

# **Producción de fotones y flujo elíptico mediante fusión de gluones en presencia de campos magnéticos**

Jorge David Castaño Yepes

Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

En colaboración con:

Dr. Alejandro Ayala Mercado.

Dra. María Elena Tejeda Yeomans.

Dr. Luis Hernández.

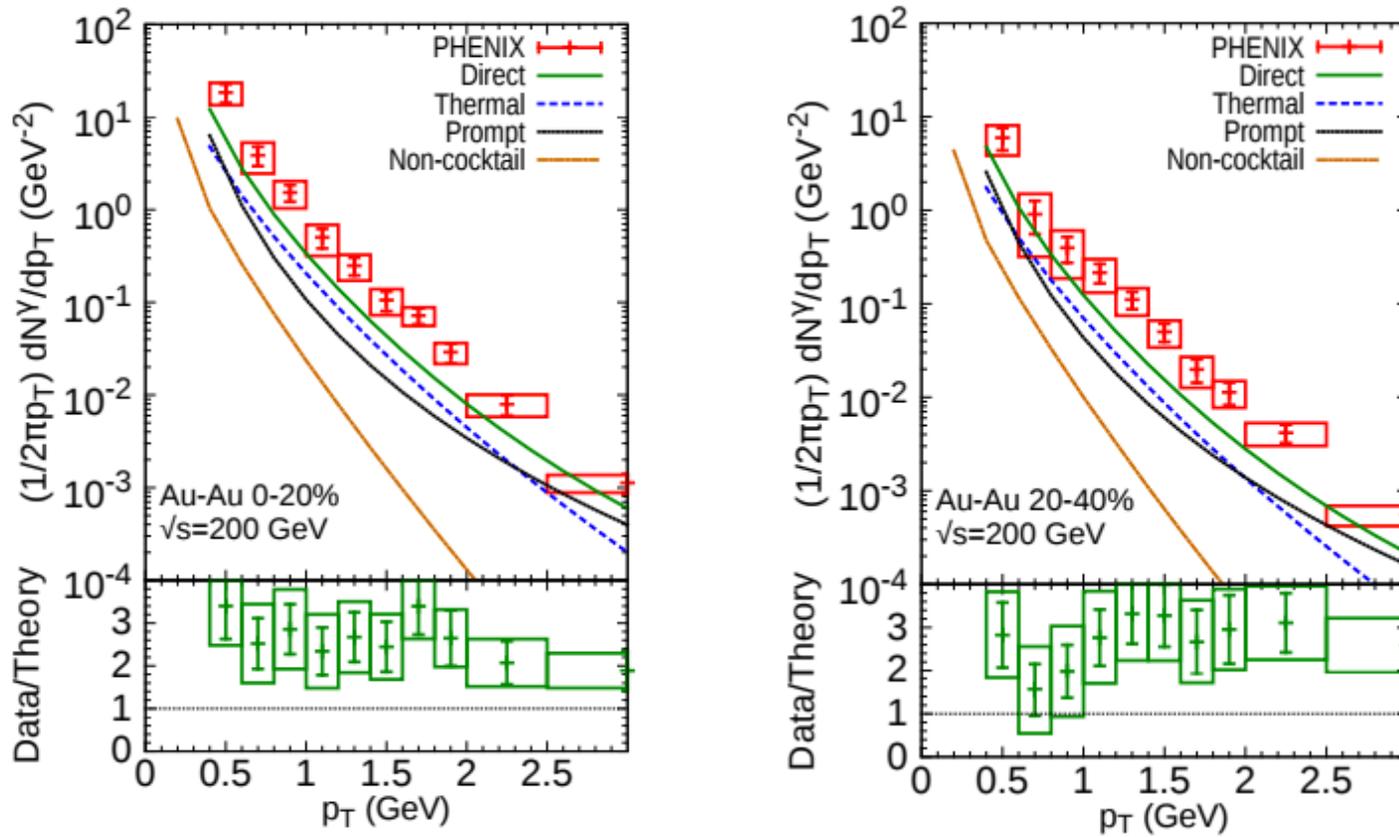
Dr. Saúl Hernández Ortíz.

Dr. Cesáreo Augusto Dominguez.

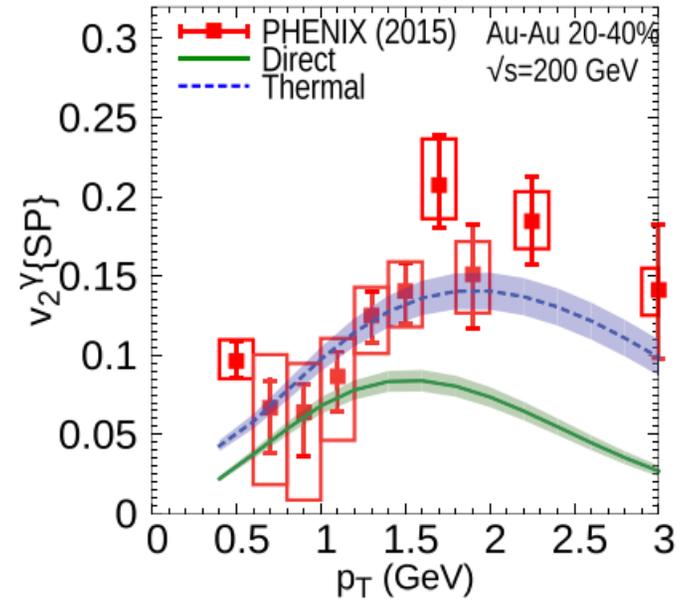
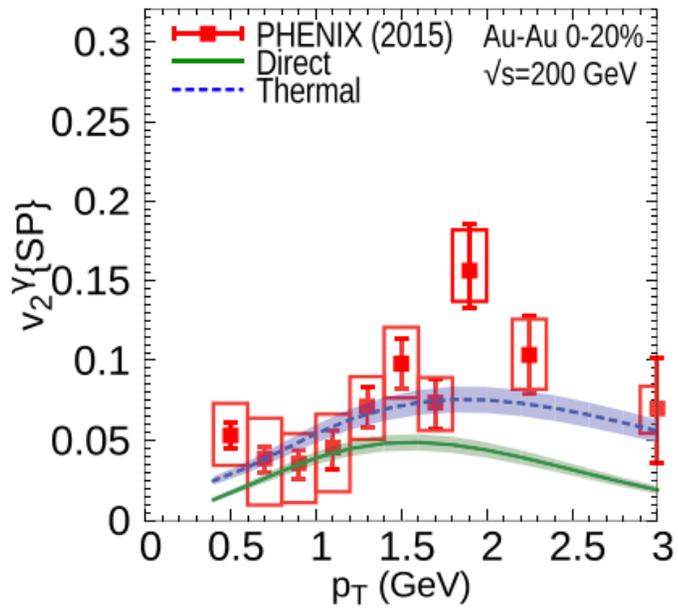
# Contenido

1. Motivación.
2. Producción de fotones.
3. Resultados.
4. Conclusiones.
5. Trabajo futuro.

# 1. Motivación

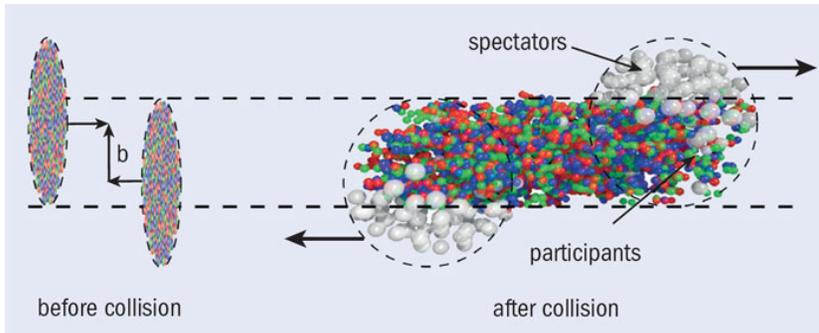


Paquet *et. al.* PRC 93, 044906 (2016).

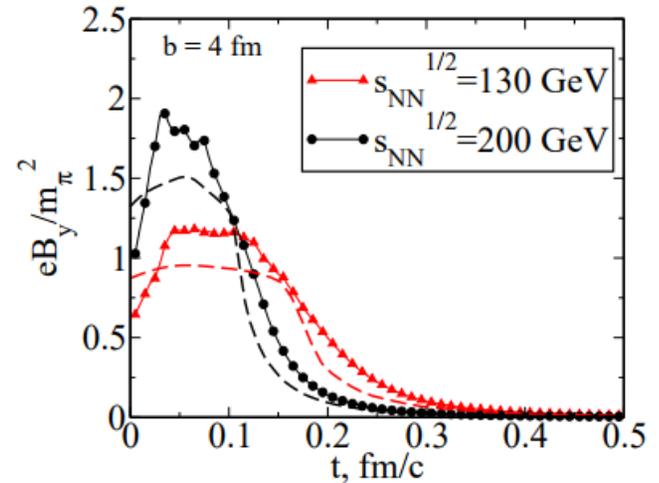


Paquet *et. al.* PRC 93, 044906 (2016).

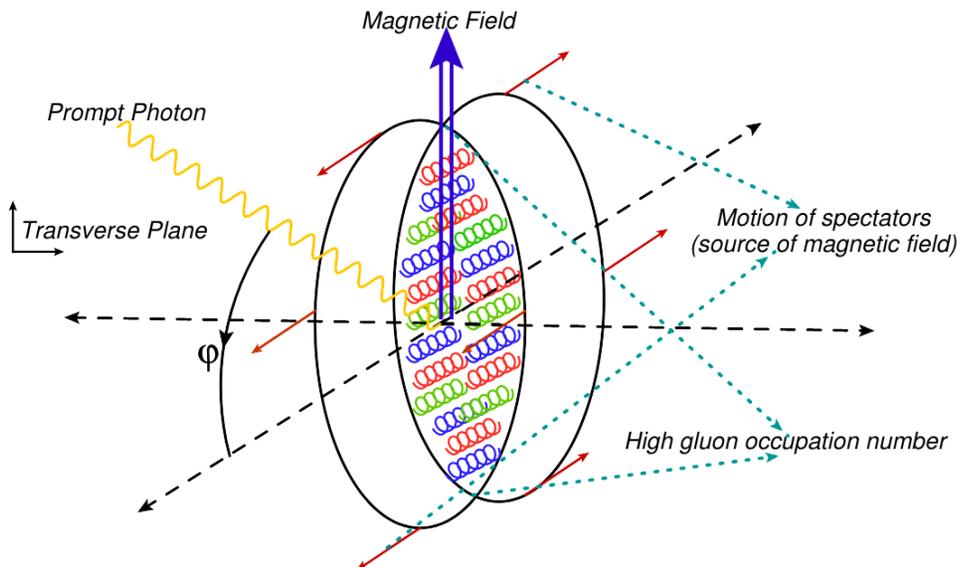
# 2. Producción de Fotones



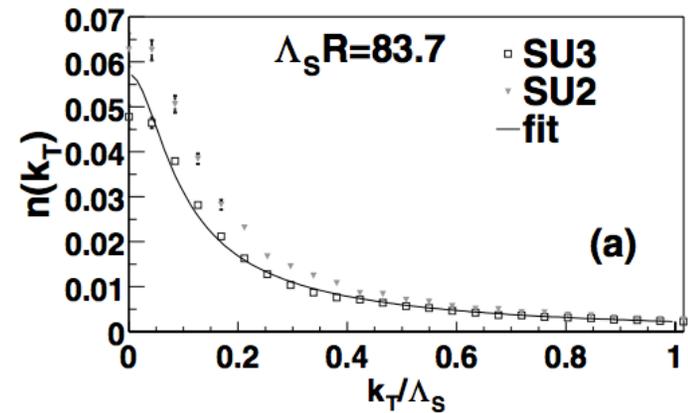
[Creditos: Alberica Toia, U. of Padua/INFN- *CERN Courier*]



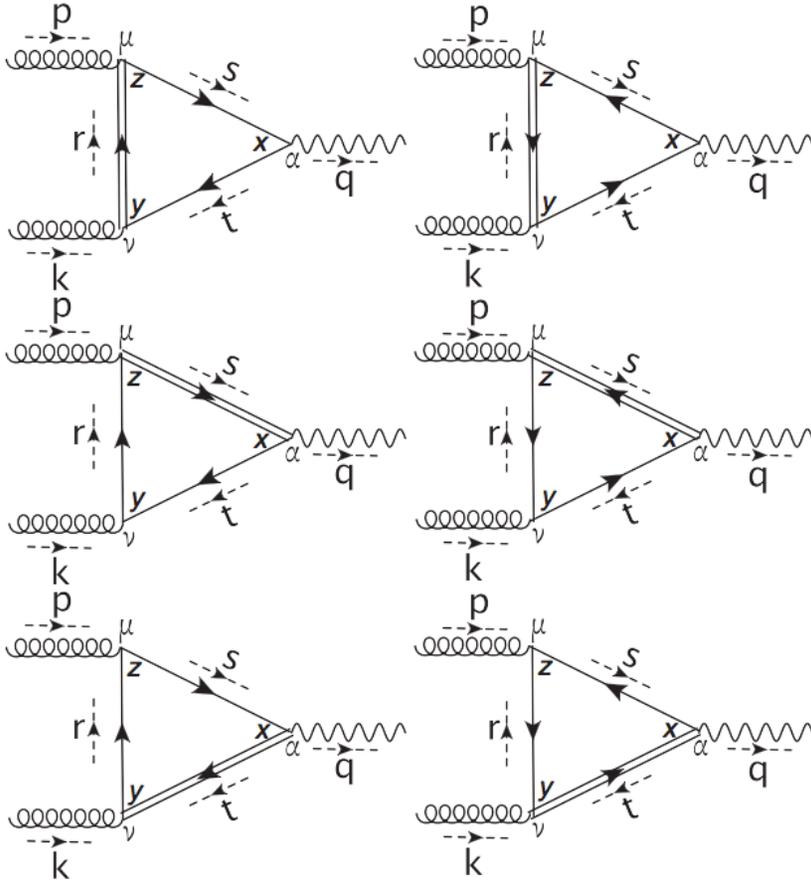
[V. Skokov *et al.* *Int. J. Mod.Phys. A*24 (2009) ]



[A. Ayala *et al.* ISMD 2017]



[Alex Krasnitz *et al.* *PRL* **87** 192302 ]



$$S^{\text{LLL}}(p) = -2ie \frac{p_{\perp}^2}{|q_f B|} \frac{\not{p}_{\parallel}}{p_{\parallel}^2} \mathcal{O}_{\parallel}^+$$

$$S^{\text{1LL}}(p) = \frac{e \frac{p_{\perp}^2}{|q_f B|}}{p_{\parallel}^2 - 2|q_f B|} \left\{ \not{p}_{\parallel} \mathcal{O}_{\parallel}^+ \left[ 1 - \frac{2p_{\perp}^2}{|q_f B|} \right] - \not{p}_{\parallel} \mathcal{O}_{\parallel}^- + 4\not{p}_{\perp} \right\}$$

- Para  $B=0$  el proceso no existe (Th. De Furry).

- Si los tres quarks están en el LLL,  $M=0$  (conjugación de carga + estructura paralela en el propagador).

- Por lo menos un quark en el 1LL (una estructura perpendicular).

PHYSICAL REVIEW D **96**, 014023 (2017)

### Prompt photon yield and elliptic flow from gluon fusion induced by magnetic fields in relativistic heavy-ion collisions

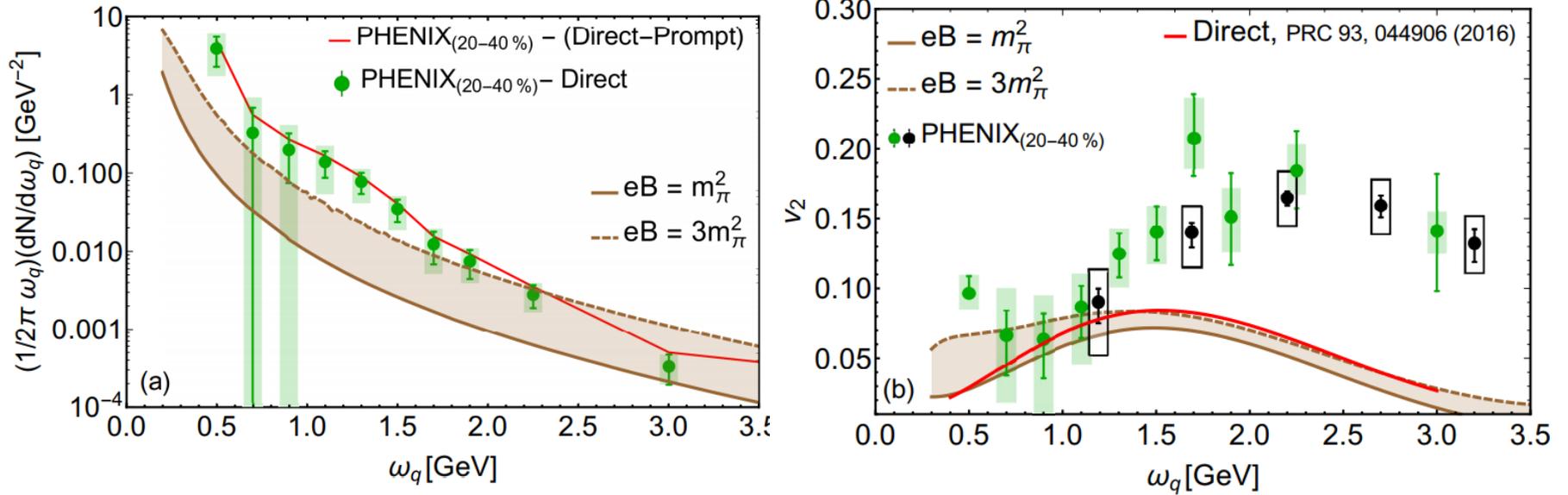
Alejandro Ayala,<sup>1,2</sup> Jorge David Castaño-Yepes,<sup>1</sup> C. A. Dominguez,<sup>2</sup> L. A. Hernández,<sup>1</sup>  
Saúl Hernández-Ortiz,<sup>1</sup> and María Elena Tejeda-Yeomans<sup>3</sup>

- $B$  es la escala dominante en energía.
- Tres sabores ligeros.

$$p^{\mu} = \omega_p(1, \hat{p}) = (\omega_p/\omega_q) q^{\mu},$$

$$k^{\mu} = \omega_k(1, \hat{k}) = (\omega_k/\omega_q) q^{\mu},$$

# 3. Resultados



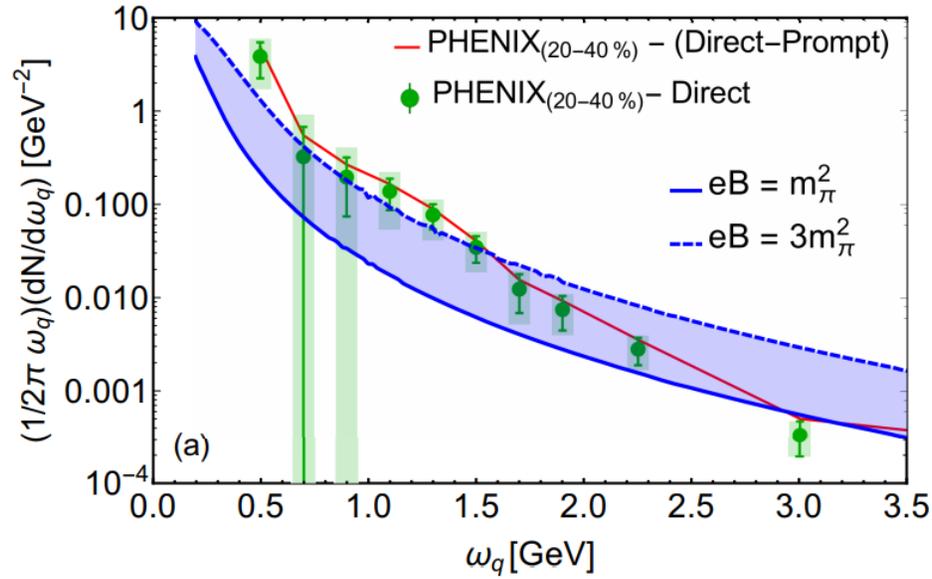
$$v_2(\omega_q) = \frac{\frac{dN^{\text{mag}}}{d\omega_q}(\omega_q) v_2^{\text{mag}}(\omega_q) + \frac{dN^{\text{direct}}}{d\omega_q}(\omega_q) v_2^{\text{direct}}(\omega_q)}{\frac{dN^{\text{mag}}}{d\omega_q}(\omega_q) + \frac{dN^{\text{direct}}}{d\omega_q}(\omega_q)}$$

Dado que B es la escala dominante, el modelo es válido para la región de bajo momento transverso ( $\omega_q < 1$  GeV).

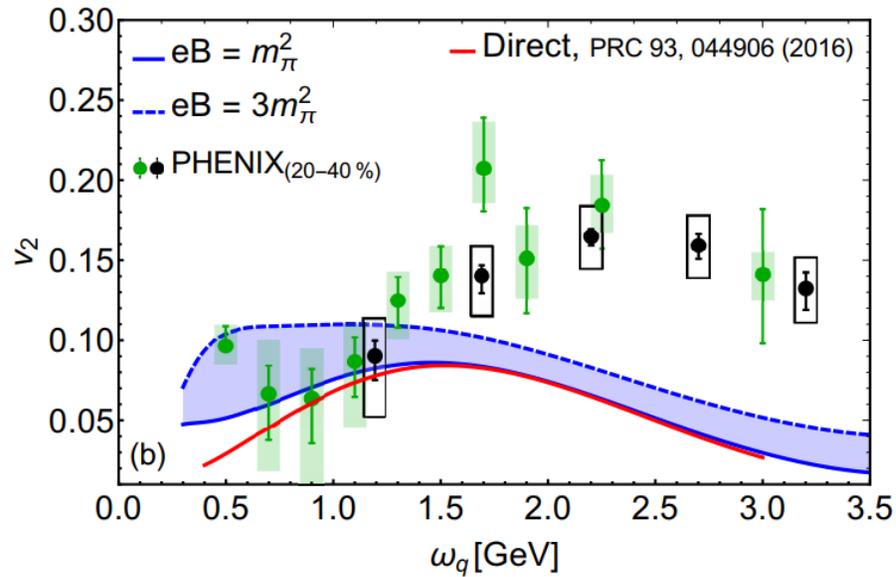
$$\alpha_s = 0.3, \Lambda_s = 2 \text{ GeV}, \eta = 3, \chi = 0.8.$$

$$\tau_s = 1.5 \text{ fm}, R = 7 \text{ fm}$$

$$\omega_{p,k} \rightarrow (p, k) \cdot u. \quad u^\mu = \gamma(1, \beta), \text{ with } \gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}.$$



$$\beta = 0.25$$



## 4. Conclusiones

- En este trabajo mostramos que la presencia de campos magnéticos en HIC puede ser una fuente importante de fotones.
- Los campos magnéticos abren nuevos mecanismos de producción de fotones.
- Nuestro modelo permite dar una mejor descripción del exceso de fotones y del coeficiente  $v_2$  para la parte de bajo momento.

# 5. Trabajo Futuro

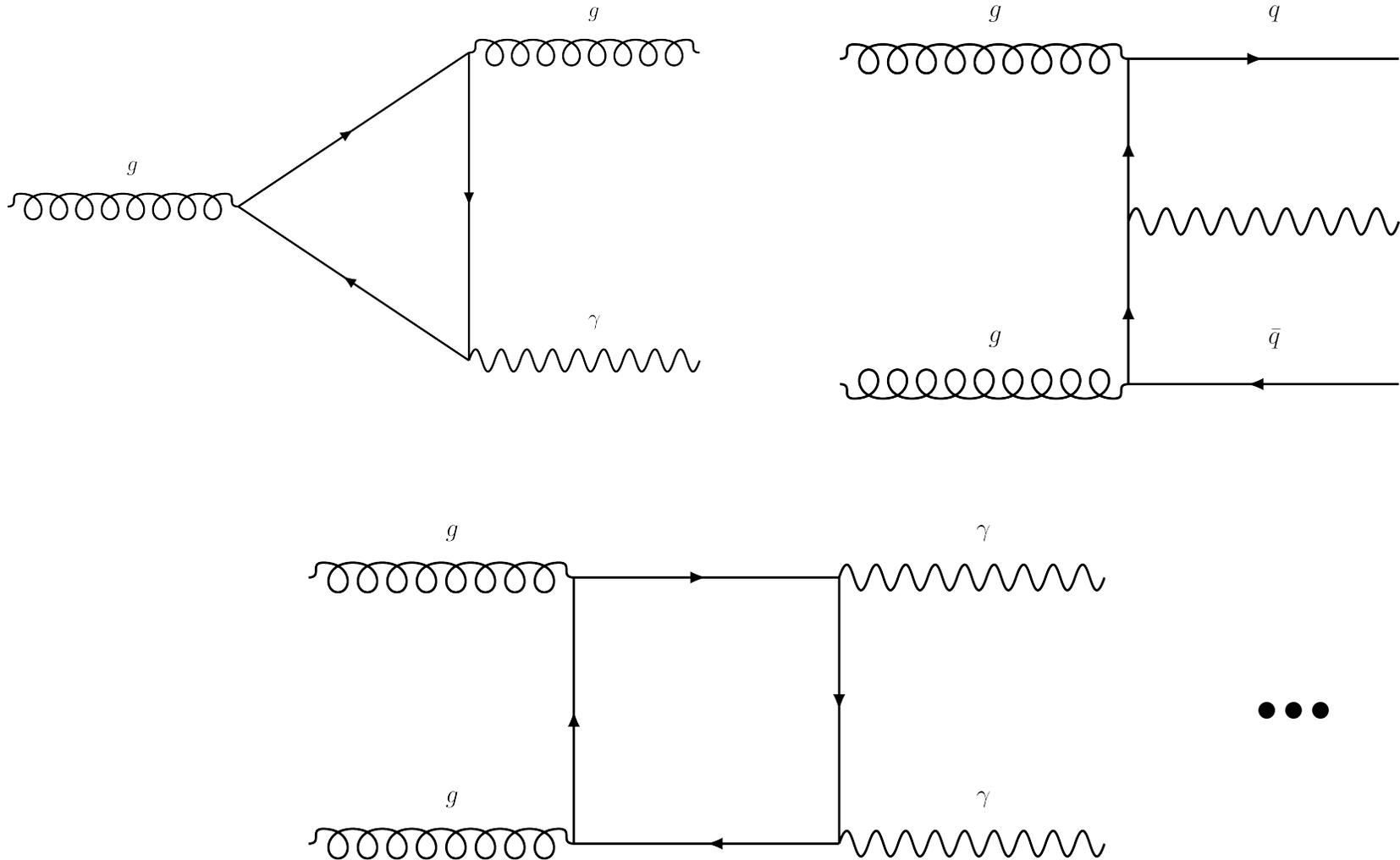
✓ Relajar la comparación entre B y los momentos internos.

$$\begin{aligned}
 \widetilde{\mathcal{M}} &= 8i(2\pi)^4 \delta^{(4)}(q - k - p) \delta^{cd} |q_f| g^2 \\
 &\times \int \frac{d^4 r}{(2\pi)^4} \frac{d^4 s}{(2\pi)^4} \frac{d^4 t}{(2\pi)^4} \\
 &\times \int d^4 w d^4 l e^{-il(r-t-k)} e^{-iw(r-s+p)} \\
 &\times \exp \left\{ -i \frac{|q_f B|}{2} \epsilon_{mj} w_m l_j \right\} \exp \left\{ -\frac{r_{\perp}^2 + s_{\perp}^2 + t_{\perp}^2}{|q_f B|} \right\} \\
 &\times \text{Tr} \left\{ \frac{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_{\alpha} \not{\epsilon}_{\perp} \gamma_{\nu} \not{\epsilon}_{\parallel} \gamma_{\mu} \not{\epsilon}_{\parallel}}{r_{\parallel}^2 s_{\parallel}^2 (t_{\parallel}^2 - 2|q_f B|)} + \frac{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_{\mu} \not{\epsilon}_{\perp} \gamma_{\alpha} \not{\epsilon}_{\parallel} \gamma_{\nu} \not{\epsilon}_{\parallel}}{t_{\parallel}^2 r_{\parallel}^2 (s_{\parallel}^2 - 2|q_f B|)} \right. \\
 &\left. + \frac{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_{\nu} \not{\epsilon}_{\perp} \gamma_{\mu} \not{\epsilon}_{\parallel} \gamma_{\alpha} \not{\epsilon}_{\parallel}}{s_{\parallel}^2 t_{\parallel}^2 (r_{\parallel}^2 - 2|q_f B|)} \right\} \epsilon^{\mu}(\lambda_p) \epsilon^{\nu}(\lambda_k) \epsilon^{\alpha}(\lambda_q). \\
 &= -i(2\pi)^4 \delta^{(4)}(q - k - p) \frac{|q_f| g^2 \delta^{cd} e^{f(p_{\perp}, k_{\perp})}}{32\pi(2\pi)^8} \\
 &\times \left\{ \left( \frac{1}{2} g_{\parallel}^{\mu\alpha} - \frac{p_{\parallel}^{\mu} p_{\parallel}^{\alpha}}{p_{\parallel}^2} \right) h^{\nu}(a) - \left( \frac{1}{2} g_{\parallel}^{\mu\nu} - \frac{p_{\parallel}^{\mu} p_{\parallel}^{\nu}}{p_{\parallel}^2} \right) h^{\alpha}(a) \right. \\
 &+ \left( \frac{1}{2} g_{\parallel}^{\mu\nu} - \frac{k_{\parallel}^{\mu} k_{\parallel}^{\nu}}{k_{\parallel}^2} \right) h^{\alpha}(b) - \left( \frac{1}{2} g_{\parallel}^{\alpha\nu} - \frac{k_{\parallel}^{\alpha} k_{\parallel}^{\nu}}{k_{\parallel}^2} \right) h^{\mu}(b) \\
 &+ \left. \left( \frac{1}{2} g_{\parallel}^{\alpha\nu} - \frac{q_{\parallel}^{\alpha} q_{\parallel}^{\nu}}{q_{\parallel}^2} \right) h^{\mu}(c) - \left( \frac{1}{2} g_{\parallel}^{\mu\alpha} - \frac{q_{\parallel}^{\mu} q_{\parallel}^{\alpha}}{q_{\parallel}^2} \right) h^{\nu}(c) \right\} \\
 &\times \epsilon^{\mu}(\lambda_p) \epsilon^{\nu}(\lambda_k) \epsilon^{\alpha}(\lambda_q),
 \end{aligned}$$

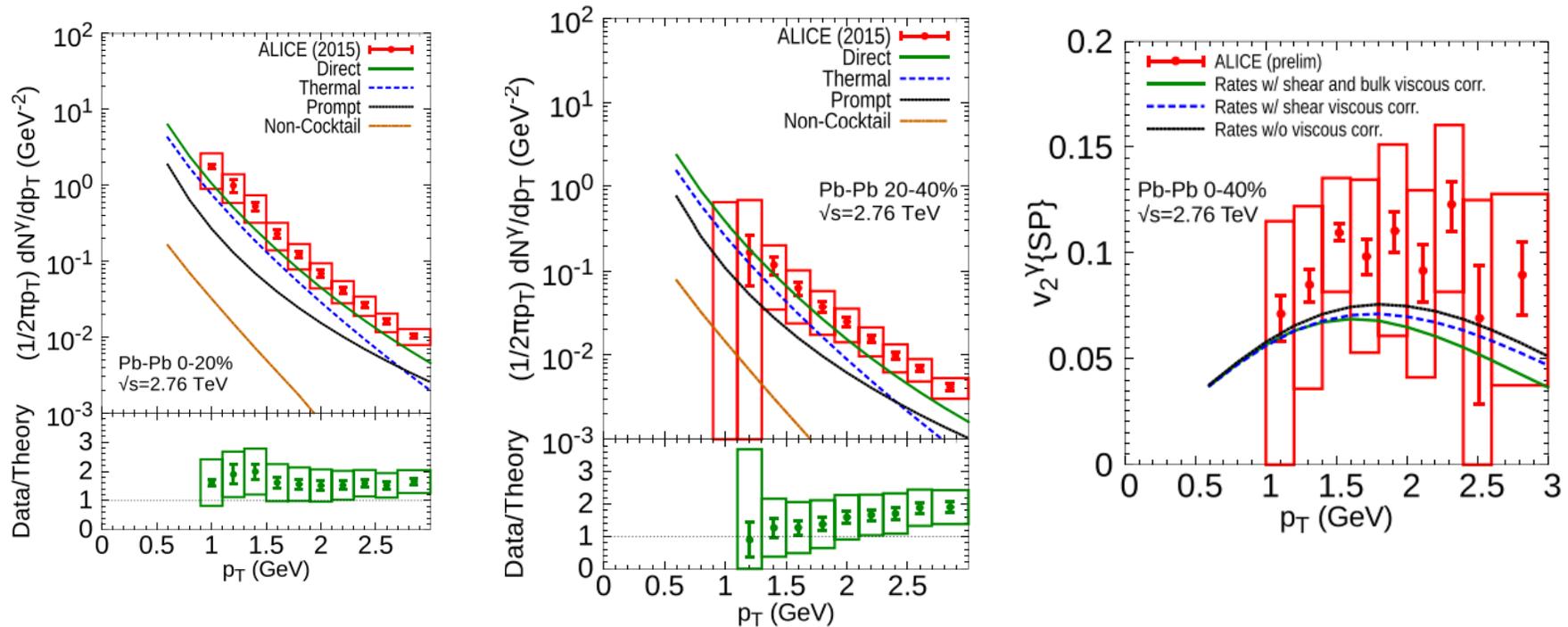
✓ Se encuentra una estructura no transversa (“Hard Magnetic Loop”).

$$q_{\mu} \Gamma^{\mu\nu\alpha} \neq 0, \quad p_{\mu} k_{\nu} q_{\alpha} \Gamma^{\mu\nu\alpha} = 0$$

- ✓ Explorar otros mecanismos de emisión de fotones en presencia de B.

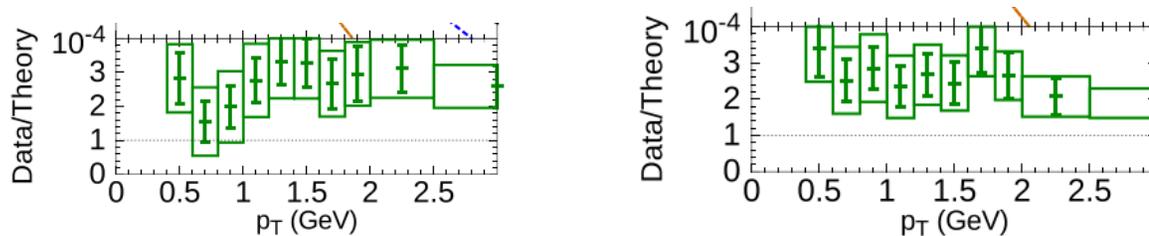


✓ Comparar con resultados de otros experimentos.

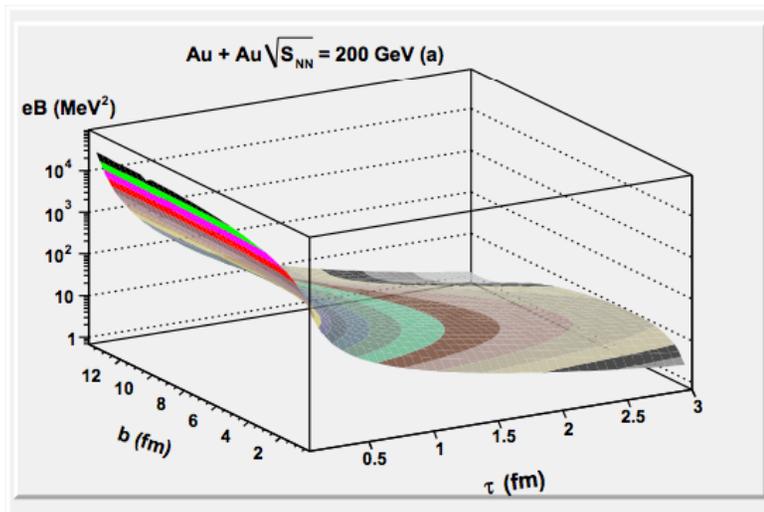


Paquet *et. al.* PRC 93, 044906 (2016).

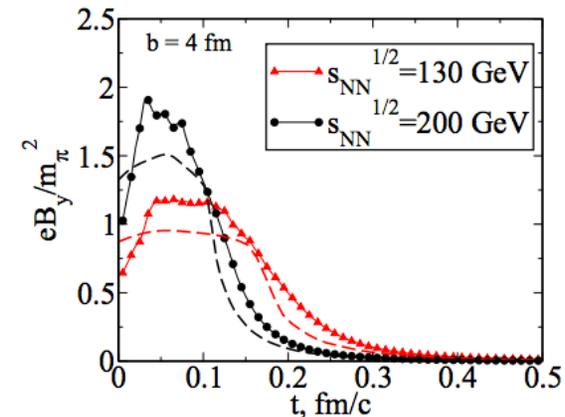
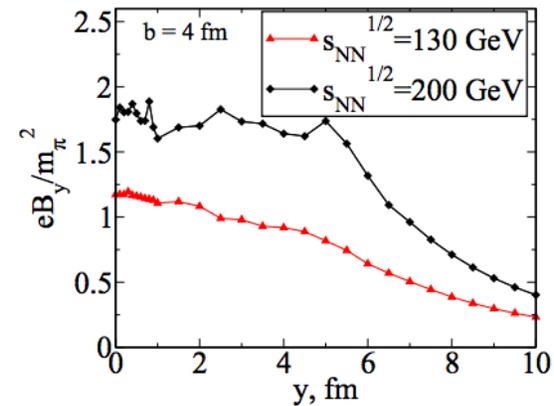
¿Por qué los modelos “funcionan mejor” para ALICE?



- ✓ Determinar con mayor precisión los parámetros del modelo: valor de B, volumen espacio-temporal...
- ✓ Incluir un campo magnético con dependencia espacio-temporal y centralidad.



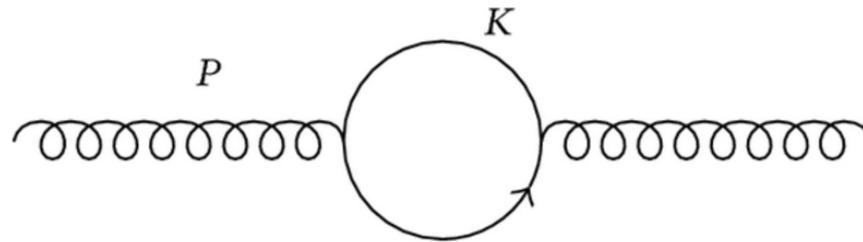
[Yang Zhong *et al.* Adv. High Energy Phys. 2014 (2014) 193039]



[V. Skokov *et al.* Int. J. Mod.Phys. A24 (2009) ]

✓ ¿Finalmente?

$$\begin{aligned} p^\mu &= \omega_p(1, \hat{p}) = (\omega_p/\omega_q) q^\mu, \\ k^\mu &= \omega_k(1, \hat{k}) = (\omega_k/\omega_q) q^\mu. \end{aligned} \quad \sigma \rightarrow \infty$$



Es necesario tener en cuenta las propiedades dispersivas del medio, a.k.a. Índice de refracción de los gluones en presencia de B.

GRACIAS !