المجلد 6، العدد 1، 2013. ص ص. 27- 31

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

تغير الفيض المرصود من نجم نيوتروني بتأثير مجاله الجاذبي

مؤيد عزيز العبيدي وسجى إسماعيل خليل
قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

Received on: 29/3/2012; *Accepted on: 26/5/2013*

الملخص: باستخدام فضاء شوارزشيلد لوصف زمكان الكتلة الكروية للنجم النيوتروني، ومبدأ حفظ القدرة المنبعثة، والزحزحة الحمراء الجاذبية، تم التوصل إلى علاقة تبين أن مقدار الفيض المرصود يعتمد على المركبة الزمنية لممتد شوارزشيلد في منطقة الانبعاث، وعلى زاوية الانبعاث، وعلى كثافة الفيض المنبعث، وبعد النجم عن الراصد.

الكلمات الدالة: النسبية العامة، علم الكون، النجم النيوتروني، انبعاث الأشعة، الزحزحة الحمراء الجاذبية.

The Variation of the Observed Flux from a Neutron Star by Its Gravitational Field

M. A. Alobayde and S.E. Khaleel
Physics Department, College of Science, Mosul University, Mosul, Iraq.

Abstract: By using Schwarzschild spacetime for describing the space time of the spherical symmetric neutron star, the conservation of the emitted power and the gravitational red shift, a relation connecting the observed flux with the strength of the gravitational field of a neutron star and the emission angle has been found. The relation shows that the observed flux depends on the time component of Schwarzschild tensor of the emission region, the emission angle, the observed flux density and the distance to the neutron star.
Keywords: General relativity, Cosmology, Neutron star, Radiation emission, Gravitational red shift.

المقدمة

تكاد تكون دراستنا للكون وكتل مكوناته وحركتها من نجوم ومجرات وعناقيد مجرية ...إلخ. معتمدة على شدة الأشعة التي تصلنا من هذه المكونات وعلى التغيرات الضوئية الخاصة بها [1] .

وبحسب النظرية النسبية العامة، فإن للمجال الجاذبي الشديد في منطقة الانبعاث او في مناطق معينة من المسار تأثيرات مهمة في فهم خواص الأشعة القادمة من مناطق قريبة من النجوم النيوترونية والثقوب السوداء [2] . فطبقاً للنظرية النسبية التي تصنع تأثير شدة المجال الجاذبي الشديد في حساباتها، يكون بإمكان الراصد البعيد أن يرى جزءاً من الجهة الأخرى -غير المقابلة له- من النجم النيوتروني بسبب انحناء الضوء بتأثير المجال الجاذبي -تحدب الزمكان- لم يكن ليراه لو كان الزمكان مسطحاً (flat space time). ومن ثم فإن الأشعة المنبعثة من هذه الجهة تمتلك مساهمة وتأثيراً في شكل الإشارة المرصودة. كما أن للمجال الجاذبي لتحدب الزمكان تأثيراً ملحوظاً في منحنيات الضوء الخاصة كما يراها الراصد البعيد. وقد ناقش العديد من الباحثين [3، 4، 5، 6] انبعاث الأشعة السينية من النجوم النيوترونية وتأثر الإشعاع المنبعث من هذه النجوم بالمجال الجاذبي لها.

Corresponding Author: M. A. Alobayde **Email**: malobayde@yahoo.com

ولقد لاحظنا في عمل سابق [7] أن لزاوية انبعاث الأشعة من قرب النجم النيوتروني تأثيرًا في زاوية وصولها إلى الراصد، ومن ثم في شدة الفيض المرصود من النجم. وما قمنا به في هذا البحث هو محاولة للوصول إلى معادلة لحساب الفيض المرصود تأخذ بعين الاعتبار شدة المجال الجاذبي، والزحزحة الحمراء الجاذبية (gravitational red shift) وزاوية الانبعاث.

حساب الفيض المرصود

يوصف الفضاء الزمكاني للنجم النيوتروني باستخدام فضاء شوارزشيلد (Schwarzschild) للكتلة الكروية الذي يعبر عنه الخط الأولي [8]

$$\left.\begin{aligned} ds^2 = f(r)dt^2 - f^{-1}(r)dx^2 \\ -r^2 d\theta^2 - r^2\sin^2\theta d\phi^2 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

حيث

$$f(r) = 1 - \frac{r_s}{r} \quad (2)$$

$\left(\frac{2GM}{c^2} = r_s\right)$ نصف قطر شوارزشيلد. وr البعد عن مركز النجم.

ولأن اختلاف شدة المجال الجاذبي بين منطقتي الانبعاث والرصد يؤدي إلى الزحزحة الحمراء الجاذبية، فإن لهذا الاختلاف تأثيرًا مباشرًا في التردد المرصود؛ اذ يرتبط تردد الأشعة المرصودة ν_o في فضاء المراقب ذات المجال الجاذبي الضعيف بتردد الأشعة المنبعثة ν_e من فضاء النجم ذي المجال الجاذبي القوي وفق العلاقة [8]

$$\nu_e/\nu_o = \left(\frac{f(r_e)}{f(r_o)}\right)^{1/2} \quad (3)$$

أما كثافة الفيض المنبعث (I_e) وكثافة الفيض المرصود (I_o) فهما مرتبطان -بحسب مبدأ حفظ القدرة- بتغير التردد وفق العلاقة [9]

$$I_e / I_o = (\nu_e/\nu_o)^3 \quad (4)$$

وعليه، فإن بالإمكان التعبير عن تأثير شدة المجال الجاذبي في كثافة الفيض المرصود بالعلاقة

$$I_e = I_o.\left(\frac{f(r_e)}{f(r_O)}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

ولأن المجال الجاذبي في منطقة الرصد (الأرض) ضعيف جدًا ($r_s << r_o$)، فإنه بالإمكان كتابة

$$f(r_o) = 1 \quad (6)$$

لتأخذ العلاقة بين كثافة الفيض المنبعث والمرصود الصيغة

$$I_e = I_o.f(r_e)^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

التي يتضح منها التأثير المباشر لشدة المجال الجاذبي لمنطقة الانبعاث في كثافة الفيض المرصود لأي كثافة فيض منبعث كما يوضح الشكل (1). وكما هو معلوم، يحسب الفيض المرصود dF باستخدام العلاقة

$$dF = I_0 \cos\theta d\Omega$$

ولأن الإشعاع متماثل، فإنه سيكون لزاوية انبعاث $(0 \le \theta \le \frac{\pi}{2})$:

$$dF = \pi I_o d\Omega \quad (8)$$

حيث $d\Omega$ الزاوية المجسمة (Solid angle) للمساحة المحصورة بين b وdb. وتعرف وفق

$$d\Omega = \frac{b\,db\,d\varphi}{D^2} \quad (9)$$

حيث (b) عرض الحزمة (Impact parameter)، و$d\varphi$ الزاوية السمتية المحصورة بين محور مخروط الرؤية وحافته، و(D) البعد بين الراصد ومساحة الانبعاث (da) التي ترتبط بدورها بالزاوية السمتية $d\varphi$ بالعلاقة

$$da = r^2 d\varphi \quad (10)$$

حيث r البعد العمودي بين مركز النجم ومساحة الانبعاث. فإذا استعملنا [7]

$$b = r_e \sin\alpha f(r_e)^{-1/2} \quad (11)$$

فإن

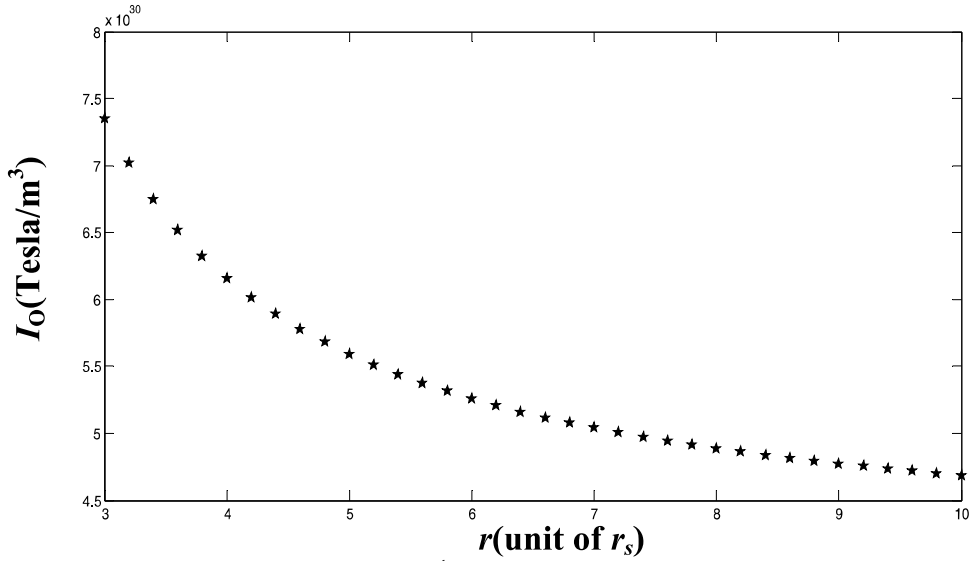
$$db = r_e \cos\alpha\ f(r_e)^{-1/2}\ d\alpha \quad (12)$$

حيث (α) زاوية الانبعاث، مع ملاحظة أن اتجاه الزاوية السمتية بالنسبة للراصد بعكس اتجاهها بالنسبة لمركز النجم، ومن ثم فإن الفيض المرصود بحسب المعادلة (8) سيكون

$$dF = -\pi \frac{I_o f(r_e)^{-1}}{2D^2} \sin 2\alpha\, d\alpha\, da \quad (13)$$

حيث استخدمنا هنا العلاقة

$$\sin 2\alpha = 2\cos\alpha \sin\alpha\ .$$



الشكل (1): تغير كثافة الفيض المرصود بتأثير المجال الجاذبي لمنطقة الانبعاث

ويتضح من العلاقة (13) تأثير كل من زاوية الانبعاث، وكثافة الفيض المرصود، وشدة المجال الجاذبي للنجم النيوتروني، فضلاً عن بعد النجم عن الراصد.

وللحصول على مقدار الفيض المرصود من كثافة الفيض المنبعث بزاوية محددة (α) من وحدة مساحة انبعاث ($da = 1$)، نكامل المعادلة (13) لنحصل على

$$F = \pi \frac{I_e}{4D^2} f(r_e)^{-5/2} \cos 2\alpha \qquad (14)$$

وهي معادلة توضح أن أكبر فيض مرصود يكون من كثافة الفيض المنبعث بزاوية صفر (باتجاه العمود على مساحة الانبعاث). ويقل الفيض المرصود بازدياد زاوية الانبعاث ليصل صفرًا عند ($\pi/4$)، ثم يرتد إلى الخلف مابين هذه الزاوية وزاوية الانبعاث ($\pi/2$). وهذا يعني احتمال أن يصل إلى الراصد فيض من جهة النجم غير المقابلة له، ليكون الفيض المرصود من كثافة الفيض المنبعث من وحدة مساحة سطحية تبعد r عن مركز النجم لزوايا انبعاث من -) ($\pi/2$) الى ($\pi/2$)

$$F = \pi \frac{I_e f(r_e)^{-5/2}}{2D^2} \left(2 \int_0^{\pi/2} \sin 2\alpha \, d\alpha \right) \qquad (15)$$

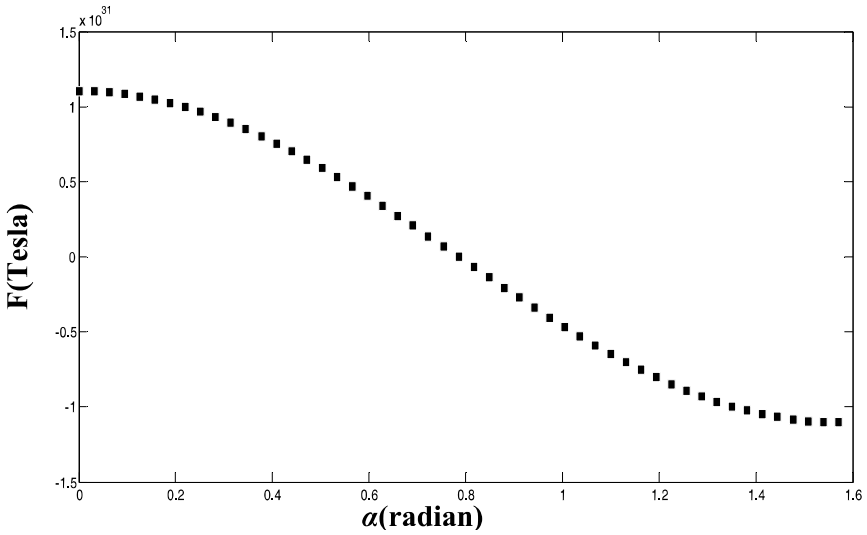
$$F = \pi \frac{I_e}{D^2} f(r_e)^{-5/2}$$

والعلاقة الأخيرة توضح تأثير شدة المجال الجاذبي في الفيض المرصود من النجم النيوتروني.

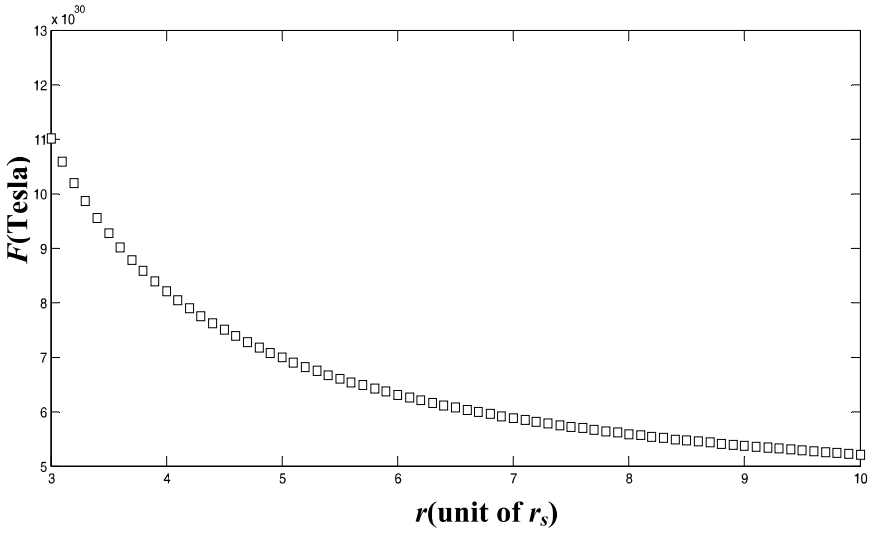
النتائج ومناقشتها

يتضح من المعادلة (7) أن العلاقة بين كثافة الفيض المرصود وكثافة الفيض المنبعث تتأثر بالمجال الجاذبي لمنطقتي الانبعاث والرصد. أما المعادلة (14) فهي تبين ما توصلنا إليه في عمل سابق [7]، وهو انعكاس مسار الأشعة المنبعثة بزوايا معينة بتأثير المجال الجاذبي لمنطقة الانبعاث، مع توضيح حدود الزوايا التي يحدث فيها ارتداد الأشعة، فضلاً عن زاوية الانبعاث التي لا يصل منها الفيض إلى الراصد كما هو واضح في الشكل (2). أما المعادلة (15) فتظهر أن تأثر الفيض المرصود بشدة المجال الجاذبي لمنطقة الانبعاث أشد من تأثر كثافة الفيض، وذلك -كما نرى- بسبب تأثير تحدب الفضاء في الزاوية الصلبة التي يحسب منها الفيض. كما تشير المعادلة إلى تأثر الفيض بالبعد بين الراصد ومصدر الإشعاع، وكذلك بشدة الفيض المنبعث. ولتوضيح هذه التأثيرات قمنا برسم العلاقة بين كل منهما والفيض المرصود. فأظهرت الرسوم البيانية تأثير كل واحد من هذه المتغيرات في الفيض المرصود. ويظهر الشكل (2) تأثير زاوية الانبعاث في الفيض المرصود، في حين يظهر الشكل (3) تأثير شدة المجال الجاذبي في الفيض المرصود من فيض منبعث بزاوية محددة. وقد عبرنا عن تغير شدة المجال بواسطة تغير نصف قطر سطح الانبعاث من النجم النيوتروني. ويظهر الشكل (4) تأثير شدة المجال الجاذبي لمنطقة الانبعاث في الفيض المرصود منها، لزاويا انبعاث مختلفة، لنستنتج أن

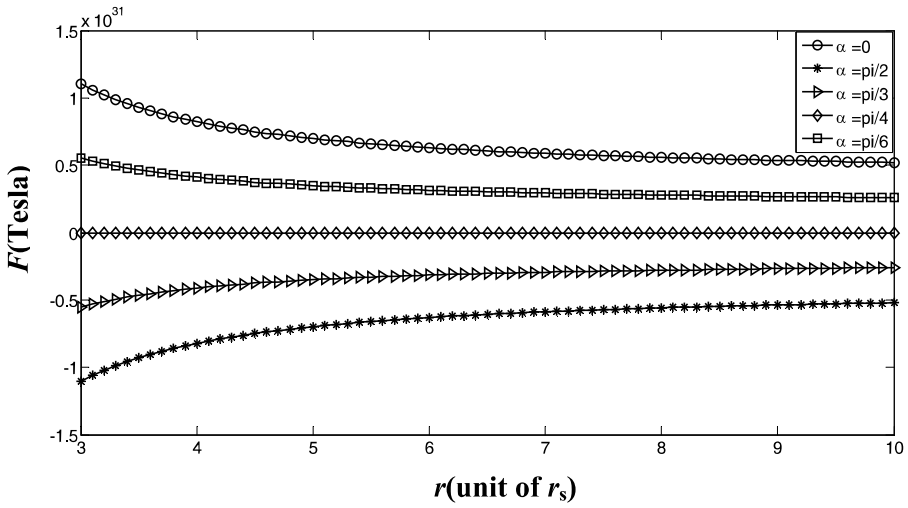
الفيض المرصود يتناقص بازدياد زاوية الانبعاث، وهذا يتسق وحقيقة أن الأشعة المنبعثة بزاوية صغيرة تعاني انحناءً أقل من تلك التي تنبعث بزوايا كبيرة، ومن ثم فإن الفيض المشتت يكون أقل عند الانحناءات الصغيرة. ويتضح أيضًا أن أكبر فيض يتم الحصول عليه عند أنصاف الأقطار الصغيرة؛ بمعنى عند المجالات الجاذبية الشديدة، وهو ما يمكن أن نستنتج منه أن المجال الجاذبي يقوم بتركيز (focusing) الأشعة المنبعثة من النجم، وأن هذه الظاهرة تحدث بشكل أكبر للأشعة المنبعثة بزاويا صغيرة.



الشكل (2): علاقة الفيض المرصود بزاوية الانبعاث عند $(\alpha=0\rightarrow\pi/2)$ و$(r=3r_s)$



الشكل (3): علاقة تغير الفيض مع المجال الجاذبي



الشكل (4): علاقة تأثير شدة المجال الجاذبي في الفيض المرصود لزاويا انبعاث مختلفة

المصادر والمراجع

[1] Bean, R., "Lectures on Cosmic Acceleration", Lectures from 2009. Theoretical Advanced Study Institute at Univ. of Colorado, Boulder (2010), [arXiv:1003.4468v2 astro-ph].

[2] Cadean, C., Leahy, D.A. and Morsink, S.M., ApJ, 618 (2005) 45.

[3] Poutanen, J. and Gierlinski, M., Mon. Not. Astron. Soc., 343 (2003) 1301.

[4] Viironen, K. and Poutanen, J., Astronomy & Astrophysics, 426 (2004) 985.

[5] Frolov, V.P. and Lee, H.K., "22nd Texas Symposium on Relativistic Astrophysics at Stanford University", (2004).

[6] Frolov, V.P., Kim, K. and Lee, H.K., Phys. Rev. D, 75 (2007) 8, id. 087501.

[7] Alobayde, M.A. and Khaleel, S.E., Jordan J. Phys., 2(2) (2009) 125.

[8] Weinberg, S., "Gravitation and Cosmology", (John Wiley and Sons, Inc., 1972).

[9] Misner, C.W., Thorne, K. and Wheeler, J.A., "Gravitation", (W.H. Freeman and Company, 1973) 588.