

## المجلد (10)، العدد (2)، آب 2017م / ذو القعدة 1438هـ

المجلة الأردنية للفيزياء: مجلة علمية عالمية متخصصة محكّمة تصدر بدعم من صندوق دعم البحث العلمي، الأردن، وتصدر عن عمادة البحث العلمي والدراسات العليا، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.

#### رئيس التحرير:

ابراهيم عثمان أبو الجرايش قسم الفيزياء، جامعة اليرموك، إربد، الأردن. ijaraysh@yu.edu.jo

#### هيئة التحرير:

ضياء الدين محمود عرفة رئيس جامعة آل البيت، المفرق، الأردن. darafah@ju.edu.jo نبيل يوسف أيوب رئيس الجامعة الأمريكية في مادبا، مادبا، الأردن. nabil.ayoub@gju.edu.jo جميل محمود خليفة قسم الفيزياء، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن. jkalifa@ju.edu.jo سامى حسين محمود قسم الفيزياء، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن. s.mahmood@ju.edu.jo مروان سليمان الموسى قسم الفيزياء، جامعة مؤتة، الكرك، الأردن. mmousa@mutah.edu.jo أكرم عبد المجيد الروسان قسم الفيزياء التطبيقية، جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية، إربد، الأردن. akram@just.edu.jo محمد خالد الصغير قسم الفيزياء، الجامعة الهاشمية ، الزرقاء، الأردن. msugh@hu.edu.jo

#### سكرتير التحرير: مجدى الشناق

ترسل البحوث إلى العنوان التالي:

الأستاذ الدكتور ابراهيم عثمان أبو الجرايش رئيس تحرير المجلة الأردنية للغيزياء عمادة البحث العلمي والدراسات العليا، جامعة اليرموك إربد ، الأردن هاتف 2071 2 962 00 فرعى 2075

E-mail: jjp@yu.edu.jo Website: http://Journals.yu.edu.jo/jjp



المملكة الأردنية الهاشمية

جامعة اليرموك

مجلة بحوث علمية عالمية متخصصة محكّمة تصدر بدعم من صندوق دعم البحث العلمي

Subscription Form

Jordan Journal of

## **PHYSICS**

An International Peer-Reviewed Research Journal issued by the Support of the Scientific Research Support Fund

Published by the Deanship of Research & Graduate Studies, Yarmouk University, Irbid, Jordan

Name:	الأسم:
Specialty:	التخصص:
Address:	العنوان:
P.O. Box:	صندوق البريد:
City & Postal Code:	المدينة/الرمز البريدي:
Country:	الدولة:
Phone:	رقم الهاتف:
Fax No:	رقم الفاكس:
E-mail:	البريد الإلكتروني:
No. of Subscription:	 عدد الإشتراكات:
Method of Payment:	طريقة الدفع:
Amount Enclosed:	المبلغ المرفق:
Signature:	-
heaves should be paid to Deanship of Research and Graduate Studies	s - Varmouk University

I would like to subscribe to the Journal

#### For

- ne Year
- Three Years

One Year Subscription Rates				
Inside Jordan	Outside Jordan			

Inside Jordan	Outside Jordan
Individuals JD 8	€ 40
Students JD 4	€ 20
Institutions JD 12	€ 60

## Correspondence

#### **Subscriptions and Sales:**

#### Prof. Ibrahim O. Abu Al-Jarayesh

Deanship of Research and Graduate Studies
Yarmouk University
Irbid – Jordan
Telephone: 00 962 2 711111 Ext. 2075

**Felephone**: 00 962 2 711111 Ext. 2075 **Fax No.**: 00 962 2 7211121

#### معلومات عامة

المجلة الأردنية للفيزياء هي مجلة بحوث علمية عالمية متخصصة مُحكمة تصدر بدعم من صندوق دعم البحث العلمي، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، عمان، الأردن. وتقوم بنشر المجلة عمادة البحث العلمي والدراسات العليا في جامعة اليرموك، إربد، الأردن. وتنشر البحوث العلمية الأصيلة، إضافة إلى المراسلات القصيرة Short Communications، والملاحظات الفنية والمسلات العربية والإنجليزية. (Review Articles ومقالات المراجعة Feature Articles، في مجالات الفيزياء النظرية والتجريبية، باللغتين العربية والإنجليزية.

#### تقديم مخطوط البحث

تقدم البحوث عن طريق إرسالها إلى البريد الإلكتروني : jjp@yu.edu.jo

تقديم المخطوطات إلكترونيًا: اتبع التعليمات في موقع المجلة على الشبكة العنكبوتية.

ويجري تحكيمُ البحوثِ الأصيلة والمراسلات القصيرة والملاحظات الفنية من جانب مُحكِّمين اثنين في الأقل من ذوي الاختصاص والخبرة. وتُشَجِّع المجلة الباحثين على اقتراح أسماء المحكمين. أما نشر المقالات الخاصّة في المجالات الفيزيائية النَشِطّة، فيتم بدعوة من هيئة التحرير، ويُشار إليها كذلك عند النشر. ويُطلَّب من كاتب المقال الخاص تقديم تقرير واضح يتسم بالدقة والإيجاز عن مجال البحث تمهيداً للمقال. وتنشر المجلة أيضاً مقالات المراجعة في الحقول الفيزيائية النشطة سريعة التغير، وتُشَجَع كاتبي مقالات المراجعة أو مُستكتبيها على إرسال مقترح من صفحتين إلى رئيس التحرير. ويُرْفَق مع البحث المكتوب باللغة العربية ملخص (Abstract) وكلمات دالة (Keywords) باللغة الإنجليزية.

#### ترتيب مخطوط البحث

يجب أن تتم طباعة مخطوط البحث ببنط 12 نوعه Times New Roman، وبسطر مزدوج، على وجه واحد من ورق A4 (21.6 × 27.9 سم) مع حواشي 3.71 سم، باستخدام معالج كلمات ميكروسوفت وورد 2000 أو ما استتجد منه. ويجري تنظيم أجزاء المخطوط وفق الترتيب التالي: صفحة العنوان، الملخص، رموز التصنيف (PACS)، المقدمة، طرق البحث، النتائج، المناقشة، الخلاصة، الشكر والعرفان، المراجع، الجداول، قائمة بدليل الأشكال والصور والإيضاحات، ثَمُّ الأشكال والصور والإيضاحات، ثَمُّ الأشكال والصور الإيضاحات. وتُكتَب العناوين الرئيسة بخط عامق، بينما تكتَب العناوين الفرعية بخط مائل.

صفحة العنوان: وتشمل عنوان المقالة، أسماء الباحثين الكاملة وعناوين العمل كاملة. ويكتب الباحث المسؤول عن المراسلات اسمه مشارا إليه بنجمة، والبريد الإلكتروني الخاص به. ويجب أن يكون عنوان المقالة موجزا وواضحا ومعبرا عن فحوى (محتوى) المخطوط، وذلك لأهمية هذا العنوان لأغراض استرجاع المعلومات.

الملخص: المطلوب كتابة فقرة واحدة لا تزيد على مائتي كلمة، موضحة هدف البحث، والمنهج المتبع فيه والنتائج وأهم ما توصل إليه الباحثون.

الكلمات الدالة: يجب أن يلى الملخص قائمة من 4-6 كلمات دالة تعبر عن المحتوى الدقيق للمخطوط لأغراض الفهرسة.

PACS: يجب إرفاق الرموز التصنيفية، وهي متوافرة في الموقع Phttp://www.aip.org/pacs/pacs06/pacs06-toc.html:

المقدمة: يجب أن توضَح الهدف من الدراسة وعلاقتها بالأعمال السابقة في المجال، لا أن تكون مراجعة مكثفة لما نشر (لا تزيد المقدمة عن صفحة ونصف الصفحة مطبوعة).

طرائق البحث (التجريبية / النظرية): يجب أن تكون هذه الطرائق موضحة بتفصيل كاف لإتاحة إعادة إجرائها بكفاءة، ولكن باختصار مناسب، حتى لا تكون تكرارا للطرائق المنشورة سابقا.

النتائج: يستحسن عرض النتائج على صورة جداول وأشكال حيثما أمكن، مع شرح قليل في النص ومن دون مناقشة تفصيلية.

المناقشة: يجب أن تكون موجزة وتركز على تفسير النتائج.

الاستنتاج: يجب أن يكون وصفا موجزا لأهم ما توصلت إليه الدراسة ولا يزيد عن صفحة مطبوعة واحدة.

الشكر والعرفان: الشكر والإشارة إلى مصدر المنح والدعم المالي يكتبان في فقرة واحدة تسبق المراجع مباشرة.

المراجع: يجب طباعة المراجع بأسطر مزدوجة ومرقمة حسب تسلسلها في النص. وتكتب المراجع في النص بين قوسين مربعين. ويتم اعتماد اختصارات الدوريات حسب نظام Wordlist of Scientific Reviewers.

الجداول: تعطى الجداول أرقاما متسلسلة يشار إليها في النص. ويجب طباعة كل جدول على صفحة منفصلة مع عنوان فوق الجدول. أما الحواشى التفسيرية، التي يشار إليها بحرف فوقى، فتكتب أسفل الجدول.

الرسوم التوضيحية: يتم ترقيم الأشكال والرسومات والرسومات البيانية (المخططات) والصور، بصورة متسلسلة كما وردت في النص.

تقبل الرسوم التوضيحية المستخرجة من الحاسوب والصور الرقمية ذات النوعية الجيدة بالأبيض والأسود، على ان تكون أصيلة وليست نسخة عنها، وكل منها على ورقة منفصلة ومعرفة برقمها بالمقابل. ويجب تزويد المجلة بالرسومات بحجمها الأصلي بحيث لا تحتاج إلى معالجة لاحقة، وألا تقل الحروف عن الحجم 8 من نوع Times New Roman وألا تقل سماكة الخطوط عن 0.5 وبكثافة متجانسة. ويجب إزالة جميع الألوان من الرسومات ما عدا تلك التي ستنشر ملونة. وفي حالة إرسال الرسومات بصورة رقمية، يجب أن تتوافق مع متطلبات الحد الأدنى من التمايز (times Resolution) لرسومات الأبيض والأسود الخطية، و 600 dpi للرسومات باللون الرمادي، و و و أل عن الملونة. ويجب تخزين جميع ملفات الرسومات على شكل (jpg)، وأن ترسل الرسوم التوضيحية بالحجم الفعلي الذي سيظهر في المجلة. وسواء أرسل المخطوط بالبريد أو عن طريق الشبكة (Online)، يجب أرسال نسخة ورقية أصلية ذات نوعية جيدة للرسومات التوضيحية.

مواد إضافية: تشجع المجلة الباحثين على إرفاق جميع المواد الإضافية التي يمكن أن تسهل عملية التحكيم. وتشمل المواد الإضافية أي اشتقاقات رياضية مفصلة لا تظهر في المخطوط.

المخطوط المنقح (المعدل) والأقراص المدمجة: بعد قبول البحث للنشر وإجراء جميع التعديلات المطلوبة، فعلى الباحثين تقديم نسخة أضلية ونسخة أخرى مطابقة للأصلية مطبوعة بأسطر مزدوجة، وكذلك تقديم نسخة إلكترونية تحتوي على المخطوط كاملا مكتوبا على Microsoft Word for Windows 2000 أو ما هو استجد منه. ويجب إرفاق الأشكال الأصلية مع المخطوط النهائي المعدل حتى لو تم تقديم الأشكال إلكترونيا. وتخزن جميع ملفات الرسومات على شكل (jpg)، وتقدم جميع الرسومات التوضيحية بالحجم الحقيقي الذي ستظهر به في المجلة. ويجب إرفاق قائمة ببرامج الحاسوب التي استعملت في كتابة النص، وأسماء الملفات على قرص مدمج، حيث يعلم القرص بالاسم الأخير للباحث، وبالرقم المرجعي للمخطوط للمراسلة، وعنوان المقالة، والتاريخ. ويحفظ في مغلف واق.

#### حقوق الطبع

يُشَكَّلُ تقديم مخطوط البحث للمجلة اعترافاً صريحاً من الباحثين بأنَ مخطوط البحث لم يُنْشَر ولم يُقَدُم للنشر لدى أي جهِة أخرى كانت وبأي صيغة ورقية أو إلكترونية أو غيرها. ويُشترط على الباحثين ملء أنموذج يَنُصُ على نقْل حقوق الطبع لتُصبح ملكاً لجامعة اليرموك قبل الموافقة على نشر المخطوط. ويقوم رئيس التحرير بتزويد الباحثين بإنموذج نقُل حقوق الطبع مع النسخة المُرْسَلَة للتنقيح. كما ويُمنع إعادة إنتاج أيّ جزء من الأعمال المنشورة في المجلّة من دون إذن خَطّيً مُسبَق من رئيس التحرير.

#### إخلاء المسؤولية

إن ما ورد في هذه المجلة يعبر عن آراء المؤلفين، ولا يعكس بالضرورة آراء هيئة التحرير أو الجامعة أو سياسة اللجنة العليا للبحث العلمي أو وزارة التعليم العالي والبحث العلمي. ولا يتحمل ناشر المجلة أي تبعات مادية أو معنوية أو مسؤوليات عن استعمال المعلومات المنشورة في المجلة أو سوء استعمالها.

الفهرسة: المجلة مفهرسة في:

1- Emerging Sources Citation Index (ESCI)





المجلد (10)، العدد (2)، آب 2017م / ذو القعدة 1438هـ

# Table of Contents

Arabic Articles	Pages
الأبحاث باللغة العربية	الصفحات
Dark Matter: Its Origins and Chapters / Review Article	
المادة المظلمة: أصولها وفصولها / بحث مقالة M. B. Altaie	59-83
محمد باسل الطائي	
Energy Analysis Power of the Nuclear Track Detector PM-355 for Alpha Particles	
قدرة التحليل الطاقوي لكاشف الأثر النووي الصلب 355-PM لجسيمات ألفا	85-95
S. H. S. Al-Nia'emi and M. M. S. Al-Jobouri	
سعيد حسن سعيد النعيمي ومحمد محمود صالح الجبوري	
Bulk Etch Rate of CR-39 Detector Using NaOH/Ethanol Etchant	
معدل القشط العام لكاشف الأثر النووي 39-CR باستعمال المحلول القاشط	
Y. Y. Kasim	97-103
ياسر يحيى قاسم	
Effect of Etching Solution Concentration on Track Diameter Development in CR-39 Nuclear Track Detector	
تأثير تركيز المحلول القاشط على أقطار آثار جسيمات ألفا في كاشف الأثر النووي CR-39	105-112
M. A. Al-Jubbori	
مشتاق عبد داود الجبوري	

## المجلة الأردنية للفيزياء

#### REVIEW ARTICLE

## المادة المظلمة: أصولها وفصولها

محمد باسل الطائي

قسم الفيزياء، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.

Received on: 3/4/2017; Accepted on: 16/7/2017

الملخص: أقدم في هذه المراجعة عرضًا مستفيضاً لفرضية المادة المظلمة Dark Matter مبتدئًا مع أوليات فرضها وتحولات هذا الفرض عبر مصادره المجرية والكونية. ثم أعرض لخصائص المادة المظلمة، ومن خلال ذلك، أدخل إلى المقترحات التي وردت لتشخيص ماهية المادة المظلمة والجهود التي بذلت من أجل التحقق من صحة تلك التشخيصات، وأبرزها الجهود التي بذلت في مشاريع لاكتشاف الجسيمات التي يمكن أن تؤلف مادة مظلمة. تلك الجهود التي فشلت في تحقيق ما يؤكد وجود مثل تلك الجسيمات. ثم أنتقل إلى عرض الفرضيات البديلة التي تحاول تقديم تفسيرات للمظاهر التي دعت أصلاً إلى القول بفرضية المادة المظلمة، وأبرزها هي فرضية الميكانيك النيوتني المحور MOND، مختتماً البحث بفرضية جديدة ربما تكون الأكثر واقعية رغم تعقيدها، وهي فرضية لزوجة الخلاء الديناميكية الناشئة عن تفاعل المادة المارونية مع الخلاء الديناميكية الناشئة عن تفاعل

الكلمات الدالة: المادة المظلمة، مشروع الزينون الضخم تحت الأرض، ديناميكا نيوتن المحورة، نظريات الجاذبية المحورة.

### **Dark Matter: Its Origins and Chapters**

#### M. B. Altaie

Physics Department, Yarmouk University, Irbid, Jordan.

#### **Extended Abstract:**

In this article, I present an extensive review of the hypothesis of dark matter, starting with the basic observations which provoked the assumption of invisible matter in galaxies and galaxy clusters. Then, I go through the development of the concept of dark matter in cosmology, where the analysis of the fluctuations of the Cosmic Microwave Background Radiation (CMBR) show the necessity of an excess of matter in the universe much more than the observed matter. Dark matter is thought to be non-baryonic, interacting only through gravitational effects which can be tested by gravitational lensing and other means. Investigating the motion of galaxies, specifically the rotation curves, showed that some sizable amount of dark matter might exist mostly in the galactic halo. For this reason, astrophysicists suggested that dark matter might be composed of invisible Massive Astrophysical Compact Halo Objects (MACHO) like black holes, neutron stars, white dwarfs and brown dwarfs. However, astronomical surveys of the sky showed less than 20% of the amount needed to cover the deficit in the mass of the universe. Cosmological observations of the accelerated expansion of the universe suggested that the missing mass in the composition of the universe might be subdivided into dark matter and dark energy. Analysis of the fluctuations of the cosmic microwave background radiation suggests that the amount of dark matter is about 26.8% of the mass of the whole universe and the dark energy should be about 68.3%. The remaining amount which is just about 4.9% is the observable matter.

Several other suggestions were put forward to explain dark matter. During the past three decades, the suggestion of particle physicists dominated the search for dark matter. It is proposed that dark

Corresponding Author: Mohammad B. Altie Email: maltaie@yu.edu.jo

محمد باسل الطائى Review Article

matter might be composed of some exotic, very weakly interacting particles called axions and other supersymmetric particles called WIMPS. During these decades, experimentalist were searching enthusiastically to find such particles in deep underground laboratories. For the last ten years, a continuous search was done through the Large Underground Xenon project, some 1500 meters deep underground, whereby some interactions of the exotic particles with xenon atoms occur. In spite of the high sensitivity of the detectors placed in the xenon tank, the search could not confirm the detection of any verifiable signal other than the expected noise.

Several other suggestions for dark matter have been placed. The most promising among them is the suggestion that dark matter could be a sort of scalar field that overwhelms the universe exhibiting the presence of dark matter through some interactions with the baryonic matter composing the stars and the galaxies.

Among other suggestions which show good agreement with observations at the galactic level is the Modified Newtonian Dynamics (MOND) suggested by Mordekhi Milgrom in the early eighties. This suggests that the second law of Newton fails to describe motion under extremely low acceleration of the order of  $10^{-10} \, \text{m/s}^2$  and proposes an alternative form for the second law of Newtonian mechanics. This proposal has no strong theoretical basis despite four decades of work to publicize it. One reason for being hard to accept it lies in the fact that it can hardly give an explanation to the presence of dark matter on cosmological scale.

Another alternative explanation of dark matter is offered by the Modified Gravity theories. These have different versions and the most prominent one is the non-symmetric theory which claims to be able to explain several aspects of the acclaimed dark matter.

It seems that the presence of dark matter is necessary for the formation of large structures like galactic clusters and superclusters in the universe. However, such a need is model-dependent and it wins to be favored within the present cold-dark matter model including the scenario of inflation.

Despite all the efforts spent to study, analyze and detect dark matter, the mystery remains; what kind of effect would such matter produce? Or, what kind of matter is such an effect provoking us to suggest?

**Keywords:** Dark matter, Large Underground Xenon project, Modified Newtonian Dynamics, Modified Gravity theories.

#### المقدمة

نجوم المجرة في قرص كبير يسمى قرص المجرة نجوم المجرة ، Galactic Disk ، وتحيط بالمجرة عادة كرة ذات قطر كبير يبلغ أضعافًا كثيرة من حجم المجرة تسمى الهالة المجرية ، Galactic Halo ، تتألف من غبار وغازات ذات كثافة واطئة، وربما احتوت أيضًا على بعض الأجرام مثل الأقزام البنية Brown Dwarfs . وهنالك بعض المجرات التي يمتد وسطها ليصبح أشبه بقضيب، وتسمى المجرات الحلزونية القضيبية Spiral Barred Galaxies (انظر الشكل 1).

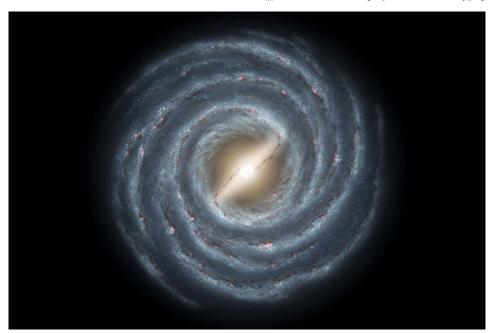
منذ بداية الثلاثينيات من القرن الماضي، ظهرت أمام الفلكيين مظاهر غريبة في تصرف حركة المجرات. هذه المظاهر تنبئ بوجود كمية من المادة غير المرئية في أكناف المجرات والعناقيد المجرية. من جانب آخر، فإن دراسة المنشأ الحراري للكون فيما سمي نظرية الانفجار العظيم Big Bang Theory وانطلاق الكون في حركة تمدد مكاني هائل قد دلت الفلكيين والمتخصصين بعلم الكونيات Cosmology إلى ضرورة أن تكون كمية المادة في الكون

يتألف الكون من مجموعة هائلة من المجرات التي هي تجمعات نجمية كبيرة مختلفة الأشكال والأحجام. وقد قام إدوين هابل بتصنيف هذه المجرات ودراسة حركاتها على نحو مستفيض. ومن خلال تلك الدراسة، تمكن من اكتشاف أن الكون بمجمله هو في حالة توسع مستمر، حيث تتباعد المجرات بسرعات تتناسب تناسبًا طرديًا مع المسافة بينها. وتنتظم أغلب المجرات في عناقيد مجرية تحوي عادة مئات وآلاف المجرات. وهنالك العناقيد العظمى Super Clusters

تتألف المجرات من عدد كبير من النجوم يتراوح عادة ما بين 100-400 ألف مليون نجم. وهي على أشكال مختلفة منها الحلزونية Spiral والإهليلجية Elliptical وغير المنتظمة Irregular. وهنالك تصنيفات فرعية أخرى عديدة. وتتألف المجرة من انتفاخ وسطي يسمى Galactic يحتوي نجومًا بكثافة عالية وأغلبها قديمة، وربما احتوى قلب المجرة على ثقب أسود عظيم. وتنسط أغلب

أكبر من كمية المادة المنظورة. وفي ضوء تطور إمكانات قياس انحراف الضوء القادم من المجرات البعيدة بتأثير الجاذبية الكتلية بحسب ما تقرره نظرية النسبية العامة، فإن هنالك مؤشرات مؤكدة على وجود كمية من المادة في التراكيب الكونية أكبر مما هو منظور أو مقدر وجوده في تلك التراكيب. هذه المؤشرات دفعت الفلكيين

والكوزمولوجيين إلى القول بوجود كمية كبيرة من مادة غير مرئية تحف التراكيب الكونية من مجرات وعناقيد مجرية. وقد سميت هذه المادة: المادة المظلمة أو المعتمة Dark بالنظر لكونها لا تُصدر ولا تمتص أي نوع من الإشعاعات ولا تؤثر أو تتأثر إلا بالجاذبية الكتلوية فقط.



الشكل (1): مجرة حلزونية قضيبية (المصدر: nasa.gov).

قضية المادة المظلمة إذن قضية شائكة ومتشعبة، لها امتدادات عديدة ومعقدة. فهي في جانب منها قضية مهمة في دراسة وفهم نشأة المجرات والعناقيد المجرية وحركتها وتطورها. وهي في جانب آخر قضية تتعلق بنشأة الكون وتطوره ومصيره؛ إذ إن لها ارتباطًا مباشرًا في التحولات التي جرت على أنماط التوسع الكوني منذ الانفجار العظيم ومنذ العصور الكمومية الأولى التي نشأت فيها أولى بذور المادة والطاقة في الكون وحتى الأن. كما أن لوجود المادة المظلمة دورًا مهمًا في حبك بنية الكون Cosmic Web وتوزيع المادة فيه. بالتالي، فإن لوجود المادة المظلمة وكميتها عواقب مهمة تؤثر في تحديد مصير الكون بمجمله.

في هذه المراجعة، ساعرض لأصول فكرة المادة المظلمة وفصولها وتطورها عبر العقود الماضية. في البند الثاني من هذه المراجعة، سأعرض للأرصاد الأولى التي جرت على العناقيد المجرية وللأرصاد التي كشفت ما سمي مشكلة منحنيات دوران المجرات الحلزونية Spiral Galaxies Rotation Curves Problem

أعرض لأرصاد إشعاع الخلفية المايكروى الكونى وتحليلاته التي كشفت عن نقص كبير في الكتلة الإجمالية للكون. وفي البند الثالث، أعرض لفرضيات المادة المظلمة كما جاءت في الأبحاث المختلفة وما تمخض عن المقترحات التفسيرية التي تبناها الباحثون ومقترحات التجارب التي جرت في سبيل الكشف عن المادة المظلمة. في البند الرابع، أعرض لأهم التجارب التي جرت ونتائجها، وبالأخص تجربة كشاف الزينون LUX التي فشلت في الكشف عن أي جسيمات تؤلف المادة المظلمة. وفي البند الخامس، أعرض لفرضيات أخرى حاولت تفسير المظاهر الأرصادية دون اللجوء إلى اقتراح وجود مادة مظلمة، وفي مقدمتها فرضية موردخاي ميلغروم القائلة بانحراف قانون نيوتن الثانى في حالة التسارع القليل جدا. هذه الفرضية يطلق عليها تعبير موند MOND اختصارا. في البند الأخير من هذه المراجعة، أقدم مناقشة عامة لفكرة المادة المظلمة ما لها وما عليها فى إطار فهمنا الفيزيائي للمادة والطاقة وأسس قوانين الفيزياء، مختتما هذه المراجعة الشاملة بتقديم بعض الأفاق لمستقبل الأبحاث في هذا الموضوع المهم.

محمد باسل الطائي Review Article

## حركة المجرات ودورانها

تاريخيا، يشار إلى أن فرتس زفيكي كان من أوائل الباحثين الذين وظفوا مفهوم المادة المظلمة لتفسير حركة المجرات داخل العنقود المجري Coma فقد درس هذا الفلكي في بداية الثلاثينيات من القرن الماضي حركة المجرات التي تقع ضمن هذا العنقود مستخدماً قوانين الميكانيك والجاذبية، ووجد أن سرعاتها داخل العنقود تتطلب وجود كمية كبيرة من المادة تعادل عشرة أضعاف المادة التي تمثلها كتل المجرات الظاهرة للعيان في هذا العنقود المجري [1]. وهكذا يحتمل وجود مادة غير مرئية Invisible سميت لاحقًا المادة المظلمة العيان في شدا البعوم أفيكي، كانت حسابات جيمس جينز [2] التي نشرها عام 1922 قد أشارت إلى أن السرعة العمودية لحركة النجوم القريبة من الشمس تشير إلى وجود كتلة في قرص مجرتنا تعدل ضعف الكتلة التي توفرها النجوم الظاهرة للعيان فيه.

من جانب آخر، بينت دراسة الحركة الدورانية للمجرات الحلزونية التي قامت بها فيرا روبن [3] في مطلع عقد السبعينيات من القرن المنصرم أن سرعة دوران الأطراف الخارجية لمجرة أندروميدا، وهي أقرب مجرة إلينا، هي سرعة ثابتة تقريباً لجميع الأجزاء الخارجية فيها ولا تعتمد على البعد عن المركز. وهذا ما حير الفيزيائيين الفلكيين؛ إذ إنه مخالف للتوقعات التي تقرر ضرورة اعتماد سرعة حركة الأطراف الخارجية للمجرة على بعدها عن مركز المجرة.

من جانب ثالث، أظهرت تحليلات أرصاد إشعاع الخلفية المايكروي الكوني Radiation التي قامت بها العديد من المشاريع أن هندسة الكون الشاملة تنبئ عن كونه مسطحًا مكانياً Spatially الكون الشاملة تنبئ عن كونه مسطحًا مكانياً Flat. وهذا يعني، بحسب التقديرات البنيوية التي تقدمها نظرية النسبية العامة، أن متوسط كثافة المادة والطاقة في الكون بمجمله هو بالضرورة مقدار معين يسمى الكثافة الحرجة Critical Density، وهذا ما لا يحصيل في الواقع؛ إذ إن متوسط الكثافة المقاس من خلال المادة المرئية في الكون والحجم المحسوب للكون يحقق متوسط كثافة المادة والطاقة في الكون بما لا يتجاوز عُشر هذه الكمية، مما يعني ضرورة وجود مادة غير مرئية تعدل 90% من مادة الكون.

هذه المظاهر الثلاثة أسست لفكرة وجود مادة مظلمة تملأ أطراف المجرات وأطراف العناقيد المجرية وتتخلل السدم الغازية العظمى دون أن تكون لها آثار مرئية، لأنها لا تتفاعل مع المادة العادية ولا تصدر أي نوع من الأمواج الكهرمغناطيسية أو الميكانيكية التي تساعدنا في الكشف عنها.

## دوافع فرضية وجود المادة المظلمة

من الدوافع التي تجعل الفلكيين والفيزيائيين يتمسكون بوجود المادة المظلمة في الكون والقول إنها تحف بالجزر الكونية الباريونية، أعني المجرات والعناقيد المجرية، هو أن لهذه المادة، فيما يبدو، دور مهم في تشكيل المجرات نفسها. ذلك أن نماذج تشبيهية Simulation Models لمراحل نشأة الكون تضمنت وجود مادة مظلمة باردة أعطت توزيعا مجرياً مماثلاً للواقع الكوني الذي نحصل عليه من الأرصاد [4]، في حين أن وجود مادة مظلمة حارة كان سيؤدي إلى اختفاء المجرات من المشهد الكوني، خلافاً لما هو واقع.

إن النموذج الكوني السائد حالياً يقوم على فرضية أن محتوى الكون من المادة والطاقة يتألف من مادة باريونية عادية بنسبة قدرها 4.9% ومادة مظلمة بنسبة قدرها 26.6% على شكل كتل مجهولة تحف بالمجرات والعناقيد المجرية وطاقة مظلمة بنسبة قدرها 68.5% تساهم في توسع الكون وتباعد مجراته والعناقيد المجرية عن بعضها البعض على نحو متسارع كما كشفت الأرصاد.

أما دوافع الميل إلى ترجيح كونها مؤلفة من جسيمات ثقيلة ضعيفة التفاعل ، WIMPs فذلك يعود إلى توافق سيرورة المادة والطاقة في الكون منذ التشكّل الأولي في الانفجار العظيم Big Bang مع سيرة مثل هذه الجسيمات. الانفجار العظيم تقاول في مراحل نشوئه الأولى عند درجات خرارة عالية جداً، كانت جسيمات المادة المظلمة تنشأ في أزواج من الجسيمات والجسيمات المضادة، حالها في هذا حال الجسيمات الأخرى. فلما انخفضت درجة حرارة الكون بسبب توسعه، هبط متوسط تشكيل أزواج الجسيمات والجسيمات المضادة ثم توقف بينما بقيت عملية الإفناء والجسيمات والجسيمات المضادة ثم توقف بينما بقيت تملية الإفناء الجسيمات والجسيمات المضادة وبقيت الجسيمات لتؤلف المادة الموجودة حاليًا في الكون [5]. ويفترض الباحثون أن عدد جسيمات المادة المظلمة في الكون بقي ثابتاً تقريباً بعد

ذلك [6]. أما الجسيمات التي لها مقطع عرضي تفاعلي Cross-Section كبير، فإنها أخذت وقتاً أطول في عملية الإفناء، وعليه فإن ما تبقى منها كان ذا كثافة عدية أقل من غيرها. وبناء على التقديرات الحالية لنسبة هذه المادة في الكون، وإذا كانت هذه الجسيمات هي جسيمات المادة المظلمة، فإن المقطع العرضي التفاعلي لجسيمات المادة المظلمة لا يمكن أن يزيد على ما تتمتع به الجسيمات الكتلوية ضعيفة التفاعل [5]. وإذا كان هذا النموذج صحيحاً، فإن خصائص جسيمات المادة المظلمة هي خصائص خصائص المادة المنافع كالسها.

## المادة المظلمة في المجرات والعناقيد المجرية

هنالك جملة من الأرصاد الفلكية والكونية شكلت دلائل شبه قطعية على وجود مادة غير مرئية في هذا الكون تحف بالعناقيد المجرية والمجرات.

كما ذكرت آنفاً، فقد لاحظ زفيكي وهو يحلل حركة المجرات في عنقود (كوما) Coma Cluster مستخدماً تقنية الإزاحة الحمراء للأشعة، أن هذه المجرات تتحرك بسرعات أكبر مما ينبغي لها. وبموجب ذلك قدر زفيكي أن كتلة العنقود المجري هي في الحقيقة أكبر من كتلة المجرات المؤلفة له بعشرة أضعاف في الأقل [1]. وجاءت نتائج تحليلات سميث لعنقود العذراء Virgo Cluster لتؤيد نتائج زفيكي بشأن وجود مادة غير مرئية في العنقود. ثم قام زفيكي بتحليل آخر وتقدير لكتل المجرات والعناقيد المجرية فتأكدت لديه فكرة وجود مادة غير مرئية تحف بالمجرات والعناقيد المجرية [7].

في عام 1959، نشر الباحثان كان وولتجر [8] بحثًا عن حركة مجرتي درب التبانة وأندروميدا القريبة منا، وتبين لهما أن المجرتين مرتبطتان حركياً، فهما تقتربان من بعضهما. ومن خلال ذلك، تمكن الباحثان من تقدير كتلة المجموعة ب  $1.8 \times 10^{12} \times 1.8 \times 10^{12}$  كتلة شمسية، علماً بأن التقدير الأرصادي يقرر أن كتلتهما هي بحدود  $1.8 \times 10^{11} \times 2 \times 10^{11}$  شمسية. وهذا جعل الباحثين يفترضان وجود كتل غازية ساخنة في داخل الفضاء تعوض الفرق في الكتلة. من جانب آخر، قام إيناستو وليندن بيل عام 1982 بحسابات أكثر دقة أدت إلى تقدير كتلة المجموعة بما يقارب  $198 \times 10^{12} \times 10^{12} \times 10^{12}$ 

## مشكلة منحنيات سرع دوران المجرات

عند دراسة الحركة الدورانية للمجرات، يتوقع الفلكيون أن تأتى نتائج أرصادهم متوافقة مع ما يقرره قانون كبلر للحركة الكوكبية. ذلك لأن المجرة مؤلفة أساساً من نجوم تدور حول مركز كبير الكتلة بفعل جاذبية هذا المركز. وعليه، فإن من المتوقع أن تقل سرعة دوران الأطراف الخارجية للمجرة تماما كما تقل سرع الكواكب الخارجية في النظام الشمسى. لكن الأرصاد التي قام بها بابكوك لمجرة أندروميدا ونشرها عام 1939 [10] بينت أن سرع الأجزاء الخارجية للمجرة أعلى مما يتقرر عن الحركة الكوكبية. كما قام أورت بحساب نسبة الكتلة إلى السطوع الضوئي لمجرة NGC 3115 في أطرافها الخارجية، فوجدها بحدود 250، وهذه نسبة عالية جداً تعنى وجود كتلة كبيرة في الأطراف الخارجية للمجرة [11]. كما قام تلميذه فان دي هولست وآخرون بدراسة نسبة الكتلة إلى السطوع في أطراف مجرة أندروميدا ودرس سرعة حركة أجزائها لغاية 30 كيلوبارسك، فوجد أنها تمتلك سرعًا أعلى من السرع التي يقررها قانون كبلر للحركة الكوكبية [12]. وفي عام 1966، نشر مورتن روبرت بحثاً أكد فيه أن سرع الأجزاء الخارجية للمجرات اللولبية تبقى ثابتة تقريبا مؤكدا بذلك تسطح منحنى السرع [13]. وقد نشر باربيج وجماعته جملة من الأبحاث إبتدأت بالبحث [14] جمعوا فيها عددا من منحنيات السرع للمجرات اللولبية والإهليلجية [15] و[16] و[17]. وقامت فيرا روبن وفورد عام 1970 [3] وروبرتس وروتس عام 1973 [18] برسم منحنى سرع دوران أجزاء مجرة أندروميدا لغاية 30 كيلوبارسك ووجدوا أن سرعة الأجرام تزداد ببط ثم تبقى ثابتة تقريبا لمدى يتراوح من 16 إلى 30 كيلوبارسك.

إن السرعة المتوقعة يجب أن تتناسب تناسبًا عكسياً مع البعد، وهذه يمكن استنتاجها من العلاقة:

$$\frac{m\mathbf{v}^2}{r} = \frac{GmM}{r^2} \tag{1}$$

أي إن:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \tag{2}$$

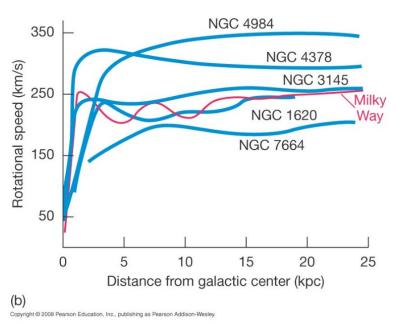
لغرض حل مشكلة التناقض بين السرع المتوقعة للأطراف الخارجية للمجرات الحلزونية والسرع المقاسة فعلاً عن طريق الإزاحة الحمراء التي وجد أنها ثابتة تقريباً كما توضح المنحنيات المرسومة في الشكل (2)، وفي ضوء

محمد باسل الطائي

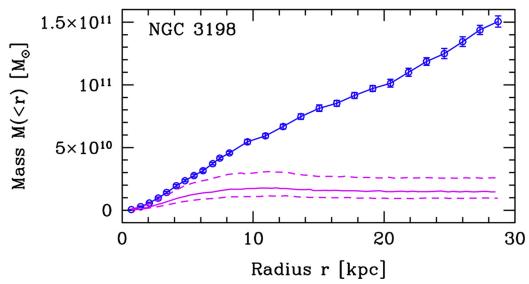
حساب نسبة الكتلة إلى السطوع التي وجد أنها تزداد مع البعد عن مركز المجرة، وضعت فرضية مفادها أن كتلة المجرات تزداد طردياً مع المسافة عن المركز في أطرافها الخارجية، في حين يتصرف مركز المجرة مثل قرص كثيف، فتتناسب سرع الدوران تناسبًا طرديًا مع بعد أجزاء هذا القرص عن المركز [19]؛ أي إن الفرضية هي:

وهكذا تصبح السرعة ثابتة للأجزاء الخارجية التي لا تؤلف تكويناً مجتمعاً مثل قرص صلب، في حين نجد أن الأجزاء المركزية للمجرة ذات سرع تتناسب تناسيًا طرديًا مع بعدها عن المركز، لأنها تمثل قرصاً بكونها متراصة. وطبعاً، هنالك مآخذ على هذا الافتراض ستتم مناقشتها في البند الأخير من البحث.

$$M \propto r$$
 (3)



الشكل (2): نماذج من منحنيات سرع المجرات.



الشكل (3): تقديرات الكتلة التي تحويها المجرة NGC 3198 داخل المسافة r عن المركز M(< r) بحسب قياس السرع ممثلة باللون الأزرق، بينما تمثل المنحنيات الوردية تقديرات الكتلة بحسب ماهو منظور بالتلسكوبات على مدى جميع الإشعاعات الطيفية باللون الأزرق، بينما تمثل المنحنيات المعروفة (المصدر: [20]).

## التعدس المايكروى والمادة المظلمة

Microlensing and the Dark Matter

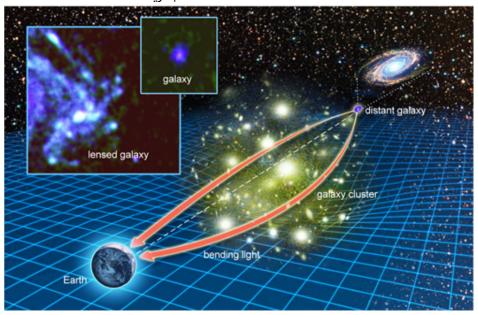
كشفت نظرية النسبية العامة أن المجال الجاذبي للأجرام ذوات الكتل الكبيرة يؤدي إلى انحراف مسار الضوء المار على مقربة منها انحرافاً محسوساً وقابلاً للقياس. فقد حسب ألبرت أينشتاين زاوية الانحراف ووجد أنها تتناسب مع مقدار كتلة الجرم المسبب للانحراف وتعطى حسب العلاقة التالية:

$$\delta = \frac{4GM}{c^2h} \tag{4}$$

حيث G ثابت الجاذبية النيوتني، M كتلة الجرم، ومسار سرعة الضوء و b أقرب مسافة بين مركز الجرم ومسار شعاع الضوء وتسمى عامل الأثر Impact Parameter. إن العلاقة (4) هي علاقة تقريبية بعض الشئ ومحسوبة لجرم ساكن وغير مشحون، وتوجد صياغات أخرى عالجت انحراف الضوء بتأثير الأجرام الكتلية الدوارة والمشحونة.

وكان أول من قام بتحقيق هذه الظاهرة عمليا هو السير أرثر إدينجتون وجماعة معه أثناء مراقبتهم للكسوف الكلي للشمس عام 1919 من جنوب إفريقيا [21]. فقد قاموا برصد نجوم مواقعها خلف قرص الشمس يمر شعاعها قريباً من ذلك القرص فتظهر النجوم وقد كانت في الأصل محتجبة عن النظر. وسبب ذلك ان ضوء هذه النجوم ينحرف نحو الشمس فيؤدي إلى مشاهدتها في موقع ظاهري هو غير موقعها الأصلي. وقد وجد إدينجتون وجماعته أن مقدار الانحراف في مسار الضوء المار قرب قرص الشمس يتوافق مع ما توقعه آينشتاين في ورقته التي نشرها عام 1915.

من جانب آخر، وجد أن الضوء القادم من أجرام بعيدة يعاني تعديساً عند مروره قرب الكتل الكبيرة، وهذه الظاهرة سميت التعدس الجانبي Gravitational Lensing، حيث يتصرف الجرم كعدسة، ويتم تبئير focusing الضوء وتزداد شدته، وتعمل تلك الكتل التي يمر بها الضوء عمل العدسات البصرية.

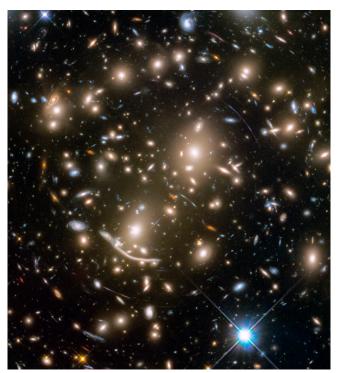


الشكل (4): التعدس الجاذبي (المصدر:www2.ifa.hawaii.edu).

وهذا ما يتسبب في ظهور أكثر من صورة للمصدر نفسه، حتى أنه تظهر للراصد حلقات أو أقواس ضوئية ناتجة عن صور ثانوية متكررة للمصادر التى يأتى منها

الضوء، وقد تشكل حلقة تسمى حلقة آينشتاين Einstein الضوء، ويتضح هذا في الصورة التي التقطها تلكسكوب هابل.

محمد باسل الطائى Review Article

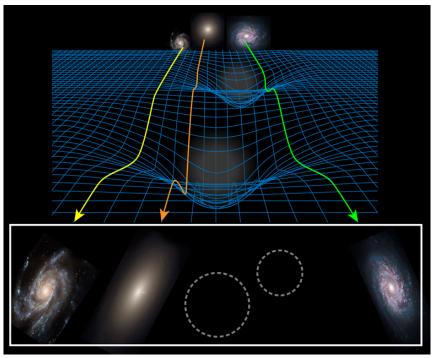


الشكل (5): حلقات أينشتاين بتصوير تلسكوب هابل (المصدر: NASA/ESA/STScI).

وقد أفاد الفيزيائيون الفلكيون من هذه الظاهرة كثيراً؛ إذ استعانوا بها على تقدير كتل الأجرام المسببة لانحراف الضوء عن مساره المستقيم [22]. كما تم استخدام هذه الظاهرة على نطاق واسع في الكشف عن الكواكب النجمية Exoplanets (كواكب تقع خارج النظام الشمسي وتدور حول نجوم أخرى). وعموماً، وبالنظر للتأثيرات الجاذبية للمادة المظلمة، فإن التعدس الجاذبي يعتبر دليلاً مباشراً على تقدير وجود المادة المظلمة [23].

وتقوم تقنية أرصاد التعدس الجاذبي للكشف عن المادة المظلمة بين المجرات على فكرة أن الكمية الأكبر من المادة المظلمة تؤدي إلى انحراف أكبر في الضوء القادم من مجرات بعيدة، وهذا يؤدي أيضاً إلى تغيير شكل المجرات أحيانًا؛ إذ تظهر أكثر إهليلجية مما هي في الأصل. إذن،

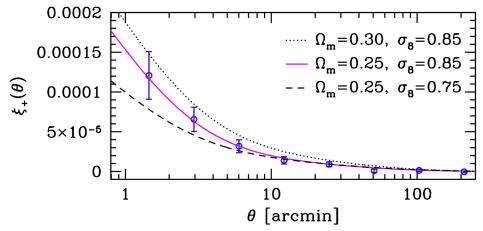
كيف لنا أن نعرف أن المجرة التي ننظر اليها هي إهليلجية بهذا القدر حقاً وليست كروية? والجواب يكمن في رصد مجموعة من المجرات القريبة من تلك المجرة التي هي محط النظر؛ إذ من المعلوم أن كمية المادة المسببة لانحراف الضوء قرب مجرتين قريبتين من بعضهما ستكون هي نفسها. وبتقدير مقدار التوازي بين مجرتين قريبتين من بعضهما ومقارنته مع ما يحصل لمجرة أخرى بعيدة عنهما لكنها تقع في المسار أو الاتجاه نفسه، يتمكن الفلكيون من حساب كمية المادة المظلمة التي تعترض طريق الأشعة القادمة من تلك المجرات البعيدة (أنظر الشكل (6) الذي يوضح هذه التقنية).



الشكل (6): تقنية قياس مقدار اتساق المجرات (المصدر: Kilo-Degree Survey Collaboration).

لقد قام مشروع Kilo-Degree Scan بمسح السماء من أجل قياس مواقع وأشكال أكثر من 15 مليون مجرة. وحصل على نتائج هائلة بخصوص اتساق alignment هيئة هذه المجرات. وتبين من هذه القياسات أن اتساق المجرات

القريبة من بعضها يكون عاليًا، في حين يتضاءل الاتساق ويتلاشى في حالة المجرات البعيدة عن بعضها. وهذا يتضح من الشكل (7).



الشكل (7): منحنيات اتساق المجرات بدلالة المسافة الزاوية بينها. كل نقطة على هذه المنحنيات تبين مقدار الاتساق الزاوي بين مجرتين متجاورتين مقاساً بدلالة المسافة بينهما. (المصدر: KiDS Collaboration).

وقد تم تفسير هذه النتائج على أنها تدل على أن الضوء الذي يتم استلامه من مجرتين متباعدتين يعاني تعثرات كثيرة خلال مساره، مما يجعله يقدم صورة متباينة كثيرًا عن الضوء القادم من مجرتين متقاربتين يكون اتساقهما متقارباً.

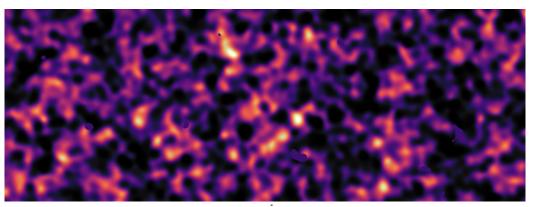
إن النظر إلى مسافات أبعد في الكون يعني استطلاع أزمنة أقدم؛ فنحن عنما نرصد مجرات على بعد أربعة مليارات سنة ضوئية، فإننا ننظر إلى حالة الكون عندما كان عمره بحدود عشرة مليارات سنة. أما عندما ننظر إلى مجرات تبعد عنا 12 مليار سنة ضوئية، فإننا نرصد الكون

محمد باسل الطائى Review Article

عندما كان عمره ملياري سنة فقط. ولقد قام مشروع KiDS برصد مجرات على بعد 10 مليارات سنة ضوئية، أي عندما كان عمر الكون بحدود 4 مليارات سنة. وعليه، فقد تمكن الباحثون في هذا المشروع من رسم التطور الزمني لتكتل المادة المظلمة في الكون. لكن المفاجأة جاءت مع النتائج التي تبين أن مقدار تكتل المادة المظلمة أقل مما هو متوقع بحسب النمودج الكوني المسطح الذي هو عمدة الحسابات التي استنبطت منها أرصاد التلسكوب الفضائي بلانك [24]. إن عدم التوافق هنا يمكن أن يتسبب عن وجود خلل في النموذج أو في طرائق القياس. وعلى الرغم من التأكيدات التي نسمعها من الباحثين بشأن دقة قياساتهم، فإننا نعلم أن مقادير القياسات الرقمية للتعديس

الجاذبي المايكروي تقع تحت التأثيرات البيئية، مما يعني أن هنالك نسبة خطأ عالية قد تحصل على الرغم من أن الباحثين يقومون بطرح هذه التأثيرات البيئية على نحو دقيق. والأمر يشبه تسجيل حديث همس بين شخصين في حفل موسيقي صاخب. فمهما كنا قادرين على طرح تأثيرات الموسيقى الصاخبة لعزلها عن تلك الهمسات التي نريدها، فإن نتائجنا لن تكون دقيقة بالتأكيد.

كما قام مشروع KiDS بعمل محاكاة حاسوبية للنتائج التي توصلت اليها الأرصاد، فكانت النتيجة المبينة في الشكل (8).



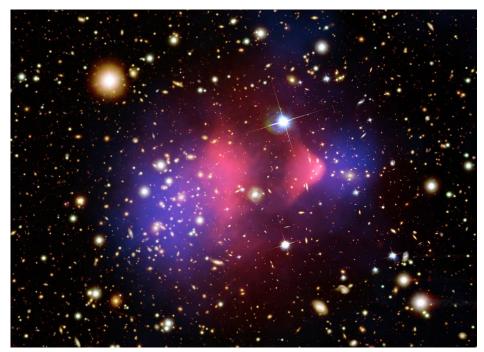
الشكل (8): تصوير تكتلات المادة المظلمة حاسوبياً (المصدر: Kilo-Degree Survey Collaboration).

يُعد الكشف عن المادة المظلمة بدلالة التعدس الجاذبي دليلاً مباشراً يختلف عن الأدلة الأخرى التي تكاد تكون تخمينات تفرضها وقائع حسابية. لكن هنالك بعض الشكوك في حصول التعدس الجاذبي ناتجاً عن وجود المادة المظلمة. وقد أوضحت دراسات عديدة مثل هذه الشكوك [25]. من جانب آخر، فقد قمنا أنا وبعض تلامذتي بدراسة الخواص الجاذبية للمادة المظلمة، ووجدنا أنها أقل مما هو متوقع.

## عنقود الرصاصة المجرى

يُعد عنقود الرصاصة المجري Bullet Cluster أهم الأدلة التي يتذرع بها القائلون بوجود المادة المظلمة وبكونها لا تتمتع بصفات المادة العادية، وبالأخص كونها عديمة التصادم Collisionless. هذا العنقود يحتوي على آلاف المجرات، ويعتقد أنه نشأ عن تصادم عنقودين

مجريين في أزمنة غابرة. هذا العنقود تم تصويره بأشعة X التي تنبعث من المادة الباريونية التي يحتويها، فكانت المنطقة الملونة باللون الوردي في الشكل (9). ثم تمت دراسة العنقود بواسطة تقنية التعدس الجاذبي، فكانت المنطقة التي هي باللون الأزرق. وقد اتضح من هذه الدراسات بعد تحليل النتائج حاسوبياً أن هذا العنقود بالفعل ناتج عن تصادم عنقودين مجريين تداخلا مع بعضهما فكانت هنالك كتلتان للمادة الباريونية وللمادة المطلمة المسببة للتعدس الجاذبي. لكن من الجدير بالملاحظة وجود انفصام واضح بين توزيع المادة الباريونية والمادة المطلمة بالتصادم، فبقيت تسير في دربها دون إعاقة. إلا أن المادة الباريونية عانت من الإعاقة فتداخلت مع بعضها.



الشكل (9): عنقود الرصاصة المجري حيث يظهر توزيع المادة المظلمة بحسب قياسات التعدس الجاذبي باللون الأزرق، فيما يعبر المجادية العادية (المصدر NASA/CXC/ESO/Clowe and Markevitch).

## المادة المظلمة في علم الكونيات الحديث

كان إدوين هابل Edwin Hubble خلال العشرينيات من القرن الماضي يرصد من قمة جبل ولسن حركة المجرات القريبة من مجرتنا درب التبانة، فلاحظ أن أغلب المجرات تبدو مبتعدة عن مجرتنا. وعند تدقيق الأرصاد ومراجعتها، تبين له أن هنالك علاقة طردية بين بعد المجرة التي يرصدها وسرعتها؛ فكلما كانت المجرة أبعد كانت سرعتها أكبر[26]. يعني هذا أن الكون في حالة توسع مستمر. ويمكن أن نضع قانون هابل هذا بالصيغة التالية:

$$v = Hr \tag{5}$$

حيث V هي سرعة المجرة وr بعدها عنا وH ثابت سمي لاحقاً ثابت هابل Hubble Constant. ولما بلغت هذه النتائج الفيزيائي والقس الهولندي جورج لاميتر Lameter قال إن هذا يعني أن الكون بمجمله كان يوماً ما يقبع في حيز صغير سماه البيضة الكونية انبثق عنها هذا القدر العظيم من المادة والطاقة. وكان ألكسندر فريدمان عام 1922 قد نشر بحثا [27] أشار فيه إلى حلول ممكنة لمعادلات آينشتاين تبين أن الكون بمجمله يمكن أن ينشأ عن فردنة Singularity هي شيء أشبه بنقطة تحتوي مجمل المادة والطاقة التي في الكون، فينطلق عنها الكون مجمل المادة والطاقة التي في الكون، فينطلق عنها الكون

في توسع مكاني سريع خلال الزمن دون أن يسبقه وجود فيزياني من أي نوع. هذه الفكرة تجاوبت مع تصورات لاميتر فصارت فكرة حدوث الكون واقعاً ونتاجاً لنظرية النسبية العامة.

إن معادلات آينشتاين في المجال العام تؤسس لنماذج كونية، حيث تؤول إلى معادلات تفاضلية يدخل فيها نصف قطر الكون a وثابت التحدب k ومتوسط كثافة المادة والطاقة في الكون  $\rho_{tot}$  ، وهي:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3}\rho_{tot} \tag{6}$$

وقد كشف فريدمان في بحثه أن هنالك ثلاثة نماذج يمكن أن يكون عليها الكون في تطوره عبر الزمن: الأول يتمثل بكون منبسط مكانياً Spatially Flat؛ بمعنى أن جميع قواعد هندسة إقليدس تكون نافذة فيه وتحدبه k يكون صفراً فهو في التشبيه المكاني ذي البعدين أشبه بورقة مسطحة.

ففي هذه الحالة، تعطينا المعادلة (6):

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho_c \tag{7}$$

محمد باسل الطائي Review Article

أي إن متوسط كثافة المادة والطاقة هو الكثافة الحرجة Critical density؛ أي بالضبط:

$$\rho_{tot} = \rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G} \tag{8}$$

Close Universe النموذج الثاني يتمثل بكون مغلق عدد النموذج الثاني موجب، ينشأ عن الفردنة ليتوسع مكانياً، فتزداد المسافة بين المجرات حتى يبلغ الكون في حجمه قدراً أعظم يعود بعدها لينطوي على نفسه في عملية تكور جاذبي Gravitational Collapse عظيم، حيث تتناقص المسافة بين المجرات ليعود الكون إلى حالة الفردنة؛ أي يعود إلى النقطة التي انطلق منها. مثل هذا الكون ينبغي أن يعود إلى الفلي الشامل. يحتوي قدراً كافيًا من المادة والطاقة يؤهله للطي الشامل. هذا القدر ينبغي أن يكون أكبر من الكثافة الحرجة هذا القدر ينبغي أن يكون أكبر من الكثافة الحرجة  $\rho > \rho_c$ 

أما النموذج الثالث للكون بحسب فريدمان، فهو الكون المفتوح Open Universe ذو التحدب السالب الذي ينشأ عن الفردنة ويتوسع بتسارع كبير ويستمر في حالة التوسع حتى يتبدد تماماً. يحصل هذا عندما يكون متوسط كثافة المادة والطاقة في الكون أقل من الكثافة الحرجة  $\rho < \rho_c$ .

فى نهاية الأربعينيات، قام جورج جامو George Gamow بوضع نموذج كونى فيزيائى وفقا لنظرية النسبية العامة في محاولة لتفسير الوفرة الطبيعية للعناصر الكيميائية الموجودة في الكون. فمن المعروف أن الكون يحتوي على ما يقرب من 76% هيدروجين وحوالي 23% هيليوم و 1% عناصر الجدول الدوري الباقية وعددها تسعون عنصرا. ولهذا الغرض، وضع جامو وآخرون مسارا تطوريا للكون عام 1948 نجده في أبحاثه وأبحاث جماعته [28] و[29]، مبتدئًا بكون صغير عمره جزء من عشرة آلاف جزء من الثانية ودرجة حرارته مليون مليون درجة كلفن. وقد وظُّف جامو في نموذجه هذا علوم النسبية العامة والجسيمات الأولية المعروفة في عهده والميكانيك الإحصائي. فنتج عن هذا المسار التطوري إنتاج نوى ذرات الهيدروجين والهيليوم خلال الدقائق الثلاثة الأولى من عمر الكون بالنسب الطبيعية تقريبا [30]. لكن بقى موضوع إنتاج العناصر الأخرى غير مفهوم. ثم أدرك جامو أن العناصر الأثقل أي ذوات الأوزان الذرية التي أعلى من الوزن الذري للهيليوم يتم إنتاجها في باطن النجوم التي تنشأ أصلا من تراكم الهيدروجين والهيليوم فتحرق الهيدروجين ثم الهيليوم لإنتاج العناصر الكيميائية الأثقل في

باطنها. وكلما كان النجم أكبر كتلة تمكن من تكوين عناصر أثقل عبر عمليات الاندماج النووي بمراحل مختلفة وسيرورات Processes مختلفة. وهذا ما كان قد كشفت عنه أبحاث جودفري باربيج وفرد هويل في بداية الخمسينيات [31]. ثم توالت الأبحاث في هذا المجال، واستمر الباحثون في تفسير مراحل تكون العناصر الثقيلة في باطن النجوم عظيمة الكتلة وصولاً إلى المستعرات العظمى [32] وتدقيق رؤيتهم لذلك [33].

# إشعاع الخلفية المايكروي الكوني Microwave Background Radiation

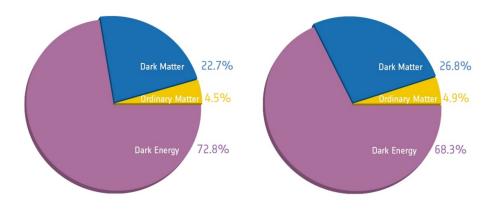
وإذ تتكون النوى الأولى للهيدروجين والهيليوم ونظائرهما وتنخفض درجة حرارة الكون نتيجة لتوسعه، فإن الإلكترونات تصبح قادرة عندئذ على الارتباط مع تلك النوى وتكوين ذرات مستقرة حالما تبلغ درجة حرارة الكون قدراً مناسباً لحصول ذلك. ونتيجة لذلك الارتباط، تُطلق الذرات فوتونات ذات طاقة محددة هي طاقة الربط الذرية بين الإلكترونات ونوى الذرات، وتنتشر هذه الطاقة على شكل إشعاع لتملاً الكون الشفاف Transparent بعدما كان معتماً ويحصل في المها انحياز أحمر نتيجة توسع الكون وهبوط درجة حرارته لها انحياز أحمر نتيجة توسع الكون وهبوط درجة حرارته عصرنا هذا بحسب ما وجده جامو وجماعته نظرياً، في عصرنا هذا بحسب ما وجده جامو وجماعته نظرياً، في نطاق الترددات المايكروية ونستطيع رصدها عندما نجرى مسحاً للخلفية الكونية.

وهذا ما صار اليه الأمر عندما قام المهندسان آرنو بنزياس وروبرت ولسون من شركة بيل بمسح السماء بحثاً عن مصادر كهرمغناطيسية في نطاق الترددات الماكروية، فغثرا دون قصد على إشعاع الخلفية المايكروي الكوني التي توقعتها نظرية جامو ونالا جائزة نوبل لعام 1978. فقد وجد بنزياس وولسون أن هنالك محيطًا متجانسًا Homogeneous من الإشعاعات عند طول موجي بحدود 7 سم ودرجة حرارة مكافئة تعدل 3 درجات كلفن [34]. وصار هذا الاكتشاف محور الدراسات درجات كلفن [34]. وصار هذا الاكتشاف محور الدراسات روبرت ديكي وجماعته [35] أن هذا الإشعاع هو بالفعل من بقايا الانفجار العظيم الذي نشأ عنه الكون؛ إذ إنه يصدر عن طيف حراري بلانكي مثالي ويتوافق مع ما تتوقعه نظرية الانفجار العظيم. ولقد تم تطوير أجهزة ومعدات لقياس إشعاع الخلفية المايكروي الكوني لإجراء مسح دقيق

للسماء ومعرفة درجة تناسق توزيع هذه الخلفية وحساب درجة الحرارة على نحو أدق. وقد تمكن كوري وولكنسون عام 1976 من الكشف عن وجود شيء من اللاتناسق Anisotropy في الخلفية المايكروية الكونية [36]. وعزز نلك الفيزيائي الفلكي جورج سموت بقياسات أكثر دقة [37] استخدمت فيها طائرة U2. ثم توالت الأبحاث [38] التي قدمت صورة أوضح لعدم التناسق. وتم إطلاق المسبار الفضائي COBE عام 1992 من قبل وكالة الفضاء الأمريكية NASA لتقديم الصورة الأوضح، حيث تم تحليل النتائج وتبين أن هنالك لاتناسقاً واضحاً يتضمن معلومات مهمة جدًا عن مراحل الخلق الأولى [39].

تكمن أهمية دراسات إشعاع الخلفية المايكروي الكوني في أنها تزودنا بمعلومات مهمة عن هندسة الكون ومقدار كثافة المادة والطاقة فيه وعمر الكون وسرعة توسعه لحظة تكوين الذرات الأولى. وعليه، فإن صورة الخلفية المايكروية الكونية هي شهادة ميلاد الكون الذي نعيش فيه. ولقد توالت الجهود في الكشف الدقيق عن خصائص إشعاع الخلفية المايكروي الكوني، فتم إجراء قياسات في القطب الجنوبي، كما تم إطلاق كاشف فضائي أمريكي آخر هو Planck وتلاه المسبار الفضائي الأوروبي بلانك Planck عام 2012.

ما يهمنا هنا هو علاقة نتائج قياس إشعاع الخلفية المايكروي الكونى بالمادة المظلمة. ذلك أن معرفة متوسط الكثافة في الكون عند تشكل الذرات الأولى يمكننا من معرفة مقدار كتلة الكون [40] و[41]. وبمقارنة هذه المعلومة مع كمية المادة المرصودة فعلاً في الكون، نتمكن من معرفة ما إذا كان هنالك نقص في مادة الكون فضلا عن معرفتنا لهندسة الكون ومصيره. وبالفعل، فقد أخبرتنا تحليلات الخلفية الكونية التى تحسستها كواشف القمر الصناعى WMAP والقمر الصناعي Planck أن هندسة الفضاء الكوني هي هندسة إقليدية Euclidean إلى حد كبير [42]. وهذا يعنى ضمنياً أن متوسط كثافة المادة في الكون لابد من أن تكون مساوية للمقدار الحرج بحسب معادلات فريدمان. إلا أن الأرصاد الفلكية تبين أن ما هو منظور من مادة في الكون أقل كثيراً مما تتطلبه الكثافة الحرجة. وبموجب ذلك، وبحسب الأرصاد التي قامت بها كواشف القمر الصناعي بلانك [42]، فإن نسبة المادة المظلمة في الكون هي بحدود 26.6% ونسبة الطاقة المظلمة هي بحدود 68.5% ونسبة المادة المرئية (الباريونية) هي بحدود 4.9%، في حين أن القياسات السابقة التي قدمتها تحليلات أرصاد WMAP [43] كانت قد بينت أن نسبة المادة المظلمة هي 22.7% ونسبة الطاقة المظلمة هي 72.8%، أما نسبة المادة المرئية فهي 4.5%. وهذه المعلومات موضحة في الشكل (3).



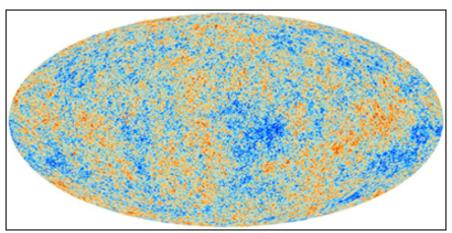
Before Planck After Planck III الشكل (10): نتائج مشروع المجس الفضائي الأوروبي بلانك بالمقارنة مع ما قبله

محمد باسل الطائي Review Article

أما بخصوص توزيع اللاتجانس الزاوي الطيفي، فإنه يحسب بدلالة التوافقيات الكروية كما في معادلة التوزيع الحرارى:

$$\frac{\Delta T}{T} = \sum_{l,m} C_{lm} P_{lm} \tag{9}$$

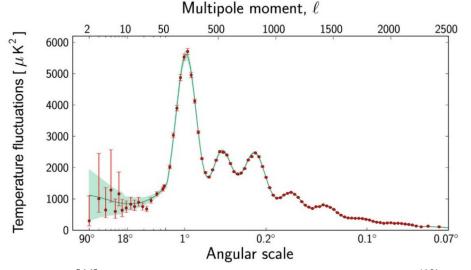
حيث  $C_{lm}$  هي معاملات التوزيع الزاوي على السطح الكروي الذي يسمى سطح التشتت الأخير Last الذي Scattering Surface لحظة انطلاق الفوتونات من الذرات الأولى. ويبين الشكل (11) صورة التوزيع الحراري للكون بحسب أرصاد بلانك.



الشكل (11): التوزيع الحراري للكون بحسب أرصاد المجس الفضائي بلانك (المصدر: essa.int).

إن التوزيع الزاوي لتفاوت درجات الحرارة الموصوف في الشكل (11) إنما هو إعادة رسم لمعطيات القياسات الكونية للخلفية الكونية المايكروية. وهذه القياسات في واقعها تحسب بدلالة معاملات متعدد الأقطاب Multipole

التي تعطى بدلالة العدد الأزيموثي l وتفرعاته (العدد m) كما في المعادلة (9). وكلما كانت زاوية القياس صغيرة كانت قيمة l كليرة، والعكس صحيح. وقيمة l الكبيرة تعني متعدد حدود عاليًا، مما يتوفر على عدد نقاط كبير.



الشكل (12): التوزيع الطيفي لتفاوت درجات الحرارة المكافئة للخلفية الكونية المايكروية [44].

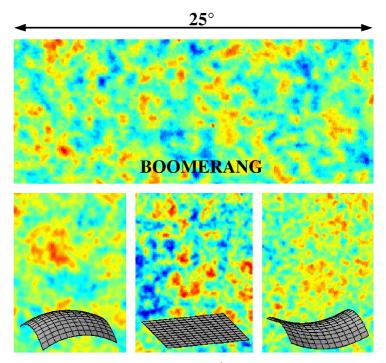
لم يخل النموذج الكوني القياسي Standard Model من المشاكل؛ إذ ظهرت إشكالات جدية تتعلق بهندسة الكون وتشكُل البنى الكبرى فيه كالمجرات والعناقيد المجرية. ويمكن الاطلاع على هذه الإشكالات في المصدر [45].

لكن نظرية أخرى ربما أصبحت الآن جزءًا من النموذج القياسي هي نظرية التضخم الكوني Cosmic Inflation التي بررت وفسرت العديد من هذه المشكلات. هذه النظرية كان قد وضعها عام 1981 الفيزيائي ألان كوث [46]، ثم أدخلت عليها تطويرات كثيرة في مقدمتها ما ساهم به

الفيزيائي أندريه ليندا [47]. ومن الجدير بالذكر أن علماء الكوزمولوجيا يتمسكون بنموذج الانفجار العظيم برغم العيوب الكثيرة التي فيه، وسبب ذلك أنه يقدم تفسيراً لمظاهر عديدة على رأسها تفسير النسبة الطبيعية للعناصر الكيميائية كما أسلفنا وتفسير وجود إشعاع الخلفية المايكروي الكوني ونشوء البنى الكونية الكبرى. ويعتقد في علوم الكوزمولوجيا أن كمية المادة المظلمة في الكون قد تغيرت منذ انطلاقته الأولى على الرغم من مجهولية كيفية

نشوء هذه المادة. وفي الواقع، فإن هذه التقديرات تنطلق من الركون إلى متوسط تسارع الكون وربطه بشكل مباشر بمقدار المادة التي يحتويها الكون. وفي الحقيقة، ربما يكون الأمر مختلفاً تماماً عن هذا التصور.

وتشير تحليلات إشعاع الخلفية المايكروي الكوني إلى أن الكون مسطح مكانياً، وهذا ما أكدته أرصاد المجس الفضائي بلانك [42].



الشكل (13): كيفية تقدير هندسة الكون من خلال الأحجام الزاوية للتباين الحراري (المصدر: Boomerang Project).

ومن الجدير بالذكر هنا أن نتائج المسح الكوني التي يقدمها بلانك وأشباهه من المراصد إنما تحظى بموثوقية عالية بخصوص هندسة الكون، لأنها تعبير شبه مباشر عن واقع الحال. فالشهادة بأن الكون مسطح مكانياً هي تعبير عن واقع هندسي مأخوذ بالقياسات المباشرة، إلا أن مقولة أن متوسط الكثافة فيه قائم على حسابات نظرية النسبية العامة، فالنظرية توجب أن يكون الفضاء الكوني المسطح مُلزماً بشرط الكثافة الحرجة كما تبين المعادلة (8). بالتالي، فإن هذا الاستنتاج الأخير قائم على فرض صحة النظرية وكمالها. من جانب آخر، فإن القول بوجود مادة غير مرئية (مظلمة) هو خيار يمليه واقع معلوماتنا عن نسبة كمية المادة المرئية في الكون إلى كمية المادة التي تتطلبها الكثافة الحرجة. وهذا التخمين، أي فرض وجود المادة المظلمة، تدخل فيه عوامل ومتغيرات كثيرة. بالتالي،

فإنه يصبح أقل موثوقية كثيراً من القول إن الكون مسطح مكانياً.

ولتأكيد هذه الحقيقة، أقول إن اكتشاف تسارع توسع الكون [48] عام 1998 دفع الكوزمولوجيين إلى القول إن الكون يحتوي على طاقة مظلمة Park Energy (49]. وجرى هذا على حساب ما كان يُظن أنه مادة مظلمة فقط. فانتزعت نسبة منها جُعلت رصيداً ممولاً للطاقة المظلمة. والطاقة المظلمة هي مصطلح آخر يتداخل مع مشكلة المادة المظلمة، وما زال يفتقر إلى الحسم النظرى والمفاهيمي.

## تشكّل البنى الكونية العظمى

نقصد بالبنى الكونية العظمى المجرات والعناقيد المجرية. وإذا كانت نظرية الانفجار العظيم صحيحة، حيث تشكل نوى الذرات من عناصر أولية ألفت الحساء الكونى

محمد باسل الطائي Review Article

الأساسي، وإذا كانت السدم الغازية الكبرى قد تألفت من تلك النوى بعد أن اقتنصت إلكتروناتها وأصبحت ذرات تؤلف سحباً هائلة من غازات الهيدروجين والهيليوم، فكيف تشكّلت من هذ السدم البنى الكونية العظمى؟ والجواب البدهي هو أن هذه البنى لابد من أنها قد تكونت من تراكم الغازات على بعضها في نقاط تكون فيها الكثافة أكبر منها فيما يجاورها. ويعني ذلك أنه لابد من أن الفضاء الكوني فيما يجاورها. ويعني ذلك أنه لابد من أن الفضاء الكوني كان يتضمن بعض اللاتجانس، وقد شكلت النقاط ذوات الكثافة الأعلى بذوراً نشأت عنها المجرات والعناقيد المجرية. وتشير الحسابات النظرية إلى أن نسبة اللاتجانس في الكثافة اللازمة في حدها الأدنى تقترب من في الكثافة اللازمة في حدها الأدنى تقترب من  $\frac{\Delta \rho}{\sigma}$ .

إلا أن أرصاد إشعاع الخلفية المايكروي الكوني وجدت أن مقدار نسبة اللاتجانس لاتزيد بأي حال من الأحوال على حال [50]. وهنا برز السؤال: كيف للتجمعات المجرية الكبرى أن تنشأ في مثل هذه الحال؟ هنا برزت ضرورة وجود كمية كبيرة من المادة اللاباريونية غير المرئية ألفت في تصور الكوزمولوجيين حفراً للطاقة Energy Wells ساهمت في دفع المادة الباريونية إليها لتتراكم على بعضها وتؤلف التجمعات الكونية العظمى [51]. وكان هذا سبباً مضافاً إلى ضرورة وجود المادة المظلمة. لكننا لسنا واثقين تماماً من أن نسبة اللاتجانس المحسوبة في حدها الأدنى نظرياً هي المقدار اللازم بالفعل لتشكل البنى الكونية العظمى، وهنا ثغرة على هذه الحجة.

## المادة المظلمة في علم الجسيمات الأولية

دأب فيزيائيو الجسيمات الأولية منذ زمن طويل على تقديم مقترحاتهم لتفسير المادة المظلمة. وقد حرص تقرير المراجعة الذي نشره ينجمان وجماعته عام 1996 على تعزيز اقتراح أن تكون الجسيمات فوق التناظرية Supersymmetric هي الجسيمات المؤلفة للمادة المظلمة [52]. إلا أن دراسة أحدث بينت أن هنالك بدائل أخرى في عالم الجسيمات الأولية [53].

وبحسب النوذج القياسي للجسيمات الأولية، فإن المادة Spin من فيرميونات، وهي الجسيمات التي لها برم Fermions بمقدار نصف عدد صحيح. والفيرميونات المكونات بدورها تنقسم إلى كواركات Quarks (وهي المكونات الأساسية للهادرونات كالبروتونات والنيوترونات) ولبتونات ليربط بين الفيرميونات فهي البوزونات

Bosons التي تمتلك برومًا بأعداد صحيحة تحمل القوى بين الجسيمات وهي الفوتونات الناقلة للقوى الكهرمغناطيسية وجسيمات  $W^\pm, Z^0$  التي تنقل القوى الكهرضعيفة والجلوونات Gluons التي تنقل القوى النووية الشديدة والجرافيتون وهو جسيم افتراضي عديم الكتلة له برم مقداره 2 يقوم بنقل القوى الجاذبية.

تُعرَف تفاعلات الجسيمات الأولية عن طريق الكشف عن التناظرات Symmetries الخاصة بها التي تتمتع بها كزمر Groups، وهذه هي الوسيلة الأفضل. وقد قفز فيزيائيو الجسيمات إلى القول بوجود تناظرات على مستوى البرم النظائري Isotopic Spin، فصار التفكير إلى افتراض وجود جسيمات نظيرة للفيرميونات هي بوزونات وجسيمات نظيرة للبوزونات هي فيرميونات. هذه الجسيمات سميت الجسيمات فوق التناظرية Supersymmetric Particles. وعلى الرغم من البحث المضني في مسارعات الجسيمات، هذه بما في ذلك المصادم الهادروني الكبير، فإن أياً من هذه الجسيمات لم يتم الكشف عنها حتى الآن. نعم هنالك احتمال أن يحتاج توليد هذه الجسيمات قدراً كبيراً من الطاقة لم تبلغه المسارعات المتوفرة حالياً.

## مقترحات لتأليف المادة المظلمة

لغرض تغطية النقص الكبير في كتلة المادة المؤلفة للكون ولسد النقص الذي تمثله تلك الكتلة، فقد قدم الباحثون العديد من المقترحات من أهمها:

## أجرام الهالة الكتلية المتراصة MACHO

كان هذا أول المقترحات لتعويض المادة المظلمة، حيث ساد الاعتقاد بوجود أجرام جسيمة غير مرئية في الهالات المجرية كونها لا تبعث ضياء يمكن رصده. ومن هذه الأجرام: الثقوب السود والنجوم النيوترونية والأقزام البيض والكواكب السائبة. وعلى الرغم من أن الأقزام البيض والأقزام الحمر تبعث ضياء خافتاً، فإن بعض الباحثين يضمها أيضاً إلى عائلة أجرام الهالة المجرية [54]. ويمكن الكشف عن مثل هذه الأجرام الجسيمة بواسطة تقنية التعدس الجاذبي المايكروي، حيث يؤدي مرور مثل هذه الأجرام أمام النجوم إلى مضاعفة سطوعها لفترة قصيرة بالتأثير التعديسي للضوء القادم من مصدر بعيد يقع وراء نلك الجرم. وبالنظر لتطور التقنيات البصرية ودقة القياس العالية لشدة الضوء القادم من النجوم، فقد شرعت فرق العالية عديدة في ملاحقة هذه الأجرام بالأرصاد للكشف

عنها. ولقد أفادت الأرصاد بعدم توفر أي كمية ذات شأن من الأجرام في مدى الكتلة الذي يقع بين ربع كتلة القمر وحتى 100 كتلة شمسية. إلا أن إحدى المجموعات البحثية أفادت بأنها كشفت عن أجرام ذوات كتل بحدود نصف كتلة الشمس وتعدل مجموع كتلتها ما يوازي 20% من كتلة المادة المظلمة التي تحتاجها مجرتنا [55]. وهذا يعني أن مثل هذه الأجرام ستكون عبارة عن أقزام بيض وأقزام حمر بالضرورة. إلا أن مجموعة بحثية أخرى لم تتمكن من تأكيد تلك الادعاءات على الرغم من أن تقنياتها تتمكن من تأكيد تلك الادعاءات على الرغم من أن تقنياتها لدى المجموعة الأولى [56]. فضلاً عن ذلك، فإن أرصاد للمجرية فقط يمكن أن يكون مؤلفاً من عمالقة حمر [57].

أما فيما يخص إمكانية وجود ثقوب سود بكميات كبيرة في أطراف المجرة، فإن هذا أمر مستبعد لكون هذه الثقوب لو وجدت لكانت مصدرًا لجاذبية شديدة تؤدي إلى اندفاع الغازات والأجرام الأخرى نحوه، مما يؤدي إلى صدور ضياء وإشعاعات يمكن كشفها بواسطة المراصد الفضائية، وربما المراصد الأرضية أيضاً. وهكذا يمكننا القول إن فرضية أجرام الهالة الجسيمة المتراصة لم توفق في إيجاد حل لمشكلة المادة المظلمة.

## الجسيمات الأولية المؤلفة للمادة المظلمة

من خلال دراسة كمية المادة المظلمة التي يحتاجها الكون ودراسة أنماط توزيعها، وضع باحثو الجسيمات الأولية التي الأولية نصب أعينهم مجموعة من الجسيمات الأولية التي يمكن أن تؤلف المادة المظلمة واستبعدوا جسيمات أخرى لكونها لا تفي بالمقدار اللازم.

## نيوترينوهات النموذج القياسى

حتى عهد قريب، كان الفيزيائيون يعتقدون أن النيوترينوهات يمكن أن تكون مثالية لتأليف المادة المظلمة، وذلك لأنها جسيمات لا تتفاعل إلا بشكل ضعيف مع بقية الجسيمات ولا يختلف على وجودها أحد [59]. وكان اعتماد فيزيائيي الجسيمات في اختيارها لأنها تمتلك كتلة. لكنهم وجدوا بعد تدقيق القيود والشروط التي تفرضها النظرية والأرصاد أن كمية هذه النيوترينوهات لن تكفي لسد النقص الذي نحتاجه في متوسط كثافة المادة في الكون. فالتجارب تبين أن هنالك سقفًا لكتلة النيوترينو هو [60]:  $m_{\rm w} < 2.0 {\rm eV}$ 

## Sterile Neutrinos النيوترينوهات العقيمة

وهي صنف من النيوترينوهات لا يتفاعل إلا من خلال المجال الجاذبي، ولا يتفاعل بموجب تفاعلات النموذج القياسي. وكان دودلسون وودرو [61] قد اقترحا هذا النوع من النيوترينوهات لكي يكون ممثلاً للمادة المظلمة. ويبدو أنه لا يوجد ما يمنع من تمثيل هذه النيوترينوهات العقيمة للمادة المظلمة الساخنة أو الباردة.

#### الآكسيونات Axions

هي جسيمات افتراضية اقترحها بيسى وكوين عام 1977 لحل مشكلة حفظ التماثل والشحنة في القوى النووية الشديدة [62]. الأكسيونات ليس لها برم، وتفاعلها مع المادة الباريونية ضعيف جداً. ويبدو أن هذه الجسيمات يمكن أن تكون مادة مظلمة بعد استيفاء المتطلبات التي تقررها الشروط الكوزمولوجية كافة، علماً بأن كتلة هذه الجسيمات الافتراضية لا تزيد على 0.01 eV، وهي كتلة صغيرة جدا [63]. وتقوم عملية الكشف عن الأكسيونات على فكرة صدور موجات راديوية عنها حين تتفاعل مع مجال مغناطيسي شديد. ثم يجري حصر هذه الموجات في تجويف أسطوانى يقوم يتضخيم الموجات التى تمتلك ترددات خاصة. لذلك تتم تهيئة مجال مغناطيسي بشدة بحدود 100 ألف جاوس يتوقع أن تمر خلاله الآكسيونات المفترضة. وعلى فرض أن كتلة الأكسيون هي 2 مايكرو إلكترون فولت، فإن عدد الأكسيونات التي يتوقع أن تمر خلال الكاشف في الثانية الواحدة هي  $10^{30}$  جسيم.

إذا كانت الأكسيونات موجودة كجزء من تكوين المادة المظلمة، فإنها لابد من أن تتفاعل مع الجسيمات الأولية التي يشملها النموذج المعياري Standard Model التي يشملها و[65]، وعليه، يجب أن تكون قابلة للكشف عن طريق التحلل الناتج عن تصادم فوتونين؛ إذ تظهر هذه العملية كخط انبعاث بصري واحد ذي شدة تتناسب مع كثافة الأكسيونات؛ أي المادة المظلمة. ولقد أفادت طرائق البحث الطيفى عن خط الانبعاث المذكور مما توفر في تقنيات التعدس الجاذبي [66]، وتم تحسين كفاءة الكشف ثلاثة أضعاف مقارنة بدراسات سابقة. وبذلك تم اشتقاق حد أعلى لترابط فوتونين في نطاق على قادرين على . 4.5  $< m < 7.7\,eV$ النظر في نطاق محدد لطاقات الجسيمات المتفاعلة لتشخيص خط الانبعاث المزعوم. وفي بند قادم، سنبين التفاصيل التجريبية لهذه العملية.

محمد باسل الطائى Review Article

أما في قائمة الجسيمات فائقة التناظر التي أخذت التسمية WIMPs؛ أي الجسيمات ذات التفاعل الضعيف Weakly Interacting Massive Particles فإن الجسيمات المقترحة هي:

#### Neutralino النيوترالينو

هو جسيم افتراضي ينتمي إلى عائلة الجسيمات فوق التناظرية، وهو حالة مستقرة تتألف من خليط البوزينو (وهو فوق تناظري جسيمات Z) والفوتينو (وهو فوق تناظري الفيجزينو (وهو فوق تناظري الهيجز). وقد اقترح هذا الجسيم ليكون الأوفر حظاً في تشكيل المادة المظلمة [67].

إذا كان النيوترالينو ليؤلف شطرا كبيرا من الهالة المجرية، فإنه سوف يستقر في النهاية في قلب المجرة ولب الشمس ومركز الأرض. ولقد اعتبر بعض الباحثين أن النوع الأخف من هذه الجسيمات بكتلة تتراوح ما بين 10-10000 جيجا إلكترون فولت هو الأكثر احتمالاً لتأليف المادة المظلمة [68]. ويعتقد الباحثون في الجسيمات الأولية أن بالإمكان الكشف عن هذه الجسيمات من خلال قياس توزيعها الزاوي في حركتها نحو الأرض على الرغم من ضعف تفاعلها مع مادة الأرض، إلا أن تشتتها خلال مرورها يمكن أن يعطينا توزيعا زاويا يمكننا من الكشف عنها. أما عن طرق اكتشاف النيوترالينو فهنالك طريقتان: الأولى غير مباشرة وهي التي تستخدم مرصد أشعة جاما ومرصد النيوترينوهات وتحاول الكشف عن عمليات فناء أزواج النيوترالينو في قلب المجرة أو لب الشمس [69]. أما الطريقة الثانية فهى التى تستخدم الخزانات الباردة Cryogenic التي تحوي سوائل من مواد تظهر سلسلة تفاعلات مع النيوترالينو مثل تجربة Underground Xenon experiment (LUX) تقبع على عمق 1500 متر تحت الأرض [70]. إحدى هذه التجارب الكبيرة كانت قد فشلت في الكشف المؤكد عن الجسيمات المؤلفة للمادة المظلمة [71]. تبعتها محاولات أخرى كان أشهرها تجربة LUX التي فشلت هي الأخرى في الكشف عن شيء مؤكد من جسيمات WIMPS التي اقترحها أصحاب الجسيمات الأولية. وهذه التجربة هي ما سنتحدث عنه في جزء آخر من هذا البحث.

#### الهيجزينو Higzino

هذا هو الرفيق فوق التناظري لجسيم الهيجز المؤسس لكتل الجسيمات حسبما يتوقع فيزيائيو الجسيمات الأولية. وهو جسيم فيرميوني أثقل كثيرًا من الهيجز. فمن خلال

تفاعلات هذا الجسيم ومتولداته، يتألف أخف جسيم قياسي Lightest Scalar Particle معروف نظرياً. هذا الجسيم الذي يعتقد أنه يؤلف المادة المظلمة. لكن التجارب، وأهمها قياسات المصادم الهادروني الكبير، لم تثبت حتى الأن وجود مثل هذا الجسيم [72].

## المادة المظلمة كمجال مقياسي

المجال المقياسي Scalar Field هو مجال كمي لا يمتلك برما. وقد بنيت تصورات مفادها أن المادة المظلمة يمكن أن تتألف من مجال عددي هو عبارة عن جسيمات  $10^{30}$  ذات كتل قليلة جداً بحدود  $10^{30}$  إلكترون فولت وهذه كتلة قليلة جداً؛ إذ تقع في حدود التقلبات الكمومية للخلاء. ومن هنا جاءت مفردة quintessence، التي تشي بأثيرية هذه الجسيمات، في عناوين الإبحاث التي تضمنت المقترح. وقد بُنيت نماذج كونية تتضمن مثل هذا المقترح [74]. بالتالى، فإن المادة المظلمة في هذه التصورات هي أشبه بالأمواج منها بالمادة. وكانت أبحاث سابقة قد بينت أن الهالات المجرية هي عبارة عن كثيف بوز - آينشتاين Bose-Einstein Condensate لكموم خفيفة جداً [75]. وعليه، تم الحديث في بحث آخر عن النجوم المؤلفة من كثيف البوزونات [76]. ومن الجدير بالذكر هنا أن الأكسيونات التي مر ذكرها هي نوع من الجسيمات العددية الخفيفة عديمة البرم. وعليه، يمكن أن تقع ضمن هذا التصنيف من المادة المظلمة.

#### الفوتونات المظلمة Dark Photons

في عام 2009، اقترح أكرمان وباحثون آخرون فكرة أن تكون المادة المظلمة هي عبارة عن فوتونات معتمة [77]. هذه الفكرة تقوم على افتراض وجود مجال كهرمغناطيسي يتفاعل مع المادة المظلمة التي يفترض أنها مؤلفة من شحنات موجبة وسالبة. وقد أسهب الباحثون في تفاصيل هذا المقترح حتى بدا أنه أشبه بقصة تحكي فيزياء جديدة خارج التصورات المعهودة مما يجعلها صعبة القبول. إلا أن تجارب عديدة [78] نفت حصول العواقب التي تنبأت بها هذه الفرضية، مما يجعلها غير مناسبة لتفسير المادة المظلمة.

إن مقترحات تفسير المادة المظلمة بفرضية وجود الجسيمات فوق التناظرية قد باء أغلبها بالإحباط بعد أن فشل المصادم الهادروني الكبير بالكشف عن مثل هذه الجسيمات [79] وفشلت تجربة LUX في الكشف عن إشارات مؤكدة عن وجود الجسيمات المتوقعة [80].

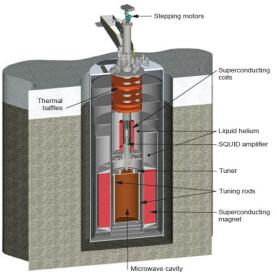
## طرق الكشف عن الجسيمات ضعيفة التفاعل WIMPs

بالنظر إلى أن هذه الجسيمات لا تتمظهر إلا من خلال تفاعلها مع المجال الجاذبي وتحللها إلى جسيمات أخرى، فإن الكشف عنها يكون في غاية الصعوبة. وهنالك مجموعتان من طرق الكشف: الأولى طرق الكشف المباشر والثانية طرق الكشف غير المباشر.

## طرق الكشف غير المباشر

وأهمها ما تم إنشاؤه للكشف عن الأكسيونات. فالأكسيون عندما يصطدم مع فوتون، فإنه ينتج فوتونان طاقتهما تتناسب مع كتلة الأكسيون. وبما أن الأكسيونات لا تتحرك بسرعات كبيرة، فإن الفوتونات المتولدة تكون ذات طاقة قليلة جداً؛ أي إنها تكون موجات راديوية كما أسلفنا. هذه الأمواج الراديوية يتم حصرها في ما يسمى التجويف الرنيني Resonance Cavity حيث تحاط بمجال

مغناطيسي شديد يؤدي إلى تضخيمها، ومن ثم يتم تحسس هذه الأمواج الراديوية وقياس طاقتها بمساعدة جهاز التداخل الكمومي فائق التوصيلية Superconducting Quantum Interference Device (SQUID)، حيث يتم إجراء المسح على الموجات الراديوية المحصورة لالتقاط إشارة تتناغم مع الأمواج الراديوية في التجويف الرنيني. وقد سمى هذا بمشروع ADMX اختصارا لعبارة Axion Dark Matter Experiment. وقد أجريت التجربة أول مرة عام 1995 في لورنس لايفمور لاب وأجريت تحسينات عليها عام 2008، ولكن الباحثين لم يتمكنوا من الكشف عن أية إشارات موثوقة تؤكد وجود الأكسيونات. وعلى الرغم من ذلك، فإنهم يؤكدون أن الأكسيونات هي الجسيمات الأفضل لتأليف المادة المظلمة [81]. إن التطورات الأحدث تتوجه نحو الكشف عن حقل من الأكسيونات بدلا من محاولة الكشف عن جسيم واحد منها فقط [82].



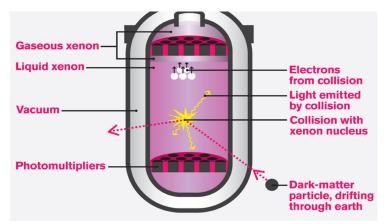
الشكل (14): مخطط جهاز تجربة الكشف عن الأكسيونات (Source: ©Lawrence Livermore National Laboratories).

## طرق الكشف المباشر

وهي غالباً ما تعنى بكشف الجسيمات الكتلوية ضعيفة النفاعل WIMPs. وهنالك مشاريع عديدة في العالم تعمل للكشف عن هذه الجسيمات. ومن أكثر هذه التجارب شهرة تجربة كاشف الزينون تحت الأرض الكبير Large يرمز له (LUX)، ويرمز له (LUX)، وقد تم إنشاؤه داخل منجم قديم للذهب على عمق 1463 متراً في منطقة جنوب داكوتا في الولايات المتحدة الأمريكية. ويتألف الكاشف من أسطوانة تحتوي على 350 كيلوغراماً من الزينون السائل والغازي. ومن خصائص

الزينون أنه يصدر وميضاً عندما يصطدم أحد الجسيمات الكتلوية ضعيفة التفاعل بنواة ذرته، كما هو مبين في الشكل (15)، فتقوم الكواشف الحساسة جداً بتسجيل هذه الحوادث فوراً. ونظرًا لأن مثل هذه الأحداث يمكن أن تحصل بسبب جسيمات تأتي من المحيط الخارجي ومن مصادر شتى بما فيها الأشعة الكونية فقد تم عزل برميل الزينون على هذا العمق محاطاً بجدار من الرصاص النقي سمكه متر يكفل امتصاص إشعاعات جاما وإكس الصادرة من جدران المنجم. كما تتم إحاطة الكاشف بالماء من كل جانب لضمان عدم تسرب النيوترونات والأشعة الكونية اليه.

محمد باسل الطائى محمد علي Review Article



الشكل (15): كاشف الزينون الكبير تحت الأرض (Source: ©The LUX Experiment).

توقع الباحثون أن التصادم بين جسيمات WIMPs ونوى الزينون سيؤدي إلى توليد فوتونات بطول موجي مقداره 175 نانومتر مع إلكترونات. الفوتونات سيتم كشفها من خلال المضاعفات الضوئية وعددها 61 في الكاشف. أما الإلكترونات، فيتم سحبها إلى الأعلى نحو غاز الزينون بواسطة مجال كهربائي ثم سحبها ثانية إلى السطح بواسطة مجال كهربائي أكثر شدة. وكان الباحثون قد رتبوا حساباتهم بدقة عالية ليتمكنوا من الكشف عن أي حدث ومعرفة موقعه داخل الكاشف بدقة عالية تصل إلى 1

وعلى الرغم من المراقبة المتواصلة، لم يتم الكشف عن أحداث ذات أهمية خاصة في هذه التجربة. وفي 21 تموز / يوليو 2016، أعلنت مجموعة الباحثين في مشروع LUX عن فشل المشروع في الكشف عن أي إشارة موثوقة للجسيمات الكتلوية ضعيفة التفاعل [83]. وقد ولد هذا الإعلان إحباطاً كبيرًا لدى الباحثين في هذا المجال. وهذا تأكيد آخر مهم على عدم نجاح مقترح تأليف المادة المظلمة من جسيمات أولية. وهو ما دعا إلى توجيه الأنظار والجهود البحثية إلى نواح وأفكار أخرى.

## برنامج ماجيك MAGIC للكشف الفضائي

هذا المشروع يتألف من زوج من التلسكوبات تراقب صدور إشعاعات جاما التي يمكن أن تنتج عن تحول جسيمات المادة المظلمة، إن وجدت، إلى أشعة عبر فناء الجسيمات بلقائها مع جسيمات مضادة. هذه التلسكوبات منصوبة على ارتفاعات عالية بحدود 2200 متر فوق سطح البحر في إحدى الجزر الإسبانية منذ عام 2009، وتعمل ما يزيد على 1500 ساعة سنوياً. وكلمة (MAGIC) هي مختصر لعبارة The Major Atmospheric Gamma-ray

Imaging Cherenkov وعلى الرغم من الحساسية العالية التي تتمتع بها كواشف هذه التلسكوبات، فإنها على مدى السنوات الثمان الماضية لم تتمكن من الكشف عن أي أثر صادر عن فناء أزواج الجسيمات التي يعتقد أنها تؤلف المادة المظلمة. وقد أعلن فريق العمل المكلف بهذا المشروع هذه النتيجة مؤخراً في ورقة علمية نشرها مؤخراً على موقع أركايف [84]. وتأتي هذه النتيجة السلبية ضربة أخرى لفرضية تألف المادة المظلمة من جسيمات أولية.

## تجارب المصادم الهادروني الكبير LHC

توقع بعض الفيزيائيين أن تكشف تجارب المصادم الهادروني الكبير في سيرن عن مؤشرات قوية على وجود المادة المظلمة، وقد أسرع بعضهم بالمجازفة في التصريح بتنبؤات تفصيلية لما يمكن أن يحصل بهذا الصدد [85]. لكن أياً من هذه التنبؤات لم يحصل، ولا توجد مؤشرات واضحة في النتائج التي تم الحصول عليها في تجارب المصادم الهادروني الكبير حتى الأن.

## أفكار بديلة لفرضية المادة المظلمة

هنالك عدة أفكار طرحت كبديل لفرضية وجود مادة مظلمة في الكون. هذه الأفكار بعضها موضعي Local يعالج طرفاً من الوقائع الأرصادية التي دفعت باتجاه فرض وجود مادة مظلمة، وبعضها الآخر شمولي Global يعالج الوقائع المختلفة معاً. وقد أصبح الوقت مناسباً على ما يبدو للالتفات إلى هذه الأفكار، وقد عجزت الجهود الحثيثة والتجارب المعقدة التي وظفت أدق التقنيات على مدى العقدين الماضيين عن اكتشاف أي أثر حقيقي للمادة المظلمة.

## فرضية موند MOND Hypothesis

موند مختصر لعبارة Dynamics، وهذه فرضية اقترحها الفيزيائي موردخاي ميلغروم Mordehai Milgrom. وقد وضعَت أساساً ميلغروم Mordehai Milgrom. وقد وضعَت أساساً لمعالجة مشكلة منحنيات السرعة للمجرات التي أظهرت تباينا واضحاً مع الأرصاد. وفي هذه الفرضية يقول ميلغروم إن قانون نيوتن الثاني بصيغته العامة لا ينطبق على النظم الحركية ذات التسارع البطيء جداً مثل حركة الأجزاء الخارجية للمجرات، بل لابد من وجود صيغة أخرى تعالج الخرى للقانون تأخذ بعين الإعتبار حالة التسارعات القليلة أخرى للقانون تأخذ بعين الإعتبار حالة التسارعات القليلة جداً، وهذه الصيغة هي:

$$F = m \mu \left(\frac{a}{a_0}\right) a,$$
with  $\mu(x >> 1) = 1$ 
and  $\mu(x << 1) = x$ 

$$(11)$$

.  $a_0 \approx 10^{-10} \, ms^{-2}$  وبحسب تقديرات ميلغروم، فإن

وقد قام ميلغروم بتطبيق القانون أعلاه على منحنيات السرعة للمجرات، فوجد أن هنالك تطابقاً جيداً بين ما تتوقعه هذه الفرضية والأرصاد المسجلة لحركة المجرات. فاستنتج أن لا ضرورة لفرضية المادة المظلمة لتفسير منحنيات السرعة للمجرات [87].

إن فرضية ميلغروم تفتقد الأساس النظري العميق ولا تنبني على نظرية واضحة، بل ربما تكون التوافقات التي حصل عليها ميلغروم صدفية. لذلك حاول ميلغروم بالتعاون مع الفيزيائي بكنشتاين أن يؤسس نظرياً لفرضيته من طرق عديدة [88].

وفيما عدا الافتقار إلى الأساس النظري، فإن فرضية ميلغروم لا تغطي تفسير الحجج الكوزمولوجية لفرضية وجود المادة المظلمة، أعني تلك التي جاءت بها تحليلات إشعاع الخلفية المايكروي الكوني التي سلف الحديث عنها آنفاً، والتي توحي بضرورة وجود المادة المظلمة لتغطية النقص الحاصل في متوسط كثافة المادة المرئية في الكون. وقد اعترض بعض الفلكيين أيضاً بأرصاد تتعلق بما يسمى عنقود الرصاصة Bullet Cluster، حيث بينت الأرصاد [89] و[90] التي اعتمدت تقنيات التعدس الجاذبي أن

المادة الساخنة التي تبعث أشعة X -وهي المادة الباريونية- Y تؤلف بمجملها كتلة الغاز الحار، بل هنالك معها على مايبدو كتلة أخرى. وقد ميز الفلكيون ذلك من خلال انحراف الضوء المرصود بعملية التعدس الجاذبي، حيث وجدوا أن مركز كتلة العنقود Y يتطابق مع مركز الكتلة للمادة الباريونية كما ذكرنا آنفاً (انظر الشكل Y).

وكذلك تم الاحتجاج بحالة العنقود المجري CL0024+17 كحالة مماثلة لعنقود الرصاصة، إذ هنالك انفصام واضح بين المادة الباريونية ومركز الكتلة الكلي للعنقود يؤشر إلى وجود مادة غير مرئية تحف بالمادة الباريونية [91].

## نظريات الجاذبية المحورة Modified Gravity

وأشهرها نظرية جون موفات John Moffat التي قامت على أساس الجاذبية اللاتناظرية. ويدعي واضعو النظرية أن بإمكانهم تفسير كثير من الوقائع الأرصادية المهمة دون الحاجة إلى افتراض وجود مادة مظلمة. لكن هنالك نقدًا رئيسيًا يوجه إلى هذه النظرية هو أنها لا تغطي متطلبات الحالات المماسية non-Asymptotic؛ أي لا تعطي التصرف المماسي المطلوب [93]. إلا أننا في حقيقة الأمر أمام نظريات ناشئة ربما يكون لها مستقبل واعد؛ إذ لا نجد خلافاً جوهرياً لها مع الأرصاد عموماً مما يجعل رفضها دون أسس عملية قضية ذوق وتفضيل مزاجي وليس قاماً على أساس علمى رصين.

## فرضية لزوجة الخلاء Vacuum Viscosity

وهذه ربما تكون أحدث الفرضيات التي تستغني عن وجود مادة مظلمة ولا ترى ضرورة لها. والفرضية تقول إن تفاعل المادة الباريونية مع تقلبات الخلاء الكمومية كبيرًا يفسر كثيرًا من الظواهر التي أوحت بوجود مادة كبيرًا يفسر كثيرًا من الظواهر التي أوحت بوجود مادة مظلمة [94]. وقد تم تطبيق هذه الفرضية على منحنيات السرعة لعدد كبير من المجرات الحلزونية، ووجد أنها تتطابق إلى حد كبير مع المنحنيات التي تقدمها الأرصاد الفلكية [95]. إلا أن هذه الفرضية أيضاً بحاجة إلى تأسيس نظري عميق يوضح كيفية ظهور لزوجة الخلاء كتأثير ديناميكي ينشأ عن حركة المادة الباريونية في الخلاء من خلال تفاعلها مع تقلبات الخلاء.

محمد باسل الطائي Review Article

## مناقشة وخلاصة

قدمنا في هذه المراجعة عرضا شاملاً لمشكلة المادة المظلمة في الكون. هذه المشكلة التي أرقت الكثير من الباحثين والتي ظهرت أساساً على أكثر من مستوى بحثى وفي أكثر من وجه. فهي في أحد وجوهها ظهرت كمشكلة عدم توافق الأرصاد الفلكية لسرعة دوران الأجزاء الخارجية للمجرات مع التوقعات النظرية، وفي مظهر آخر ظهرت كمشكلة فهم حركة تذبذب المجرات داخل العناقيد المجرية. وفي وجه ثالث برزت المشكلة عندما اكتشف الكوزمولوجيون أن الكون مسطح مكانيا مما استوجب لديهم أن يكون متوسط كثافة المادة والطاقة في الكون مساويا للقيمة الحرجة، في حين أن ما يرونه من مادة كونية لا يتجاوز 5% فقط مما ينبغى أن يوجد. هذا فضلا عن جوانب أخرى متعلقة بهذه المشكلة أو تلك. وهكذا أصبحت فرضية وجود المادة المظلمة مشكلة كبرى من مشاكل الكوزمولوجيا والفيزياء المعاصرة عموماً. وتفاقمت المشكلة مع إخفاق التجارب العملية في الكشف عن أية آثار لتلك المادة "السيالة" التي لا يمكن الإمساك بها والتي لا تتفاعل مع أي شيء آخر إلا عبر تأثيراتها الجاذبية فقط.

لقد قدمت مقترحات كثيرة لمكونات المادة المظلمة. وقد ساد صوت فيزيائيي الجسيمات الأولية خلال العقدين الماضيين، فانطلوا في وضع تخيلات عديدة لصور هذه المادة الغريبة، وكان أملهم الكبير منعقداً على ما يسمى الجسيمات فانقة التناظر؛ فإنهم إن كشفوها حققوا غايتين: الأولى استكمال ما يسمى النموذج القياسي للجسيمات الأولية بالتحقق من وجود هذه الجسيمات، والثاني الكشف عن تكوين المادة المظلمة ومعرفة خصائصها، وذلك ما كان سيفتح آفاقاً جديدة هائلة لتطوير علم الجسيمات الأولية، ولكن هيهات.

لقد بنيت مشاريع عديدة وأجريت أرصاد كثيرة وأنفقت أموال طائلة خلال العقدين الماضيين دون أي نتيجة إيجابية تشير إلى وجود المادة المظلمة. وقد ذاعت خلال هذه الفترة كثير من الأسماء ولمعت كثير من النجوم في عالم الفيزياء والكوزمولوجيا، لكن أياً من تلك الإضاءات لم تدم طويلاً. فقد فشلت تلك المشاريع وآخرها مشروعا LUX و MAGIC في الكشف عن وجود حقيقي لجسيمات تؤلف المادة المظلمة. وحتى مشروع KiDS لم يثبت أي توافق بين الأرصاد التي تخص اتساق المجرات والتوزيع المجري الذي يقرره نموذج الكون المنبسط [24].

إن فرضية المادة المظلمة على الرغم من هيمنتها وشيوعها في الوسط العلمي كانت وما زالت محفوفة بكثير من الاعتراضات الضمنية. أحد هذه الاعتراضات المهمة يقول: كيف لكتلة غير مرئية أن توجد بنسبة عالية في الهالات المجرية وهي تتمتع بخصائص جاذبية مثل المادة العادية وتبقى صامدة دون أن تهوي إلى مراكز تلك المجرات؟ لا بد من قوة ساندة عندئذ تمنعها من السقوط إلى مركز المجرة. ومن جانب آخر، فقد رأينا كيف أن الكوزمولوجيين فسروا نشوء البنى الكونية العظمى بفرضية وجود مادة مظلمة في المناطق ذات الكثافة العالية نسبياً، مما ساعد في جذب المادة التي كانت حول تلك المناطق وساعد في تراكمها على بعضها لتكوين نوى المجرات والعناقيد المجرية.

ومن الجدير بالذكر هنا القول إن شدة حاذبية المادة المظلمة كانت موضع تساولنا في دراسات بينت أن المادة المظلمة -إن وجدت- فإنها لا تتمتع بنفس خصائص جاذبية المادة العادية. فقد بينت إحدى الدراسات التي استخدمت معلومات عن التعدس الجاذبي للمجرات أن جاذبية المادة المطلمة ربما تكون أقل من جاذبية المادة العادية [96]. فيما بينت دراسة أخرى استخدمت مبرهنة عزم القوة فيما بينت دراسة أخرى استخدمت مبرهنة عزم القوة Oravitational أن الكتلة الجاذبية Mass للمادة المظلمة ربما تختلف عن كتلتها القصورية [97]. وضمنياً يعني هذا تأييداً للدراسة الأولى.

قدمنا في البند الخير لهذه المراجعة على نحو موجز أفاقاً أخرى تطرح بدائل لتفسير الظواهر التي دعت إلى فرض وجود مادة مظلمة. وفي طليعة هذه البدائل التي صارت تأخذ اهتماماً ديناميكا الآن فرضية موند MOND (داينميكا نيوتن المحورة)، فقد أصبحت تظهر بعض المقترحات التي تحاول إيجاد تطبيقات عملية تفحص صحة الفرضية من خلال ما تتنبأ به من ظواهر [98]. كما أن لنظريات الجاذبية المحورة (اللاتناظرية) رواجاً في بعض الأوساط العلمية [99]. ويبدو أن بعض هذه البدائل على الرغم مما يلحق بها من إشكالات حالياً ربما ستصمد لتصبح لاحقاً نظريات جديدة مؤهلة لتقديم تفسير للمشكلة. وهذا هو ديدن العلم، والمعرفة العلمية تتطور باستمرار وتنشأ نظريات جديدة تحوي تفاسير جديدة وأفهاماً جديدة على أنقاض النظريات القديمة.

## المراجع

- 20. Bershady, M.A. et al., The Astrophysical Journal, 716(1) (2010) 198.
- Dyson, F.W., Eddington, A.S. and Davidson, C., Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 220(571-581) (1920) 291.
- 22. Bartelmann, M. and Schneider, P., Physics Reports, 340(4) (2001) 291.
- 23. Moore, B. et al., The Astrophysical Journal Letters, 499(1) (1998) L5.
- 24. Heymans, C., "The Dark Universe", (IOP Publishing, 2017).
- 25. Keeton, C.R., The Astrophysical Journal, 561(1) (2001) 46.
- 26. Hubble, E., Proceedings of the National Academy of Sciences, 15(3) (1929) 168.
- 27. Friedman, A., Zeitschrift für Physik, 10 (1922) 377.
- 28. Gamow, G., Physical Review, 70(7-8) (1946) 572.
- 29. Gamow, G., Nature, 162(4122) (1948) 680.
- 30. Alpher, R.A., Bethe, H. and Gamow, G., Physical Review, 73(7) (1948) 803.
- 31. Burbidge, E.M. et al., Reviews of Modern Physics, 29(4) (1957) 547.
- 32. Hoyle, F. and Fowler, W.A., The Astrophysical Journal, 132 (1960) 565.
- 33. Wagoner, R.V., Fowler, W.A. and Hoyle, F., The Astrophysical Journal, 148 (1967) 3.
- 34. Penzias, A.A. and Wilson, R.W., The Astrophysical Journal, 142 (1965) 419.
- 35. Dicke, R.H. et al., The Astrophysical Journal, 142 (1965) 414.
- 36. Corey, B. and Wilkinson, D.T., "A measurement of the cosmic microwave background anisotropy at 19 GHz". In: Bulletin of the American Astronomical Society, (1976).
- 37. Smoot, G.F., Gorenstein, M.V. and Muller, R.A., Physical Review Letters, 39(14) (1977) 898.
- 38. Cheng, E. et al., The Astrophysical Journal, 232 (1979) L139.

- 1. Zwicky, F., Helvetica Physica Acta, 6 (1933) 110.
- 2. Jeans, J., MNRAS, 82 (1922) 122.
- 3. Rubin, V.C. and Ford Jr, W.K., The Astrophysical Journal, 159 (1970) 379.
- 4. Conroy, C., Wechsler, R.H. and Kravtsov, A.V., The Astrophysical Journal, 647(1) (2006) 201.
- Kamionkowski, M., arXiv preprint hepph/9710467, 1997.
- 6. Griest, K., Annals of the New York Academy of Sciences, 688(1) (1993) 390.
- 7. Zwicky, F., The Astrophysical Journal, 86 (1937) 217.
- 8. Kahn, F. and Woltjer, L., The Astrophysical Journal, 130 (1959) 705.
- 9. Einasto, J. and Lynden-Bell, D., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 199(1) (1982) 67.
- 10. Babcock, H.W., Lick Observatory Bulletin, 19 (1939) 41.
- 11. Oort, J.H., The Astrophysical Journal, 91 (1940) 273.
- 12. Van de Hulst, H., Raimond, E. and Van Woerden, H., Bulletin of the Astronomical Institute of the Netherlands, 14 (1957) 1.
- 13. Roberts, M.S., The Astrophysical Journal, 144 (1966) 639.
- 14. Burbidge, E.M. and Burbidge, G., The Astrophysical Journal, 129 (1959) 271.
- 15. Burbidge, E.M., Burbidge, G. and Prendergast, K., The Astrophysical Journal, 130 (1959) 739.
- 16. Burbidge, E.M., Burbidge, G. and Prendergast, K., The Astrophysical Journal, 130 (1959) 26.
- 17. Burbidge, E.M. and Burbidge, G., The Astrophysical Journal, 130 (1959) 12.
- 18. Roberts, M. and Rots, A., Astronomy and Astrophysics, 26 (1973) 483.
- 19. Einasto, J., arXiv preprint arXiv:0901.0632, 2009.

محمد باسل الطائى Review Article

- 57. Graff, D.S. and Freese, K., The Astrophysical Journal Letters, 456(1) (1996) L49.
- 58. Najita, J.R., Tiede, G.P. and Carr, J.S., The Astrophysical Journal, 541(2) (2000) 977.
- 59. Bergstrom, L., Rept. Prog. Phys., 63 (2000) 793. arXiv preprint hep-ph/0002126.
- 60. Weinheimer, C., Nuclear Physics B-Proceedings Supplements, 118 (2003) 279.
- 61. Dodelson, S. and Widrow, L.M., Physical Review Letters, 72(1) (1994) 17.
- 62. Peccei, R.D. and Quinn, H.R., Physical Review Letters, 38(25) (1977) 1440.
- 63. Rosenberg, L.J. and Van Bibber, K.A., Physics Reports, 325(1) (2000) 1.
- 64. Baluni, V., Physical Review D, 19 (1979) 2227.
- 65. Crewther, R. et al., Physics Letters B, 88(1-2) (1979) 123.
- 66. Grin, D. et al., Physical Review D, 75(10) (2007) 105018.
- 67. Bertone, G., "Particle dark matter: Observations, models and searches". (Cambridge University Press, 2010).
- 68. Martin, S.P., Adv. Ser. Direct. High Energy Phys., 21(515) (2010) 1.
- 69. Feng, J.L., Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 48 (2010) 495.
- 70. Reich, E.S., Nature, 494(7437) (2013) 291.
- 71. Collaboration, C.I., Science, 327(5973) (2010) 1619.
- 72. Aaboud, M. et al., Journal of High Energy Physics, 2016(9) (2016) 175.
- 73. Matos, T. and Urena-Lopez, L.A., Classical and Quantum Gravity, 17(13) (2000) L75.
- 74. Sahni, V. and Wang, L., Physical Review D, 62(10) (2000) 103517.
- 75. Sin, S.J., Physical Review D, 50(6) (1994) 3650.
- 76. Lee, J.W. and Koh, I.-G., Physical Review D, 53(4) (1996) 2236.
- 77. Ackerman, L. et al., Physical Review D, 79(2) (2009) 023519.

39. White, M., Scott, D. and Silk, J., Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 32(1) (1994) 319.

- Rubin, V.C., Weighting the universe: dark matter and missing mass. "Bubbles, Voids, and Bumps in Time: The New Cosmology", (1995) 73-104.
- 41. Jungman, G. et al., Physical Review Letters, 76(7) (1996) 1007.
- 42. Ade, P. et al., Astronomy & Astrophysics, 594 (2016) A13.
- 43. Komatsu, E. et al., The Astrophysical Journal Supplement Series, 192(2) (2011) 18.
- 44. ESA1. 22/2/2017.
- 45. Coles, P. and Lucchin, F., "Cosmology: The origin and evolution of cosmic structure". (John Wiley & Sons, 2003).
- 46. Guth, A.H., Physical Review D, 23(2) (1981) 347.
- 47. Linde, A.D., Physics Letters B, 108(6) (1982) 389.
- 48. Riess, A.G. et al., The Astronomical Journal, 116(3) (1998) 1009.
- 49. Frieman, J.A., Turner, M.S. and Huterer, D., Annu. Rev. Astron. Astrophys., 46 (2008) 385.
- 50. Parijskij, Y., The Large Scale Structure of the Universe, (1978) 315.
- 51. White, S.D. and Rees, M.J., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 183(3) (1978) 341.
- 52. Jungman, G., Kamionkowski, M. and Griest, K., Physics Reports, 267(5-6) (1996) 195.
- 53. Bertone, G., Hooper, D. and Silk, J., Physics Reports, 405(5) (2005) 279.
- 54. Croswell, K., "The universe at midnight: Observations illuminating the cosmos". (Simon and Schuster, 2002).
- 55. Alcock, C. et al., The Astrophysical Journal, 542(1) (2000) 281.
- 56. Tisserand, P. et al., Astronomy & Astrophysics, 469(2) (2007) 387.

- 89. Clowe, D., Gonzalez, A. and Markevitch, M., The Astrophysical Journal, 604(2) (2004) 596.
- 90. Markevitch, M. et al., The Astrophysical Journal, 606(2) (2004) 819.
- 91. Jee, M. et al., The Astrophysical Journal, 661(2) (2007) 728.
- 92. Moffat, J. and Toth, V., arXiv preprint arXiv:0710.0364, 2007.
- 93. Damour, T., Deser, S. and McCarthy, J., Physical Review D, 47(4) (1993) 1541.
- 94. Altaie, M.B., "Vacuum Viscosity: An Alternative to Dark Matter", (Yarmouk University, 2016) unpublished.
- 95. Suliman, N., "The Spiral Galaxies Rotation Curves Problem", (Yarmouk University, 2016).
- 96. Mustafa, M., "Gravitational Lensing and the Detection of Dark Matter", (Yarmouk University, 2010).
- 97. Al-Khasawneh, B. and Altaie, M.B., Jordan J. of Phys., 6(2) (2013) 65.
- 98. Pereira, J.P., Overduin, J.M. and Poyneer, A.J., Physical Review Letters, 117(7) (2016) 071103.
- 99. Koyama, K., Reports on Progress in Physics, 79(4) (2016) 046902.

- 78. Walsh, K.M. Data from RHIC, other experiments nearly rule out role of 'dark photons' as explanation for 'g-2' anomaly 2015; Available at: https://phys.org/news/2015-02-rhic-role-dark-photons-explanation.html.
- Craig, N., arXiv preprint arXiv:1309.0528, 2013.
- 80. Fox, P.J. et al., Physical Review D, 89(10) (2014) 103526.
- 81. Duffy, L.D. and Van Bibber, K., New Journal of Physics, 11(10) (2009) 105008.
- 82. Graham, P.W. and Rajendran, S., Physical Review D, 88(3) (2013) 035023.
- 83. Manalaysay, A. and Collaboration, L., "Dark-matter results from 332 new live days of LUX data". Identification of dark matter, (2016).
- 84. Doro, M., arXiv preprint arXiv:1701.05702, 2017.
- 85. Arkani-Hamed, N. and Weiner, N., Journal of High Energy Physics, 2008(12) (2008) 104.
- 86. Milgrom, M., The Astrophysical Journal, 270 (1983) 365.
- 87. Milgrom, M., The Astrophysical Journal, 270 (1983) 371.
- 88. Milgrom, M. and Bekenstein, J., "The modified Newtonian dynamics as an alternative to hidden matter". In: Dark Matter in the Universe, (1987).

## المجلة الأردنية للفيزياء

## **ARTICLE**

## قدرة التحليل الطاقوى لكاشف الأثر النووى الصلب PM-355 لجسيمات ألفا

 $^{2}$ سعيد حسن سعيد النعيمي  $^{1}$  ومحمد محمود صالح الجبوري

1- قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

2- المديرية العامة لتربية كركوك، العراق.

Received on: 27/3/2015; Accepted on: 3/11/2016

الملخص: يهدف البحث إلى إيجاد قدرة التحليل الطاقوي لكاشف الأثر النووي الصلب PM-355 وقابليته لتمييز طاقات جسيمات ألفا. استخدمت في عملية تشعيع الكاشف طاقات مختلفة لجسيمات ألفا ضمن المدى PM-200 (PM-200 (PM-200 (PM-200 ) PM-200 )

الكلمات الدالة: الآثار النووية، PM-355، التحليل أو التمييز الطاقوى، تمييز النظائر.

# **Energy Analysis Power of the Nuclear Track Detector PM-355 for Alpha Particles**

S. H. S. Al-Nia'emi, Physics Department, College of Education for Pure Science, Mosul University, Mosul Iraa

M. M. S. Al-Jobouri, The General Directorate of Kirkuk Education, Iraq.

## **Extended Abstract:**

When a heavy charged particle passes through matter, it loses energy principally by scattering electrons within the matter it passes through it and will cause extensive ionization of the material through ionizing the atoms or molecules close to its path. Thus, the charged particle gradually loses its energy and is subjected to a gradual slowing down that could make it stop at the end of the path within the medium. The average energy loss of the particle per unit path length (dE/dx) is called the linear stopping power (S), which may be measured in units of MeV/cm or similar. The stopping power and hence, the density of ionization, usually increases toward the end of the range of the particle and reaches a maximum, the Bragg edge, shortly before the energy drops to zero. The curve that describes this is called the Bragg curve. The ionization processes can be treated statistically to derive the equation of stopping power, the best known being the Bethe formula.

One of the good means to detect charged particles is the solid state nuclear track detectors, especially the polycarbonate detector, which is one of the favorite organic detectors in this area. This advantage is due to the high registration and detection efficiency of the detector for charged particles, especially particles with low energies and protons.

سعيد النعيمي ومحمد الجبوري

In passing through the solid state nuclear detector, the charged particles, such as alpha particles, ionize almost all molecules close to their path. The primary ionizing process causes a series of new chemical processes that result in the creation of free chemical radicals and other chemical species. Along the path of the alpha particles, an affected zone of low molecular weight enriched with free radicals and other chemical species is then created. The damaged zone has a potential energy larger than the other sound areas of the detector and is called the latent track. The vision of the latent tracks is carried out by treating the detector containing the latent tracks with some suitable chemically aggressive solution. An alkaline aqueous solution, such as NaOH and KOH, is most frequently used in this field. This process is called traditional chemical detector etching. So, the track of the particles is formed, which can be viewed under an ordinary optical microscope. Because of plastic detectors having a threshold limit for energy loss (dE/dx)<sub>th</sub>, only particles which lose an energy rate greater than the threshold limit could produce tracks in the material and can be shown by the chemical etching process.

Particles with different energies produce tracks with different diameters which require different etching times to be revealed. Low-energy particles have a short range in the detector, indicating tracks with large diameters in a short etching time, while high- energy particles have a large range producing tracks with small diameters that require longer etching time to be revealed. The overall effect is that the tracks belonging to incident particles with the same energy do not appear simultaneously according to the number of collisions that each particle could make with the atoms of the detector material as well as the energy lost in each collision. Thus, a variation in the time of the tracks' appearance will occur and the track number will increase with the progress of the etching time until all tracks appear at a certain time called optimum time of etching. So, the number of appearing tracks with definite diameters according to the energy distribution spectrum can be rounded to the Gaussian distribution.

The Energy Analysis Power of the detector depends on the energy of the particles being lost along the track in the detector material. The energy loss per unit time by falling particles reveals tracks with slightly different diameters. Thus, the relationship between the formed track diameters and their recurrence numerical density which follows the Gaussian distribution is used to measure the strength of the energy analysis.

The small particle energy loss per unit time in the nuclear track detector material makes the distribution of the tracks' diameters centered mostly around a narrow area and the width of the distribution spectrum will be sharp, indicating a high-energy analysis. On the other hand, the large particle energy loss per unit time in the detector gives a broad distribution and the tracks' diameters are centered around a wide area, indicating a low-energy analysis. So, the ability of a detector to distinguish the energies of the incident particles and to separate them is considered as an interesting characteristic of the detector. Accordingly, there is a difference in the energy analysis degree of the detector for different energies as well as a difference from one detector to another.

The aim of this paper is to measure the energy analysis power of the PM-355 solid state nuclear track detector and its ability for discrimination of alpha particle energies. Different alpha particle energies within the range of (5.485-2.0) MeV obtained from  $^{241}$ Am and  $^{226}$ Ra isotopes are used in the irradiation of the detector. The tracks are revealed by etching the detector at  $(60\pm1)^{\circ}$ C in a 6.25 N KOH solution. The tracks are classified according to their sizes. The diameters of the tracks and their corresponding numerical densities are then measured to find the energy analysis power using the Gaussian statistical distribution. The energy analysis power of the detector for alpha particle energy discrimination of each two neighboring energies was about (0.078-0.754) MeV. It was found that the energy analysis power of the detector PM-355 at high energies is better than that for low energies and increases with the increase in alpha particle energies.

Keywords: Nuclear tracks, PM-355, Energy analysis or resolution, Isotopes, Isotope identification.

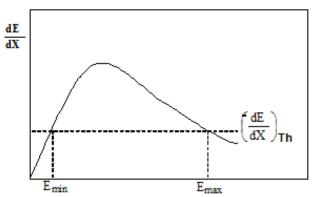
## المقدمة

عند مرور الجسيمات المشحونة الثقيلة نسبيا كجسيمات ألفا خلال مادة صلبة، فإنها تعاني فقداناً في طاقتها؛ إذ تقوم بعدد كبير من التصادمات مع ذرات المادة علمًا بأن الطاقة المفقودة في التصادم الواحد تكون قليلة، ولهذا، فإن الجسيم المشحون يبدو وكأنه يخسر طاقته بشكل مستمر وتدريجي ويتعرض لعملية إبطاء تدريجية قد تجعله يصل حد السكون في تلك المادة. لذلك يستخدم المعدل الوسطي للطاقة المفقودة ( Rate Coss)، وهو معدل تغير الطاقة التي يفقدها الجسيم مع الزمن. كما يستخدم معدل تغير الطاقة التي يفقدها الجسيم في الزمن. كما يستخدم معدل تغير الطاقة التي يفقدها الجسيم في المشحون لوحدة المسافة التي يسيرها هذا الجسيم في المادة (Stopping Power) ويستخدم أحياناً ما الخطية للمادة ووحدتها ( $eV/\mu m$ ). ويستخدم أحياناً ما يسمى قدرة الإيقاف الكتلية ( $eV/\mu m$ ) حيث  $\rho$  كثافة المادة، وهنا تكون وحدتها ( $eV/cm^2$ ) حيث  $\rho$  كثافة المادة، وهنا تكون وحدتها  $eV/cm^2$ ) [1، 2].

تفقد الجسيمات المشحونة طاقتها في أثناء مرورها في المادة بعمليتي إثارة الذرات وتأينها على طول مسارها في المادة، وكل التأينات الحاصلة في ذرات الوسط هي نتيجة للتصادمات غير المرنة للجسيم الساقط مع ذرات الوسط، وهذه العمليات يمكن أن تعالج إحصائياً لاشتقاق معادلة الطاقة المفقودة لوحدة طول المسار [3]. وتُعد كواشف الأثر النووي الصلبة (SSNTD's) من الوسائل الجيدة للكشف عن الجسيمات المشحونة، ولاسيما كاشف متعدد الكربون البلاستيكي و3-CR الذي يعد من الكواشف العضوية (البوليمرية) الجيدة في هذا المجال بسبب الكفاءة العسجيلية والكفاءة الكشفية العاليتين له، وبخاصة للجسيمات ذات الطاقة المنخفضة وكذلك للبروتونات [4].

إن سقوط الجسيمات المشحونة على هذه الكواشف يؤدي إلى انفصام السلاسل البوليمرية على طول مسارها داخل مادة الكاشف مكونة سلاسل بوليمرية قصيرة ذات نهايات فعالة تسمى الجذور الحرة (Free Radicals)، وتكون ذات أوزان جزيئية منخفضة [5]، منتجة بذلك منطقة متضررة تمتلك طاقة كامنة أكبر من المناطق الأخرى السليمة وتدعى منطقة التلف أو الأثر المستتر ( Latent السليمة وتدعى منطقة التلف أو الأثر المستتر ( track قدرة تكبير عالية، ولإظهارها فلابد من معالجة تلك المناطق بمحاليل كيميائية خاصة يمكنها التفاعل مع منطقة الضرر (التلف). وتعرف هذه العملية بعملية القشط الكيميائي (Chemical etching).

إن مدى طاقات جسيمات ألفا التي يمكن لها أن تحدث آثاراً في الكاشف يكون محدوداً لأن الكواشف البلاستيكية تظهر حد عتبة للطاقة المفقودة  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{Th}$  بحيث تُكون الجسيمات فقط التي تفقد معدل طاقة أكبر من حد العتبة آثاراً في المادة يمكن إظهارها بعملية القشط الكيميائي. وهناك قيمتان لطاقة جسيمات ألفا هما دنيا  $E_{min}$  وعليا وإمكانية إظهارها من عدمه؛ إذ إن الجسيمات ذات الطاقة الأقل من  $E_{max}$  والأكبر من  $E_{max}$  لا يمكن إظهار آثارها ومشاهدتها، علماً بأن لكل كاشف حساس لجسيمات ألفا قيمة ثابتة لكل من  $E_{min}$  ويمكن الحصول على القيمتين من تقاطع خط عتبة الطاقة للكاشف علما من معدل فقدان طاقة الجسيم الساقط كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (1): طاقة العتبة والقيم العظمى والصغرى لطاقة جسيمات ألفا لتكوين آثار في الكاشف البلاستيكي.

متعيد النعيمي ومحمد الجبوري

## تباين الطاقة والتوزيع الغاوسي

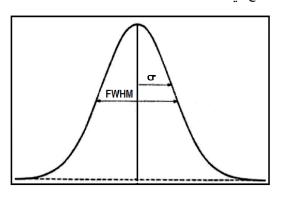
لا تفقد الجسيمات جميعها الطاقة نفسها في وحدة الزمن عند مرورها في مادة الكاشف حتى وإن كانت تحمل الطاقة نفسها، بل يحصل تباين في مقدار الطاقة المفقودة في مادة الكاشف، وبالتالي يحدث تباين في طاقة هذه الجسيمات على طول مسارها في مادة الكاشف. إن هذا التباين سيؤدي إلى اختلاف في مدى تلك الجسيمات نوعًا ما وبالتالي إلى تباين في أقطار الأثار الظاهرة بعملية القشط، فضلا عن أن الطاقة الرئيسة للجسيم الساقط تمثل معدل طاقات الانحلالات للنظير المشع المستخدم [8]. فعلى سبيل المثال، فإن معدل الطاقة الرئيسة لجسيمات ألفا المنبعثة من نظير الأمريشيوم Am الذي يساوى 5.485 MeV يمثل معدل ثلاث ذروات في الطيف الطاقوي للنظير. إن الجسيمات ذات الطاقات المنخفضة تفقد طاقتها بشكل أسرع داخل مادة الكاشف ويكون مداها قصيرا، وتظهرُ آثارها المقشوطة بأقطار كبيرة في زمن قشط قصير، في حين أن الجسيمات بطاقات عالية تفقد طاقتها ببطء على طول مسارها، ويكون مداها طويلا، وتظهر أثارها المقشوطة بأقطار صغيرة، وتحتاج إلى زمن قشط أطول لإظهارها.

كل هذه الأسباب تؤدي إلى عدم ظهور الأثار جميعها في زمن واحد للطاقة نفسها للجسيم الساقط، وبذلك يحصل تفاوت في أزمان ظهورها وتزداد أعدادها مع تقدم عملية القشط لحين ظهور الأثار جميعها عند زمن قشط معين هو الزمن الأمثل (Optimum time) لظهور الآثار. فالزمن الأمثل لظهور الآثار يعتمد على الظروف القشطية والكشفية، فضلاً عن كتلة الجسيم الساقط وشحنته [6]، وكذلك يعتمد على العوامل البيئية المؤثرة على الكاشف.

ولأن ظاهرة النشاط الإشعاعي عملية إحصائية عشوائية، فإن القياسات المعتمدة على ملاحظة التحلل الإشعاعي تتضمن تراوحاً إحصائياً يسبب لادقة في القياسات، ولا يمكن إزالة هذه اللادقة، بل يمكن التقليل من أثرها بأساليب مختلفة. ويمكن تقريب التوزيع الطاقوي إلى دالة غاوس (Gaussian function) كما في المعادلة الأتية [9]:

$$(E)dE = \frac{1}{a\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(E-\overline{E})^2}{a^2}\right] dE \quad (1)$$

حيث يمثل E و E طاقة الجسيمات الساقطة a ( $=\sqrt{2}\,\sigma=1.414\,\sigma$ ) ومتوسطها على التوالي، و (Straggling parameter) يمثل معلّم تباين الطاقة (1/e) عنى أنه نصف عرض التوزيع الطاقوي عند (1/e) من أعلى ارتفاع له. وفي بعض التطبيقات، يستخدم عرض الطيف أو التوزيع الطاقوي من منتصف أعلى ارتفاع له ويسمى العرض الكلي عند منتصف أعلى ارتفاع ويسمى العرض الكلي عند منتصف أعلى ارتفاع (FWHM))، وهو الأكثر شيوعاً في الاستخدام [(FWHM))، وهذا الأخير إلى حد ما يكون أكبر من (FWHM)0 موضح في الشكل ((FWHM)1).



الشكل (2): العلاقة بين الانحراف المعياري وعرض التوزيع في منتصف أعلى ارتفاع.

## قدرة التحليل الطاقوي

تعتمد قدرة التحليل الطاقوي Energy Analysis) (Power للكاشف على الطاقة التي تفقدها الجسيمات على طول مسارها في مادة الكاشف. فالتباينات في فقدان الجسيمات الساقطة بطاقة محددة لطاقتها في وحدة الزمن في أثناء مرورها بمادة الكاشف تؤدي إلى حدوث تباينات في أقطار الأثار المقشوطة التي تظهر بأقطار مختلفة قليلاً. وتعتمد في قياس قدرة التحليل الطاقوي للكاشف العلاقة بين أقطار الأثار المتباينة وتكرارات كثافتها العددية التي تتبع التوزيع الغاوسي.

إن التباين القليل في الطاقة المفقودة داخل مادة كاشف الأثر النووي يُعطي توزيعاً لأقطار الآثار يتمركز معظمها حول منطقة ضيقة ويكون التوزيع صغيراً وحاداً، وهذا يعطي قدرة تحليل جيدة للكاشف. في حين أن التباين الكبير في الطاقة المفقودة داخل مادة الكاشف يعطي توزيعاً عريضاً لأقطار الآثار ويتمركز حول منطقة عريضة، وهذا يعني قدرة تحليل منخفضة للكاشف. وعليه، هناك تفاوت في قدرة التحليل الطاقوي ودرجة التحليل للكاشف الواحد

للطاقات المختلفة، فضلاً عن التفاوت في التحليل من كاشف لأخر. فالتحليل المتدني (الرديء) يعني كبر عرض طيف التوزيع (broad)، وهذا يعني تبايناً أو تفاوتاً كبيراً في الطاقة التي تفقدها الجسيمات في وحدة الزمن في مادة الكاشف. أما التحليل الجيد، فانه يعني صغر عرض الطيف وقلة التباين في الطاقة المفقودة في وحدة الزمن داخل المادة؛ إذ يصبح الطيف حاداً (sharp). لذا تُعد قابلية الكواشف لتمييز الطاقات الساقطة عليها وقدرتها على الفصل بينها من الخصائص المهمة لهذه الكواشف [12].

ترتبط قدرة التحليل  $\left(\frac{\Delta E}{E}\right)$  لأي طاقتين متجاورتين مع أقطار الأثار الناتجة بالعلاقـة الآتية [13، 14، 15]:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{(E_1 - E_2)}{0.5 (E_1 + E_2)} \frac{\Delta D}{D_{m1} - D_{m2}}$$
 (2)

حيث ΔD عرض التوزيع في منتصف أعلى ارتفاع (FWHM) لطيفًى الطاقتين المتجاورتين، ويعطى بالعلاقة:

$$\Delta D = \frac{\Delta D_1 + \Delta D_2}{4} \tag{3}$$

وتمثل  $E_1$  و $E_2$  الطاقات الساقطة و $D_2,\,D_1$  معدل أقطار الأثار المقابلة لهذه الطاقات.

وعليه، يمكن تعريف قدرة التحليل ( $\frac{\Delta E}{E}$ ) للكاشف بأنها قابلية الكاشف لفصل خطين طيفيين متقاربين في الطاقة، ويُعَد عرض الخط الطيفي (الطيف الطاقوي) مقياساً لقدرة تحليل الكاشف [9، 11].

يهدف هذا البحث إلى إيجاد قدرة التحليل الطاقوي يهدف هذا البحث إلى إيجاد قدرة التحليل الطاقوي  $\frac{\Delta E}{E}$ ) للكاشف النووي البلاستيكي الصلب  $\frac{\Delta E}{E}$  للتمييز بين طاقات ألفا المنبعثة من النظيرين  $\frac{226}{E}$  لطاقات سقوط مختلفة للجسيمات على الكاشف. وصيتم إيجاد قدرة التحليل الطاقوي للكاشف وعلاقتها بالطاقات الساقطة من خلال الاعتماد على منحني التوزيع الإحصائي الغاوسي بين أقطار الأثار المتكونة في الكاشف مع تكرارات كثافتها العددية بعد إجراء عمليات القشط والإظهار عليها كأساس في هذا العمل.

## طريقة العمل

استعملت عدة قطع من الكاشف بأبعاد متساوية  $(0.5 \times 0.5) \, \text{cm}^2$  لعدد الطاقات المدروسة. فقد شُغُعت القطع في حجرة مفرغة من الهواء بجسيمات ألفا بطاقات مختلفة من نظيري الأمريشيوم Am  $^{226}\text{Ra}$  والراديوم 5.485 MeV لنمن المشع  $^{241}\text{Am}$  ومعدل طاقة  $^{241}\text{Am}$  للمصدر المشع  $^{241}\text{Am}$  ويمعدل طاقة  $^{241}\text{Am}$  للمصدر المشع  $^{241}\text{Am}$  عن التشعيع بطاقات إضافية أخرى مختلفة من مصدر الراديوم  $^{226}\text{Ra}$  فقط وهي  $^{226}\text{Ra}$   $^{226}\text{Ra}$  من مصدر الراديوم  $^{226}\text{Ra}$  فقط وهي المسافة بين مدى المصدر المشع والكاشف في الهواء، حيث إن مدى جسيمات ألفا في الهواء هو بحدود  $^{4.16}\text{Cm}$  ويمكن الحصول عليه من برنامج  $^{4.16}\text{Cm}$  [16].

لإظهار الأثار في الكاشف، استعمل المحلول الكيميائي لإظهار الأثار في الكاشف، استعمل المحلول الكيميائي KOH بعيارية N 6.25 N ودرجة حرارة 0.5 h لفترات قشط بحدود h (e-2) بتتابع زمني كل e-2 الكلي للأثار في الكاشف وعدم التمكن من عدها. استعمل المجهر البصري الاعتيادي في مشاهدة الأثار وتصنيفها حسب أقطارها وتسجيل عدد تكراراتها ضمن المساحة المشعّعة من الكاشف عند كل زمن قشط لطاقات ألفا المدروسة جميعها.

## الحسابات

للحصول على طيف التوزيعات الغاوسية لأقطار الآثار، رُسمت العلاقة بين أقطار الآثار وتكرارات كثافتها العددية. وبدلك تم الحصول على عدد كبير من رسومات طيف التوزيعات الغاوسية مساو لعدد الفترات القشطية لكل طاقة من الطاقات الست لجسيمات الفا (بحدود 84 رسماً آو طيفاً غاوسياً بواقع 14 رسماً لكل طاقة). وجدير بالذكر أن كل طيف للتوزيعات الغاوسية لأقطار الآثار مع تكرارات كثافتها العددية تم الحصول عليه من قياس أقطار بحدود كثافتها المدروسة.

من مجموعة الرسومات أو الأطياف تلك، اختير طيف واحد لكل طاقة بأقل انحراف معياري lowest standard (deviation)، وبذلك حصلنا على ستة أطياف للتوزيع الغاوسي لأقطار الآثار مساوية لطاقات ألفا المدروسة كما سنلاحظ لاحقًا في النتائج. تم إيجاد الانحراف المعياري لأطياف التوزيعات الغاوسية بشكل مباشر من البرنامج الحاسوبي 1.3 Curve expert

Article معيد النعيمي ومحمد الجبوري

التوزيعات بالاعتماد على معادلة الأنموذج الغاوسي (Gaussian Model) في البرنامج، وهي:

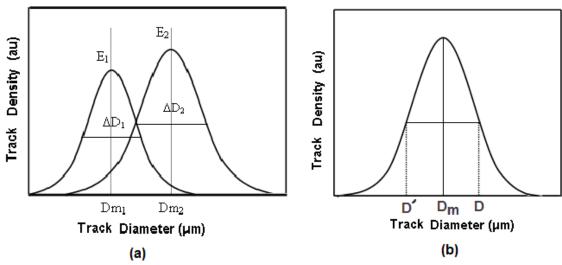
$$y = ae^{\frac{-(x-b)^2}{2c^2}} (4)$$

وأخيراً، تم إيجاد متوسط قيم أقطار الأثار  $(D_m)$  عند أعلى نقطة للأطياف المختارة لكل طاقة تشعيع كما هو موضح في نموذج طيف التوزيع في الشكل (3a) ليُصار إلى استخدامها في عملية المعايرة "طاقة- قطر"  $(E-D_m)$ 

calibration التي من خلالها يمكن الحصول على متوسط أقطار الآثار عند أي طاقة لجسيمات ألفا.

بحساب عرض الطيف  $\Delta D_1$  و $\Delta D_1$  عند منتصف أعلى ارتفاع له (FWHM) لطاقتي سقوط متجاورتين  $E_2$  و $E_3$  وكذلك بحساب متوسط قيم أقطار الأثار المقابلة لهاتين الطاقتين  $D_{m1}$  و $D_{m2}$  من طيف التوزيع لهما كما في الشكل (3b) واستخدام المعادلة (2)، يتم حساب قدرة التحليل

الطاقوي  $\left(\frac{\Delta E}{E}\right)$  للكاشف.



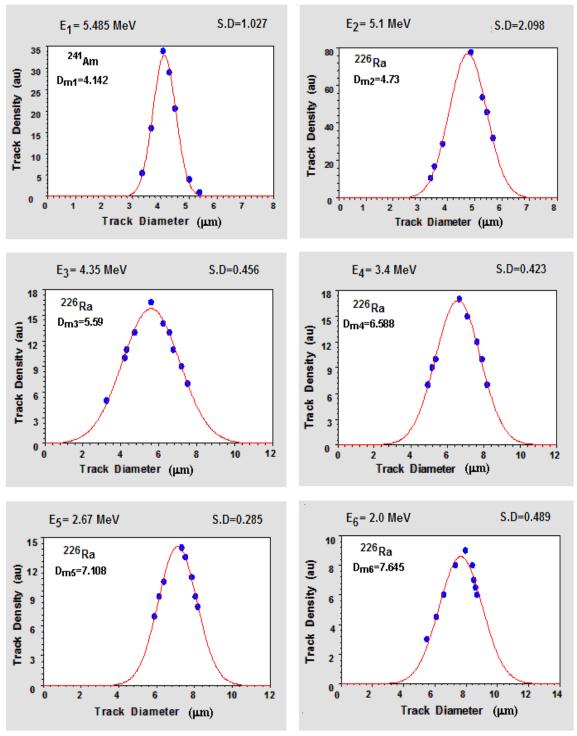
الشكل (3) نموذج طيف التوزيع الغاوسي لأقطار الآثار وتكرارات كثافتها العددية (a) لطاقة واحدة و(b) لطاقتين متجاورتين.

## النتائج والمناقشة

لوحظ من رسومات العلاقة بين تكرارات كثافة الأثار وأقطارها المتباينة لطاقات جسيمات ألفا ,5.485, 5.1, وأقطارها المتباينة لطاقات جسيمات ألفا ,5.485, 2.67, 2.0) MeV طاقة لحين حصول الاندماج الكلي لتلك الأثار البالغة 84 طيفاً، أن أفضل توزيع لأقطار الآثار هو التوزيع الغاوسي(Gaussian distribution). ويعزى هذا إلى أن المصدر المشع لا يبث إشعاعاً منتظماً أو جسيمات بأعداد ثابتة مع الزمن، فضلاً عن التباينات الحاصلة في فقدان طاقة جسيمات ألفا عند مرورها بمادة الكاشف، كما أسلفنا.

من مجموعة الرسومات (الأطياف) تلك، تم اختيار طيف واحد لأفضل توزيع غاوسي لأقطار الآثار بأقل انحراف معياري من بين فترات القشط المنجزة لكل طاقة تشعيع. فقد وُجد أن أفضل توزيع بأقل انحراف معياري يظهر عند فترة قشط (4-5) ساعات لطاقات ألفا المدروسة، وأنّ قيم الانحرافات المعيارية كانت بحدود (2.098, 1027,

(5.485, 0.485, 0.485, 0.485, 0.489) لطاقات ألفا (5.485, 0.483, 0.285, 0.489) MeV KOH, 6.25 N, (5.485, 0.485



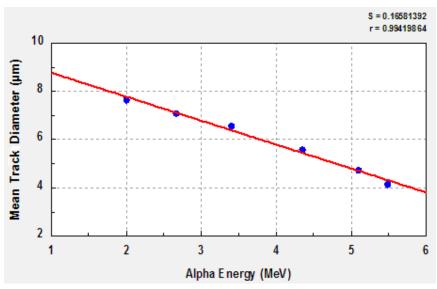
الشكل (4): أطياف التوزيع الغاوسي لأقطار الآثار مع تكرارات كثافتها العددية لأقل انحراف معياري. (au: means arbitrary unit)

Article معيد النعيمي ومحمد الجبوري

الجدول (1): متوسط أقطار الآثار المقابلة لطاقات ألفا.

E (MeV)	D <sub>m</sub> (µm)
5.485	4.142
5.1	4.73
4.35	5.59
3.4	6.588
2.67	7.108
2.0	7.645

للحصول على منحنى المعايرة "طاقة – قطر"، فقد رُسِمت قراءات متوسط القطر  $(D_m)$  وطاقات ألفا المقابلة لها كما هو مبين في الجدول (1)، وقد ظهرت العلاقة بينهما خطية ضمن مدى الطاقات المدروسة - انظر الشكل (5) - وهي تتوافق مع ما وجده CR-39 ضمن مدى الطاقة (2.5-5.2) طمن مدى الطاقة (2.5-5.2) طمن مدى الطاقة (2.5-5.2)



الشكل (5): منحني المعايرة (طاقة – قطر) لكاشف 355-PM.

إن قابلية الكواشف لتمييز الطاقات الساقطة عليها وقدرتها على الفصل بينها تُعد من الخصائص المهمة لهذه الكواشف. وعليه، فهناك تفاوت في قدرة التحليل (التمييز) الطاقوي من كاشف لأخر وفي كيفية هذا التمييز أو التحليل الطاقوي تبعاً لكِبَر أو صغر عرض التوزيع الغاوسي لأقطار الأثار المتكونة في الكاشف. وبالاعتماد على التوزيع الغاوسي لأقطار الآثار مع تكرارات كثافتها العددية الموضحة في الشكل (4)، فقد تم إيجاد معدل عرض الطيف لكل

طاقتین متجاورتین کما هو موضح في نموذج الطیف في الشکل (3)، وکذلك تم إیجاد معدل کل طاقتین متجاورتین لطاقات ألفا المستخدمة علی النتابع، ومن ثم حساب قدرة تحلیل أو تمییز الکاشف البلاستیکي 355-PM لکل طاقتین متجاورتین  $(\frac{\Delta E}{E})$  باستخدام المعادلة (2) وکما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2): قدرة التحليل أو التمييز الطاقوى لكاشف 355-PM.

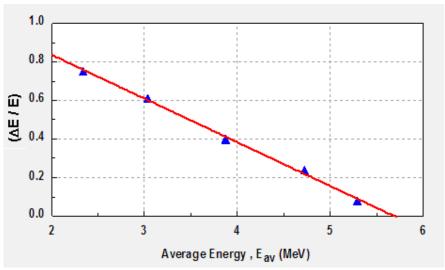
Е	$D_{m}$	$(E_1-E_2)$	$E_{av}$	$D_{m2}$ - $D_{m1}$	ΔD	ΔΕ/Ε
(MeV)	(µm)	(MeV)	(MeV)	(µm)	(µm)	
5.49	4.142	0.385	5.2925	0.588	0.6305	0.078
5.1	4.73	0.363	3.2723	0.566	0.0303	0.078
5.1	4.73	0.75	4.725	0.86	1.29	0.238
4.35	5.59	0.73	4.723	0.00	1.29	0.236
4.35	5.59	0.95	3.875	0.998	1.63	0.40
3.4	6.588	0.93	3.673	0.996	1.03	0.40
3.4	6.588	0.73	3.035	0.52	1.328	0.614
2.67	7.108		3.033	0.32	1.326	0.014
2.67	7.108	0.67	2.335	0.537	1.411	0.754
2.0	7.645	0.07	2.333	0.337	1.411	0.734

ومن المعروف أن علو قيم  $\frac{\Delta E}{E}$  عددياً يعني انخفاض قدرة التحليل الطاقوي للكاشف. وبالمقابل، فإن انخفاض قيمتها تعني قدرة تحليل طاقوي جيدة. وبناءً على ذلك، يلاحظ من الجدول (2) أن قدرة التحليل الطاقوي لكاشف PM-355 عالية عند الطاقات العالية وتقل عند الطاقات المنخفضة ضمن مدى الطاقات المدروسة، وهذا يتفق تماماً مع حقيقة أن قدرة التحليل الطاقوي تتناسب تناسبًا عكسياً مع الطاقة الساقطة [14]. كذلك يلاحظ أن العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي ( $\frac{\Delta E}{E}$ ) ومعدل كل طاقتين متجاورتين من الطاقات الساقطة تكون خطية كما هو موضح في الشكل (6).

إن النتائج التي تم الحصول عليها وكذلك نمط تغير قدرة التحليل الطاقوي  $\left(\frac{\Delta E}{E}\right)$  مع معدلات الطاقات المتجاورة  $E_{av}$  الموضح في الشكل (6)، تتفق مع ما لاحظه المتجاورة  $E_{av}$  Amero et al. [14] في دراسته لقدرة التحليل الطاقوي للكاشف CR-39 تحت الظروف القشطية نفسها المستخدمة في هذا البحث وهي ( $V_{av}$ ) وكما هو موضح في الشكل (7). فقد وجدوا أيضاً أن قدرة التحليل تكون عالية في الطاقات العالية وتقل في الطاقات المنخفضة، مع أخذ الاختلاف في قيم  $V_{av}$  للبحث المذكور عن القيم التي حصلنا عليها لكاشف  $V_{av}$ 

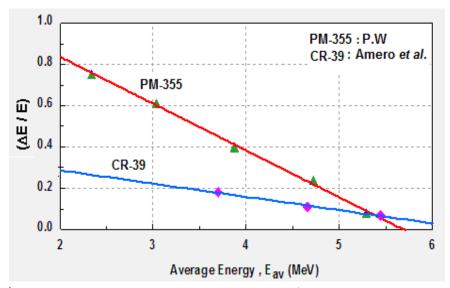
دراستنا هذه بعين الاعتبار، بسبب اختلاف نوع الكاشف المستخدم.

وهكذا يمكن القول إن قدرة التحليل أو التمييز الطاقوى لكاشفى 355-PM و39- CR تكون متقاربة عند الطاقات العالية وتختلف نوعاً ما عند الطاقات المنخفضة ضمن مدى الطاقات المستخدمة في هذه الدراسة؛ إذ يلاحظ أن قدرة التحليل الطاقوى لكاشف PM-355 أقل منها لكاشف CR-39 تحت الظروف نفسها (حيث إن كبر قيمة  $rac{\Delta ext{E}}{ ext{F}}$  يعني قلة أو ضعف قدرة التحليل وصِغَرها تعني جودة قدرة التحليل للكاشف)، وهذا يتواءم مع ما وجده من أن حساسية [17] Al-Nia'emi and Al-Obedy الكاشف CR-39 لجسيمات ألفا وتمييزها للطاقات هي أفضل منها لكاشف PM-355. وهذا يتفق مع فكرة ظهور الكاشف 355-PM كنوعية مطورة، لاسيما للبروتونات؛ إذ إن حساسيته لهذه الجسيمات أفضل من حساسية الكاشف CR-39 لجسيمات ألفا. وهكذا، يلاحظ أن العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي  $(rac{\Delta E}{F})$  ومعدل كل طاقتين متجاورتين من الطاقات الساقطة كما هو موضح في الشكل (7) هي علاقة خطية، وأن القيمة العددية لقدرة التحليل الطاقوى تقل بزيادة تلك الطاقات. وهذا يعنى أن قدرة التحليل بين الطاقات تتحسن بزيادة طاقة الجسيمات الساقطة.



الشكل (6): العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي ( $\frac{\Delta E}{E}$ ) لكاشف 355-PM ومعدل كل طاقتين متجاورتين لجسيمات ألفا،

Article معيد النعيمي ومحمد الجبوري



الشكل (7): العلاقة بين قدرة التحليل الطاقوي ( $\Delta E/E$ ) لكاشف 355-PM ومعدل كل طاقتين متجاورتين لجسيمات ألفا ومقارنته مع نتائج بحث . Amero et al. كاشف 359-14]

## الاستنتاحات

للكاشف 75.4-PM بين (0.07-0.754) لطاقات ألفا MeV (5.485-2.0) التوالي؛ إذ إن القيم العددية الكبيرة تعني انخفاض قدرة التحليل الطاقوي للكاشف، والعكس صحيح. وعليه، فان النتائج تعطي إشارة جيدة إلى إمكانية استعمال كواشف الأثر النووي في تحديد هوية (identification) النظائر المشعة بالاعتماد على معلمات الأثار المتكونة فيها.

يستنتج من هذا البحث أن التوزيع الغاوسي يمثل أفضل توزيع للعلاقة بين تباينات أقطار الأثار وكثافة تكراراتها العددية، وأن أكبر كثافة عددية للآثار في الكاشف للطاقات المدروسة وللفترات القشطية المختلفة ظهرت عند متوسط القطر للآثار  $D_m$  للتوزيعات الغاوسية لأقطار الآثار. كذلك وجد أن قدرة التحليل أو التمييز الطاقوي للكاشف PM- 355 تكون جيدة عند الطاقات العالية وأفضل مما هي عليه للطاقات المنخفضة. فقد تراوحت قيم قدرة التحليل للطاقات المنخفضة.

## المراجع

- [5] Stuart, B.H., "Polymer Analysis", University of Technology, Sydney, Australia, (John Wiley & Sons, Ltd., 2002).
- [6] Durrani, S.A. and Bull, R.K., "Solid State Nuclear Track Detection Principles, Methods and Applications". (Pergamon Press, Oxford, 1987).
- [7] Cecchini, S., Balestra, S., Cozzi, M., Giacomelli, G., Giorgini, M., Manzoor, S., Medinaceli, E., Patrizii, L., Popa, V., Sirri, G., Spurio, M., Togo, V. and. Chiarusi, T., "Application of Nuclear Track Detectors in Astroparticle and Nuclear Physics". (Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, Università la Sapienza, Italy, 2005).
- [1] Sykes, D.A. and Harris, S.J., Nucl. Instr. and Meth., 94 (1971) 39.
- [2] Nikezic, D. and Yu, K.N., Materials Science and Engineering, R46 (2004) 51.
- [3] Mladjenovic, M., "Radioisotope and Radiation Physics, an Introduction". Translated by Sonja Subtonic Academic Press, (NewYork and London, 1973).
- [4] Sinenian, N., Rosenberg, M.J., Manuel, M., McDuffee, S.C., Casey, D.T., Zylstra, A.B., Rinderknecht, H.G., Gatu Johnson, M., Séguin, F.H., Frenje, J.A., Li, C.K. and Petrasso, R.D., Rev. Sci. Instrum. 82(1) (2011) 103303.

- [13] Izerrouken, M., Skvarc, J. and Ilic, R., Radiat. Meas., 31 (1999) 141.
- [14] Amero, C., Golzarri, J.I., Izerrouken, M. and Espinosa, G., Radiat. Meas., 34 (2001) 341.
- [15] Zaki, M.F. and El-Shaer, Y.H., Indian Academy of Sciences, 69(4) (2007) 567.
- [16] Ziegler, J.F., Ziegler, M.D. and Biersack, J.P., Radiat. Meas., 37 (2003) 553.
- [17] Al-Nia'emi, S.H.S. and Al-O'bedy, A.A.I., Raf. J., 16(1) (2005) 21.

- [8] Physics Laboratory Experiment PHYWE, "Physical Structure of Matter". (Germany, 2001).
- [9] Quseph, P.J., "Introduction to Nuclear Radiation Detectors". (Plenum Press, New York, 1975).
- [10] Al-Bedri, M.B., Harris, S.J. and Sykes, D.A., Nucl. Instr. and Meth., 106 (1973) 241.
- [11] Ranger, N.T., Radiographics, 19(2) (1999) 481.
- [12] Mahmood, A., Bashir, S., Us-Salam, A. and Ul-Haq, F., Turk. J. Phys., 28 (2004) 283.

## المجلة الأردنية للفيزياء

## **ARTICLE**

# معدل القشط العام لكاشف الأثر النووي 39-CR باستعمال المحلول القاشط NaOH/Ethanol

ياسر يحيى قاسم

قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

Received on: 1/8/2015; Accepted on: 25/2/2016

الملخص: يهدف البحث إلى إيجاد معدل القشط العام  $(V_B)$  لكاشف الأثر النووي  $(V_B)$  باستعمال المحلول القاشط NaOH/Ethanol بدلاً من NaOH/Water بتراكيز مختلفة NaOH/Ethanol في درجة حرارة  $(V_B)$  استعملت في إيجاد قيم معدل القشط العام طريقة القياس المباشر لسمك الطبقة المزالة جراء القشط الكيميائي للكاشف. وقد وجد أن قيم معدل القشط العام المقاسة باستعمال المحلول القاشط NaOH/Ethanol أكبر بكثير من قيم معدل القشط العام بالمحلول القاشط  $(V_B)$  عند (11.813-18.268) عند المستخدمة.

الكلمات الدالة: كاشف الأثر النووى CR-39، معدل القشط العام، المحلول القاشط NaOH/Ethanol.

## Bulk Etch Rate of CR-39 Detector Using NaOH/Ethanol Etchant

## Y. Y. Kasim

Physics Department, College of Education for Pure Science, Mosul University, Mosul, Iraq.

## **Extended Abstract:**

The science of solid-state nuclear track detectors was born in 1958. Operation of the solid-state nuclear track detector is based on the fact that a heavy charged particle will cause extensive ionization of the material when it passes through a medium. The bulk etch rate  $V_B$  is the rate of removal of the undamaged surface of the detector. Due to the chemical reaction between the etching solution (etchant) and the detector material, some molecules of the detector material are removed. The final effect is the removal of the material from the detector surface. During etching, the material is removed layer by layer and the thickness of the detector becomes smaller and smaller. The aqueous solutions of NaOH or KOH are the most frequently used chemical solutions in this regard.

With the discovery of the relative fast etchant of NaOH/ethanol solution for the CR-39 detector, more etchants can be chosen for CR-39 in various applications. The bulk etch and track etch rates depend on the molarities of the NaOH/ethanol solution. In the present investigation, the bulk etch properties of CR-39 in NaOH/ethanol were measured from direct measurements instead of using the track length-diameter method. The track length-diameter method is an indirect method, which might not be able to take into account the effects resulting from precipitation of etch products onto the alpha-particle track walls. The latter has likely occurred in etching of CR-39 using NaOH/ethanol as found in the present work. The advantage of the direct method used in the present paper is that the results will not be affected by such precipitation.

Corresponding Author: Y. Y. Kasim Email: yasr physics@yahoo.com

ياسر يحيى قاسم

The paper aims to determine the bulk etch rate of the nuclear track detector CR-39 using the echant solution NaOH/Ethanol. A piece of plastic detector CR-39 Page Mouldings (Worcestershire, England) with 200  $\mu m$  thickness and dimensions of (1.2x1.2) cm² was used. The detectors were etched by the aqueous solution NaOH/Ethanol instead of NaOH/Water with different molarities (1.5-4.0) N at a temperature of (50±1) °C. The direct measurement method of the removed layer from the detector surface has been used to find the bulk etch rate. It was found that the bulk etch rates measured by using the etchant solution NaOH/Ethanol are much greater than those obtained by using NaOH/Water. Their values have ranged between (11.813-18.268)  $\mu m.hr^{-1}$ .

Keywords: SSNTD's, Bulk etch rate, CR-39, Ethanol etchant.

## المقدمة

إن التطور في دراسة معدل القشط على طول الأثر ومعدل القشط العام  $(V_B)$  أدى إلى اكتشاف العديد  $(V_T)$ من المحاليل القاشطة التي تستخدم في إظهار الأثار الناتجة من الجسيمات النووية التي يقصف بها الكاشف. فقد تمكن العديد من الباحثين من التوصل إلى محاليل قاشطة لكواشف الأثر النووي الصلبة تكون ذات فعالية أكبر في قشط الكواشف الصلبة السميكة وتعمل على تقليل زمن إظهار الآثار المستترة في الكاشف [1]. إن معدل القشط العام هو مقدار ما يزال من سطح الكاشف خلال عملية التفاعل الكيميائي بين المادة القاشطة ومادة الكاشف، مما يؤدي إلى تقليل سمكه (Degradation) مع تقدم عملية القشط [2]. ويعد معدل القشط العام من معلمات الكاشف؛ إذ يعتمد على عوامل عدة منها؛ نقاوة المادة الأساسية المصنع منها الكاشف، ومدى تجانسها وتماثل خواصها، وطبيعة جزيئات الكاشف البوليمرى وظروف بلمرته خلال عملية الإنتاج، فضلا عن اعتماده على العوامل البيئية في أثناء تشعيع الكاشف. فالمواد القاشطة لا تزيل السطح العام فقط، بل تسبب كذلك الانتفاخ في مادة الكاشف تبعاً لطبيعة جزيئات كاشف الأثر النووي وظروف بلمرتها خلال عملية إنتاجه، فضلاً عن اعتماده على العوامل البيئية مثل الرطوبة، والجفاف، وتغير درجات الحرارة خلال فترة التشعيع للكاشف [3].

والى جانب كون  $V_B$  معلمًا كشفيًا فإنه يعد أيضاً معلماً قشطياً مهماً (etching parameter)، حيث يعتمد على نوع المحلول الكيميائي القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته [2،  $V_B$ ]. ويمتلك معدل القشط العام قيمة واحدة محددة تحت ظروف قشطية وبيئية معينة وضمن سمك قليل مزال من سطح الكاشف ولفترة قشط قصيرة. وقد تتغير قيمته بشكل لاخطي لزمن قشط طويل؛ أي عندما تكون كمية المادة المزالة من سطح الكاشف كبيرة. وفضلاً عن هذا، فإن عملية التسخين، ونوع المحلول الكيميائي القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته لها تأثير كبير على  $V_B$ 

إن كاشف الأثر النووي CR-39 عبارة عن مادة بوليمرية بلاستيكية صلبة من نوع متعدد الكربون، ويمتاز بتجانس مادته وتماثل خواصها وبخلفيته الإشعاعية القليلة، فضلاً عن حساسيته العالية للكشف عن الجسيمات المشحونة ومنها جسيمات ألفا وكذلك الكشف عن النيوترونات. فقد وجد أن معدل القشط العام  $(V_B)$  لهذه الكواشف ومعدل قشط الأثر  $(V_T)$  يتأثران بتغير تراكيز المحاليل القلوية المائية القاشطة، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH وهيدروكسيد البوتاسيوم  $(V_T)$  العلاقة  $(V_T)$ 

$$V_{x} = F_{x} C^{n} e^{\left(-\frac{E_{k}}{kT}\right)} \tag{1}$$

إذ إن  $V_X$  يمثل  $V_B$  أو  $V_T$ ، و $V_T$  ثابت يعتمد على نوع المادة، و $V_T$  تركيز المحلول القاشط في مدى ( $V_T$  خوارة المحلول القاشط بالكلفن.  $V_T$  و $V_T$  درجة حرارة المحلول القاشط بالكلفن.

ويمكن صياغة المعادلة (1) على الشكل الآتي: 
$$y = a_1 \; x^{-a_2} \, e^{-a_3} \eqno(2)$$

ونظراً لأهمية معدل القشط العام  $(V_B)$  في التحكم في عملية تكوين الأثر من خلال نسبة معدل القشط  $(V_T)$ ، المعتمدة على معدل القشط العام ومعدل قشط الأثر  $(V_T)$ ، فإنه يجب قياسه بشكل دقيق. ويمكن استخدام طرائق مختلفة لقياسه وباعتماد نمطين؛ إما بتشعيع الكاشف بجسيمات ألفا أو بدون تشعيعه. ومن الطرائق المستخدمة لقياس معدل القشط العام قياس سمك المادة المزالة من سطح الكاشف، وذلك بقياس سمك الكاشف قبل عمليات قشط متعاقبة وبعدها لأزمان قشط قصيرة ضمن مدة ثبات  $V_B$ ، ثم يحسب  $V_B$  من العلاقة الآتية  $V_B$ :

$$V_B = \frac{1}{2} \frac{h}{t} \tag{3}$$

حيث (h (µm) سمك الطبقة المزالة من سطح الكاشف في زمن (t (hr) يشير الى قشط وجهي

الكاشف من الجهتين. ومع تطور الأجهزة، أصبح بالإمكان قياس فرق السمك المزال مباشرة بطريقة تدعى -Peeled) (f) (6, 10].

وهناك طرائق اخرى لقياس  $V_B$  منها القياس التثاقلي [2]، وطريقة قياس أقطار شظايا الانشطار باستخدام المصدر المشع  $^{252}\mathrm{Cf}$  [8]. وهناك طريقة أخرى لقياس معدل القشط العام  $(V_B)$  وهي طريقة قياس طول- قطر الأثر ( $(V_c-D)$ ). وهذه الطريقة ليست بالسهولة مقارنة بالطرائق السابقة في عملية حساب  $V_B$ ، لأنها تتطلب الحصول على صور للأثار المتكونة في الكاشف، وتتطلب قياساً دقيقاً لكل من قطر الأثر ((D)) وطوله  $(D_c-D)$  تجريبياً بشكل مباشر [ $(V_c-D)$ ).

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المحلول القاشط المحدول  $(V_B)$  لكاشف NaOH/Ethanol على معدل القشط العام (R-39) ومقارنة النتائج التي يتم الحصول عليها من هذا البحث مع القيم الناتجة من استعمال المحلول القاشط NaOH/Water.

## طريقة العمل

استعمل كاشف الأثر النووى CR-39 من Page 200 سمکه Mouldings (Worcestershire, England) μm وقطع بأبعاد 2.2x1.2) cm<sup>2</sup> وصقلت الحافات بشكل جيد للتخلص من الخدوش ولجعلها حادة وواضحة للحصول على قياسات دقيقة لسمك الكاشف ومن ثم معدل القشط العام له. لإجراء عملية القشط الكيميائي للكاشف، استعملت المادة الكيميائية NaOH بنقاوة %95 حيث أذيبت في مادة الإيثانول Ethanol بنقاوة %95 وبتراكيز مختارة N (1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0) القشط الكاشف عند درجة حرارة °C(±10) لأزمان قشط مختلفة لكل  $(V_B)$  تركيز [1، 13، 14]. لإيجاد معدل القشط العام بطريقة القياس المباشر، يقاس سمك الكاشف قبل القشط وبعده ويحسب مقدار السمك المزال (h) من سطح الكاشف للازمان القشطية المتعاقبة عند كل تركيز للمحلول القاشط. لقد استعملت في تصوير سمك حافة الكاشف وقياسه كاميرا رقمية (Digital Camera) من نوع مثبتة مباشرة على المجهر الضوئي وموصلة إلى حاسوب.

وجدير بالذكر أن معدل القشط العام للكاشف باستخدام المحاليل NaOH/Ethanol أكبر بكثير منه باستخدام المحاليل القلوية مثل NaOH/Water و KOH/Water. وعليه، فإن  $^{\circ}$  إجراء عملية القشط في درجة حرارة عالية مثل  $^{\circ}$  C

باستخدام محلول NaOH/Ethanol قد يزيل سمكًا من سطح الكاشف أكبر من طول الأثر المتكون فيه، وبذلك لا يمكن الحصول على آثار مقشوطة في الكاشف لإجراء القياسات عليها. لذا استخدمنا درجة حرارة  $^{\circ}$  50 للمحلول القاشط للتقليل من معدل القشط العام للحصول على آثار مقشوطة لإجراء مثل هذه الدراسات. ويمكن استخدام درجات حرارة أعلى أو أقل لدراسات أخرى تبعًا لهدف الدراسة [ $^{\circ}$ 16-11، 14، 15].

## النتائج والمناقشة

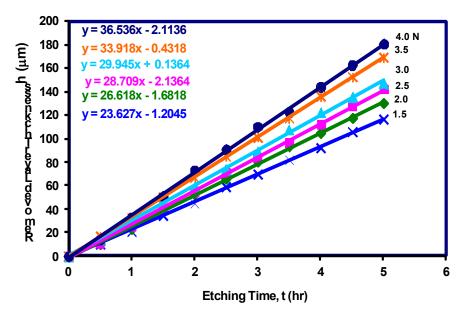
الشكل (1) يمثل سمك الطبقة المزالة من سطح الكاشف لأزمان قشط متعاقبة لكل تركيز للمحلول القاشط. ويلاحظ من الشكل أن مقدار ما يزال من سطح الكاشف يتناسب تناسبًا طرديًا وخطيًا مع زمن القشط بثبوت الظروف الأخرى. فزيادة زمن القشط تعمل على زيادة مدة التفاعل بين الكاشف والمحلول القاشط وبالتالي زيادة مقدار ما يتحلل (degradation) من مادة الكاشف من السطح، وبذلك يزداد سمك الطبقة المزالة من سطح الكاشف ويقل سمكه. أما الشكل (2) فإنه يمثل العلاقة بين سمك الطبقة المزالة وتركيز المحلول القاشط لأزمان قشط مختلفة، وهي علاقة طردية؛ إذ يلاحظ أن زيادة تركيز المحلول القاشط تؤدى إلى زيادة طاقة التفاعل بين الكاشف والمحلول، مما يعمل على تحلل كمية أكبر من مادة الكاشف من السطح العام للكاشف المتفاعل مع المحلول للفترة الزمنية للقشط نفسها وبالتالى زيادة سمك الطبقة المزالة ونقصان سمك الكاشف.

من حساب الميل في الشكل (1) وباستعمال المعادلة (3)، تم إيجاد معدلات القشط العام ( $V_B$ ) لكاشف الأثر النووي  $V_B$  عند التراكيز المختلفة للمحلول القاشط، كما هو مبين في الجدول (1) والشكل (3). ويلاحظ أن معدل القشط العام يزداد خطياً مع زيادة تركيز المحلول القاشط؛ إذ إن زيادة التركيز تؤدي إلى تحلل كمية أكبر من مادة الكاشف وبالتالي زيادة معدل القشط العام للكاشف. وقد وجد أن تغير معدل القشط العام مع التراكيز المستخدمة المحلول القاشط  $V_B$  الشكل المستخدمة المحلول القاشط العام في الشكل (3) تتبع العلاقة:

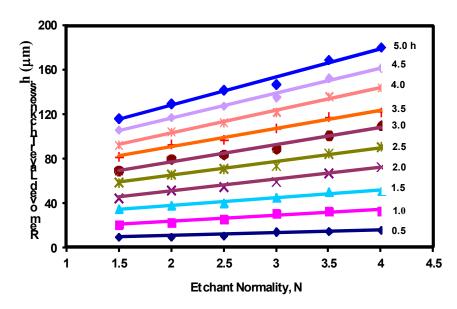
$$V_B = a + bN (4)$$

.a=8.0562 , b=2.5053 μm/h حيث

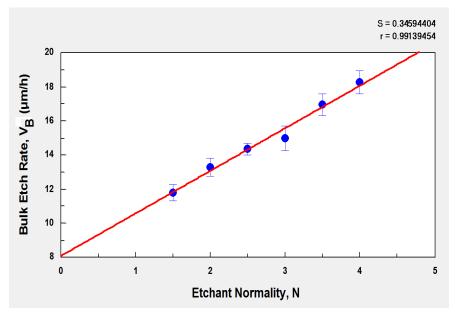
ياسر يحيى قاسم



الشكل (1): العلاقة بين سمك الطبقة المزالة وزمن القشط عند تراكيز مختلفة للمحلول القاشط.



الشكل (2): العلاقة بين سمك الطبقة المزالة وتركيز المحلول القاشط لأزمان قشط مختلفة.



الشكل (3): تغير معدل القشط العام لكاشف الأثر النووي 39-CR مع تركيز المحلول القاشط.

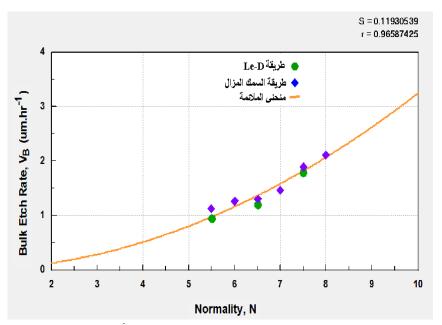
الجدول (1): معدلات القشط العام لكاشف الأثر النووى 39-CR عند تراكيز مختلفة للمحلول القاشط.

Normality, N	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$V_{\rm B}$ ( $\mu m  hr^{-1}$ )	11.813	13.309	14.354	14.972	16.959	18.268
	$\pm \ 0.485$	$\pm 0.566$	$\pm 0.351$	$\pm \ 0.727$	$\pm 0.643$	$\pm \ 0.703$

لبيان مدى الاختلاف بين قيم معدل القشط العام  $(V_B)$  للكشف الأثر النووي (CR-39) في الشكل (ER-39) التي تم الحصول عليها في هذا البحث باستعمال المحلول القاشط الحصول عليها في هذا البحث باستعمال المحلول القاشط العام باستعمال المحلول القاشط العام المحلول القاشط العام (4) لـ NaOH/Water المعدل القشط العام لكاشف الأثر النووي (ER-39) بطرائق مختلفة عند تراكيز (ER-39) بطرائق مختلفة عند تراكيز (ER-39) بلاحظ من الشكلين (ER-39) وجود (ER-39) المحلول القاشط العام اختلاف واضح وفرق كبير في قيم معدلات القشط العام المحلولين القاشطين؛ إذ إن المحلول المحلول القاشط العام المحلول كبير من عملية القشط الكيميائي مقارنة بالمحلول العام بشكل كبير من عملية القشط الكيميائي مقارنة المحلول العام بشكل أكبر.

إن الزيادة الشديدة في معدل القشط العام باستعمال المحلول القاشط NaOH/Ethanol مقارنةً بمعدل القشط المحلول NaOH/Water يرجع سببها إلى امتزاج (miscibility) مادة الإيثانول مع النواتج العضوية (miscibility) مادة الإيثانول مع النواتج العضوية للكاشف CR-39 البوليمري (CR-39 أوران معدل تكون خلال عملية القشط. فكربونات الصوديوم هي أحد النواتج في أثناء عملية قشط الكاشف CR-39، وإن معدل تكون كربونات الصوديوم في أثناء عملية القشط يكون أكبر للمحلول NaOH/Ethanol مما هو عليه للمحلول للمحلول NaOH/Water مما هو عليه للمحلول كربونات الصوديوم على سطح الكاشف CR-39 بسبب عدم نوبانيتها وتشبعها في الإيثانول التي تزيد من كميات المادة المزالة من سطح الكاشف بشكل كبير مما يؤدي بدوره إلى زيادة كبيرة في معدل القشط العام [1، 15].

ياسر يحيى قاسم



الشكل (4): معدلات القشط العام بطريقة السمك المزال وطريقة D-L<sub>e</sub> مع منحني الملاءمة (fitting) عند تراكيز مختلفة للمحلول الشكل (4): معدلات القشط العام بطريقة السمك المزال وطريقة NaOH/Water معدلات القاشط 1 Ref. 7

## الاستنتاجات

من النتائج التي حصلنا عليها، يمكن أن نستنتج أن المحلول القاشط NaOH/Ethanol نو فعالية عالية في عملية القشط ويعطي نتائج جيدة لمعدل القشط العام  $V_B$  وبقيم أكبر مما هي عليه باستعمال المحلول القاشط ويقيم أكبر مما هي عليه باستعمال المحلول القاشط حيث يمكن الاستفادة منها في مجالات عديدة، منها تنظيف الكاشف من آثار الخلفية الإشعاعية قبل استعماله في إجراء تجارب وقياسات معينة ولاسيما قياس تراكيز الرادون، وكذلك في عمليات ترقيق الكاشف إلى سمك قليل بحدود وكذلك ألله عمليات ترقيق الكاشف الى سمك قليل بحدود الخلايا البيولوجية، فضلاً عن أن مثل هذه المحاليل تساعد في عمليات القشط في إظهار آثار الجسيمات النووية ذات الطاقات العالية في الكواشف السميكة في زمن أقصر مما

هو عليه عند استعمال المحلول القاشط NaOH/Water، مما يوفر وقتًا وجهدًا كبيرين تتطلبهما الآثار لمثل هذه الجسيمات.

إن الزيادة الكبيرة لمعدل القشط العام باستخدام المحلول القاشط NaOH/Ethanol عند درجات حرارة وتركيز عاليين لا تخلو من سلبيات؛ إذ إن السمك المزال يكون أكبر من طول الأثر المقشوط مما يؤدي إلى إزالة الأثر بالكامل وعدم مشاهدة آثار مقشوطة في الكاشف لإجراء القياسات عليها.

## المراجع

- [10] Szydlowski, A., Sadowski, M., Czyzewski, T., Jaskola, M., Kormona, A., Kedzierski, J. and Krestschmer, W., Radiat. Meas., 312 (1999) 257.
- [11] Manzoor, S., Balestra, S., Cozzi, M., Errico, M., Giacomelli, G., Giorgini, M., Kumar, A., Margiotta, A., Medinaceli, E., Patrizii, L., Popa, V., Qureshi, I.E. and Togo, V., Nucl. Phys. Proc. Suppl. 172 (2007) 92. DOI:0.1016/j.nuclphysbps.2007.07.017.
- [12] Balestra, S., Cozzi, M., Giacomelli, G., Giacomelli, R., Giorgini, M., Kumar, A., Mandrioli, G., Manzoor, S., Margiotta, A.R., Medinaceli, E., Partizii, L., Popa, V., Qureshi, I.E., Rana, M.A., Sirri, G., Spurio, M., Togo, V. and Valieri, C., Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B, 254 (2007) 254.
- [13] Tse, K.C.C., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B, 263 (2007) 300.
- [14] Yu, K.N. and Nikezic, D., In: Nuclear Track Detectors: Design, Methods and Applications, Editor: Maksim Sidorov and Oleg Ivanov (2009), Nova Science Publishers, Inc.
- [15] Chanl, K.F., Siu, S.Y.M., McClella, K.E., Tse, A.K.W., Lau, B.M.F., Nikezic, D., Richardson, B.J., Lam, P.K.S., Fong, W.F. and Yu, K.N., Radiation Protection Dosimetry, 122(1-4) (2006) 160.

- [1] Chan, K.F., Ng, F.M.F., Nikezic, D. and Yu, K.N., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 263 (2007) 284.
- [2] Nikezic, D. and Yu, K.N., Materials Science and Engineers R, 46 (2004) 51.
- [3] Ng, F.M.F., Nikezic, D. and Yu, K.N., Radiat. Meas., 40 (2005) 380.
- [4] Mahmood, I.H.T., "An Alternative Method for Extracting Parameters and Profiles of Tracks in CR-39 and LR-115 Detectors", M.Sc. Thesis, Department of Physics, College of Education, University of Mosul, Iraq (2011).
- [5] Khan, H.A., Nucl. Instrum. and Meth., 78 (1980) 491.
- [6] Somogyi, G. and Hunyadi, I., In: Proceedings of 10<sup>th</sup> International Conference of Solid State Nuclear Track Detectors, Loyn and Suppl. 2, Nuclear Tracks, Pergamon Press, Oxford (1980) 443.
- [7] Al-Nia'emi, S.H.S. and Kasim, Y.Y., Jordan J. Phys. (JJP), 6(1) (2013) 17.
- [8] Durrani, S.A. and Bull, R.K., "Solid State Nuclear Track Detection", (Pergamon Press, Oxford, 1987).
- [9] Ho, J.P.Y., Yip, C.W.Y., Nikezic, D. and Yu, K.N., Radiat. Meas., 36 (2003) 155.

## المجلة الأردنية للفيزياء

## **ARTICLE**

# تأثير تركيز المحلول القاشط على أقطار آثار جسيمات ألفا في كاشف الأثر النووى 39-CR

مشتاق عبد داود الجبوري

قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

Received on: 2/9/2016; Accepted on: 3/11/2016

الملخص: يتعلق البحث بدراسة تأثير تركيز المحلول القاشط على أقطار آثار جسيمات ألفا المتكونة على كاشف الأثر  $^{24}$   $^{10}$ C وذلك من خلال تشعيع الكاشف بطاقة  $^{240}$ M من مصدر  $^{241}$ A وقشطه بدرجة حرارة  $^{20}$ 1 النووي  $^{24}$ C وتتلك من خلال تشعيع الكاشف بطاقة  $^{240}$ M من مصدر  $^{240}$ M وقشطه بدرجة حرارة  $^{240}$ M وبتراكيز مختلفة  $^{240}$ M ايصار إلى تطوير المعادلة المقترحة من (الجبوري والشميسي،  $^{240}$ M إلى المحلول القاشط. كما أُجريت دراسة جزئية أخرى باستخدام طريقة السمك المزال لإيجاد معدل القشط العام للكاشف  $^{240}$ M ولك تركيز من التراكيز المذكورة. وأدت هذه الدراسة إلى استنباط معادلة تجريبية جديدة قادرة على وصف معدل القشط هو  $^{240}$ M في هذا البحث اعتماداً المحلول القاشط. ومن خلال دراسة حساسية الكاشف، وجد أن التركيز الأمثل للقشط هو  $^{240}$ M في هذا البحث اعتماداً على حساسية الكاشف التى كان لها أعلى قيمة عند هذا التركيز.

الكلمات الدالة: كاشف CR-39، معدل القشط العام ، تركيز المحلول القاشط، معادلات تجريبية.

## Effect of Etching Solution Concentration on Track Diameter Development in CR-39 Nuclear Track Detector

## Mushtaq Abed Dawood Al-Jubbori

Department of Physics, College of Education for Pure Science, Mosul University, Mosul, Iraq.

## **Extended Abstract:**

In this work, two empirical relations related to the track diameter development of alpha particle tracks in CR-39 detectors and to the detector bulk etch rate as a function of concentration of etching solution are suggested and tested. The first empirical equation is a further extension of the equation suggested in reference [13] to accommodate the relation of the track diameter to both etching time and concentration effects. The second equation describes the bulk etch rate as a function of concentration of etching solution. The bulk etch rate is determined by the measurement of the removed layer method. In the process of developing these two equations, tracks formed on CR-39 track detector by 3 MeV alpha particles are etched at four NaOH etching solution concentrations of 4, 6, 8, and 10 N. The etching solution temperature is kept constant at 70 °C. Digital image processing method for diameter and detector thickness measurements is used. The study of track sensitivity measurements resulted is estimating that the optimum etching solution concentration is 6 N at 70 °C.

Corresponding Author: M. A. Al-Jubbori Email: mushtaq phy8@yahoo.com

مشتاق الجبوري

The new suggested empirical equation for the track diameter D (microns) as a function of both etching time t (hr) and concentration N (normal) takes the form:

$$D(t,N) = (a_1N - 2.1) \times t^{a_2N^{-a_3}}$$
 with  $a_1 = 0.59$ ,  $a_2 = 4.8$  and  $a_3 = 0.67$ .

The suggested equation for the bulk etch rate  $V_B$  (micron/hr) is  $V_B = Ae^{\frac{-B}{(N-C)}}$  with  $A = 3.0121 \times 10^{-8} \, \mu \text{m/hr}$ ,  $B = 1.3263 \times 10^3 \, \text{and} \, C = 81.41$ .

Comparison of these two equations with independent published literature experimental results gives very good agreement.

Keywords: CR-39 detector, Bulk etch rate, Etching Solution Concentration, Empirical equations.

## المقدمة

تستخدم كواشف الأثر النووي الصلبة في مجالات عديدة منها قياس تراكيز الرادون، وفيزياء البلازما والفلك، والوقاية من الإشعاع، وفي مجال الحفاظ على البيئة؛ إذ إن لهذه الكواشف مميزات تميزها عن كواشف أخرى. فهي متوفرة ورخيصة الثمن ولا تحتاج إلى مجهزات قدرة كهربائية وغير حساسة تجاه التأينات الواطئة، كما أنها لاتتأثر كثيرا بالظروف البيئية الخارجية (كدرجة الحرارة والضغط والرطوبة والبرودة)، إضافة إلى صغر حجمها وخفة وزنها. كل هذه الصفات جعلت هذا النوع من الكواشف مصب اهتمام العلماء والباحثين في السنوات الأخيرة [1-3]. هنالك عدة متغيرات تؤثر على كواشف الأثر النووى الصلبة، منها ماهو فيزيائي ومنها ما هو كيميائي. فعلى سبيل المثال لا الحصر، تشعيع كاشف CR-39 بجسيمات ألفا يعتبر من المتغيرات الفيزيائية، حيث يتعلق الأمر بطاقة الجسيم وكيفية تأثيرها في الكاشف وآلية تكوين الأثر. أما عملية إظهار منطقة الضرر (الأثر) التي تخلفها جسيمات ألفا فهي لا تتم إلا بمعالجة الكاشف بمحاليل كيميائية كمحلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH. لذا هنالك مَعلمان مُهمان في عملية قشط الآثار وإظهارها هما معدل القشط العام Bulk Etch) (Track Etch Rate, V<sub>T</sub>) ومعدل قشط الأثر (Rate, V<sub>B</sub>) أو ما يسمى معدل القشط على طول أو عمق الأثر [4,5].

فمعدل القشط العام هو مقدار مايزال من سطح الكاشف خلال عملية التفاعل الكيميائي بين المحلول القاشط ومادة الكاشف الذي بدوره يؤدي إلى تقليل سمك الكاشف بتقدم عملية القشط [6]. يعتمد معدل القشط العام على عدة عوامل منها: نقاوة المادة الأساسية المصنع منها الكاشف، ومدى تجانس وتماثل خواص هذه المادة، وطبيعة جزيئات الكاشف البوليمرية وظروف بلمرته في أثناء عملية الإنتاج.

 $V_B$  المعلمات التي يعتمد عليها الكاشف. وإلى جانب كون  $V_B$  معلماً كشفياً فإنه يعتبر معلماً قشطياً أيضاً. إذ يعتمد على نوع المحلول الكيميائي القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته. إن لمعدل القشط العام  $V_B$  أهمية في عملية تكوين الأثار وإظهارها، وذلك من خلال ارتباطه المباشر بنسبة معدل القشط  $V_B$  التي تعتمد بدورها أيضاً على معدل قشط الأثر مختلفة للقياس وبواقع نمطين: إما بتشعيع الكاشف بحسيمات ألفا أو دون تشعيعه.

إحدى هذه الطرائق المتبعة في قياس  $V_B$  هي طريقة السمك المزال من سطح الكاشف، وتسمى هذه الطريقة بالطريقة المباشرة، وتتم من خلال قياس سمك الكاشف قبل إجراء عملية القشط وبعدها ولأزمان قشط متعاقبة، وهي الطريقة المتبعة في هذا البحث. ويمكن حساب  $V_B$  من العلاقة  $V_B$ :

$$V_{\rm B} = \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{\Delta t} \tag{1}$$

حيث  $\Delta h (\mu m)$  يمثل سمك الطبقة المزالة خلال زمن قشط قدره  $\Delta t (hr)$  .

وهنالك طريقة أخرى تدعى الطريقة التثاقلية، وتعتمد على قياس مايُزال من مادة الكاشف قبل عملية القشط المتعاقبة وبعدها ويمكن حساب قيمة  $V_B$  من العلاقة التالية، وذلك بتعويض  $\frac{\Delta m}{\sigma A}=\frac{\Delta m}{\sigma A}$ 

$$V_{\rm B} = \frac{1}{2\rho A} \frac{\Delta m}{\Delta t} \tag{2}$$

حيث تمثل  $\Delta m(gm)$  كتلة الطبقة المزالة من سطح  $\rho(gm.cm^{-3})$  و  $\Delta t(hr)$  و  $\Delta t(hr)$  كثافة مادة الكاشف، و  $\Delta t(cm^2)$  مساحة سطح الكاشف.

هذا بالإضافة إلى أن هنالك طرائق أخرى كطريقة شظايا الانشطار وطريقة (طول- قطر الأثر) L-D [8].

إن من مميزات معدل القشط العام أن له قيمة ثابتة عند تركيز ودرجة حرارة معينين؛ أي أنه معلم لا يعتمد على اتجاه القشط (Scalar Parameter) في الكواشف المتجانسة ومتماثلة الخواص كما في كاشف (R-3). أما في الكواشف غير المتجانسة وغير متماثلة الخواص، مثل المايكا، فتكون له قيمتان؛ أي يكون معلمًا اتجاهيًا (Directional Parameter)؛ إذ إن (R-3) ومعدل القشط العام (R-3) ومعدل قشط الأثر يتأثران بتغيير تركيز المحلول القاشط من خلال العلاقة [9]:

$$V_{x} = F C^{n} e^{\frac{(-\varepsilon_{x})}{KT}}$$
(3)

 $F,\ n_0\ V_T$  أو  $V_B$  من  $V_x(\mu m/hr)$  و تمثل  $V_x(\mu m/hr)$  أو  $V_T$  و ثابتان، و  $V_T$  تركيز المحلول، و  $V_T$  ثابت بولتزمان، و  $V_T$  ثابت بولتزمان، و  $V_T$  أو  $V_T$  وهي عبارة عن الطاقة اللازمة لتنشيط التفاعل بين مادة الكاشف والمحلول القاشط [10].

هنالك معادلة اخرى تربط معدل القشط العام مع درجة حرارة المحلول تسمى معادلة آرهينوس [11]:

$$V_{\rm B} = A e^{\left(\frac{-\varepsilon}{kT}\right)} \tag{4}$$

حيث (A(µm/hr ثابت التناسب.

أما .Fromm *et al* فقد أوجدوا معادلة تجريبية  $m V_B$  دالة لتركيز ودرجة حرارة المحلول القاشط:

$$V_{\rm B} = 1.276 \exp(0.828c + 0.049T -0.002cT-17.624)$$
 (5)

حيث c تركيز المحلول القاشط، وT درجة الحرارة بمقياس كلفن.

## طريقة العمل

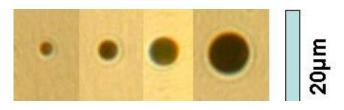
استعمل كاشف الأثر النووي CR-39 ذو سمك Page ) بريطاني المنشأ من صنع شركة ( Page ) لقياس اقطار جسيمات ألفا، (Moldings Pershore UK وقياس معدل القشط العام، فضلاً عن إيجاد نسبة معدل القشط. والكاشف CR-39 عبارة عن مادة بوليمرية صلبة

من نوع متعدد الكربون، ويمتاز بخلفيته الإشعاعية القليلة وتماثل خواص مادته وتجانسها، بالإضافة إلى حساسيته العالية في الكشف عن الجسيمات المشحونة كجسيمات ألفا وكذلك الكشف عن النيوترونات. وقد استعمل مصدر الأمريشيوم المشع بفعالية (<sup>241</sup>Am(1 μci في تشعيع الكاشف، وهو باعث لجسيمات ألفا بمعدل طاقة قصوى 5.485MeV ومتوسط مداه في الهواء 4.16 cm. ويتم الحصول على الطاقة المطلوبة بتغيير البعد بين المصدر المشع والكاشف في الهواء من خلال منظومة تشعيع. قطعت عدة عينات من الكاشف بواقع مجموعتين، استخدمت المجموعة الأولى المؤلفة من أربع عينات جرى تعريضها لجسيمات ألفا بطاقة 3MeV وتمت عملية التشعيع باستخدام مسدد مساحة مقطعه العرضى 1mm<sup>2</sup> لضمان السقوط العمودي على الكاشف. وقشطت العينات بمحلول NaOH ذي نقاوة %95 بدرجة حرارة °C (1±07) وبتراكيز مختلفة N (4, 6, 8, 10) لغرض حفر المناطق المتضررة لإظهار أقطار الآثار المتكونة جراء تشعيع الكاشف بجسيمات ألفا. أما المجموعة الثانية ذات الأربع عينات أيضاً فقد قُطِعَت إلى قطع ذات أبعاد 1×1 cm بهدف إجراء دراسة جزئية لتأثير تغير تركيز المحلول القاشط على معدل القشط العام دون تشعيع الكاشف بجسيمات ألفا، حيث قشطت العينات تحت الظروف نفسها أعلاه من حيث نوع المحلول القاشط ودرجة حرارته وتراكيزه (4, 6, 8, N) (10. ولأخذ صور للآثار المقشوطة وقياس سمك الطبقة المزالة التي تستخدم في قياس  $V_{\rm B}$ ، تم ربط كاميرا رقمية من نوع (OPTIKA 4083.B5) مع مجهر ضوئي نوع (OPTIKA B-193) يعمل ضمن برنامج معين لغرض نقل صور الأثار مباشرة إلى حاسوب شخصى PC حيث يتم إجراء عمليات القياس عليها.

## النتائج والمناقشة

للحصول على آثار جسيمات ألفا، جرى تشعيع الكاشف بطاقة 3MeV وقشطت العينات بأزمان قشط متفاوتة وبدرجة حرارة ثابتة 7°70، في حين تم تغيير تركيز المحلول (1-1) بزيادة تتابعية مقدارها 2N. والشكل (1) يبين صورة تجريبية لآثار جسيمات ألفا عند زمن قشط مقداره 2.5hr ويلاحظ من الشكل أن قطر الأثر يزداد بزيادة تركيز المحلول. ويمكن تعليل ذلك بأنه بزيادة تركيز المحلول القاشط تزداد أيونات OH المهاجمة لمادة الكاشف، مما يؤدي إلى زيادة في سرعة عملية القشط وحفر المناطق المتضررة من الكاشف.

مشتاق الجبوري



N=4 6 8 10 = 10

ولأجل استنباط معادلة تصف تطور أقطار آثار جسيمات ألفا دالة لزمن القشط وتركيز المحلول القاشط، تم تطوير المعادلة المقترحة من (الجبوري والشميسي، 2015) [13]، حيث تصف المعادلة (6) تطور قطر الأثر دالة لزمن القشط.

$$D(t) = A_1 t^{A_2} \tag{6}$$

ولإيجاد تغير قيم المعلمات  $A_1$ ,  $A_2$  مع تركيز المحلول القاشط، رسمت أقطار آثار جسيمات ألفا مع زمن القشط ولتراكيز (2), (4, 6, 8, 10) كما في الشكل (2), وتُركت المعلمات حرة، واتضح أنها تتغير مع تركيز المحلول القاشط. لذا تم استنباط معادلتين تربطان كلاً من المعلمتين (3), (3) مع تركيز المحلول. فالشكل (3) يبين تغير المعلمتين مع التركيز؛ إذ يتبين أن (3) يتغير بشكل خطى مع تركيز المحلول القاشط، لذا يمكن وصف هذه خطى مع تركيز المحلول القاشط، لذا يمكن وصف هذه

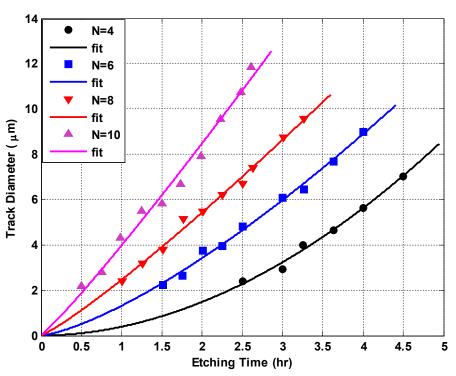
العلاقة بالمعادلة الخطية، في حين نلاحظ من الشكل نفسه أن  $A_2$  أن يتغير بشكل غير خطي ويمكن أن تستنبط معادلة من النوع الأسي (Power) للتعبير عن هذه العلاقة. لذا تعطى قيمة كل من المعلمتين  $A_1$  و $A_2$  بالمعادلات التالية:

$$A_1 = a_1 N - 2.1 \tag{7}$$

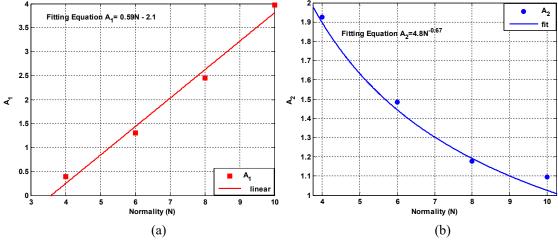
$$A_2 = a_2 N^{-a_3} (8)$$

 $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  حيث  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  معلمات حرة جديدة (تقاس  $a_3$  ن ن يمقلوب وحدة تركيز المحلول القاشط، في حين أن يعدون وحدة قياس). وبالتالي يمكن كتابة معادلة قطر الأثر بدلالة زمن القشط (N) وتركيز المحلول القاشط (N) على النحو الآتى:

$$D(t,N) = (a_1N - 2.1) \times t^{a_2N^{-a_3}}$$
(9)



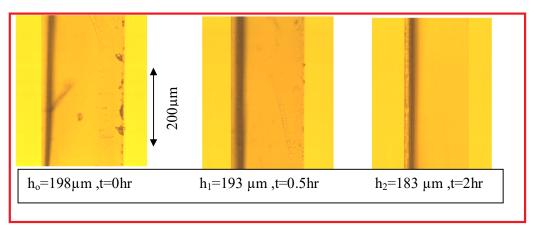
الشكل (2): أقطار آثار جسيمات ألفا دالة لزمن القشط ولتراكيز مختلفة للمحلول القاشط.



الشكل (3): تغير المعلمتين A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> مع تركيز المحلول القاشط.

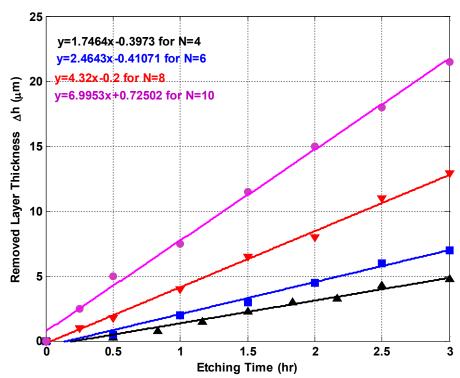
ولأجل قياس معدل القشط العام  $V_B$  عند كل تركيز من التراكيز  $V_B$  (4, 6, 8, 10) N)، أخذت أربع عينات من كاشف CR-39 بأبعاد  $T\times 1$  وقُسطت في المحلول القاشط لأزمان قشط متفاوتة، ثم تم قياس السمك المزال عند كل زمن قشط. والشكل (4) يعرض صوراً لسمك الكاشف T (4) يعرض مختلفة تحت ظروف قشطية باستخدام محلول T (8N, T (8N) عملية القشط. الشكل (5)

يبين سمك الطبقة المزالة دالة لزمن القشط؛ إذ يتبين أن العلاقة بينهما علاقة طردية خطية، وان سمك الطبقة المزالة من السطح العام للكاشف يزداد بزيادة تركيز المحلول القاشط مع ثبات المؤثرات الأخرى (درجة الحرارة وزمن القشط). استخدمت المعادلة (1) لإيجاد معدل القشط العام  $V_{\rm B}$  للتراكيز المستخدمة في هذا البحث. والجدول (1) يبين هذه القيم.



الشكل (4): التغير في سمك الكاشف 39-CR جراء عملية القشط لثلاثة أزمان قشط عند تركيز N=8.

Article مشتاق الجبوري



الشكل (5): العلاقة بين سمك الطبقة المزالة وزمن القشط.

الجدول (1): معدل القشط العام.

1	· · ·
Normality (N)	V <sub>B</sub> (μm/hr)
4	$0.87 \pm 0.06$
6	$1.23\pm0.01$
8	$2.16\pm0.04$
10	$3.50\pm0.1$

من جهة أخرى، وجدت معادلة تجريبية تصف معدل القشط العام دالة لتركيز المحلول القاشط، حيث يتناسب معدل القشط العام مع التركيز وفق المعادلة التالية، وانطلاقاً من مبدأ انتشار السوائل في المواد غالباً ما تكون العلاقة أقرب إلى صيغة الدالة الأسية:

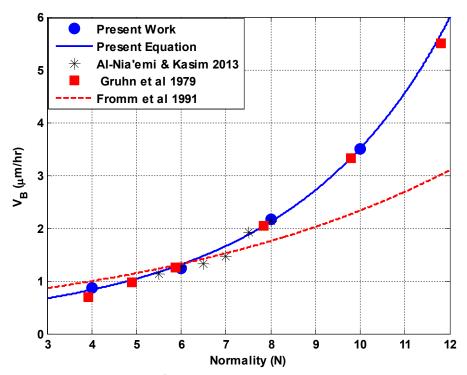
$$V_{B} \propto e^{\frac{-1}{N}}$$

$$V_{B} = Ae^{\frac{-B}{(N-C)}}$$
(10)

حيث A, B, C ثوابت يمكن إيجادها من مُواءَمة المعادلة أعلاه. وفي هذا البحث، كانت قيم الثوابت

A=3.0121×10<sup>-8</sup>  $\mu$ m/hr, B=1.3263×10<sup>3</sup> and .C=81.41

أجريت مقارنة للقيم التجريبية لـ  $V_B$  مع قيم تم الحصول عليها من دراسات عربية وأجنبية [14, 15] من جهة ومع معادلات نظرية [12] والمعادلة المستنبطة [10] من جهة أخرى. وكان التوافق جيدًا بين هذه المقارنات كما في الشكل (6)، حيث يوضح الخط الصلب ذو اللون الأزرق نتائج المعادلة المستنبطة، ويتبين أن لها سلوكًا جيدًا، كما تتفق مع النتائج التجريبية لدراسات أخرى. ومن الشكل نفسه، نلاحظ أن معادلة لدراسات أخرى. ومن الشكل نفسه، نلاحظ أن معادلة المستنبطة ويتائج تلك الدراسات.



الشكل (6): مقارنة لمعدل القشط العام مع قياسات ومعادلات باحثين آخرين دالة لتركيز المحلول القاشط.

يُعرف معدل نسبة القشط (Etching Ratio Rate, V) أو حساسية الكاشف بأنها النسبة بين معدل القشط على طول الأثر  $V_T$  إلى معدل القشط العام  $V_B$ ، علماً بأن قيمة  $V_T$  يجب أن تكون أكبر من واحد  $V_T$ )، وهذا شرط ضروري لظهور الآثار المقشوطة [7]. ويمكن أن تحسب حساسية الكاشف للآثار الدائرية من المعادلة التالية [16]:

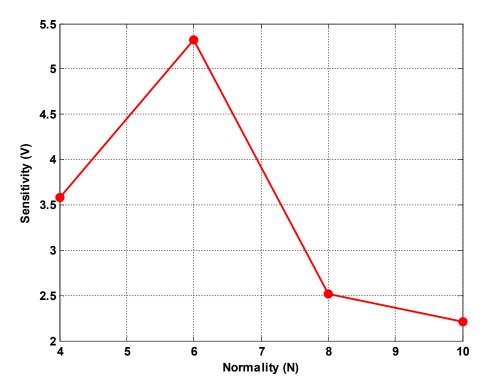
$$V = \frac{h^2 + r^2}{h^2 - r^2} \tag{11}$$

حيث  $h (\mu m)$  متمثل الطبقة المزالة من سطح الكاشف،  $e(\mu m)$  نصف قطر الأثر. الشكل  $e(\mu m)$  يمثل حساسية الكاشف دالة لتركيز المحلول القاشط. ويتبين من هذا الشكل أن الحساسية تكون عند أعلى قيمة لها عندما يكون التركيز مساوياً  $e(\mu m)$ ، وهذا يدل على أن الكاشف يكون حساساً لإظهار آثار جسيمات ألفا عند هذا التركيز. ويعتبر هذا التركيز التركيز الأمثل لظهور الآثار عند أقل زمن قشط.

## الاستنتاجات

إنّ لتغير تركيز المحلول القاشط تأثيرًا واضحًا على أقطار آثار جسيمات ألفا؛ إذ تبين أن قطر الأثر يزداد بزيادة تركيز المحلول عند ثبات درجة حرارة القاشط وزمن القشط. وهذا بدوره أدى إلى استنباط معادلة ناجحة لوصف تطور أقطار آثار جسيمات ألفا مع زمن القشط دالة لتركيز المحلول القاشط، وكان التوافق جيدًا بين القيم العملية ونتائج المعادلة المستنبطة. كما تبين نجاح طريقة السمك المزال في قياس معدل القشط العام  $V_{\rm B}$ ، وتم استنتاج معادلة جديدة تصف زيادة  $V_{\rm B}$  مع تركيز المحلول. هذه المعادلة تسلك سلوكا جيدًا في وصف  $V_B$ ، وذلك من خلال مقارنات أجريت لهذا الغرض. ومن خلال حساب حساسية الكاشف V لكل تركيز وجد أن التركيز الأمثل للقشط في هذا البحث هو N=6. وفي الإمكان في دراسات مستقبلية تطوير الدراسة الحالية من خلال قياس معدل قشط الأثر دالة لتركيز المحلول القاشط، وإيجاد معادلة تجريبية  $V_T$ تربط بين طول الأثر وتركيز المحلول.

مشتاق الجبوري



الشكل (7): تغير حساسية الكاشف مع تركيز المحلول القاشط.

## المراجع

- [10] Saffarini, G., Dwaikat, N., El-Hasan, M., Sato, F., Kato, Y. and Iida, T., Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. A, 680 (2012) 82.
- [11] Laidler, K.J., "Chemical Kinetics", third ed., (Harper & Row, New York, 1987).
- [12] Fromm, M., Membrey, F., Chambaudet, A. and Saouli, R., Nucl. Track Radiat., 19 (1–4) (1991) 163.
- [13] Al-Jubbori, M. and Al-Shumaisy, S., Jordan. J. Phys., 8(1) (2015) 57.
- [14] Al-Nia'emi. S.H.S. and Kasim, Y.Y., Jordan. J. Phys., 6(1) (2013) 17.
- [15] Gruhn, T.A., Li, W.K., Benton, E.V., Cassou, R.M. and Johnson, C.S., in: Proceedings of 10<sup>th</sup> Conference on SSNTD, Lyon, 2–6 July (1979) 291.
- [16] Awad, E.M and El-Samman, H.M., Radiat. Meas., 31 (1999) 109.

- [1] Khan, H.A., Nucl. Instr. and Meth., 78 (1980) 491.
- [2] Hermesdorf, D. and Arif, M., Radiat. Meas., 58 (2013)101.
- [3] Azooz, A.A., Hermesdorf, D. and Al-Jubbori, M., Radiat. Meas., 58 (2013) 94.
- [4] Nikezic, D. and Yu, K.N., Materials Science and Engineers R, 46 (2004) 51.
- [5] Khan, H.A., Nucl. Instr. and Meth., 78 (1980) 491.
- [6] Al-Jubbori, M.A., Raf. J. Sci., 25(1) (2014) 120.
- [7] Durrani, S.A. and Bull, R.K., "Solid State Nuclear Track Detection", (Pergamon Press, Oxford, 1987).
- [8] Manzoor, S., "Nuclear Track Detectors for Environmental Studies and Radiation Monitoring", (Physical Department, University of Bologna, 2006).
- [9] Somogyi, G. and Hunyadi, I., in: Proc. Of 10<sup>th</sup> Int. Conf. "Solid State Nuclear Track Detectors", Lyon and Suppl. 2, Nuclear Tracks, Pergamon Press, Oxford (1980) 443.

## Subjects Index

Bulk etch rate	
CR-39 detector	97, 105
Dark matter	59
Empirical equations	105
Energy analysis or resolution	85
Etching Solution Concentration	105
Ethanol etchant	97
Isotope identification	85
Isotopes	85
Large Underground Xenon project	59
Modified Gravity theories	59
Modified Newtonian Dynamics	59
Nuclear tracks	85
PM-355	85
SSNTD's	97
Authors Index	
M. A. Al-Jubbori	105
M. B. Altaie	59
M. M. S. Al-Jobouri	85
S. H. S. Al-Nia'emi.	85
Y Y Kasim	97

## **Revised Manuscript and Computer Disks**

Following the acceptance of a manuscript for publication and the incorporation of all required revisions, authors should submit an original and one more copy of the final disk containing the complete manuscript typed double spaced in Microsoft Word for Windows 2000 or a later version thereof. All graphic files must be saved as PDF, JPG, or TIFF images.

Allen, P.B., "..., in: Horton, G.K., and Muradudin, A. A., (eds.), "Dynamical.....", (North......), pp....

## **Reprints**

Twenty (20) reprints free of charge are provided to the corresponding author. For orders of more reprints, a reprint order form and prices will be sent with the article proofs, which should be returned directly to the Editor for processing.

## Copyright

Submission is an admission by the authors that the manuscript has neither been previously published nor is being considered for publication elsewhere. A statement transferring copyright from the authors to Yarmouk University is required before the manuscript can be accepted for publication. The necessary form for such transfer is supplied by the Editor-in-Chief. Reproduction of any part of the contents of a published work is forbidden without a written permission by the Editor-in-Chief.

## Disclaimer

Opinions expressed in this Journal are those of the authors and neither necessarily reflects the opinions of the Editorial Board or the University, nor the policy of the Higher Scientific Research Committee or the Ministry of Higher Education and Scientific Research. The publisher shoulders no responsibility or liability whatsoever for the use or misuse of the information published by JJP.

## Indexing

JJP is currently indexing in:

1- Emerging Sources Citation Index (ESCI)



.

## 1. Journal Article:

- a) Heisenberg, W., Z. Phys. 49 (1928) 619.
- b) Bednorz, J. G. and Müller, K. A., Z. Phys. B64 (1986) 189
- c) Bardeen, J., Cooper, L.N. and Schrieffer, J. R., Phys. Rev. 106 (1957) 162.
- d) Asad, J. H., Hijjawi, R. S., Sakaji, A. and Khalifeh, J. M., Int. J. Theor. Phys. 44(4) (2005), 3977.

## 2. Books with Authors, but no Editors:

- a) Kittel, C., "Introduction to Solid State Physics", 8th Ed. (John Wiley and Sons, New York, 2005), chapter 16.
- b) Chikazumi, S., C. D. Graham, JR, "Physics of Ferromagnetism", 2<sup>nd</sup> Ed. (Oxford University Press, Oxford, 1997).

## 3. Books with Authors and Editors:

- a) Allen, P. B. "Dynamical Properties of Solids", Ed. (1), G. K. Horton and A. A. Maradudin (North-Holland, Amsterdam, 1980), p137.
- b) Chantrell, R. W. and O'Grady, K., "Magnetic Properities of Fine Particles" Eds. J. L. Dormann and D. Fiorani (North-Holland, Amsterdam, 1992), p103.

## 4. Technical Report:

Purcell, J. "The Superconducting Magnet System for the 12-Foot Bubble Chamber", report ANL/HEP6813, Argonne Natt. Lab., Argonne, III, (1968).

## 5. Patent:

Bigham, C. B., Schneider, H. R., US patent 3 925 676 (1975).

## 6. Thesis:

Mahmood, S. H., Ph.D. Thesis, Michigan State University, (1986), USA (Unpublished).

## 7. Conference or Symposium Proceedings:

Blandin, A. and Lederer, P. Proc. Intern. Conf. on Magnetism, Nottingham (1964), P.71.

#### 8. Internet Source:

Should include authors' names (if any), title, internet website, URL, and date of access.

## 9. Prepublication online articles (already accepted for publication):

Should include authors' names (if any), title of digital database, database website, URL, and date of access.

For other types of referenced works, provide sufficient information to enable readers to access them.

**Tables:** Tables should be numbered with Arabic numerals and referred to by number in the Text (e.g., Table 1). Each table should be typed on a separate page with the legend above the table, while explanatory footnotes, which are indicated by superscript lowercase letters, should be typed below the table.

Illustrations: Figures, drawings, diagrams, charts and photographs are to be numbered in a consecutive series of Arabic numerals in the order in which they are cited in the text. Computer-generated illustrations and good-quality digital photographic prints are accepted. They should be black and white originals (not photocopies) provided on separate pages and identified with their corresponding numbers. Actual size graphics should be provided, which need no further manipulation, with lettering (Arial or Helvetica) not smaller than 8 points, lines no thinner than 0.5 point, and each of uniform density. All colors should be removed from graphics except for those graphics to be considered for publication in color. If graphics are to be submitted digitally, they should conform to the following minimum resolution requirements: 1200 dpi for black and white line art, 600 dpi for grayscale art, and 300 dpi for color art. All graphic files must be saved as TIFF images, and all illustrations must be submitted in the actual size at which they should appear in the journal. Note that good quality hardcopy original illustrations are required for both online and mail submissions of manuscripts.

**Text Footnotes:** The use of text footnotes is to be avoided. When their use is absolutely necessary, they should be typed at the bottom of the page to which they refer, and should be cited in the text by a superscript asterisk or multiples thereof. Place a line above the footnote, so that it is set off from the text.

**Supplementary Material:** Authors are encouraged to provide all supplementary materials that may facilitate the review process, including any detailed mathematical derivations that may not appear in whole in the manuscript.

#### **Instructions to Authors**

Instructions to authors concerning manuscript organization and format apply to hardcopy submission by mail, and also to electronic online submission via the Journal homepage website (http://jip.yu.edu.jo).

## **Manuscript Submission**

1- E-mail to: jjp@yu.edu.jo

2- Online: Follow the instructions at the journal homepage website.

Original Research Articles, Communications and Technical Notes are subject to critical review by minimum of two competent referees. Authors are encouraged to suggest names of competent reviewers. Feature Articles in active Physics research fields, in which the author's own contribution and its relationship to other work in the field constitute the main body of the article, appear as a result of an invitation from the Editorial Board, and will be so designated. The author of a Feature Article will be asked to provide a clear, concise and critical status report of the field as an introduction to the article. Review Articles on active and rapidly changing Physics research fields will also be published. Authors of Review Articles are encouraged to submit two-page proposals to the Editor-in-Chief for approval. Manuscripts submitted in Arabic should be accompanied by an Abstract and Keywords in English.

## Organization of the Manuscript

Manuscripts should be typed double spaced on one side of A4 sheets (21.6 x 27.9 cm) with 3.71 cm margins, using Microsoft Word 2000 or a later version thereof. The author should adhere to the following order of presentation: Article Title, Author(s), Full Address and E-mail, Abstract, PACS and Keywords, Main Text, Acknowledgment. Only the first letters of words in the Title, Headings and Subheadings are capitalized. Headings should be in **bold** while subheadings in *italic* fonts.

**Title Page:** Includes the title of the article, authors' first names, middle initials and surnames and affiliations. The affiliation should comprise the department, institution (university or company), city, zip code and state and should be typed as a footnote to the author's name. The name and complete mailing address, telephone and fax numbers, and e-mail address of the author responsible for correspondence (designated with an asterisk) should also be included for official use. The title should be carefully, concisely and clearly constructed to highlight the emphasis and content of the manuscript, which is very important for information retrieval.

**Abstract:** A one paragraph abstract not exceeding 200 words is required, which should be arranged to highlight the purpose, methods used, results and major findings.

**Keywords:** A list of 4-6 keywords, which expresses the precise content of the manuscript for indexing purposes, should follow the abstract.

**PACS:** Authors should supply one or more relevant PACS-2006 classification codes, (available at http://www.aip.org/pacs/pacs06/pacs06-toc.html)

**Introduction:** Should present the purpose of the submitted work and its relationship to earlier work in the field, but it should not be an extensive review of the literature (e.g., should not exceed 1 ½ typed pages).

**Experimental Methods:** Should be sufficiently informative to allow competent reproduction of the experimental procedures presented; yet concise enough not to be repetitive of earlier published procedures.

**Results:** should present the results clearly and concisely.

**Discussion**: Should be concise and focus on the interpretation of the results.

**Conclusion:** Should be a brief account of the major findings of the study not exceeding one typed page.

**Acknowledgments:** Including those for grant and financial support if any, should be typed in one paragraph directly preceding the References.

**References:** References should be typed double spaced and numbered sequentially in the order in which they are cited in the text. References should be cited in the text by the appropriate Arabic numerals, enclosed in square brackets. Titles of journals are abbreviated according to list of scientific periodicals. The style and punctuation should conform to the following examples:





Yarmouk University

# Jordan Journal of PHYSICS

An International Peer-Reviewed Research Journal Funded by the Scientific Research Support Fund

## Jordan Journal of

## PHYSICS

## An International Peer-Reviewed Research Journal

## Volume 10, No. 2, August 2017, Thu Al-Qedah 1438 H

## INTERNATIONAL ADVISORY BOARD

#### Prof. Dr. Ahmad Saleh

Department of Physics, Yarmouk University, Irbid, Jordan. salema@yu.edu.jo

## Prof. Dr. Aurore Savoy-Navarro

LPNHE Universite de Paris 6/IN2P3-CNRS, Tour 33, RdC 4, Place Jussieu, F 75252, Paris Cedex 05, France. auore@Ipnhep.in2p3.fr

#### Prof. Dr. Bernard Barbara

Laboratoire Louis Neel, Salle/Room: D 108, 25, Avenue des Martyrs BP 166, 38042-Grenoble Cedex 9, France. Barbara@grenoble.cnrs.fr

#### Prof. Dr. Bruno Guiderdoni

Observatoire Astronomique de Lyon, g, avenue Ch. Antre-F-69561, Saint Genis Laval Cedex, France.

Bruno.guiderdoni@olos.univ-lyon1.fr

#### **Prof. Dr. Buford Price**

Physics Department, University of California, Berkeley, CA 94720, U. S. A.

bprice@berkeley.edu

#### Prof. Dr. Colin Cough

School of Physics and Astronomy, University of Birmingham, B15 2TT, U. K.

c.gough@bham.ac.uk

## Prof. Dr. Desmond Cook

Department of Physics, Condensed Matter and Materials Physics Research Group, Old Dominion University, Norfolk, Virginia 23529, U. S. A.

Dcook@physics.odu.edu

## Prof. Dr. Evgeny Sheshin

MIPT, Institutskij per. 9, Dogoprudnyi 141700, Russia. sheshin@lafeet.mipt.ru

## Prof. Dr. Hans Ott

Laboratorium Fuer Festkorperphysik, ETH Honggerberg, CH-8093 Zurich, Switzerland. ott@solid.phys.ethz.ch

## Prof. Dr. Herwig Schopper

President SESAME Council, Chairman Scientific Board UNESCO IBSP Programme, CERN, 1211 Geneva, Switzerland. Herwig.Schopper@cern.ch

#### Prof. Dr. Humam Ghassib

Department of Physics, The University of Jordan, Amman 11942, Jordan.

humamg@ju.edu.jo

#### Prof. Dr. Ingo Hofmann

GSI Darmstadt, Planckstr. 1, 64291, Darmstadt, Germany. <u>i.hofmann@gsi.de</u>

#### Prof. Dr. Jozef Lipka

Department of Nuclear Physics and Technology, Slovak University of Technology, Bratislava, Ilkovicova 3, 812 19 Bratislava, Slovakia.

Lipka@elf.stuba.sk

#### Prof. Dr. Khalid Touqan

Chairman of Jordan Atomic Energy Commission, Amman, Jordan.

#### Prof. Dr. Mark J. Hagmann

Desert Electronics Research Corporation, 762 Lacey Way, North Salt Lake 84064, Utah, U. S. A. MHagmann@NewPathResearch.Com.

## Prof. Dr. Nasr Zubeidey

President: Al-Zaytoonah University of Jordan, Amman, Jordan. President@alzaytoonah.edu.jo

#### Prof. Dr. Patrick Roudeau

Laboratoire de l'Accelerateur, Lineaire (LAL), Universite Paris-Sud 11, Batiment 200, 91898 Orsay Cedex, France. roudeau@mail.cern.ch

#### Prof. Dr. Paul Chu

Department of Physics, University of Houston, Houston, Texas 77204-5005, U. S. A.

Ching-Wu.Chu@mail.uh.edu

#### Prof. Dr. Peter Dowben

Nebraska Center for Materials and Nanoscience, Department of Physics and Astronomy, 255 Behlen Laboratory (10th and R Streets), 116 Brace Lab., P. O. Box 880111, Lincoln, NE 68588-0111, U. S. A.

pdowben@unl.edu

## Prof. Dr. Peter Mulser

Institute fuer Physik, T.U. Darmstadt, Hochschulstr. 4a, 64289 Darmstadt, Germany.

Peter.mulser@physik.tu-darmstadt.de

## Prof. Dr. Rasheed Azzam

Department of Electrical Engineering, University of New Orleans New Orleans, Louisiana 70148, U. S. A. razzam@uno.edu

## Dr. Richard G. Forbes

University of Surrey, FEPS (X1), Guildford, Surrey GU2 7XH, U. K.

R.Forbes@surrey.ac.uk

## Prof. Dr. Roy Chantrell

Physics Department, York University, York, YO10 5DD, U. K. Rc502@york.ac.uk

## Prof. Dr. Shawqi Al-Dallal

Department of Physics, Faculty of Science, University of Bahrain, Manamah, Kingdom of Bahrain.

## Prof. Dr. Susamu Taketomi

Matsumoto Yushi-Seiyaku Co. Ltd., Shibukawa-Cho, Yao City, Osaka 581-0075, Japan. <a href="mailto:staketomi@hotmail.com">staketomi@hotmail.com</a>

## Prof. Dr. Wolfgang Nolting

Institute of Physics / Chair: Solid State Theory, Humboldt-University at Berlin, Newtonstr. 15 D-12489 Berlin, Germany Wolfgang.nolting@physik.hu-berlin.de

# Jordan Journal of PHYSICS

## An International Peer-Reviewed Research Journal

## Volume 10, No. 2, August 2017, Thu Al-Qedah 1438 H

**Jordan Journal of Physics** (*JJP*): An International Peer-Reviewed Research Journal funded by the Scientific Research Support Fund, Jordan, and published biannually by the Deanship of Research and Graduate Studies, Yarmouk University, Irbid, Jordan.

#### EDITOR-IN-CHIEF:

## Ibrahim O. Abu Al-Jarayesh

Department of Physics, Yarmouk University, Irbid, Jordan. ijaraysh@yu.edu.jo

## **EDITORIAL BOARD:**

#### Dia-Eddin M. Arafah

President, AL- al Bait University, Mafraq, Jordan. <a href="mailto:darafah@ju.edu.jo">darafah@ju.edu.jo</a>

## Nabil Y. Ayoub

President, American University of Madaba, Madaba, Jordan. nabil.ayoub@gju.edu.jo

## Jamil M. Khalifeh

Department of Physics, University of Jordan, Amman, Jordan. jkalifa@ju.edu.jo

## Sami H. Mahmood

Department of Physics, University of Jordan, Amman, Jordan. <a href="mailto:s.mahmood@ju.edu.jo">s.mahmood@ju.edu.jo</a>

## Marwan S. Mousa

Department of Physics, Mu'tah University, Al-Karak, Jordan. <a href="mmousa@mutah.edu.jo">mmousa@mutah.edu.jo</a>

## Akram A. Rousan

Department of Applied Physical Sciences, Jordan University Of Science and Technology, Irbid, Jordan. akram@just.edu.jo

## Mohammad Al-Sugheir

Department of Physics, The HashemiteUniversity, Zarqa, Jordan. msugh@hu.edu.jo

## EDITORIAL SECRETARY: Majdi Al-Shannaq.

## Manuscripts should be submitted to:

Prof. Ibrahim O. Abu Al-Jarayesh Editor-in-Chief, Jordan Journal of Physics Deanship of Research and Graduate Studies Yarmouk University-Irbid-Jordan Tel. 00 962 2 7211111 Ext. 2075 E-mail: jjp@yu.edu.jo Website: http://Journals.yu.edu.jo/jjp