ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

التَّطوُّر الكونيّ والطَّاقة المظلمة.

أ.د. علاء الدين حسام الدين*

الطالب نور الدين نبهان**

*(كلية الهندسة، جامعة المنارة

(allaa.eddin@manara.edu.sy

**(قسم هندسة الميكاترونيكس، جامعة المنارة

(nouraldeennabhan@gmail.com

الملخص:

منذ بدء الحضارات أثارت بُحور الكون الواسعة اهتمام المُفكرين، فأصبحت النجوم آلهة أسلافنا ومنبع فضولنا، فمجال الفيزياء الكونية المعروف باسم (الكوزمولوجيا) يهدف إلى فهم الكون ككُل، بنجومه وكواكبه وتاريخه منذ كيفية نشأتهِ وحتى مستقبله وكيفية انتهائه والأسباب وراء ظواهرهِ العديدة، ولَعلَّ الطاقة المظلمة ودورها الغامض في تَوَسُّع الكون من أهم هذه الظواهر.

كلمات مفتاحية – الكوزمولوجيا، المادة المظلمة، الطاقة المظلمة، الانفجار الكبير، الكون.

I. مقدمة إلى مجال الفيزياء الكونية وبعض المفاهيم الهامة:

A- نموذج ΛCDM: هذا هو النموذج المُعتمد من قِبَل المُختصين لوصف الكون، وترمز حروف هذا النموذج إلى:

Λ- ترمز إلى الثابت الكوزمولوجي، وهو ثابت يسمح بالتعامل مع الطاقة المظلمة.

Cold Dark Matter: ترمز إلى المادة المظلمة الباردة.

B- الطاقة المظلمة: هي طاقة موجودة في الكون تتناسب طرداً مع زيادة حجم الكون وقد تم التفكير بوجودها بهدف تفسير تَوسُّع الكون.

C- المادة المظلمة: هي نوع من أنواع المادة لا تتفاعل مع الضوء وما زال تركيبها مجهول.

D- نسيج الزمكان: هو الفضاء ذو الأبعاد الأربعة، ثلاثة منها هي أبعاد المكان المعروفة والرابع هو الزمان وهو يمضي باتجاه واحد، إلى المستقبل، افترض وجوده آينشتاين في نظريته للنسبية العامة.

E- المادة الباريونية: هي المادة العادية المكونة من الباريونات (كالبروتونات والنيوترونات)

F- الانفجار العظيم: نظرية تنص على أن الكون قد نشأ من حالة بدائية و هي عبارة عن نقطة فيها كانت قيمة الكثافة لا متناهية تُسمَّى بالنقطة التفردية Singularity.

G- التَّمدُّد (التَّضخُّم) الكوني: إطار عمل ضمنه يتم فهم آلية توسُّع الكون و كيف أصبح على الحال التي نراه عليها اليوم.

H- معادلات حقول آينشتاين: هي معادلات تصف استجابة الزمكان لما يحدث لمحتوياته من طاقة و مادة.

I- معادلاتا فريدمان: معادلتان ناتجتان عن اختزال معادلات حقول آينشتاين.

J– **مفعول دوبلر (الانزياح الكوزمولوجي نحو الأحمر):** هو الظاهرة التي عبرها نرى لون الأجسام التي تبتعد عن المُراقب يميل نحو الأحمر، والأجسام المُقتَرِبة تظهر أقرب للون الأزرق.

تاريخ موجز لعلاقتنا مع الطاقة المظلمة:

دَخَلَت الطاقة المظلمة والمادة المظلمة إلى المفهوم العام كجزء من صورتنا عن الكون كما غيرها من الظواهر التي تثير الفضول حول طبيعتها المجهولة وأصبحت أحد أكثر العناصر استعمالاً في أعمال أدب الخيال العلمي.

أهم نموذج يستعمله علماء الكوزمولوجيا لوصف الكون يعتمد على هذين المفهومين وبداية رحلة هذين الاكتشافين هي عند الفلكي السويسري فريتز زويكي Fritz Zwicky الذي توقَّع في عام 1933 وجود المادة الداكنة وتم إثبات عمله من قبل فيرا روبن Vera Rubin لكن يُعَد اكتشاف المادة المظلمة من عمل سول بيرلماتر Saul Perlmutter وبراين شميت Brian Schmidt وآدم ريس Adam Riess الذين حصلوا على جائزة نوبل لعام 2011 "لاكتشاف التوسُّع المُتسارع للكون من خلال مراقبات سوبرنوفا بعيدة مما أعطى الكوزمولوجيا باب جديد لتفسير ظواهر عديدة.

II. أهداف البحث:

يهدف البحث إلى توضيح المفاهيم الأكثر أهمية في مجال الفيزياء الكونية (الكوزمولوجيا) وإعطاء صورة عن تاريخ الكون بالاستعانة بالمفاهيم الرياضيّة الأساسية وتفسيرها.

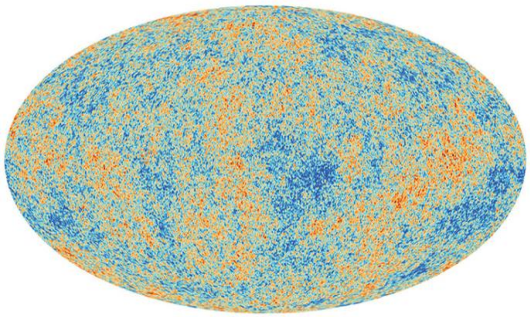
1. الانفجار العظيم :(The big bang)

بشكلٍ مُبَسَّط، الانفجار العظيم هو نموذج يُعتمَد في الفيزياء الكونية لتفسير تطور الكون.

بُنيَت نظرية الانفجار العظيم على قانون هابل–لوميتر الذي ينص على أن المجرات التي تكون أبعد عن المُراقِب تبتعد عنه أسرع، فَمع مرور الزمن يتوسع الكون ومع ذلك تبتعد المجرات عن بعضها (وبالتالي عن مجرتنا)، الانفجار العظيم أيضاً يعتمد على المبدأ الكوزمولوجي Cosmological principle، الذي ينص على أن الكون متماثل Homogeneous ومتجانس Isotropic على المقاييس الكبيرة، هذا المبدأ يعني أن الكون سوف يبدو على ذات الشكل من أي نقطة يُراقَب منها، ويجب الذكر أن هذا المبدأ يدعمه حقيقة أحد أهم النتائج التي تترتَّب عليه وهي أن العناصر الكيميائية الثقيلة لم يتم إنتاجها مع الانفجار الكبير بل هي تنشأ عبر التفاعلات النووية التي تحدث في النجوم.

تَوسُّع الكون لا يعني أن الكون يتوسَّع ليشغل "شيء" خارجه، بل هو صفة من طبيعة الكون أي أن الكون نفسه يتوسَّع لأنَّه لا يوجد شيء خارج الكون ولا يوجد شيء يحيط بهِ، فمحتويات الكون لا تتحرك بقدر ما أن نسيج زمكان الكون ذاته هو الذي يتوسع ساحباً معهُ محتويات الكون، ينص الانفجار العظيم على أن الكون عُمرهُ 13 مليار عام و أنَّهُ قد بدأ من التفردية Singularity وهي نقطة من نسيج الزمكان فيها تكون الكثافة لا نهائية القيمة و بالتالي الحقل الجاذبي يكون لا نهائي القيمة، و الذي يميز التفكير بالجاذبية على أنها حقل هو أنَّه في هذه النماذج تنتج الجاذبية عن تأثير (تشويه) كُتلة الأجسام لنسيج الزمكان، ما يُميِّز نسيج الزمكان عند التفرديّة هو انهيار (فشل) قوانين الفيزياء عند هذه النقطة وذلك بسبب وصول قِيَم جميع المقادير التي يُعتَمد عليها لمعرفة المواصفات عن التفردية إلى اللانهاية، وأهمها الكثافة فعند بدء الكون كانت الحرارة والضغط (وبالتالي الكثافة) شديدين لدرجة أن قوانين الفيزياء المعروفة لنا الآن لم تكن قابلة للتطبيق عليه و كانت القوى الأربعة المعروفة (الجاذبية، القوة النووية القوية، القوة النووية الضعيفة، القوة الكهرطيسية) موجودة على شكل قوة واحدة تُعرف بـ (القوة الخارقة)، وبدأ الكون يتوسَّع ويبرد وبعد ذلك بدأت القوى الأربع بالانفصال عن بعضها فأولاً انفصلت الجاذبية ثم القوى النووية القوية ثم الضعيفة وأخيراً القوة الكهرطيسية وبدأ وجود الإشعاع وتلاها المادة فتشكلت الجسيمات دون–الذرية وما يقابلها من جسيمات من المادة المضادة بكميات تقريباً متساوية، فخلال أول 20 دقيقة من عمر الكون كان الكون مليء بالتفاعلات النووية التي أنشَأت بعض العناصر الكيميائية الثقيلة وهذا ما يُعرَف بالتركيب النووي البدائي وبقي الكون عبارة عن بلازما شديدة الحرارة، والكثافة مليئة بالإلكترونات والبروتونات حتى أتت نقطة

تَحوَّل فيها الكون من البلازما إلى غاز عندما أصبح عمر الكون حول 400000 عام، وكان حجمهُ أصغر بحوالي 1000 مرة من حجمهِ الحالي، وكانت درجة حرارتهِ $3000^{o}K$، ففي هذه الظروف تَشَكَّلَت أول ذرات هيدروجين، وتكمن أهمية تَحَوُّل الكون من بلازما إلى غاز في سماح هذا التحول للضوء بالتحرر من البلازما، فما زال هذا الضوء موجود حتى هذا اليوم، لكنَّه تمدَّد لدرجة أنَّه أصبح أمواجاً مايكروية، وذلك بسبب انتقال هذا الضوء عبر كون يتوسَّع، وهذه الأمواج الميكروية تُشَكّل الخلفية المايكرو موجية الكونية، وهي أقرب ما لدينا عن صورة مُبكّرة للكون والتفسير الوحيد لوجود الخلفية المايكرو موجية الكونية هو أن الكون كان أصغر بكثير، وأكثر كثافة، وانضغاط، وحرارة.



الشكل (1): الخلفية المايكرو موجية الكونية.

2. الطاقة المظلمة و دورها في الكون:

عندما يستعمل الفيزيائيون والفلكيون مصطلح (مظلم) ذلك يعني أن الأمر الذي قد وصفوه بهذه الصفة لا يتفاعل مع الحقل الكهرطيسي، أي أنَّه لا يتفاعل مع الأمواج الكهرطيسية (الضوء، إلخ...) مما يجعله غير مرأي، فهنا كلمة (مظلم) هي اصطلاح.

الطاقة المظلمة هي نوع من الطاقة التي تؤدي إلى تَوَسُّع الكون ولا تتفاعل مع الأمواج الكهرطيسية وهذا هو السبب خلف الغموض الذي يأتي مع هذه الطاقة، تُشَكّل الطاقة المظلمة 68% من الكون، وتتوزع عبر خلاء الكون بشكل منتظم، يجب أن يكون لها ضغط سالب لأن هذا هو أهم شرط لكي تسبب توسع الكون.

من الفهم الرياضي الذي قد توصلنا لهُ فهي طاقة تواجدها طردي مع خلاء الكون وذلك أحد أهم الدوافع وراء الترابط بين توسع الكون و تسبيب الطاقة المظلمة لهُ، ما يثير الغموض أكثر هو أن الطاقة المظلمة تتفاعل فقط مع قوة واحدة من القوى الأربعة الأساسية وهي الجاذبية، مع مرور الزمن وتوسع الكون سوف تتناقص كثافة المادة وكثافة الإشعاع (الكهرطيسي) مما سيسمح للطاقة المظلمة بأن تُهيمن على الكون في المستقبل.

3. المادة المظلمة و دورها في الكون:

بدأ فَرض وجود المادة المظلمة لتفسير صحة النظريات المُعتَمَدة لوصف الجاذبية فكان لا بُدَّ من وجود نوع من المادة في الكون ليكون المسؤول عن الحاجة لكتلة مادية ضمن الكون تسمح بصحة النظرة الرياضية عن الجاذبية.

تُشَكّل المادة المظلمة 27% من الكون وتُصَنَّف إلى ثلاثة احتمالات، حسب سرعة الجسيمات التي تُشكّلها، لا يمكن أن تكون إلا إحداها هي النوع الصحيح لوصف المادة المظلمة: "حارة"، "دافئة"، أو " باردة" و لكن الأكثر اعتماداً وقبولاً هي المادة الداكنة الباردة.

يأتي الدعم القوي لوجود المادة المظلمة بسبب أهمية دورها في تفسير محافظة المجرات على هيكلها وعلى عدم تطايرها وتبلورت ضرورة المادة المظلمة على المستوى المجري بعد عدم اتفاق النتائج الرياضية لتطبيق قوانين كبلر الدورانية على المجرات الدورانية مع المراقبات لحركتها، فكان لا بُد من وجود كمية من مادة كُتَلِيّة على أطراف هذه المجرات لتفسير عدم الاتفاق هذا وأيضاً تلعب المادة المظلمة دوراً هاماً في تفسير الأنماط الملحوظة لتوزُّع المادة بعد حدوث تصادمات مجريّة، وتلعب المادة المظلمة دوراً أساسياً في تشكُّل الهياكل في الكون فبعد الانفجار الكبير المادة المظلمة قد أسهمت في إعطاء الملامح الأولى للكون عبر تأثير الجاذبية فيها بينما تفاعلت المادة العادية مع الحقل الكهرطيسي فتأيّنت.

4. نموذج(ΛCDM (Lambda Cold Dark Matter والطاقة المظلمة:

لِفهم النموذج المُعتمد لوصف الكون يجب فهم المبدأ الكوزمولوجي الذي ينص على أن الكون متماثل ومتجانس على المقاييس الكبيرة وهذا يسمح لنموذج ΛCDM بأن يكون صحيح، هذا النموذج يتمتع

بالشهرة لأنَّه يَصف الكون بمادته الباريونية (أي المادة العادية) من الانفجار العظيم ويعتمد على نظرية التضخم للكون بعد الانفجار العظيم وأيضاً يعتمد على معادلات فريدمان.

اسم هذا النموذج هو نموذج Λ والمادة الداكنة الباردة حيث Λ هي الثابت الكوزمولوجي ويُمَثِّل الطاقة الداكنة والمادة الداكنة الباردة صفاتها كالتالي:

1- غير باريونية.

2- سرعة جسيماتها أقل بكثير من سرعة الضوء.

3- لا يمكن أن تَبْرُد عند إطلاقها للفوتونات.

4- تتفاعل مع الجسيمات الأُخرى ومع ذاتها عبر الجاذبية فقط (قد تتفاعل معها عبر القوة النووية الضعيفة أيضاً)

a. في كون عديم الطاقة المظلمة.

معادلات حقول آينشتاين تصف استجابات الزمكان لمحتوياته وتحركاتها وتكتب بالشكل:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\cdot\pi\cdot G}{C^4}\cdot T_{\mu\nu}$$

حيث:

$G_{\mu\nu}$ يمثل تنسور آينشتاين الذي يصف إنحناء الزمكان .

$T_{\mu\nu}$ يمثل تنسور التَّوتُّر–طاقة الذي يصف محتويات الزمكان كالضغط والطاقة وكمية الحركة إلخ.

يمكن إختزال معادلات حقول آينشتاين ليصبحوا معادلتين يسميا بمعادلتي فريدمان، الأولى:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 - \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho = -\frac{kc^2}{a^2}$$

حيث:

a تمثل عامل المقياس الذي يصف المسافة الوسطية بين المجرات، لكن يمكن التعامل معه على أنَّه حجم الكون.

$\dot{a}=da/dt$ تمثّل تسارع توسُّع الكون.

معادلة فريدمان الأولى هي معادلة طاقة وذلك لأن الطرف الأيسر منها يُظهِر توازناً بين الطاقة الحركية والطاقة الجاذبة الكامنة كذلك التوازن الذي يمكن أن نُلاحظه في نظام نيوتوني يَصف سقوط شيء ما، وذلك حيث تُمثِّل $(\dot{a}/a)^2$ الطاقة الحركية لتوسُّع الكون و $\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$ تمثّل الطاقة الجاذبة الكامنة وبالتحديد

ρ تُمثل مُقاومة المادة والطاقة الموجودان في الكون لطاقة التوسُّع الحركية.

نميز ثلاثة حالات:

الحالة الأولى:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 - \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho = 0 \Rightarrow \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$$

في هذه الحالة تكون طاقة التوسع الحركية تساوي الطاقة الجاذبة الكامنة للانهيار وحسب هذه الحالة الكون سيتوسع حتى يصبح حجمه كبير جداً ثم سيتوقف التوسع، وذلك إذا كان التوسع يساوي سرعة الهروب للكون وهي السرعة التي يجب على المجرات أن تتحرك بها لكي تهرب من تأثيرها الجاذبي على بعضها البعض.

الحالة الثانية:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 - \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho > 0 \Rightarrow \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 > \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$$

في هذه الحالة تكون طاقة التوسع الحركية أكبر من الطاقة الجاذبة الكامنة للانهيار وحسب هذه الحالة سوف يتبقى طاقة توسع حركية بعد (انحلال) الجاذبية أي أن الكون سوف يتوسع للأبد دون توقف.

الحالة الثالثة:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2-\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho<0\Rightarrow\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2<\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$$

في هذه الحالة تكون طاقة التوسع الحركية أصغر من الطاقة الجاذبة الكامنة للانهيار وحسب هذه الحالة لم يكن هنالك أبداً طاقة توسع حركية كافية لجعل الكون يتوسع لحجم كبير وسوف ينهار الكون على نفسه تحت تأثير الطاقة الجاذبة الكامنة للانهيار و عرَف هذا السيناريو بالانهيار الثقالي.

حسب المراقبات قيمة ρ غير كافية لمقاومة طاقة التوسع الحركية مما يتفق مع الحالة الثانية.

الطرف الأيمن من معادلة فريدمان الأولى kc^2/a^2 يَصِف الانحناء المكاني للكون، وهذا يكمن في أن k تُمثل الامتداد المكاني للكون (أي هل الكون مُنتَهٍ أم لانهائي) يمكن ل k أن تأخذ ثلاثة قيم:

$k=1,\ k=0,\ k=-1$

في حال $k=1$:

هذا يعني أن للكون انحناء موجب أي أن الكون سوف يكون شكله كروي مما يعني أن هندسة الكون ستكون مُغلقة:

$$\Rightarrow\theta_1+\theta_2+\theta_3=180^o$$

1. محيطات الدوائر $<2\pi r$

2. مساحات الدوائر $<\pi r^2$

أي أن الامتداد المكاني مُنتَهٍ مما يتفق مع الشرط:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2<\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$$

الشكل (2): شكل الكون و المثلثات فيه في حال $k=1$

في حال $k=-1$:

هذا يعني أن للكون انحناء سالب أي أن الكون سوف يكون شكله مُستَوي مُغَرَّق مما يعني أن هندسة الكون ستكون مفتوحة:

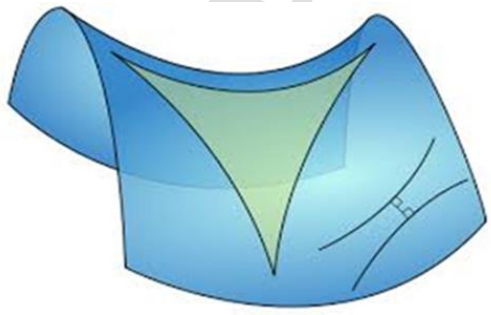
$$\Rightarrow\theta_1+\theta_2+\theta_3<180^o$$

1. محيطات الدوائر $<2\pi r$

2. مساحات الدوائر $<\pi r^2$

أي أن الامتداد المكاني لا نهائي مما يتفق مع الشرط:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2>\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$$



الشكل (3): شكل الكون و المثلثات فيه في حال $k=-1$

في حال $k=0$:

هذا يعني أن الكون عديم الانحناء للكون أي أن الكون سوف يكون شكله مُسطَّح:

$$\Rightarrow \theta_1+\theta_2+\theta_3=180^o$$

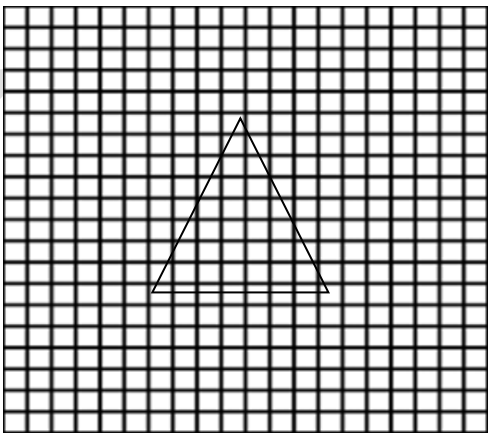
1. محيطات الدوائر $2\pi r$

2. مساحات الدوائر πr^2

أي أن الامتداد المكاني لانهائي

مما يتفق مع الشرط:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2=\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$$



الشكل (4): شكل الكون و المثلثات فيه في حال $k=0$

حسب المراقبات للخلفية المايكرو موجية الكونية و حرارتها 2.7^oK (و هي أقدم إشعاع كهرطيسي من بداية الكون يمكننا رصده) أطول المثلثات لديها زوايا مجموعها 180^o مما يعني أن الجانب الأيمن لمعادلة فريدمان الأولى يجب أن يساوي الصفر لكن ذلك لا يتفق مع القيمة الموجبة للطرف الأيسر لذات المعادلة، وهنا نستطيع إدخال الطاقة الداكنة:

b. في كون ذا طاقة مظلمة:

يمكن إصلاح عدم تساوي قيمتا طرفي معادلة فريدمان الأولى وذلك عبر إضافة مصطلح يدعى بالثابت الكوزمولوجي Λ إلى معادلات حقول آينشتاين، فتُكتَب بالشكل:

$$G_{\mu\nu}+\Lambda g_{\mu\nu}=\frac{8\cdot\pi\cdot G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

ذلك يجعل معادلة فريدمان تُكتب على الشكل:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2-\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho-\frac{\Lambda c^2}{3}=-\frac{kc^2}{a^2}$$

بفرض أن الثابت الكوزمولوجي موجب يصبح الجانب الأيسر لمعادلة فريدمان الأولى يساوي الصفر:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2-\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho-\frac{\Lambda c^2}{3}=0$$

مما يعني أن المكان مُسطَّح وذلك يجعل الثابت الكوزمولوجي يُمثِّل الطاقة المظلمة ويمكن التعامل معها على أنها طاقة يمتلكها الخلاء.

عندما يتوسع الكون ويصبح كبير جداً سوف تنخفض قيمة كثافة محتوياته حتى تصبح أقل من قيمة كثافة الطاقة المظلمة وعندها سوف تصبح الطاقة المظلمة مسؤولة عن توسع الكون وهذا حال الكون في عصرن الحالي.

لوضع إجابة حاسمة للتساؤلات حول مصير الكون يجب فهم كثافة الكون و معرفتها، لأنه عندما نعلم تاريخ كثافة الكون سنستطيع معرفة تاريخ تسارع توسع الكون ماضياً و مستقبلاً،

فعندما يمتد المكان يقوم بمدّ الضوء الذي يعبره و ذلك يُفسّر ظاهرة الانزياح الكوزمولوجي نحو الأحمر التي نلاحظها عندما نراقب المجرات التي تبتعد عنا.

5.الانزياح الكوزمولوجي نحو الأحمر و مُستقبَل الكون:

الانزياح الكوزمولوجي نحو الأحمر مهم جداً لفهم توسع الكون، فهو يعني أنه كلما كانت مجرة ما تبعد مسافة أكبر عنا كلما امتد الضوء الوارد لنا منها وازداد طول موجته وانخفض تواتره ونقصت طاقته أي أن ذلك الضوء أصبح أقرب إلى الأحمر و هذا ما يُعرف بمفعول دوبلر، والانزياح الكوزمولوجي نحو الأحمر هو نتيجة لتوسع الكون فكلما ابتعدت مجرة ما عنا ازداد المقدار الذي توسع الكون به خلال الزمن الذي استغرقه الضوء الوارد من تلك المجرة ليصل إلينا وذلك بدوره يعني أن الضوء سوف يكون ازداد انزياحاً نحو الأحمر في ذات الوقت الذي استغره للوصول إلينا، فلو لم يكن الكون يتوسع كان بقي الضوء بذات اللون خلال رحلته من مصدره حتى رصدنا له، وهذا أسهم بشكل كبير في معرفتنا بأن توسع الكون هو ذاته يتسارع، فحسب المراقبات الضوء من المصدر ذاته يزداد انزياحه نحو الأحمر في كل مرة نرصده.

و يُعطى الانزياح الكوزمولوجي نحو الأحمر في كون مُتوسع يتفق مع نظرية الانفجار الكبير بالعلاقة:

$$1+z=\frac{a_d}{a_s}$$

حيث:

a_d هو عامل المقياس عند رصد الضوء.

a_s هو عامل المقياس عند انطلاق الضوء من المصدر.

$z<0$ يعني أن الانزياح يكون نحو الأزرق أي أن مصدر الضوء يقترب وينقص طول موجته وتواتره وتزداد طاقته.

$z>0$ يعني أن الانزياح يكون نحو الأحمر أي أن مصدر الضوء يقترب ويزداد طول موجته وتواتره ونقص طاقته.

إذا علمنا الزمن الذي يستغرقه فوتون مُعيَّن من مصدر انطلاقه حتى رصدنا له ذلك سيسمح لنا بقياس الانزياح نحو الأحمر وبالتالي سنصبح قادرين على معرفة كم توسع الكون في ذلك الزمن، ولمعرفة ذلك الزمن يمكننا الاعتماد على علاقة بسيطة:

$$t=\frac{d}{c}$$

حيث:

t الزمن الذي استغرقه الفوتون للوصول من مصدره حتى مراقبتنا له.

d المسافة التي عبرها الفوتون من مصدره حتى مراقبتنا له.

c سرعة الضوء.

يجب تمييز أمرين هامين و هما:

1: الانزياح نحو الأحمر هو كم توسَّع الكون خلال الزمن الذي استغرقه الفوتون ليصل من مصدره حتى رصدنا له.

2: المسافة هي المقدار المكاني الذي عبره الفوتون من مصدره حتى رصدنا له.

يمكن توضيح العلاقة بين عامل المقياس والانزياح نحو الأحمر عبر تجربة تعتمد على "الشمعات الثابتة"، الشمعة الثابتة هي جسم تسمح لنا معرفتنا بلمعانيّته بمعرفة بُعده عنا وذلك عبر مقارنة اللمعانيّة المعروفة للجسم بإنارة الجسم التي نرصدها ثم حساب المسافة من قانون المربع العكسي:

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{{d_2}^2}{{d_1}^2}$$

حيث: I_1 هي شدة الضوء من المسافة الأولى.

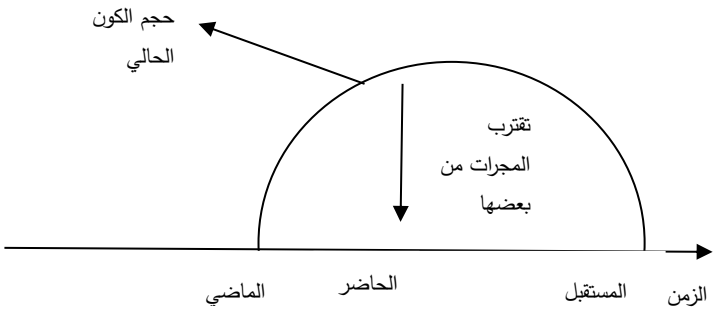
I_2 هي شدة الضوء من المسافة الثانية.

d_1 المسافة الأولى من المنبع الضوئي.

d_2 المسافة الثانية من المنبع الضوئي.

من أهم الشمعات الثابتة السوبرنوفا من النوع 1A فعندما يتحول نجم عالي الكتلة (يجب أن تكون كتلته تفوق حد تشاندراسيكار The Chandrasekhar limit و هي $144M_\odot$ حيث $M_\odot$ تُمثِّل كتلة الشمس) إلى قزم أبيض White Dwarf بعد أن تنفذ طاقة النجم الناتجة عن التفاعلات النووية في نواتهِ يبدأ القزم الأبيض في نظام نجمي ثنائي Binary star system بامتصاص الطاقة للنجم المجاور لهُ حتى ينفجر القزم الأبيض مُتحوّلاً إلى سوبرنوفا، حصل تشاندراسيكار على جائزة النوبل لعام 1983 لاكتشافه حد تشاندراسيكار.

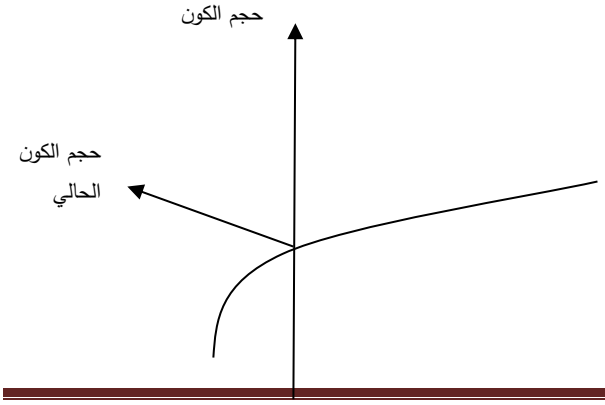
عند مراقبة الشمعات الثابتة التي تبتعد عنا نقوم بحساب انزياحها نحو الأحمر ومن قانون المربع العكسي نكون على علم بمسافتها، فإذا كانت قيمة الانزياح نحو الأحمر كبيرة فذلك يعني أن الكون قد توسع جداً خلال الزمن الذي استغرقه الضوء ليصل من الشمعة الثابتة حتى رصدنا له و الخط البياني الآتي يمثل ذلك:

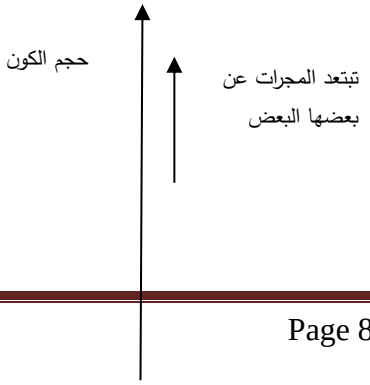


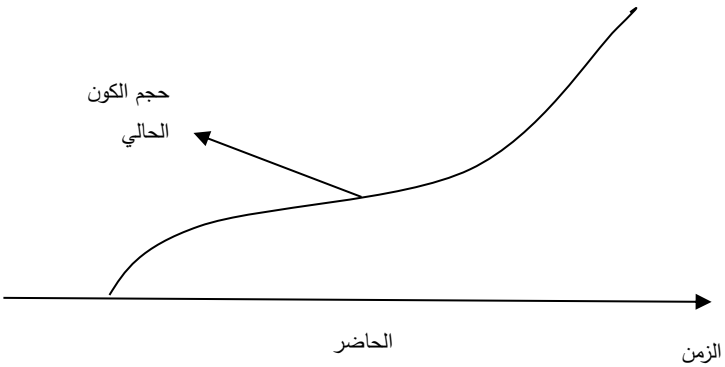
وهذا في حالة كون عالي الكثافة وذلك لأن التفسير لقيمة انزياح نحو الأحمر كبيرة هو أنه في الماضي كان الكون يتوسَّع أسرع من سرعة توسُّعه الحالي أي أنه لا بُد من وجود أمر ما أبطئ ذلك التسارع في التوسع، ومن معادلة فريدمان الأولى نستنتج أن ذلك التباطؤ في تسارع التوسع سببه كثافة عالية لمُحتويات الكون من مادة وطاقة يتمثلان على شكل طاقة جاذبة كامنة للانهيار وبسبب المقدار الكبير لهذه الطاقة سوف ينهار الكون وسيتحقق سيناريو الانهيار الثقالي وذلك حسب الحالة الثالثة لطرف الأيسر لمعادلة فريدمان الأولى:

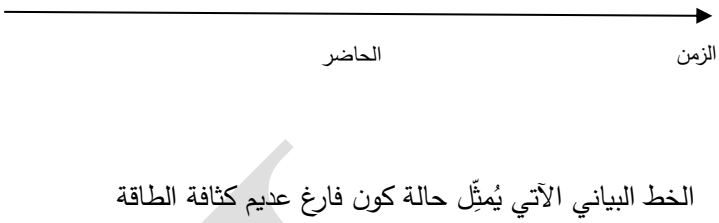
$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 - \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho < 0 \Rightarrow \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 < \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho$$

إذا كانت قيمة الانزياح نحو الأحمر أقل من قيمتها في الحالة السابقة ذلك يعني أن الكون قد توسع بمقدار أقل من الحالة السابقة في الزمن الذي استغرقه الفوتون ليصل من مصدره حتى رصدنا له، وذلك يعني أن كثافة المادة والطاقة في الكون التي قاومت توسع الكون هي أقل من الحالة السابقة، ويمكن تمثيل ذلك بيانياً:

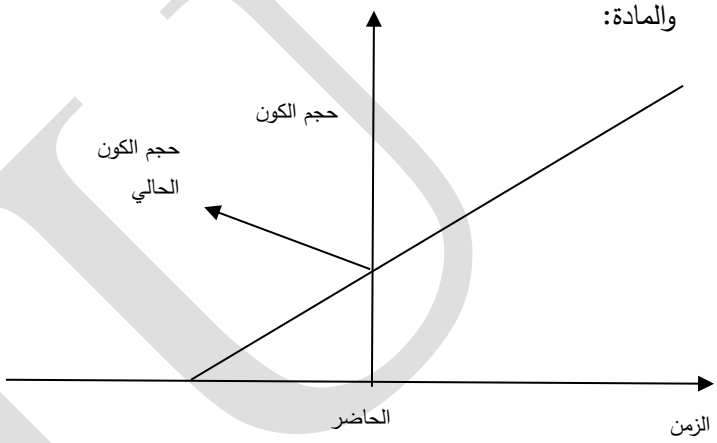








الخط البياني الآتي يُمثِّل حالة كون فارغ عديم كثافة الطاقة والمادة:



في عام 1998 أعلن سول بيرلماتر وبراين شميت وآدم ريس أن الكون قد كان يتوسع بشكل أبطأ في الماضي من الآن واكتشفوا ذلك عبر مراقبتهم لشمعات ثابتة فرأوا أن الشمعات الثابتة كانت خافتة وكان الانزياح نحو الأحمر قليل جداً حسب مراقباتهم لدرجة أنَّه كان أقل من الانزياح نحو الأحمر المُتوقَّع لكون فارغ تنعدم فيه كثافة المادة والطاقة ويمثل الخط البياني الآتي مراقبات ريس وشميت وبيرلماتر:

التفسير للتزايد في قيمة حجم الكون هو أن توسُّع الكون في حالة تسارع خلال وصول الضوء من مصدره حتى رصدنا له، ومن هذا الاكتشاف تأتي فكرة معاملة الطاقة المظلمة على أنها طاقة الخلاء وسوف تزداد الطاقة المظلمة بازدياد توسُّع الكون أي بازدياد الخلاء المكاني في الكون، يمكن تفسير تسريع الطاقة الداكنة لتوسُّع الكون عبر تخيُّل كون حجمه كبير جداً بسبب التَّوسُّع فتنعدم فيه كثافة المادة والطاقة وعلماً بأن الكون مسطح مكانياً تصبح معادلة فريدمان تُكتَب على الشكل الآتي:

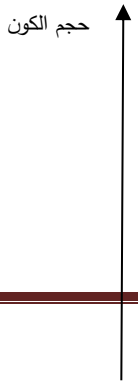
$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 - \frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho - \frac{\Lambda c^2}{3} = -\frac{kc^2}{a^2}$$

$$:\frac{8\cdot\pi\cdot G}{3}\rho = 0, \frac{kc^2}{a^2} = 0 \Rightarrow \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{\Lambda c^2}{3}$$

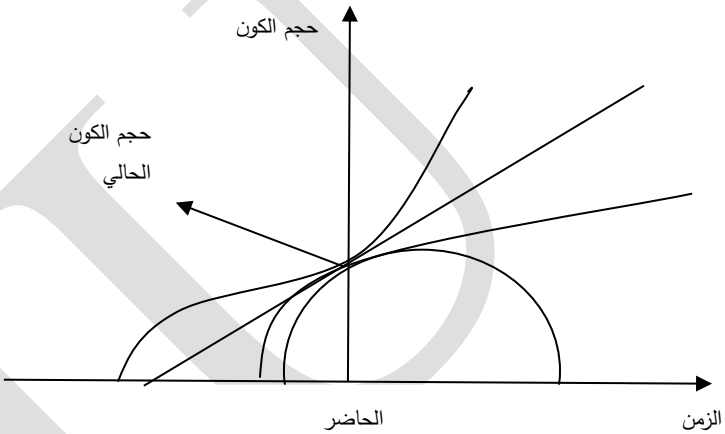
هذا يعني أن المقدار $\dot{a}/a$ سوف يصبح ثابت و ذلك بسبب تعلقه بالثابت الكوزمولوجي و يمكن كتابة المقدار $\dot{a}/a$ على الشكل H و يُعرَف باسم (حَد هابل) و هو المُعَدَّل الذي خلاله سيتضاعف حجم الكون $H^2 = \frac{\Lambda c^2}{3}$

6.مشكلة الصُّدفة الكوزمولوجية:

مشكلة الصدفة الكوزمولجية هي المشكلة الناتجة عن كون كثافة المادة والطاقة والطاقة المظلمة هي من ذات الرتبة من حيث كميتها وتنبع هذه المشكلة من كون كثافة الطاقة المظلمة ثابتة مع تَغيُّر حجم الكون فتتضاعف الطاقة الداكنة بتضاعف حجم الكون وهكذا... وأيضاً تنبع المشكلة من مراقباتنا للكون، فالطاقة



المظلمة لم تُؤَثِّر في الكون للفترة الزمنية التي خلالها تضاعف الكون تقريباً 100 مرة وبسبب توسُّع الكون لن تُؤَثِّر المادة والطاقة على الكون في التضاعفات المستقبلية فالمشكلة تكمن تحديداً في أن الطاقة المظلمة والمادة والطاقة لهما تأثير على الكون في عصرنا:



معادلة فريدمان الثانية تصف القِوى وتأثيرها على توَسُّع الكون وهي:

$$\frac{\ddot{a}}{a}=-\frac{4\cdot\pi\cdot G}{3}\left(\rho+\frac{3p}{c^2}\right)$$

حيث:

a تمثل عامل المقياس

p تمثل الضغط الناتج عن محتويات الكون من إشعاع وطاقة وكتلة

ويُعطى ضغط الطاقة الداكنة بالعلاقة:

$$p_\Lambda=-\rho_\Lambda c^2$$ حيث:

p_Λ ضغط الطاقة الداكنة.

ρ_Λ كثافة المادة الداكنة.

تعني معادلة فريدمان الثانية أنَّه في حالة أن الكون يتوسَّع ذلك سيعني أن التسارع سيكون موجب وفي حال كان الكون ينهار فسيكون التسارع سالب.

ولجعل التسارع موجب نضيف الثابت الكوزمولوجي فتصبح معادلة فريدمان الثانية على الشكل:

$$\frac{\ddot{a}}{a}=-\frac{4\cdot\pi\cdot G}{3}\left(\rho+\frac{3p}{c^2}\right)+\frac{\Lambda c^2}{3}$$

و في الحالة التي اعتمدناها في مستقبل الكون سوف تصبح قيمة ضغط و كثافة المادة و الطاقة مُهملة فيمكن التعامل مع ضغط الطاقة المظلمة p_Λ و كثافة الطاقة المظلمة ρ_Λ :

$$\frac{\ddot{a}}{a}=-\frac{4\cdot\pi\cdot G}{3}\left(\left(\rho+\rho_\Lambda\right)+\frac{3\left(p+p_\Lambda\right)}{c^2}\right)$$

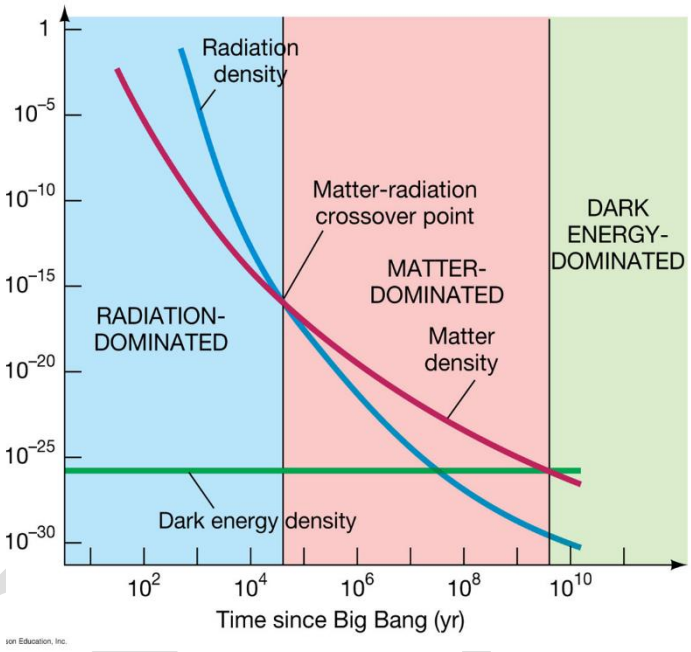
$$\Rightarrow\frac{\ddot{a}}{a}=-\frac{4\cdot\pi\cdot G}{3}\left(\rho_\Lambda+\frac{3p_\Lambda}{c^2}\right)$$

حيث:

$\rho_\Lambda>0$ وذلك بسبب دورها في جعل الكون مُسطَّح ولكن ما يجعل التسارع موجب هو أن: $p_\Lambda<0$

وذلك يعني أن ضغط الطاقة المظلمة يؤدي إلى الانهيار لكن بسبب الإشارة السالبة يصبح تسارع توسع الكون موجبة ذلك يعني أنَّه للطاقة المظلمة تأثير جاذبي سالب.

المخطط البياني الآتي يُمثِّل فترات محددة من عمر الكون وما كان مسيطر في الكون أي ما كان يُشكِّل النسبة الأكبر من الكون:



7. حد الكثافة الكوني و الكثافة الأساسية للكون:

الكثافة الأساسية ρ_c هي الكثافة التي عندها يتوقَّف توسُّع الكون بعد زمن لا نهائي، تكمن أهمية الكثافة الأساسية في مساهمتها في حساب حد الكثافة الكوني و ذلك عبر العلاقة:

$$\Omega_0 = \frac{\rho'}{\rho_c}$$

حيث:

ρ' هي الكثافة الكلية للطاقة والمادة في الكون وذلك يشمل الطاقة المظلمة و المادة المظلمة.

Ω_0 هو حد الكثافة الكوني في الزمن الذي نشغله الآن من عمر الكون.

ونميز ثلاثة حالات:

الحالة الأولى:

الكون شكله مُستَوي مُغرَّق (هذا يتناسب مع $k=-1$)

$$\Omega_0 < 1 \Rightarrow \rho' < \rho_c$$

الحالة الثانية:

الكون شكله مُسطَّح (هذا يتناسب مع $k=0$)

$$\Omega_0 = 1 \Rightarrow \rho' = \rho_c$$

الحالة الثالثة:

الكون شكله كروي (هذا يتناسب مع $k=1$)

$$\Omega_0 > 1 \Rightarrow \rho' > \rho_c$$

يمكن حساب حد الكثافة الكوني عبر العلاقة الآتية:

$$\Omega_0 = \Omega_\Lambda + \Omega_D + \Omega_B$$

حيث:

Ω_B حد الكثافة للمادة الباريونية وهي المادة العادية.

Ω_D حد الكثافة للمادة الداكنة.

Ω_Λ حد الكثافة للطاقة الداكنة.

علماً بأن الكون يتشكل من تقريبا 68% من الطاقة المظلمة وتقريباً 27% من المادة المظلمة وتقريباً 5% من المادة الباريونية نستنتج أن:

$$\Omega_\Lambda > \Omega_D > \Omega_B$$

وحسب المراقبات لقد تم اكتشاف أن:

$$\Omega_\Lambda = 0.73, \Omega_D = 0 = 23, \Omega_B = 0.04$$

وبجمع هذه القيم:

$$\Omega_0 = \Omega_\Lambda + \Omega_D + \Omega_B$$
$$\Rightarrow \Omega_0 = 0.73 + 0.023 + 0.04$$
$$\Rightarrow \Omega_0 = 1$$

وهذا يعني الكون مُسطَّح ومن هنا تنتج مشكلة التَّسطُّح.

8. مُشكلة التَّسطُّح:

تنتج هذا المشكلة من تساوي قيمة كثافة الكون من مادة باريونية و مادة مظلمة و طاقة مظلمة مع قيمة الكثافة الأساسية للكون، أي مُشكلة التَّسطُّح ناتجة عن كون قيمة حد الكثافة الكوني يساوي الواحد: $\Omega_0 = 1$

يمكن حساب الكثافة الأساسية للكون عبر العلاقة التي تصل بينها وبين حد هابل:

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\,\pi\,G}$$

وتنتج القيمة للكثافة الأساسية:

$\rho_c \approx 1.06\times10^{-29}\, g/cm^3$ وهذا يُعادل تقريباً ثلاثة ذرات هيدروجين في المتر المكعب الواحد.

المراجع:

[1]. B. Basu, T. Chattopadhyay, and S. N. Biswas, An Introduction To Astrophysics 2nd ed., New Delhi, India: PHI Learning, 2010.

[2]. I. Waga, *Dark Energy And The Accelerated Expansion Of The Universe.* Braz. J. Phys. vol.30 no.2 São Paulo June 2000.

[3]. Http://www.astronomy.swin.edu.au, *Flatness Problem.*

[4]. Http://www.math.ucr.edu, *The Big Bang.*

[5]. Http://www.uwaterloo.ca, *Big-Bang Origin Of The Universe.*

[6]. Http://www.phys.org, Cosmic Coincidence.

[7]. Http://www.astronomy.swin.edu.au, Critical Density.

[8]. Y. Ascasibar, G. Yepes. S.Gottölber, V. Müller, On The Physical Origin Of Dark Matter Density Profiles. R. Astron. Soc. 352, 1109–1120 (2004)

[9]. Http://www.ned.ipac.caltech.edu Redshift.

[10]. J. N. Islam, An Introduction To Mathematical Cosmology 2nd ed, Chittagong, Bangladesh: Cambridge University Press, 2001.

[11]. N. A. Nabhan, Investigations on the cosmological implications of describing the inverse proportionality between the increasing size and entropy of the universe and its decreasing baryonic matter density and radiation energy density in one equation. MEARIM V virtual meeting.

منشورات المؤلف (د. علاء الدين حسام الدين):

[1]. Housam Aldin, A. (1996). Technical valuation for modernization relay protection autotransformers by using numerical experiment.

[2]. Novash, V. E. & Housam Aldin, A. (1995). Analysis the Magnetizing Currents in the Autotransformers in short circuit conditions and after its reparation. *Energia magazine*. The news of scientific Establishments, No (1-2) , pp. 9-13.

[3]. Chaaban, F., Housam Aldin, A. (2002). Mathematic Method To Improve The Parameters Of Electric Power Transmission Lines. *Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series*, Vol (24) No (12).

[4]. Housam Aldin, A., & Chaaban, F. (2003). Using Computer in calculation and analysis the simple relation functions which are used as an input signal to the relay protection elements. *Bassel al-Assad Journal For Engineering Sciences*, No (17).

[5]. Huosam Aldin, A., & Chaaban, F. (2006). Studying the effect of the magnetic saturation and residual magnetism on the performance of the current transformers which are used in differential protection circuits, using mathematical modelling. *Bassel al-Assad Journal For Engineering Sciences*, No (22).

[6]. Huosam Aldin, A., & Zhirh, M. (2007). Determination of the economical section of ground cables through the thermal resistivity surrounding cable. *Bassel al-Assad Journal For Engineering Sciences*, No (23).

[7]. Huosam Aldin, A., & Zhirh, M. (2007). The effect of the metal sheath grounding method for medium and high voltage cables on network losses. *Bassel Al-Assad Journal of Engineering Sciences*, Issue (24).

[8]. Huosam Aldin, A., & Abd El-hamid, M., Komaira, E. (2007). A Comparative Study of the Effect of Different Signals of the Power System Stabilizer on the Stability of Electric Power Systems. *Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series*, Vol (29) No (2).

[9]. Huosam Aldin, A. (2009). Calculation of Wave Impedance in Electric Power Transmission Lines with Beam Carriers. *Basil Al-Assad Journal of Engineering Sciences*, Issue 25.

[10]. Huosam Aldin, A., & Bahloul, M. (2012). Short Term Load Forecasting for Lattakia City Using Artificial Neural Networks (ANNs). *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, Vol (33) No (4).

[11]. Zhirah, M., & Huosam Aldin, A. (2012). Testing Voltage Arrestors used in Medium Voltage Networks. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, Vol (34) No (8).

[12]. Hasan, I., Huosam Aldin, A., & Zaity, H. (2017). Thermal Analysis Of Induction Motor Using The Combined Parametric Model. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, Vol (39) No (6).
[13]. Huosam Aldin, A., Makdese, K., & Salman, E. (2018). Using artificial neural networks for short term electrical load forecasting in Tartous province. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, Vol (40) No (4).
[14]. Zhirh, M., Huosam Aldin, A. (2020). A Study the Effect of Earthquakes on Outdoor Power Substations. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, Vol (42) No (5).
[15]. Zhirh, M., Huosam Aldin, A. (2021). Study of the Corrosion Effect of High Voltage Alternating Networks on Nearby Metal Pipes. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, Vol (43) No (2).

منشورات المؤلف (نور الدين نبهان):

[1]. Nabhan, N. A. (2020). Investigations on the cosmological implications of describing the inverse proportionality between the increasing size and entropy of the universe and its decreasing baryonic matter density and radiation energy density in one equation. *MEARIM V virtual meeting*.