-Pomeron): proton előreszórás, nagyobb p_t : $p_t(\gamma\gamma) < p_t(PP)$, azonos töltésű párok
- Inkoherens UPC $\gamma+n \rightarrow n+J/\Psi$: $p_t(\gamma\gamma) < p_t(\gamma P)$, szélesebb & aszimm. dN/dy , ≥ 2 neutron (indukált magbomlás)
- Egyéb koherens UPC folyamatok: $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$

Trigger szinten

Végső jelben

Az UPC trigger

- PHENIX Run-4 AuAu UPC level-1 trigger:
 - Cél-folyamat: $\gamma + \text{Au} \rightarrow \text{Au}^* + \text{J}/\Psi (\rightarrow e^+e^-)$
- Vétő BBC-koincidenciára ($|y| \sim 3-4$):
 - Periférikus és, nyaláb-gáz ütk. szűrése
- Neutron a ZDC-ben ($E > 30 \text{ GeV}$)
 - Au^* Coulomb bomlás megkövetelése
- Nagy energiájú ($E > 0.8 \text{ GeV}$) EMCal blokk:
 - e^+e^- bomlás J/Ψ -ből
- Gyűjtött események (összes $\sim 0.4\%$ -a):
 - UPC AuAu: 8.5 M
 - MinBias AuAu (BBCLL1): 1122 M ($\int \mathcal{L} = 120 \mu\text{b}^{-1}$)



PHENIX UPC vágások

- **Globális:**
 - Standard vertex vágás: $|z_{\text{vtx}}| < 30 \text{ cm}$
 - Multiplicitás (részecskék száma) = 2 (csak UPC inentől)
- **Elektron ID vágás:**
 - RICH: legalább 2 cső jelezen a megfelelő helyen (ring imaging)
 - Elektronok: $E_1 > 1 \text{ GeV}$ vagy $E_2 > 1 \text{ GeV}$
- **Párvágások:**
 - Szembemenő elektronok (alacsony össz- p_t)
- **Maradék háttér kivágása:**
 - Azonos töltésű párok – különböző töltésű párok
- **Eredmény: 28 kül. töltésű pár és 0 azonos töltésű a $m_{ee} > 2 \text{ GeV}/c^2$ tartományban: tiszta minta**

Hozamok

Minta, $m_{e^+e^-}$ [GeV/c²]

J/Ψ [2.7,3.5]

e⁺e⁻ kontinuum [2.0,2.8]

e⁺e⁻ kontinuum [2.0,2.3]

e⁺e⁻ kontinuum [2.3,2.8]

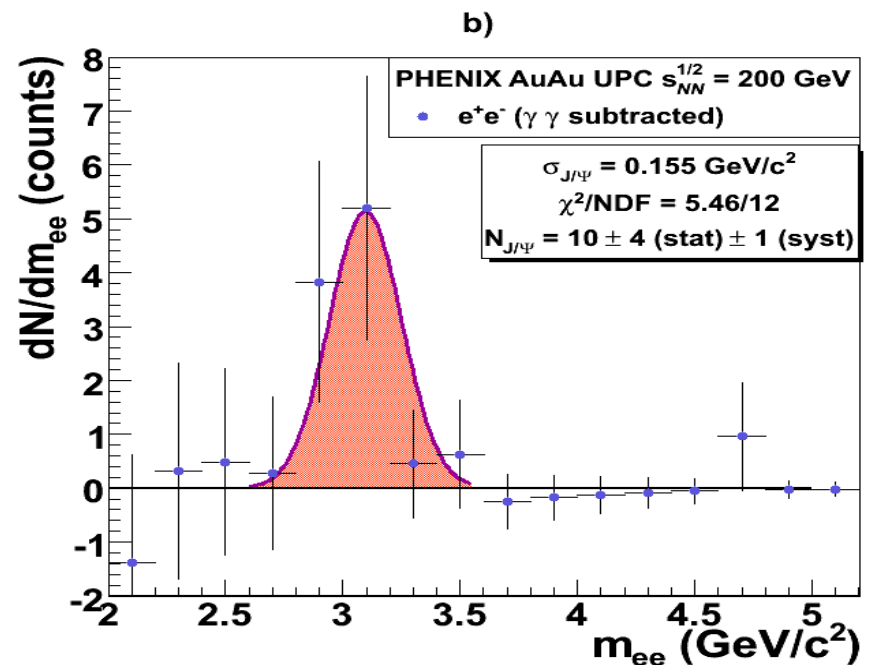
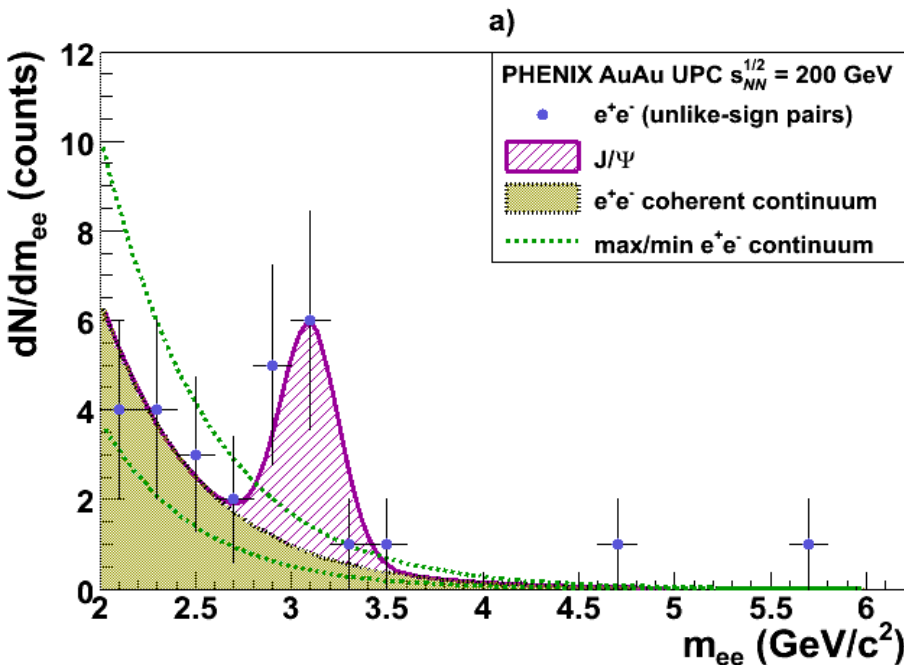
Hozam

9.9 ± 4.1 (stat) ± 1.0 (syst)

13.7 ± 3.7 (stat) ± 1.0 (syst)

7.4 ± 2.7 (stat) ± 1.0 (syst)

6.2 ± 2.5 (stat) ± 1.0 (syst)



Kontinuum hatáskeresztmetszet

$$\left. \frac{d^2\sigma_{e^+e^-+Xn}}{dy dm_{ee}} \right|_{|y| < 0.35, \Delta m_{ee}} = \frac{N_{e^+e^-}}{\text{Acc} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_{\text{trigg}}} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{\Delta y} \cdot \frac{1}{\Delta m_{ee}}$$

- **A hatékonyság-korrekciók utáni hkm:**

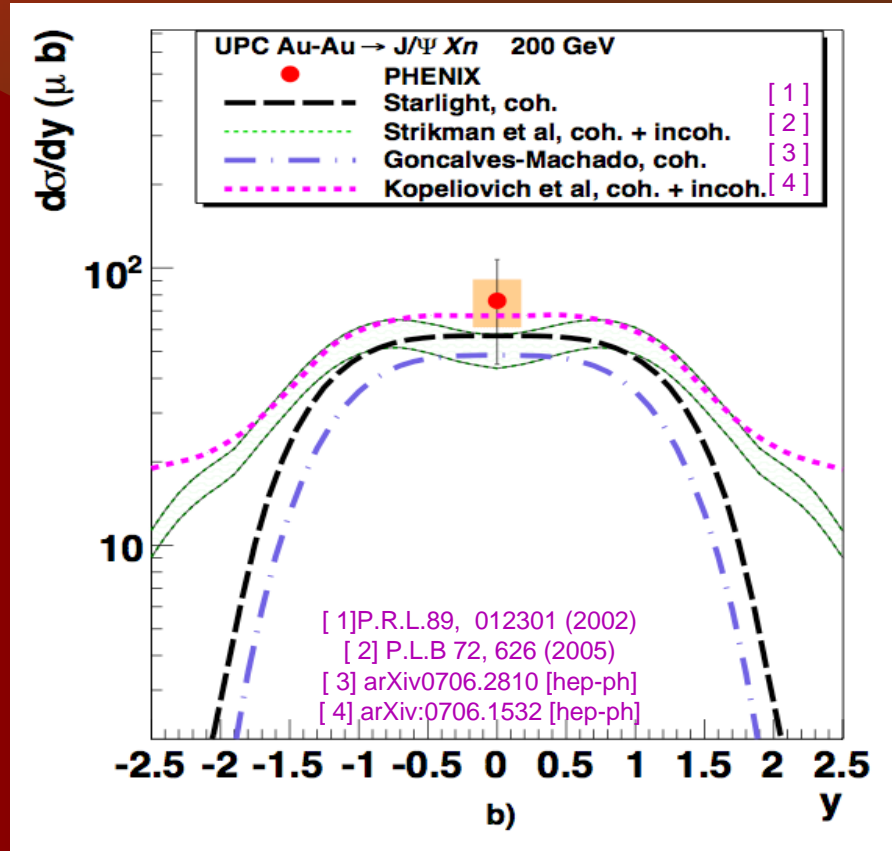
$m_{e^+e^-}$ interval [GeV/c ²]	$d^2\sigma/dm_{ee} dy _{y=0}$ [$\mu\text{b c}^2/\text{GeV}$]	STARLIGHT
e^+e^- continuum [2.0,2.8]	86 ± 23 (stat) ± 16 (syst)	90
e^+e^- continuum [2.0,2.3]	129 ± 47 (stat) ± 28 (syst)	138
e^+e^- continuum [2.3,2.8]	60 ± 24 (stat) ± 14 (syst)	61

- **Az eredmények megegyeznek a QED (STARLIGHT) számolásokkal!**
- **Alig van modell-becslés erre a tartományra – elméleti jóslatokat várunk ☺**

J/ Ψ hatáskeresztmetszet

$$\left. \frac{d\sigma_{J/\Psi}}{dy} \right|_{|y| < 0.35} = \frac{1}{BR} \frac{N_{J/\Psi}}{Acc \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_{trigg}} \cdot L \frac{1}{\Delta y}$$

- Egyezés az elmélettel
- De: koherens + inkoherens keletkezés
- Fő szisztematikus hiba: koherens kontinuum
- Statisztikus hiba: alacsony luminozitás
- Jelenleg az elméletek kizárása nem lehetséges

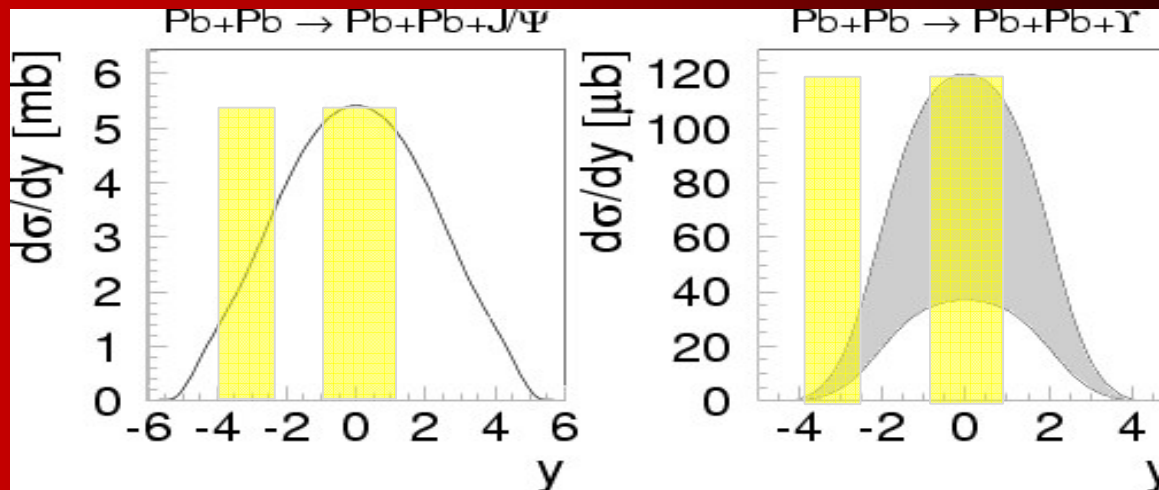


LHC várakozások

J. Nystrand, hep-ph/0412096, NPA752(2005)470

Accelerator	Hadroproduction $p + p \rightarrow V + X$	Photoproduction $p + p \rightarrow p + p + V$
RHIC $\sqrt{s} = 0.2$ TeV, $V = J/\Psi$	$4.0 \pm 0.9 \mu\text{b}$	3.0 nb
LHC $\sqrt{s} = 5.5$ TeV, $V = J/\Psi$	19-48 μb	54 nb
LHC $\sqrt{s} = 5.5$ TeV, $V = \Upsilon(1S)$	190-280 nb	720 pb

Accelerator	Hadroproduction $A + A \rightarrow V + X$	Photoproduction $A + A \rightarrow A + A + V$
RHIC $\sqrt{s_{nn}} = 0.2$ TeV, $V = J/\Psi$	160 mb	290 μb
LHC $\sqrt{s_{nn}} = 5.5$ TeV, $V = J/\Psi$	820-2100 mb	32 mb
LHC $\sqrt{s_{nn}} = 5.5$ TeV, $V = \Upsilon(1S)$	8-12 mb	170 μb

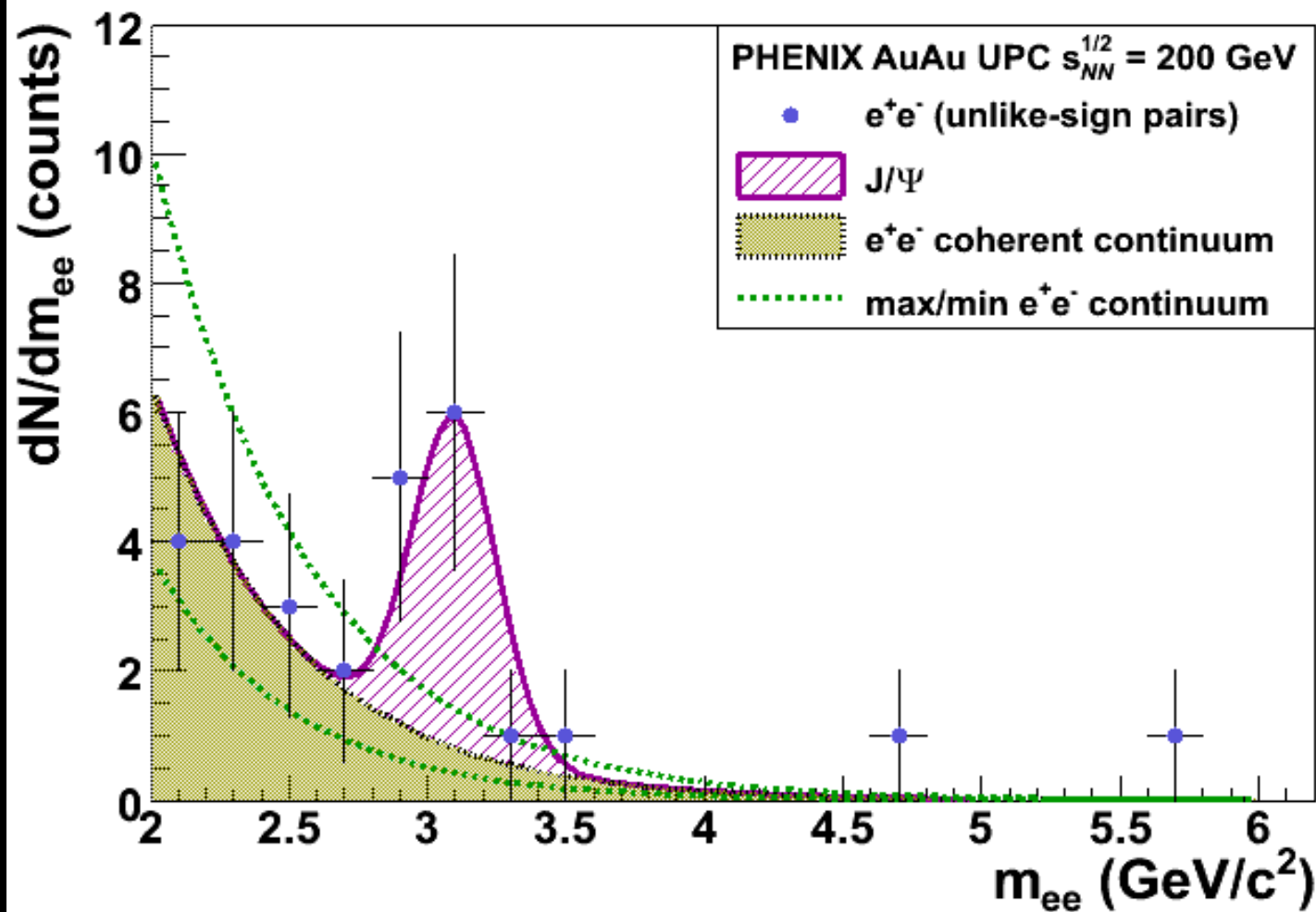


Összefoglalás

- **UPC: nagyenergiás fotonnyaláb**
- **Precisiós QCD**
 - Alacsony háttér, egyszerű kezdőállapot
 - Kiegészítés a szokásos e^+e^- vagy ep fizikához
- **A RHIC első eredményei**
 - Hatékony trigger, egyszerű analízis
 - Jó elméleti leírás
 - Fő szisztematikus bizonytalanság: dielektron spektrum
 - A modell-építőkövek tesztelése egyelőre lehetetlen
- **Folyt. köv az LHC-nál (TOTEM!)**

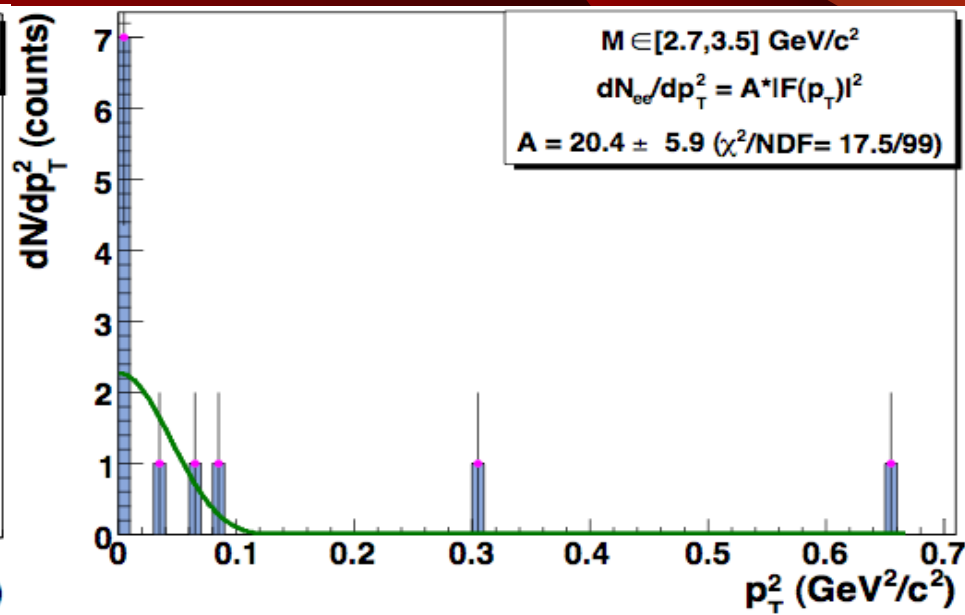
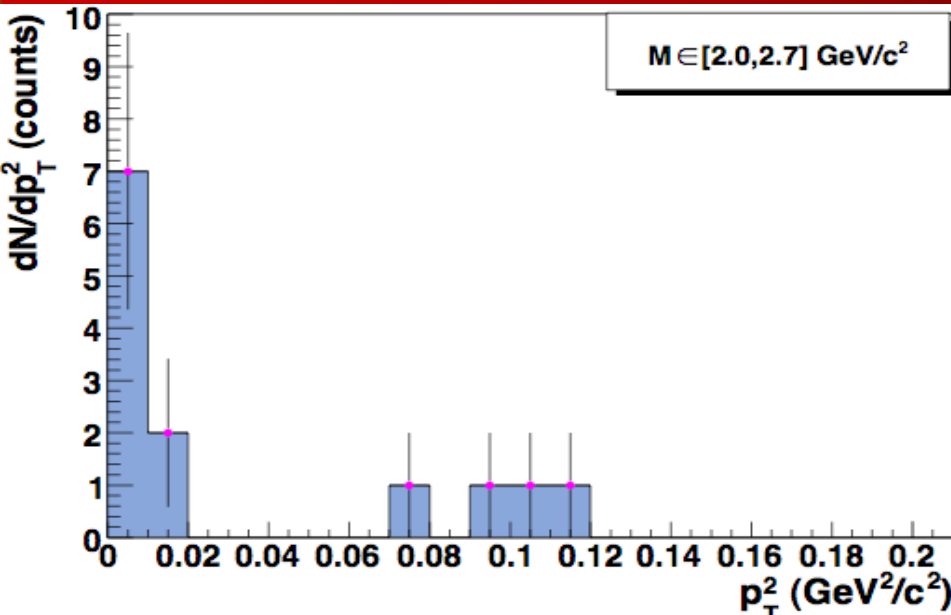
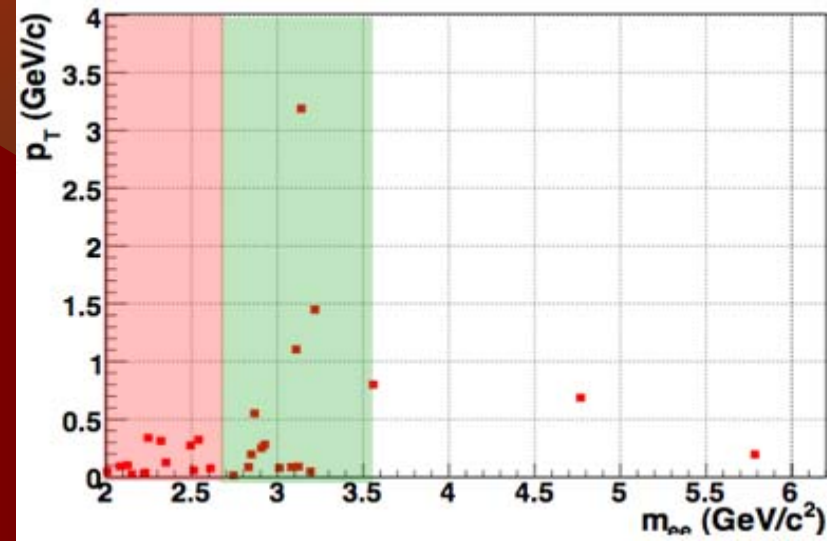
Köszönöm a figyelmet!

arXiv: 0903.2041

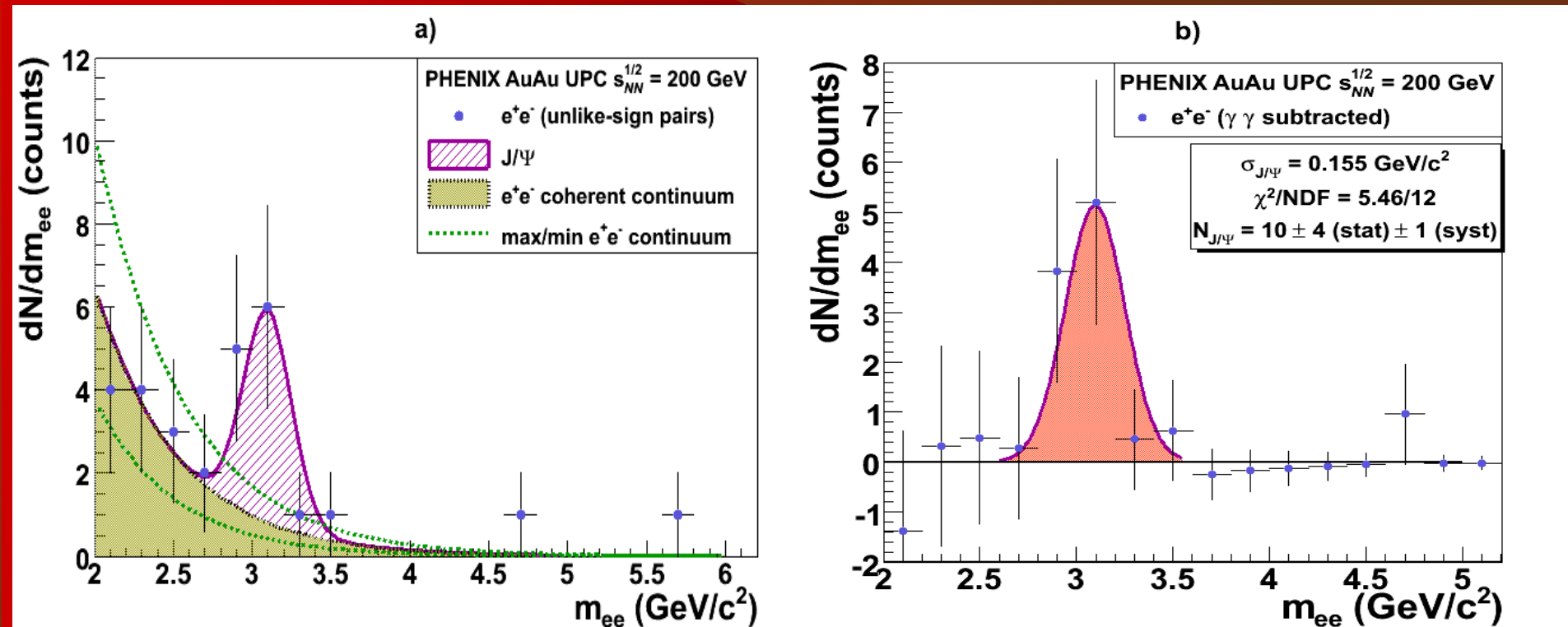


Transverse momentum distribution

- J/Ψ : low p_t region consistent with Au form factor fit
- High p_t region: also an incoherent component
- Continuum: coherent nature



Invariant mass distributions



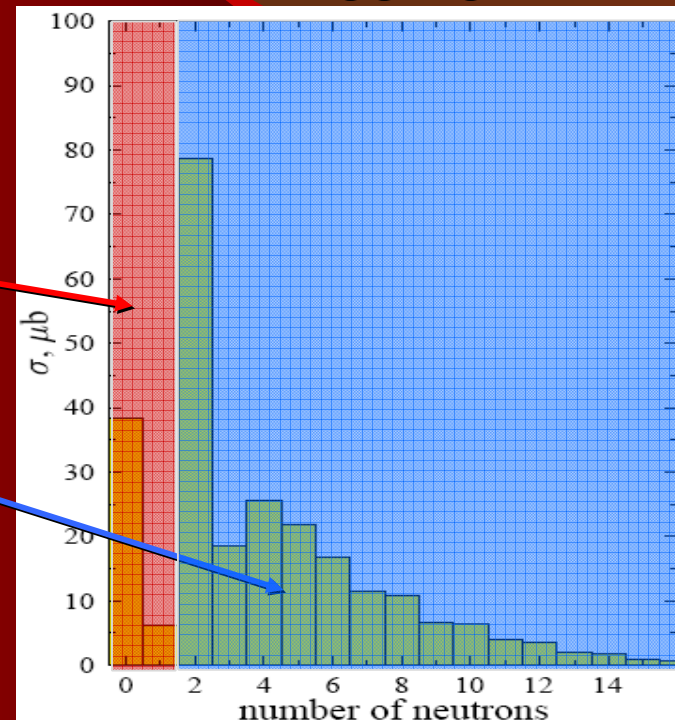
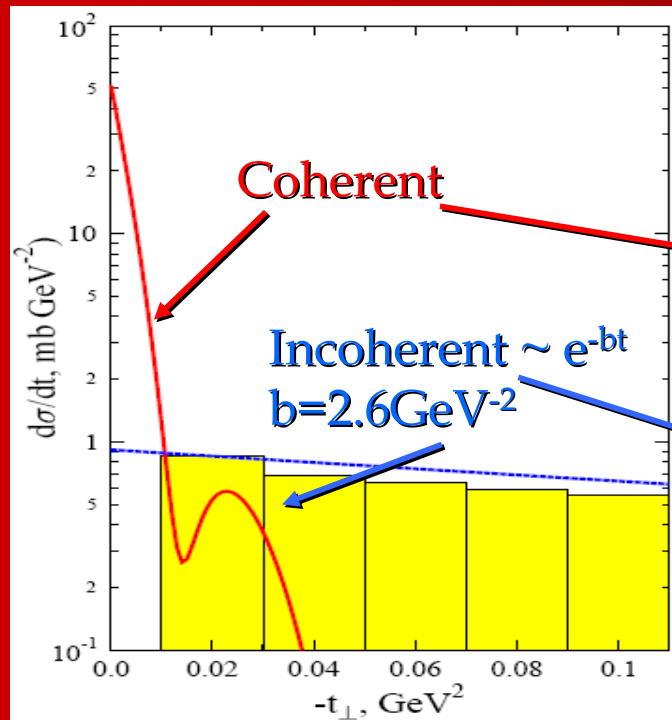
- Continuum in good agreement with theoretical input
- J/ Ψ peak & width also (theoretical input + full MC resp.+reco)

Based on ...

- **David d'Enterria for the PHENIX Coll.**
Quark Matter 2005, nucl-ex/0601001
- **Zaida Conesa del Valle for the PHENIX Coll.**
Quark Matter 2009
- **PHENIX publication (submitted to PLB)**
arXiv: 0903.2041
- **A lot of thanks...**

Incoherent J/Ψ production

- Via Coulomb-breakup
- How to separate from the coherent? Strikman:
Via t distribution
- Via neutron tagging



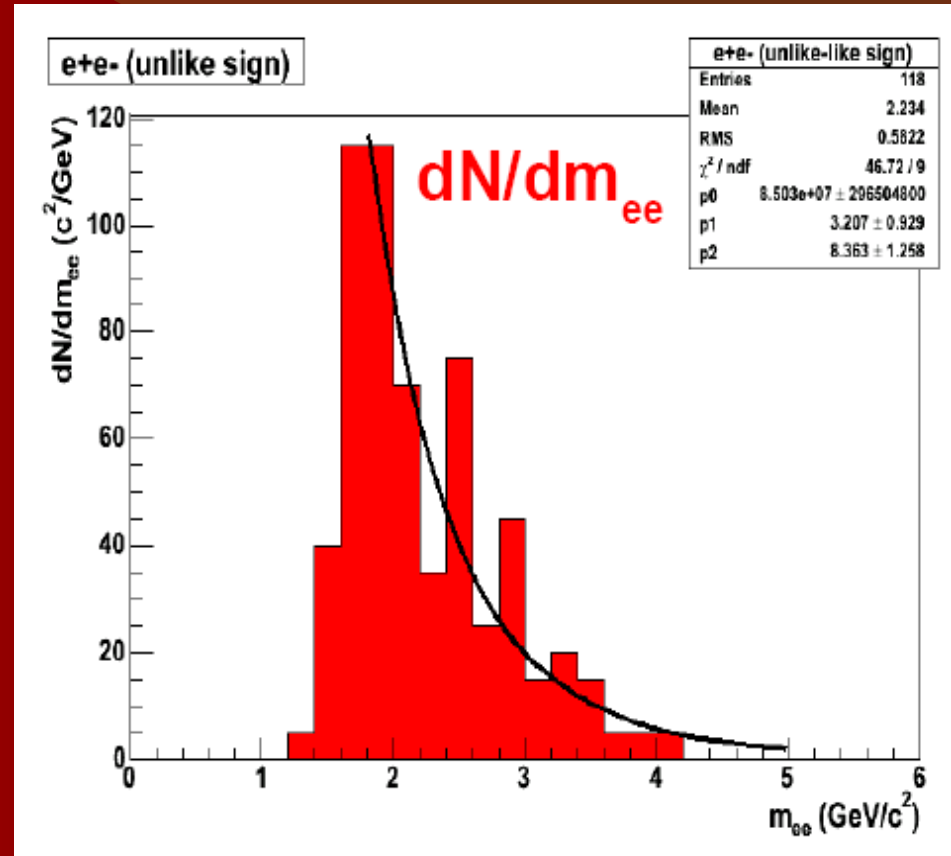
Strikman et al., hep-ph/0505023

- Limited statistics ...

Background subtraction

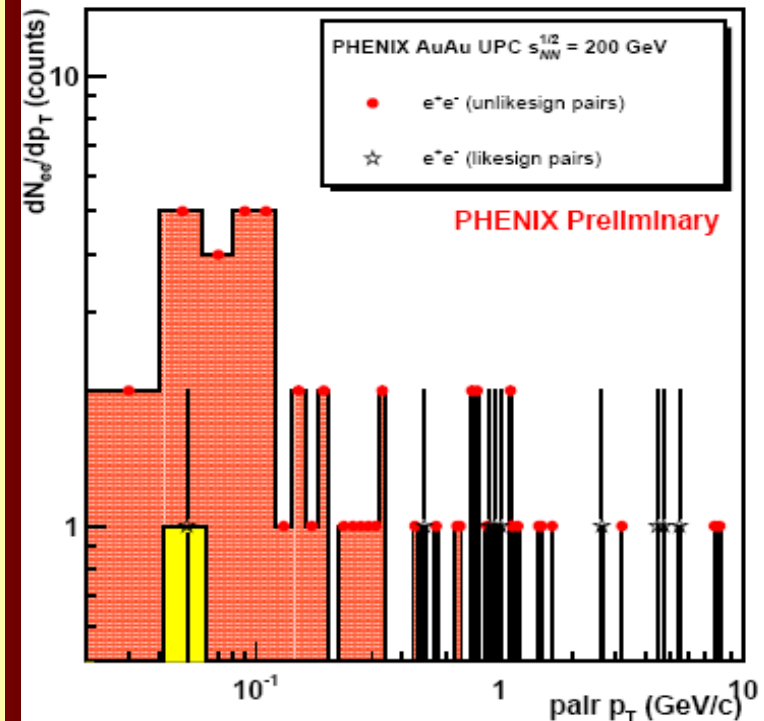
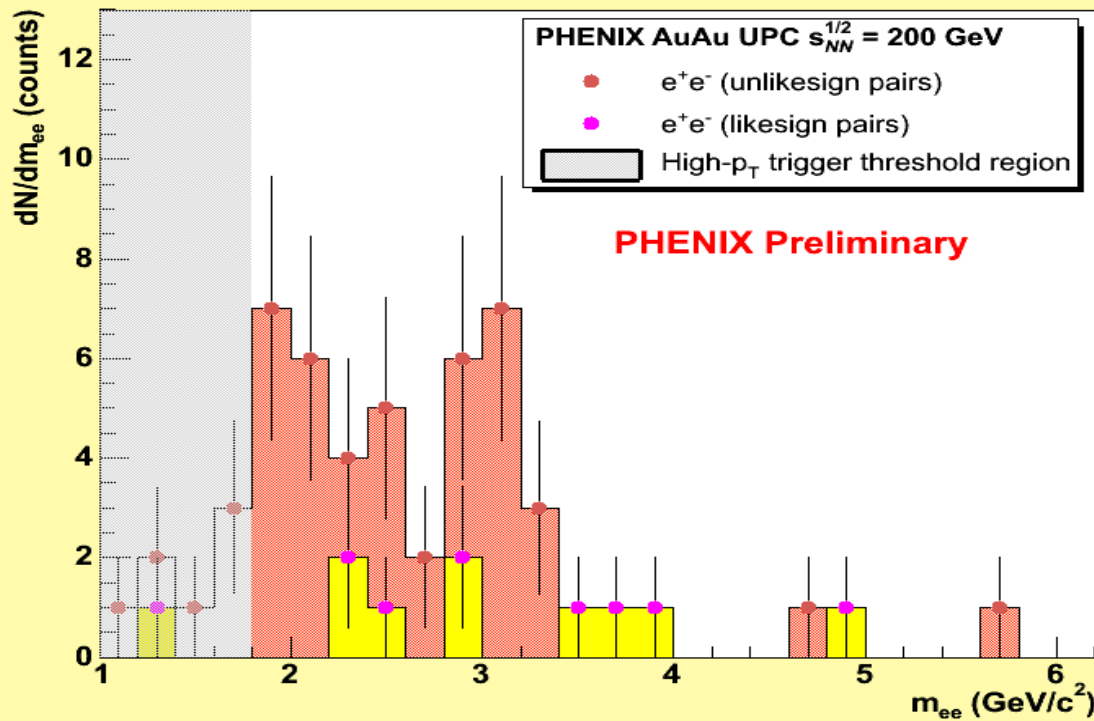
J. Nystrand, hep-ph/0412096, NPA752(2005)470

- Starlight Monte Carlo simulation
- Determine continuum shape
- 700k e^+e^- pairs with $m_{inv} > 1.5$ GeV, 500 μb^{-1}



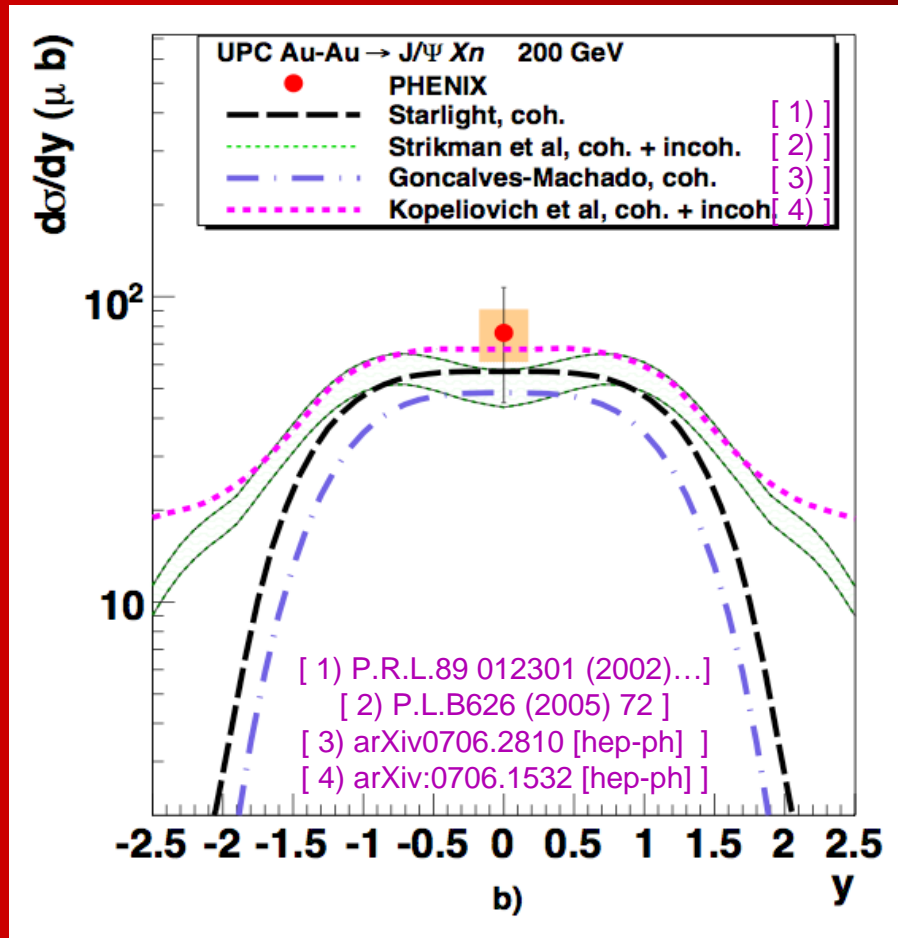
Resulting distributions

- Invariant mass distribution with continuum background
- Pair transverse momentum distribution
- Unlike-sign (red) and like-sign (yellow) pairs



Theoretical calculations

- Cross-section is consistent with different model predictions
- ... though current precision precludes yet any detailed conclusion on the basic ingredients: shadowing and nuclear absorption



Rough comparison with HERA

e-p data, $\sigma_{\gamma p} = A^\alpha \sigma_{\gamma A}$

If coh. incoh. ratio is 50% - 50%

- $\alpha_{\text{coh}} = 1.01 \pm 0.07$
- $\alpha_{\text{incoh}} = 0.92 \pm 0.08$

$\Rightarrow \alpha \sim 1$, good agreement with HERA data hard probes scaling!

- Similar comparison with STAR ρ measurement gives $\alpha_{\text{coh}} = 0.75 \pm 0.02$, closer to $A^{2/3}$ soft scaling

[ZEUS, Eur.Phys.J. C24 (2002) 345]

[H1, Eur.Phys.J. C46 (2006) 585]

[STAR, Phys.Rev.C77 (2008) 034910]