

المجلة الأردنية
للفيزياء
مجلة بحوث علمية عالمية محكمة

المجلد (13)، العدد (4)، كانون الأول 2020م / جمادى الأولى 1442هـ

المجلة الأردنية للفيزياء: مجلة علمية عالمية متخصصة محكمة تصدر بدعم من صندوق دعم البحث العلمي، عمان، 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:

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

طارق فتحي حسين
قسم الفيزياء، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
t.hussein@ju.edu.jo

مروان سليمان موسى
قسم الفيزياء، جامعة مؤتة، الكرك، الأردن.
mmousa@mutah.edu.jo

محمد خالد الصغير
قسم الفيزياء، الجامعة الهاشمية، الزرقاء، الأردن.
msugh@hu.edu.jo

عبد المجيد الياسين
قسم الفيزياء، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.
alyassin@yu.edu.jo

محمد العمري
قسم الفيزياء، جامعة العلوم والتكنولوجيا، إربد، الأردن.
alakmoh@just.edu.jo

إبراهيم البصول
قسم الفيزياء، جامعة آل البيت، المفرق، الأردن.
Ibrahimbsoul@yahoo.com

سكرتير التحرير: مجدي الشناق

ترسل البحوث إلى العنوان التالي:

الأستاذ الدكتور إبراهيم عثمان أبو الجرايش
رئيس تحرير المجلة الأردنية للفيزياء
عمادة البحث العلمي والدراسات العليا، جامعة اليرموك
إربد، الأردن

هاتف 00 962 2 7211111 فرعي 2075

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



جامعة اليرموك



المملكة الأردنية الهاشمية

المجلة الأردنية
للفيزياء

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

Jordan Journal of

PHYSICSAn 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 الاشتراكات:
 Method of Payment: طريقة الدفع:
 Amount Enclosed:..... المبلغ المرفق:
 Signature: التوقيع:

Cheques should be paid to Deanship of Research and Graduate Studies - Yarmouk University.

I would like to subscribe to the Journal
For

- ☐ One Year
☐ Two Years
☐ Three Years

One Year Subscription Rates

| | 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
Fax No.: 00 962 2 721121

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. وتُنشر البحوث العلمية الأصلية، إضافة إلى المراسلات القصيرة Short Communications، والملاحظات الفنية Technical Notes، والمقالات الخاصة Feature Articles، ومقالات المراجعة Review 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 إلكترونياً: اتبع التعليمات في موقع المجلة على الشبكة العنكبوتية.

ويجري تحكيمُ البحوث الأصلية والمراسلات القصيرة والملاحظات الفنية من جانب مُحكمين اثنين في الأقل من ذوي الاختصاص والخبرة. وتُشجّع المجلة الباحثين على اقتراح أسماء المحكمين. أما نشر المقالات الخاصة في المجالات الفيزيائية النشطة، فيتم بدعوة من هيئة التحرير، ويُشار إليها كذلك عند النشر. ويُطلب من كاتب المقال الخاص تقديم تقرير واضح يتسم بالدقة والإيجاز عن مجال البحث تمهيداً للمقال. وتُنشر المجلة أيضاً مقالات المراجعة في الحقول الفيزيائية النشطة سريعة التغير، وتشجّع كاتبي مقالات المراجعة أو مُستكثبيها على إرسال مقترح من صفتين إلى رئيس التحرير. ويُرفق مع البحث المكتوب باللغة العربية ملخص (Abstract) وكلمات دالة (Keywords) باللغة الإنجليزية.

ترتيب مخطوط البحث

يجب أن تتم طباعة مخطوط البحث ببنت 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 استُجد 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، ثم الأشكال والصور والإيضاحات. وتُكتب العناوين الرئيسة بخط غامق، بينما تُكتب العناوين الفرعية بخط مائل.

صفحة العنوان: وتشمل عنوان المقالة، أسماء الباحثين الكاملة وعناوين العمل كاملة. ويكتب الباحث المسؤول عن المراسلات اسمه مشاراً إليه بنجمة، والبريد الإلكتروني الخاص به. ويجب أن يكون عنوان المقالة موجزاً وواضحاً ومعبراً 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 يلي الملخص قائمة من 4-6 كلمات دالة تعبر عن المحتوى الدقيق للمخطوط لأغراض الفهرسة.

PACS: يجب إرفاق الرموز التصنيفية، وهي متوفرة في الموقع <http://www.aip.org/pacs/pacs06/pacs06-toc.html>.

المقدمة: يجب أن توضّح 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 تكراراً للطرائق المنشورة سابقاً.

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 وصفاً موجزاً 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.

الجدول: تعطى الجداول أرقاماً متسلسلة يشار إليها في النص. ويجب طباعة كل جدول على صفحة منفصلة مع عنوان فوق الجدول. أما الحواشي التفسيرية، التي يشار إليها بحرف فوقي، 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 أن 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 ستنتشر ملونة. وفي حالة إرسال الرسومات بصورة رقمية، يجب أن تتوافق مع متطلبات الحد الأدنى من التمايز (1200 dpi Resolution) لرسومات الأبيض والأسود الخطية، و 600 dpi للرسومات باللون الرمادي، و 300 dpi للرسومات 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 إرسال 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 اشتقاق رياضية مفصلة لا تظهر في المخطوط.

المخطوط المنقح (المعدل) والأقراص المدمجة: بعد قبول البحث للنشر وإجراء جميع التعديلات المطلوبة، فعلى الباحثين تقديم نسخة أصلية ونسخة أخرى مطابقة للأصلية مطبوعة بأسطر مزدوجة، وكذلك تقديم نسخة إلكترونية تحتوي على المخطوط كاملاً مكتوباً على Microsoft Word for Windows 2000 أو ما هو استجد منه. ويجب إرفاق الأشكال الأصلية مع المخطوط النهائي المعدل حتى لو تم تقديم الأشكال إلكترونياً. 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 واقٍ.




حقوق الطبع

يُشكّل تقديم مخطوط البحث للمجلة اعترافاً صريحاً من الباحثين بأن مخطوط البحث لم يُنشر ولم يُقدّم للنشر لدى أي جهة أخرى كانت وبأي صيغة ورقية أو إلكترونية أو غيرها. ويُشترط على الباحثين ملء نموذج يُنصّ على نقل حقوق الطبع لتصبح ملكاً لجامعة اليرموك قبل الموافقة على نشر المخطوط. ويقوم رئيس التحرير بتزويد الباحثين بنموذج نقل حقوق الطبع مع النسخة المُرسلة للتنقيح. كما ويُمنع إعادة إنتاج أي جزء من الأعمال المنشورة في المجلة من دون إذن خطّي مُسبق 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:

| | | | |
|---|---|--|---|
|  ULRICHSWEB GLOBAL SERIALS DIRECTORY | Emerging Sources Citation Index (ESCI) |  |  |
|---|---|--|---|

المجلة الأردنية
للفيزياء
مجلة بحوث علمية عالمية محكمة

المجلد (13)، العدد (4)، كانون الأول 2020م / جمادى الأولى 1442هـ

المحتوى

| رقم الصفحات | البحث |
|-------------|--|
| 277-263 | تحضير وتوصيف الفرايت السداسي المعوض جزئياً بالنيكل والتيتانيوم لتطبيقات التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة إبراهيم بصول، سعاد السرحان، سامي محمود |
| 288-279 | لماذا لم يكتشف الفلكيون المسلمون مركزية الشمس؟ محمد باسل الطائي وسارة فايز الخطيب |
| 303-289 | دراسة نظرية لإمكانية الحصول على النظير المشع ^{13}N للتطبيقات الطبية باستخدام جهاز البلازما المحرقة الكثيفة وليد مصطفى صهيوني، علاء عاطف ناصيف |

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

تحضير وتوصيف الفريت السداسي المعوض جزئياً بالنيكل والتيتانيوم لتطبيقات التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة

Doi : <https://doi.org/10.47011/13.4.1>إبراهيم بصول^a، سعاد السرحان^a، سامي محمود^{b, c}

a قسم الفيزياء، جامعة آل البيت، المفرق، الأردن.

b قسم الفيزياء، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

c قسم الفيزياء والفلك، جامعة ولاية ميشيغان، إيست لانسنغ، ميشيغان، الولايات المتحدة.

Received on: 16/09/2020;

Accepted on: 12/10/2020

الملخص: نورد في هذه الدراسة تقريراً حول تحضير طور نقي من فريت السترونشيوم السداسي $\text{SrFe}_{12-2x}\text{Ni}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ باستخدام الطحن الميكانيكي والتلييد على درجة حرارة 1100°C . وقد أكدت نتائج حيود الأشعة السينية نقاوة الطور المغناطيسي في العينات المحضرة، وبيئت أن حجم الكريستالة في العينات كافة يقع ضمن مقياس النانو. أما منحنيات المغنطة الابتدائية، فقد أظهرت ارتفاعاً في القابلية المغناطيسية الابتدائية، وليونة في الاستجابة المغناطيسية بزيادة x . ومن ناحية أخرى، فقد بينت نتائج الدراسة أن المجال القهري يتناقص بشكل مضطرب مع زيادة x من 4386 Oe عند $x = 0.0$ إلى 1150 Oe عند $x = 0.8$ ، دون تأثير كبير على مغنطة التشبع التي تراوحت بين 65.3 – 67.7 emu/g. أو على المغنطة المتبقية التي تراوحت بين 30.4 – 38.8 emu/g. كما بينت اقترانات توزيع المجال التقلبي انخفاضاً مضطرباً لمجال التباين المغناطيسي مع زيادة x ، الذي يشكل العامل الأهم في خفض المجال القهري. وقد وُجد أن خصائص العينات $x = 0.4 - 0.8$ مناسبة لتطبيقات التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة.

الكلمات المفتاحية: الفريت السداسي، التعويض الجزئي، النيكل، التيتانيوم، التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة.

Synthesis and Characterization of Ni-Ti Partially Substituted Hexaferrites for High-Density Magnetic Recording Applications

Ibrahim Bsoul^a, Suaad Assrhan^a, Sami H. Mahmood^{b, c}

a Physics Department, Al al-Bayt University, Al-Mafraq 13040, Jordan.

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

c Department of Physics and Astronomy, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA.

Executive Abstract

M-type hexaferrite ($\text{AFe}_{12}\text{O}_{19}$; A = Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+}) is an important magnetic oxide exhibiting magnetic properties suitable for a wide range of technological and industrial applications. The magnetic properties of M-type hexaferrite can be tuned for a specific application by adopting suitable synthesis routes and/or using special cationic substitutions for either Fe^{3+} or A^{2+} cations. In particular, coercive fields in the range of $\sim 1 - 3$ kOe and remnant magnetization > 20 emu/g are required for data storage media in high-density magnetic recording applications. Partial substitution of Fe^{3+} ions by Co^{2+} - Ti^{4+} ions in BaM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) or SrM ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) hexaferrite was long recognized as an effective procedure for reducing the coercivity to values appropriate for high-density magnetic recording, without decreasing the remnant magnetization appreciably. Also, the effects of other substitutions were extensively investigated. However, the M-type hexaferrite with Ni^{2+} - Ti^{4+} substitution was

generally ignored, especially when compared with the extensively investigated $\text{Co}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$ substituted system. This work was motivated by the potential of Ni-Ti substitution to reduce the coercivity of SrM hexaferrite to appropriate levels and maintain the remnant magnetization high enough for high-density magnetic recording applications.

A set of $\text{SrFe}_{12-2x}\text{Ni}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ hexaferrites was prepared by mixing and ball milling stoichiometric ratios of high-purity starting powders, pelletizing in the form of 4 cm-diameter disks and sintering in air at 1100°C for 2 hours. Rietveld analysis of the X-ray diffraction (XRD) patterns (Fig. 1) revealed that all samples examined in this work ($0.0 \leq x \leq 0.8$) consisted of a single $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (SrM) hexaferrite phase (standard pattern ICDD file: 00-033-1340), with no secondary phases. The refined lattice parameters decreased slightly ($\leq 0.1\%$), but monotonically with the increase of x . Further, the crystallite size in all samples fluctuated in the range of 60 – 70 nm, without any systematic behavior.

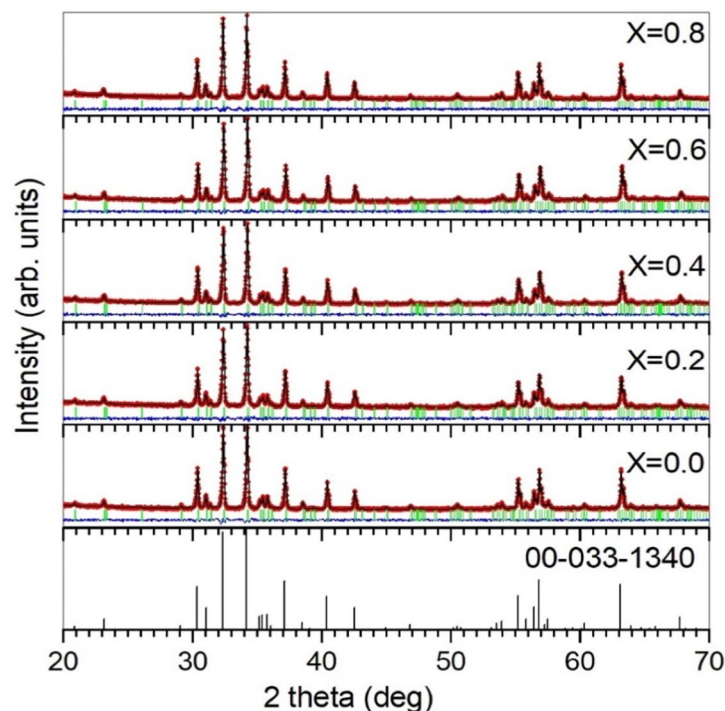


FIG. 1. XRD patterns for $\text{SrFe}_{12-2x}\text{Ni}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ samples.

The initial magnetization curves indicated that Ni-Ti substitution resulted in lowering the mean switching field and softening the magnetic response of the hexaferrites with the increase of x . The magnetic softening was also confirmed by magnetic hysteresis loop measurements on all samples (Fig. 2).

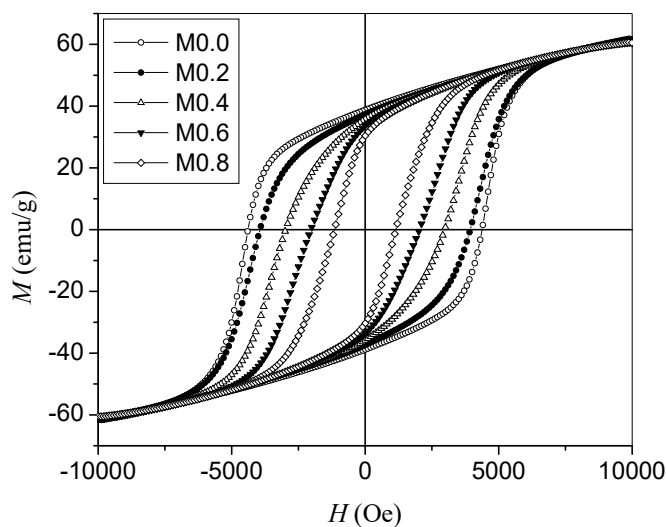


FIG. 2. Hysteresis loops for $\text{SrFe}_{12-2x}\text{Ni}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ samples.

Analysis of the magnetic data revealed a slow decrease of the saturation magnetization (from 67.6 emu/g at $x = 0.0$ to 65.3 emu/g at $x = 0.8$) and remnant magnetization (from 38.8 emu/g at $x = 0.0$ to 30.4 emu/g at $x = 0.8$) with the increase of x . These values, however, remained relatively high for practical applications. The coercivity, on the other hand, exhibited a significant reduction with the increase of x (from 4386 Oe at $x = 0.0$ to 1150 Oe at $x = 0.8$). The remnant magnetization of $\sim 30 - 36$ emu/g and intermediate coercivity of $\sim 1.2 - 3$ kOe for the samples with $0.4 \leq x \leq 0.8$ render these materials suitable for high-density magnetic recording media. The effectiveness of Ni-Ti substitution in reducing the coercivity without appreciably influencing the remnant magnetization is comparable with the reported effectiveness of Co-Ti substitution, thus providing a cheaper alternative by avoiding the use of Co.

The switching field distribution (SFD) revealed a progressive reduction of the mean magnetic anisotropy field, H_a , from 10 kOe at $x = 0.0$ to 2.8 kOe at $x = 0.8$. Fig. 3 shows representative curves of the reduced isothermal remnant magnetization (m_r) and their derivatives representing the SFD, from which the mean anisotropy field was evaluated. The behavior of the SFD and H_a is the main mechanism responsible for the monotonic decrease of the coercivity with the increase of x .

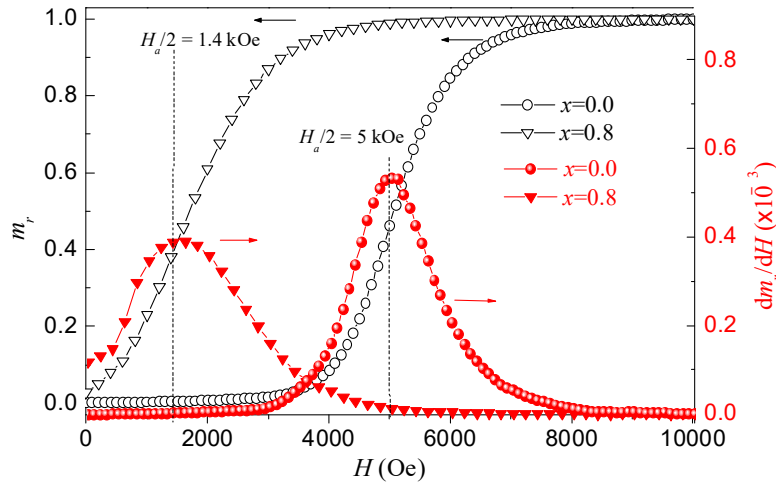


FIG. 3. Representative reduced IRM curves and their derivatives for the samples with $x = 0.0$ and 0.8 .

The magnetization induced by an applied field of 100 Oe was measured *versus* temperature for all samples. The results indicated that the Ni-Ti substitution did not lead to a significant reduction of the Curie temperature, rendering the substituted hexaferrites suitable for high-density magnetic recording at relatively high operating temperatures.

Keywords: Hexaferrites, Partial substitution, Nickel, Titanium, High-density magnetic recording.

المقدمة

لقد أدى اكتشاف الأكاسيد المغناطيسية، والدور الهام الذي تلعبه في التطبيقات الصناعية والتكنولوجية، إلى تطوير كبير في إنتاجية التجهيزات التكنولوجية الحديثة، وبرزت تطبيقات تكنولوجية جديدة مرتبطة باستخدام أمثل لهذه الأكاسيد [1-4]. وتعد مركبات الفرايت السداسي (hexagonal ferrites, or hexaferrites) جزءاً هاماً من الأكاسيد المغناطيسية التي تمتلك خصائص متباينة تناسب شريحة واسعة من التطبيقات التكنولوجية والصناعية [5-7]. فعلى سبيل المثال، يمكن تعديل الخصائص المغناطيسية للفرايت السداسي من نوع M (M-type hexaferrite, $\text{AFe}_{12}\text{O}_{19}$; $\text{A}^{2+} = \text{Ba}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Pb}^{2+}$) لتتناسب المتطلبات اللازمة للاستخدامات المختلفة [7-9]. وعلى وجه الخصوص، يمكن تصنيع فرايت سداسي من نوع M ذي مجال قهري (H_c) مرتفع نسبياً (≤ 4 kOe) وفق المتطلبات اللازمة للمغناطيس الدائمة (permanent magnets)، وذلك باتباع طرق تحضير مناسبة، واختيار مناسب لأيونات A^{2+} وإحلال جزئي لأيونات مناسبة مكان أيونات الحديد Fe^{3+} [10, 11]. وفي الوقت ذاته، فإن المواد التي تمتلك مثل هذه المجالات القهرية المرتفعة لا تصلح لوسائط التسجيل المغناطيسي؛ إذ يتطلب التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة (high-density magnetic recording) مجالات قهرية في

لقد أدى اكتشاف الأكاسيد المغناطيسية، والدور الهام الذي تلعبه في التطبيقات الصناعية والتكنولوجية، إلى تطوير كبير في إنتاجية التجهيزات التكنولوجية الحديثة، وبرزت تطبيقات تكنولوجية جديدة مرتبطة باستخدام أمثل لهذه الأكاسيد [1-4]. وتعد مركبات الفرايت السداسي (hexagonal ferrites, or hexaferrites) جزءاً هاماً من الأكاسيد المغناطيسية التي تمتلك خصائص متباينة تناسب شريحة واسعة من التطبيقات التكنولوجية والصناعية [5-7]. فعلى سبيل المثال، يمكن تعديل الخصائص المغناطيسية للفرايت السداسي من نوع M (M-type hexaferrite, $\text{AFe}_{12}\text{O}_{19}$; $\text{A}^{2+} = \text{Ba}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Pb}^{2+}$) لتتناسب المتطلبات اللازمة للاستخدامات المختلفة [7-9]. وعلى وجه الخصوص، يمكن تصنيع فرايت سداسي من نوع M ذي مجال قهري (H_c) مرتفع نسبياً (≤ 4 kOe) وفق المتطلبات اللازمة للمغناطيس الدائمة (permanent magnets)، وذلك باتباع طرق تحضير مناسبة، واختيار مناسب لأيونات A^{2+} وإحلال جزئي لأيونات مناسبة مكان أيونات الحديد Fe^{3+} [10, 11]. وفي الوقت ذاته، فإن المواد التي تمتلك مثل هذه المجالات القهرية المرتفعة لا تصلح لوسائط التسجيل المغناطيسي؛ إذ يتطلب التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة (high-density magnetic recording) مجالات قهرية في

المغناطيسي. ومن الجدير بالذكر أن سعر الكوبالت في السوق العالمي مرتفع، ومعرض لتغيرات حادة نتيجة لاحتكار الإنتاج واقتصاره على عدد محدود من المنتجين، مما يستدعي البحث عن مواد بديلة أقل كلفة. وبذلك، فإن الدافع الأساسي لهذه الدراسة ينبع من إمكانية تصنيع مواد متقدمة باستخدام النيكل بدلاً من الكوبالت في وسائط التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة، وبالتالي خفض الكلفة المترتبة على تصنيع هذه الوسائط.

الإجراءات العملية

لتحضير مركبات الفرايت السداسي $\text{SrFe}_{12-2x}\text{Ni}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ ، قمنا في البداية بمزج الكميات المناسبة من مساحيق عالية النقاوة ($\leq 99\%$) من أكسيد الحديد Fe_2O_3 ، وأكسيد التيتانيوم TiO_2 ، وأكسيد النيكل NiO ، وكربونات السترونشيوم SrCO_3 ، وخلطها وطحنها للحصول على المساحيق الأولية للفرايت بتراكيز مختلفة للبدائل Ni-Ti ($x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$). وقد تم طحن هذه المساحيق ميكانيكياً بواسطة مطحنة الكرات (Fritsch Pulverisette-7 ball mill) لمدة 16 ساعة، وبسرعة دورانية مقدارها 250 دورة في الدقيقة. وقد استخدمت لهذا الغرض كرات من الفولاذ المقوى، وكانت نسبة كتلة الكرات إلى كتلة المسحوق 1:8. بعد ذلك تم تشكيل قرص بقطر مقداره 4 سم من كل مسحوق أولي باستخدام قوة مقدارها 50 kN في مكبس هيدروليكي. وللحصول على الفرايت السداسي بالتفاعل الكيميائي المحفز حرارياً، تم تلييد القرص على درجة حرارة 1100°C لمدة ساعتين. وقد استخدمت تقنية حيود الأشعة السينية (X-ray diffraction, XRD) لتوصيف مركبات الأقراص الملبدة بتوظيف جهاز الحيود من نوع Philips X'pertPro PW3040/60 واستخدام الأشعة السينية للنحاس ($\text{CuK}\alpha$, $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$). وقد تم مسح أنماط الحيود ضمن المدى الزاوي $20^\circ < 2\theta < 70^\circ$ بخطوات مقدارها 0.02° وبسرعة مقدارها $1^\circ/\text{min}$. وقد عولجت أنماط الحيود بواسطة تحليل ريتفلد (Rietveld analysis) باستخدام برمجية FullProf suite 2000 software للحصول على قيم مصقولة ومحسنة للمعاملات التركيبية (structural parameters) [30]. أما القياسات المغناطيسية، فقد تم إجراؤها باستخدام مقياس مغناطيسي متذبذب (vibrating sample magnetometer) من نوع (VSM MicroMag 3900, Princeton Measurements Corporation).

حدود 3 – 1 kOe [12-16]. إضافة لذلك، فإن المواد اللازمة لهذه التطبيقات تتطلب قيماً مرتفعة نسبياً للمغطة المتبقية (remnant magnetization, M_r) [12,13]. وهذا يتطلب إجراءات دقيقة تتضمن اختيارات مناسبة لأيونات الإحلال مكان أيونات الحديد نوعاً وكماً، وطرق التحضير والمعالجة الحرارية اللازمة لضمان الحصول على الخصائص المناسبة لهذه المواد.

وقد وجد أن استبدال مزيج من أيونات الكوبالت والتيتانيوم (Co-Ti substitution) بجزءٍ من أيونات الحديد يؤدي إلى تخفيض المجال القهري للفرايت السداسي إلى المستويات اللازمة للتسجيل المغناطيسي عالي الكثافة دون تأثير سلبي على مقدار مغطة التشبع (saturation magnetization, M_s) أو المغطة المتبقية [15, 17-20]. كما وجد الباحثون في هذا المجال أن الاستبدال الجزئي لأيونات أخرى بأيونات الحديد يؤدي إلى خصائص مناسبة للتسجيل المغناطيسي عالي الكثافة [21-24]. وقد أوضحنا حديثاً أن استخدام النحاس كأحد بدائل الحديد في الفرايت السداسي من نوع M يؤدي إلى خصائص مناسبة للتسجيل المغناطيسي عالي الكثافة [25-27]. كما وجد آخرون أن الاستبدال الجزئي لأيونات النيكل، أو مزيج من أيونات النيكل والزنك والروثينيوم (Ni, ZnRu) بأيونات الحديد يؤدي أيضاً إلى خفض المجال القهري إلى المستويات المطلوبة لتطبيقات التسجيل المغناطيسي [28, 29]. وقد ذُكر أن للاستبدال الجزئي لأيونات Ni^{2+} بأيونات الحديد فوائد مختلفة، مثل خفض المعامل الحراري للمجال القهري، إضافة إلى التحكم الأفضل بمغطة التشبع، والمجال القهري، وتوزيع المجال التقليلي (switching field distribution) [22]. وفي دراسة أخرى، وجد الباحثون أن الاستبدال الجزئي لمزيج من أيونات Ni^{2+} - Sn^{4+} بأيونات الحديد لا يؤدي إلى خصائص مغناطيسية جيدة بالمقارنة مع استبدال أيونات Co^{2+} - Sn^{4+} [23].

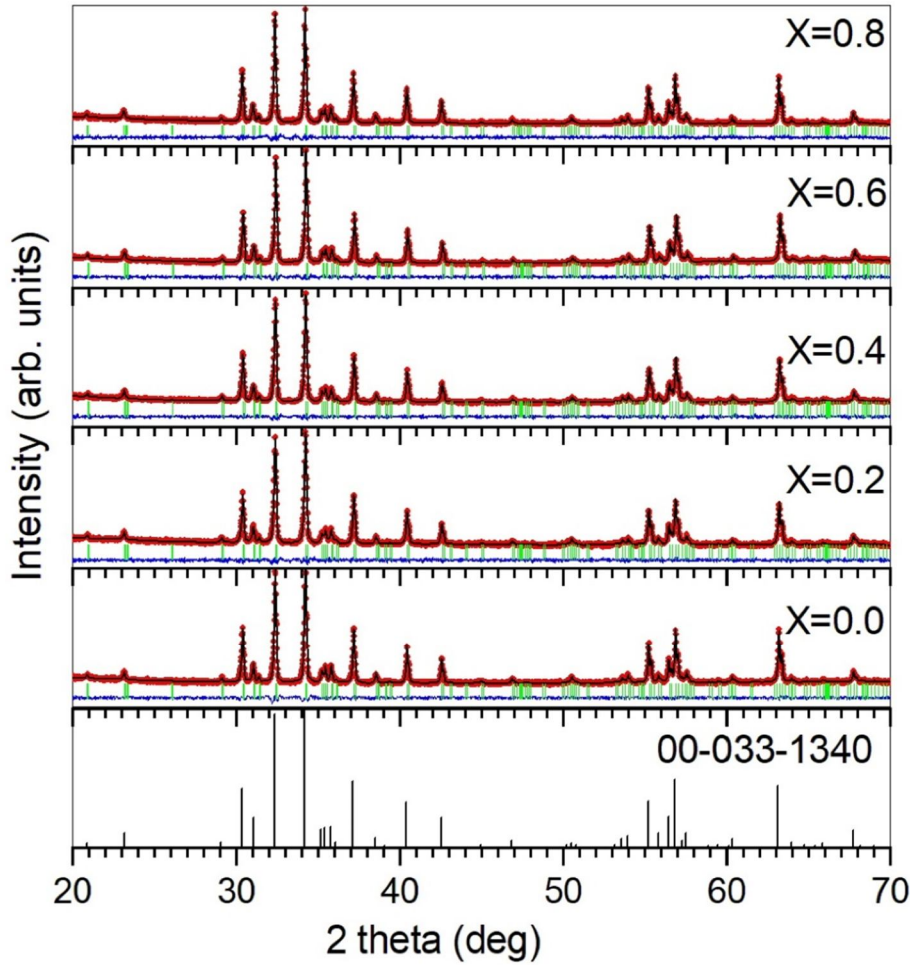
ويتضح من استعراض الدراسات السابقة تركيز بعض الباحثين على أثر الاستبدال الجزئي لمزيج من أيونات النيكل ثنائية التكافؤ وأيونات رباعية التكافؤ على الخصائص المغناطيسية للفرايت السداسي من نوع M. ولكن استكشاف أثر الاستبدال الجزئي لأيونات النيكل والتيتانيوم (Ni-Ti) بأيونات الحديد كان مهملاً مقارنة بحجم الأعمال المكرسة لدراسة أثر استبدال مزيج الكوبالت والتيتانيوم في الفرايت السداسي المستخدم في وسائط التسجيل

النتائج والمناقشة

الخواص التركيبية

جودة التطابق جلياً في الخط الأفقي (باللون الأزرق) الذي يمثل الفرق بين القيم المخبرية والنظرية، والقيم المتدنية لمعامل حسن المطابقة (χ^2 , Goodness of fit) كما يتضح من القيم المدرجة في الجدول 1. وتبين القيم المحسنة لثوابت الشبكة (a and c , lattice constants)، التي تم الحصول عليها من تحليل ريتفلد انخفاضاً طفيفاً ورتبياً مع ازدياد التركيز x ، مما يؤدي إلى انخفاض طفيف في حجم خلية الوحدة (unit cell volume V) كما يتضح من القيم المدرجة في الجدول 1. وتتفق قيم ثوابت الشبكة للعينة النقية ($x = 0$) مع القيم التي حصل عليها آخرون لفرايت السترونشيوم السداسي [31-34]. ومن الجدير بالذكر أن سلوك ثوابت الشبكة هنا مخالف للتزايد التدريجي لثوابت الشبكة مع ازدياد نسبة الكوبالت والتيتانيوم (Co-Ti) في الفرايت السداسي من نوع M [35]، وقد يعود ذلك للحجم الأكبر لأيون الكوبالت بالمقارنة مع أيون النيكل [36].

يبين الشكل 1 أنماط الحيود للعينات المحضرة كافة لأغراض هذه الدراسة. وباستخدام برمجية X'pert HighScore، تم التحقق من تشكّل مركب وحيد في كل عينة، هو فرايت السترونشيوم السداسي ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (SrM) النمط القياسي (standard pattern, ICDD file: 00-033-1340) لهذا الفرايت، دون ملاحظة أية قمم إضافية قد تعود لأطوار تركيبية أخرى. ويدل ذلك بشكل واضح على إحلل أيونات النيكل Ni^{2+} والتيتانيوم Ti^{4+} مكان الحديد في بنية الفرايت السداسي. ويبين تحليل ريتفلد تطابق نمط الحيود المخبري (المُمثل بالنقاط الحمراء) مع النمط النظري (الخط الأسود المتصل) الذي تم حسابه باعتماد التركيب البلوري للفرايت السداسي SrM؛ إذ تظهر



الشكل 1. أنماط حيود الأشعة السينية (XRD) لعينات الفرايت السداسي $\text{SrFe}_{12-2x}\text{Ni}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$. وقد تم تضمين النمط القياسي (ICDD file: 00-033-1340) للمقارنة.

الجدول 1. معامل حسن المطابقة (χ^2)، وثوابت الشبيكة a و c ، وحجم خلية الوحدة (V)، وقطر الكريستالة (D) لعينات الفرايت السداسي $\text{SrFe}_{12-2x}\text{Ni}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$.

| x | χ^2 | $a = b$ (Å) | c (Å) | V (Å) ³ | D (nm) |
|-----|----------|-------------|---------|----------------------|----------|
| 0.0 | 1.08 | 5.8814 | 23.0355 | 690.0652 | 62 |
| 0.2 | 0.95 | 5.8809 | 23.0272 | 689.6941 | 70 |
| 0.4 | 0.94 | 5.8796 | 23.0155 | 689.0417 | 66 |
| 0.6 | 1.08 | 5.8784 | 23.0116 | 688.6544 | 62 |
| 0.8 | 1.61 | 5.8773 | 23.0126 | 688.4088 | 60 |

الكرة الخلفية (التي يصنع اتجاه مغنطتها زوايا تزيد على 90° مع اتجاه المجال المطبق) يساوي إحصائياً عدد النقاطات المغناطيسية في نصف الكرة الأمامية. فمع زيادة شدة المجال المطبق أكثر من 3.5 kOe، تبدأ مغنطة النقاطات في نصف الكرة الخلفية بالانقلاب إلى نصف الكرة الأمامية، مما يؤدي إلى ارتفاع حاد في المغنطة مع ازدياد شدة المجال ضمن المدى 4 – 6 kOe، كما يتضح من المنحنى المغناطيسي للعينة في الشكل 2. وبعد إتمام عمليات انقلاب مغنطة النقاطات المغناطيسية، وبماتبعة زيادة شدة المجال المطبق، يصبح الارتفاع في المغنطة قليلاً نسبياً، حيث يكون ناجماً عن تدوير مغنطة النقاطات في نصف الكرة الأمامية، فيميل منحنى المغنطة إلى الوصول لمغنطة التشبع تحت تأثير مجالات مغناطيسية عالية الشدة.

ومن ناحية أخرى، وبشكل وصفي، تبين منحنيات العينات التي تضمنت إحلل النيكل والتيتانيوم مكان الحديد أن زيادة نسبة الإحلل تؤدي إلى خفض مجال التباين البلوري - مغناطيسي، والمجال الثقلي، مما يؤدي إلى ارتفاع المغنطة مع زيادة x في مدى المجالات التي تصل شدتها إلى 3.5 kOe (قبل الوصول إلى منطقة الميل نحو التشبع المغناطيسي). وفيما يأتي من هذه الدراسة، سنقدم تفصيلات كمية حول أثر الإحلل على توزيع المجال الثقلي (switching field distribution) ومقدار مجال التباين المغناطيسي (magnetic anisotropy field). وتبين المنحنيات في الشكل الداخلي من الشكل 2 أن العلاقة بين المغنطة وشدة المجال خطية في منطقة المجالات المنخفضة حتى (100 Oe)، حيث استخدمت لحساب القابلية المغناطيسية الابتدائية (initial magnetic susceptibility، $\chi_i = H/M$) ويبين الشكل 3 أن القابلية المغناطيسية الابتدائية تتزايد بزيادة x ، مما يدل على أن الإحلل يؤدي إلى ليونة مغناطيسية (magnetic softening). ومن الجدير بالذكر أن هذا السلوك يتفق مع ارتفاع القابلية الابتدائية بزيادة نسبة Ni^{2+} - Sn^{4+} في الفرايت السداسي [22].

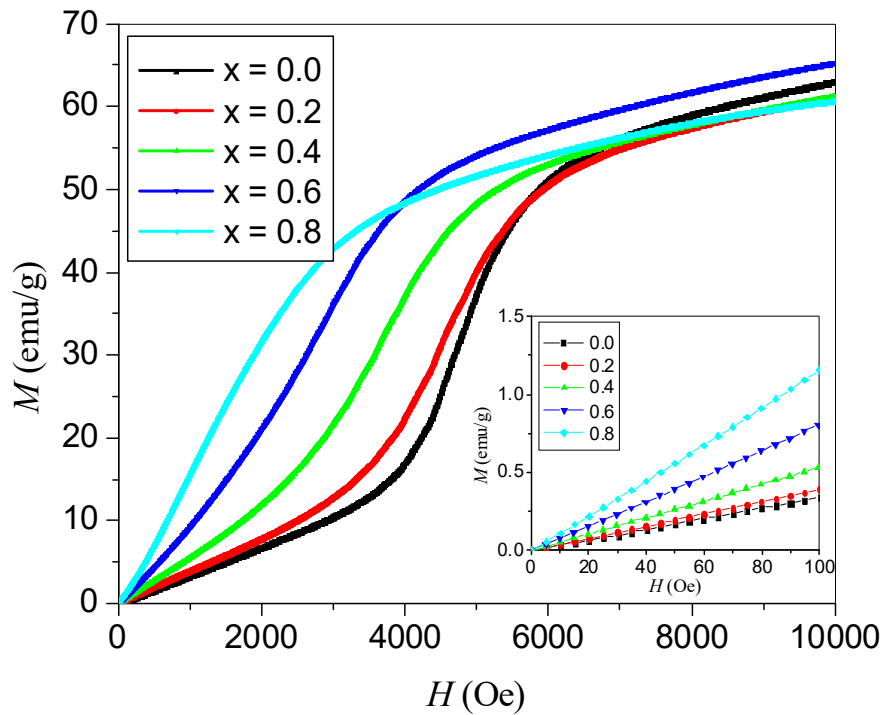
وقد قمنا بتقدير قطر الكريستالة (crystallite diameter, D) من موقع وعرض قمة الحيود الأكثر شدة عند ($2\theta = 34.1^\circ$) باستخدام معادلة شيرر الشهيرة (Scherrer Equation) [37]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (1)$$

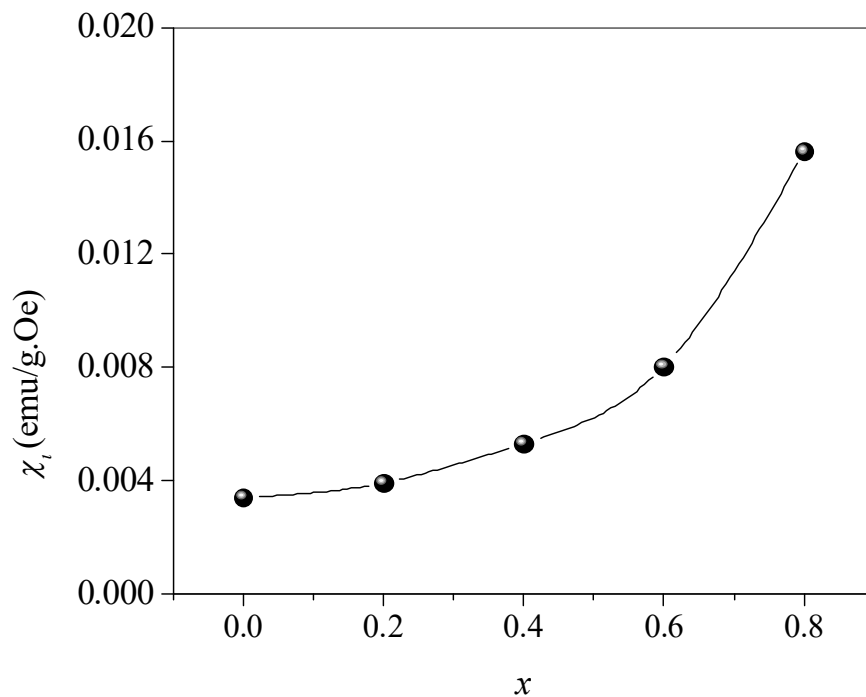
حيث $k = 0.94$ ، والطول الموجي للأشعة السينية ($\lambda = 1.54056 \text{ Å}$)، و β تمثل عرض قمة الحيود عند منتصف الشدة العظمى (Full Width at Half Maximum). ويتضح من النتائج المدرجة في الجدول 1 أن حجم الكريستالة في العينات كافة يقع ضمن مقياس النانو، وأن تعويض أيونات الحديد جزئياً بأيونات Ni^{2+} - Ti^{4+} لا يؤثر بشكل ملحوظ على حجم الكريستالة؛ فقد تراوحت القيم بين 60 – 70 Å دون أي سلوك منهجي ملحوظ.

الخواص المغناطيسية

تم قياس منحنيات المغنطة الابتدائية (initial magnetization curves) لجميع العينات كما هو موضح في الشكل 2. ويبين منحنى العينة النقية ($x = 0$) تزايداً للمغنطة يكاد يكون خطياً مع ازدياد شدة المجال المغناطيسي حتى 3.5 kOe تقريباً. ويدل التزايد الخطي في هذا المدى على أن السلوك المغناطيسي محكوم بالتدوير التدريجي لاتجاه مغنطة النقاطات المغناطيسية (magnetic domains) باتجاه المجال المغناطيسي المطبق ضد تأثير مجال التباين البلوري - مغناطيسي (magnetocrystalline anisotropy). ويجدر بالذكر هنا أن الفرايت السداسي من نوع M أحادي المحور (uniaxial) [2]، وأن الاتجاه السهل (easy direction) لمغنطة النطاق، الذي يحدده التباين البلوري - مغناطيسي، يقع على محور الخلية السداسية، وبذلك فإن هناك اتجاهين سهلين في البلورة السداسية، الزاوية بينهما 180° . ولما كانت الحبيبات المغناطيسية في العينات الملبدة موزعة بشكل عشوائي، فإن عدد النقاطات المغناطيسية في نصف



الشكل 2. منحنيات المغنطة الابتدائية لعينات الفرايت السداسي.



الشكل 3. سلوك القابلية المغناطيسية الابتدائية مع زيادة x في عينات الفرايت السداسي.

العينات. ولأن المغنطة (M) لم تصل إلى مقدار التشبع عند الحدود القصوى للمجال المغناطيسي (10 kOe)، تم حساب مغنطة التشبع (M_s) للعينات باستخدام قانون نهج التشبع (law of approach to saturation) في منطقة المجالات العالية [38, 39]:

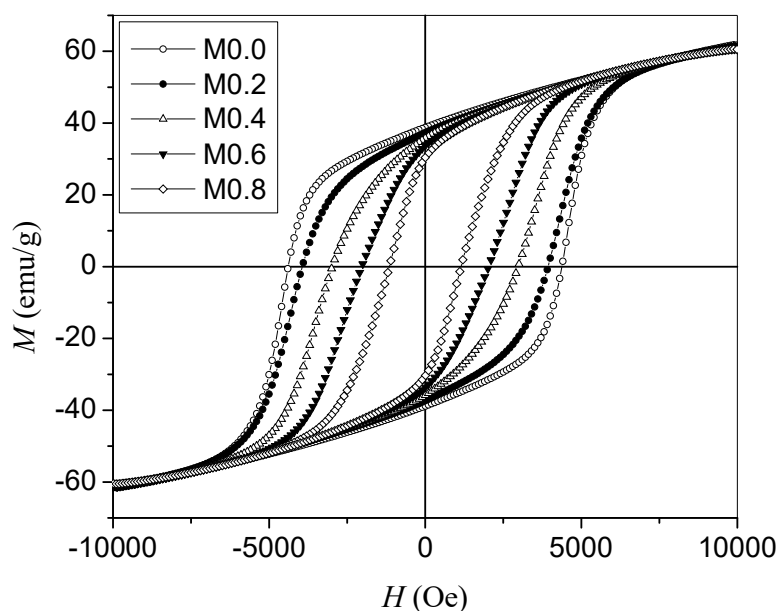
واستكمالاً لفهم الخواص المغناطيسية، قيسَت حلقات التخلّف المغناطيسي (hysteresis loops) لمركبات الفرايت السداسي المحضرة كافة (الشكل 4). وتبين هذه الحلقات انخفاضاً ملحوظاً في كل من المجال القهري (H_c) والمغنطة المتبقية (M_r) مع زيادة x ، بينما لم تظهر قيم المغنطة عند المجالات العالية تأثيراً ملحوظاً بزيادة تركيز Ni-Ti في

الشكل 5 مثلاً على هذا السوك الخطي للعينة النقية ($x = 0$). ويدل ذلك على أن أثر التباين البلوري - مغناطيسي يطفئ على عمليات المغنطة في مناطق المجالات المرتفعة، وأن اثر العوامل الأخرى يمكن إهماله. ويمكن الحصول على مغنطة التشبع من تقاطع الخط المستقيم الذي يمثل القياسات المخبرية مع محور المغنطة. ويبين الجدول 2 مقادير مغنطة التشبع التي تم الحصول عليها، إضافة إلى قيم المجال القهري والمغنطة المتبقية التي تم الحصول عليها من حلقات التخلف المغناطيسي مباشرة.

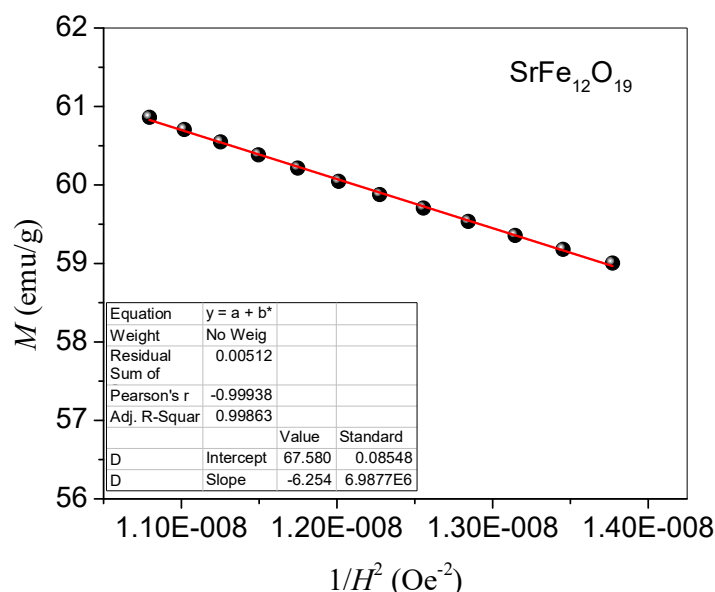
$$M = M_s \left(1 - \frac{A}{H} - \frac{B}{H^2} \right) + \chi H \quad (2)$$

حيث يمثل A ثابتاً يعتمد على التركيب المجهري والتشوهات البلورية، ويمثل B ثابتاً يعتمد على مقدار مجال التباين البلوري - مغناطيسي، بينما يمثل الحد الأخير في المعادلة (2) مقدار التغير في مغنطة الإشباع للنطاق المغناطيسي عند المجالات العالية جداً (وعادة ما يكون هذا الحد مهماً في الفرايت السداسي عند مجالات مغناطيسية كالمعتمدة في هذه الدراسة).

وقد أظهرت نتائج التمثيل البياني للمغنطة مع عكس مربع شدة المجال المغناطيسي في منطقة المجالات العالية



الشكل 4. حلقات التخلف المغناطيسي لعينات الفرايت السداسي المختلفة.



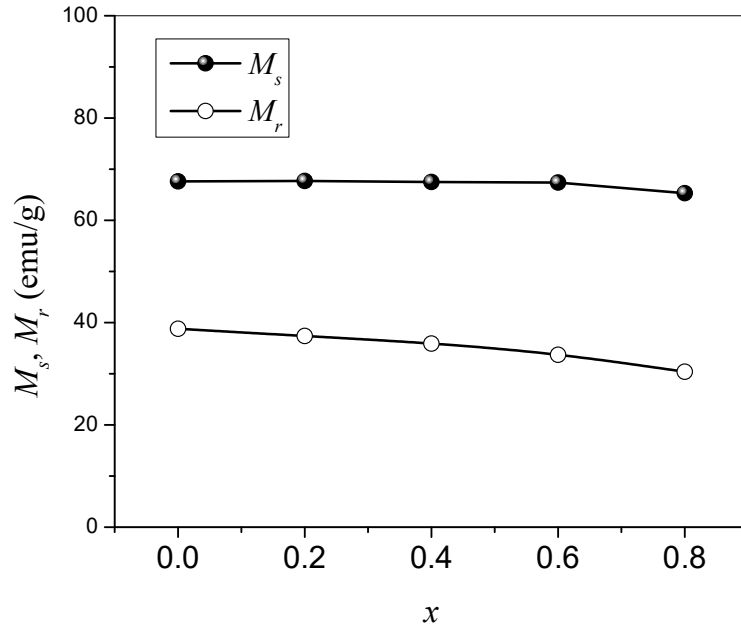
الشكل 5. الموامة الخطية لاعتماد مغنطة العينة النقية ($x = 0$) على عكس مربع شدة المجال في منطقة المجالات العالية.

الجدول 2. المغنطة المتبقية (M_r)، ومغنطة التشبع (M_s)، والمجال القهري (H_c) لعينات الدراسة.

| x | M_r (emu/g) | M_s (emu/g) | H_c (Oe) |
|-----|---------------|---------------|------------|
| 0.0 | 38.8 | 67.6 | 4386 |
| 0.2 | 37.4 | 67.7 | 3930 |
| 0.4 | 35.9 | 67.5 | 2980 |
| 0.6 | 33.7 | 67.4 | 2030 |
| 0.8 | 30.4 | 65.3 | 1150 |

على 20% ضمن مدى الإحلال المستخدم في هذه الدراسة [40]. وقد يشير ذلك إلى أن الخواص المغناطيسية لفرايت السترونشيوم السداسي المعالج بإحلال جزئي للنيكل والتيتانيوم تتفوق على خصائص فرايت الباريوم السداسي المماثل.

ويبين الشكل 6 انخفاضاً طفيفاً في مغنطة التشبع مع زيادة x ، بينما كان أثر الإحلال في خفض المغنطة المتبقية أكثر وضوحاً. وبالرغم من ذلك، فإن قيم المغنطة المتبقية ما زالت مرتفعة للأغراض التطبيقية. وقد أبرزت نتائج دراسة سابقة لأثر الإحلال الجزئي للنيكل والتيتانيوم في فرايت الباريوم السداسي انخفاضاً في مغنطة التشبع يزيد



الشكل 6. تغير مغنطة التشبع والمغنطة المتبقية بازدياد x في عينات الفرايت السداسي.

(moments) للأيونات المتموضعة في المواقع 2a, 2b, 12k باتجاه اللف الأعلى (spin-up)، بينما تتجه عزوم الأيونات المتموضعة في المواقع $4f_1$, $4f_2$ باتجاه اللف الأسفل (spin-down). وبهذا، فإن العزوم المغناطيسية في الفرايت السداسي عند درجة حرارة الصفر المطلق (لتجنب أثر التحريض الحراري thermal agitation) تصطف في خط مستقيم لتشكل هيكلًا مغناطيسيًا خطيًا (collinear magnetic structure). وبالتالي، يمكن حساب العزم المغناطيسي المحصل لجزء الفرايت السداسي عند الصفر

ولتفسير سلوك مغنطة التشبع مع زيادة x ، لا بد من أن نأخذ بعين الاعتبار توزيع الأيونات المغناطيسية في المواقع البلورية المختلفة في خلية الوحدة، التي تحتوي على جزيئين من الفرايت السداسي $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ، حيث توجد أيونات الحديد في 24 موضعاً موزعة على خمسة مواقع بلورية مختلفة كالآتي: [1, 41, (2a, $4f_1$, 2b, $4f_2$, 12k) [42]. ونتيجة لتفاعلات التبادل الفائقة بين أيونات الحديد بوساطة أيونات الأكسجين (superexchange interactions)، تتجه العزوم المغناطيسية

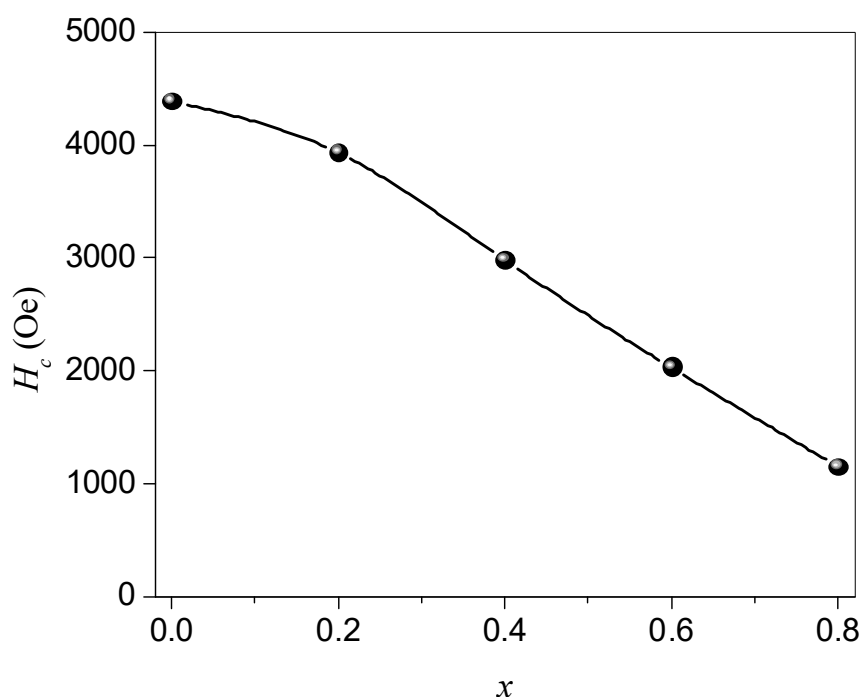
12k بزيادة تركيز أيونات النيكل [23, 40, 47]. وتؤدي الزيادة في الإحلال في مواقع اللف الأعلى إلى انخفاض في مغنطة التشبع، ما يفسر الانخفاض المشاهد للعينة ($x = 0.8$).

ومن ناحية أخرى، فإن زيادة x أدت إلى انخفاض ملحوظ في مقدار المجال القهري من 4386 Oe عند $x = 0$ ، الأمر الذي يتفق مع نتائج الدراسات السابقة [7, 48, 49]، إلى 1150 Oe عند $x = 0.8$ كما يتضح من القيم المدرجة في الجدول 2 والممثلة في الشكل 7. ونظراً لأن المجال القهري في مدى الإحلال $x = 0.4 - 0.8$ تراوح بين 2.98 - 1.15 kOe، والمغنطة المتبقية بين 35.9 - 30.4 emu/g، فإن نتائج هذه الدراسة تدل على أن الإحلال الجزئي للنيكل والتيتانيوم في فرايت السترونشوم السداسي يتيح الحصول على مواد مهمة لتطبيقات التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة، التي تحتاج إلى مغنطة متبقية مقدارها 20 emu/g في الحد الأدنى، ومجالات قهرية ضمن المدى 1 - 3 kOe [12, 13]. وتشبه فعالية إحلال Ni-Ti في خفض المجال القهري للفرايت السداسي دون تأثير كبير على المغنطة المتبقية تلك الفعالية لإحلال Co-Ti، المستخدم تقليدياً في مواد التسجيل المغناطيسي [7, 19, 50]، وتتيح (بتجنب استخدام الكوبالت مرتفع السعر) فرص خفض كلفة مواد التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة.

المطلق باستخدام نموذج غورتر (Gorter's model) [43]:

$$\vec{m} = \vec{m}_{2a} + \vec{m}_{2b} + \vec{m}_{12k} - \vec{m}_{4f_1} - \vec{m}_{4f_2} \quad (3)$$

وباعتماد هذا النموذج، ومقدار العزم المغناطيسي (5 μ_B) لأيون الحديد Fe^{3+} ، فإن العزم المحصل لجزء الفرايت السداسي يساوي 20 μ_B ، وهذا يكفي مغنطة تشبع مقدارها 100 emu/g، تم الحصول عليها عملياً من خلال دراسات سابقة [44, 45]. وبارتفاع درجة حرارة العينة، تنخفض مغنطة التشبع لتصل إلى 72 emu/g عند درجة حرارة الغرفة [2]. ويمكن تغيير مغنطة التشبع للفرايت السداسي بتعويض أيونات الحديد جزئياً بأيونات أخرى. فإحلال أيونات غير مغناطيسية كالتيتانيوم، أو أيونات تمتلك عزماً مغناطيسياً أقل من عزم أيون الحديد كالنيكل (2 μ_B) في مواقع اللف الأسفل ($4f_1$ أو $4f_2$) يؤدي إلى ارتفاع مغنطة التشبع، بينما يؤدي إحلال هذه الأيونات في مواقع اللف الأعلى إلى انخفاض مغنطة التشبع. وبهذا، فإن عدم تغير مغنطة التشبع بزيادة تركيز النيكل والتيتانيوم إلى $x = 0.6$ في عينات الدراسة يدل على أن هذه الأيونات تتوزع بشكل عشوائي بين مواقع اللف الأعلى واللف الأسفل. ويتفق هذا الاستنتاج مع نتائج حيود النيوترونات التي أظهرت أن أيونات التيتانيوم تتوزع بالتساوي بين مواقع اللف الأسفل $4f_2$ ومواقع اللف الأعلى 12k [46]. كما بينت دراسات أخرى أن أيونات النيكل تحتل المواقع البلورية 2a و $4f_2$ و 12k، ويزداد تفضيل مواقع اللف الأعلى



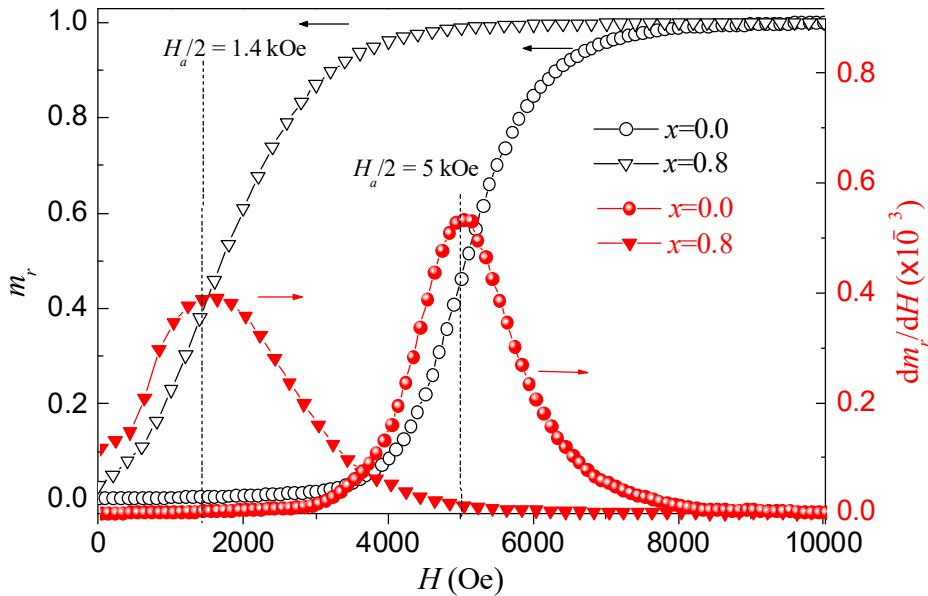
الشكل 7. سلوك المجال القهري للفرايت السداسي مع ازدياد تركيز الكوبالت والتيتانيوم (x).

المتبقية القصوى M_{rs} التي تنتج بعد إطفاء المجال المغناطيسي الأقصى. ويبين الشكل 8 منحنيات المغنطة المتبقية، واقتراعات توزيع المجال التقليلي في العيتتين ($x = 0.0, 0.8$) على سبيل المثال. ويتم تقدير معدل مجال التباين الفعال (mean effective anisotropy field) من ضعف شدة المجال عند قمة اقتران التوزيع. ويبين الشكل 8 انخفاضاً كبيراً في معدل مجال التباين من 10 kOe إلى 2.8 kOe عند زيادة x من 0.0 إلى 0.8. كما يبين الشكل 9 تناقصاً مضطرباً في مجال التباين مع زيادة x ، يتفق مع التزايد المضطرب للقابلية المغناطيسية الابتدائية، مؤكداً دور أيونات النيكل والتيتانيوم في إحداث ليونة مغناطيسية في الفرايت السداسي. ويؤدي هذا التناقص في مجال التباين إلى تناقص في المجال القهري كما أظهرت نتائج هذه الدراسة. ولكن المتمعن في النتائج يرى أن مقدار المجال القهري كان دون القيمة $0.48 H_a$ المتوقعة من نموذج ستونر - وولفارت لنظام عشوائي من الحبيبات المغناطيسية أحادية النطاق (randomly oriented single domain particles)، وقد يعزى ذلك لاتساع انتشار اقتران المجال التقليلي (width of the switching field distribution) [52].

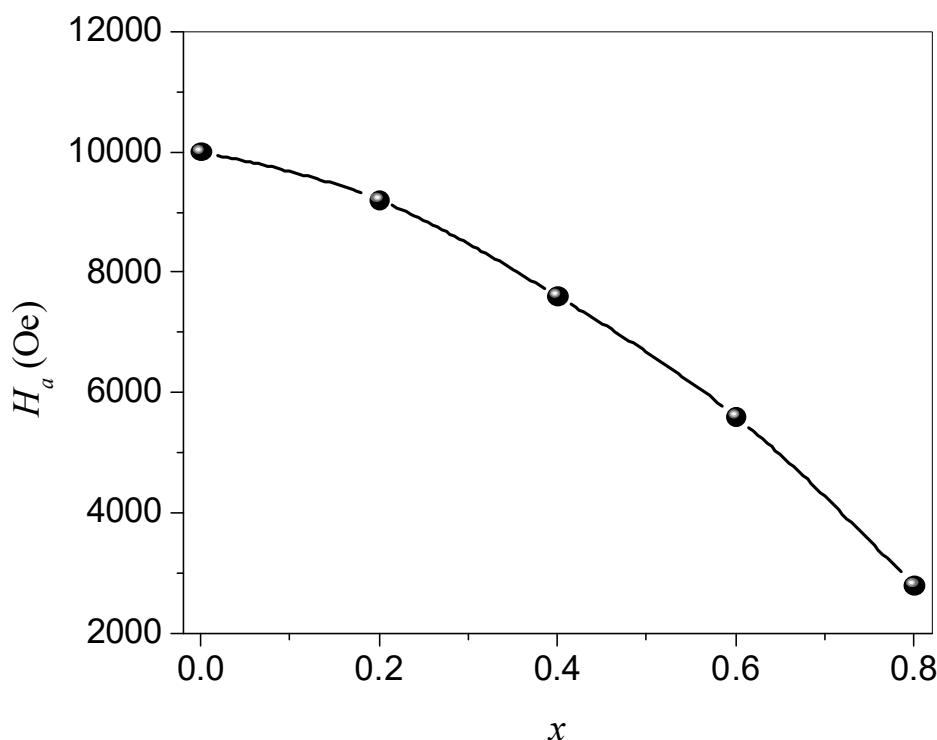
ويعتمد المجال القهري على عوامل خارجية (extrinsic) ترتبط بالظروف التجريبية لتصنيع العينات، وأخرى لدية (intrinsic) أهمها مجال التباين البلوري-مغناطيسي. ويتناسب المجال القهري لنظام من الحبيبات وحيدة النطاق المغناطيسي (single magnetic domain particles) تناسباً طردياً مع مجال التباين المغناطيسي (magnetic anisotropy field H_a)، الذي يعتمد بدوره على مجال التباين البلوري - مغناطيسي وشكل الحبيبات المغناطيسية [42]. وبذلك يمكن خفض المجال القهري إلى القيم المرغوبة بتعويض بعض الأيونات التي تؤدي إلى خفض مجال التباين في الفرايت السداسي. ويمكن حساب اقتران توزيع مجال التباين المغناطيسي $f(H_a)$ وفقاً للمنهجية الموضحة في دراسات سابقة [51, 52]، من مشتقة منحنى المغنطة المتبقية، أو ما يعرف باقتران توزيع المجال التقليلي (switching field distribution, SFD) [52]:

$$f(H_a) = \left[\frac{dm_r}{dH} \right]_{H=\frac{H_a}{2}} \quad (4)$$

حيث $m_r = M_r(H)/M_{rs}$ هي النسبة بين المغنطة المتبقية $M_r(H)$ بعد إطفاء مجال مطبق H ، والمغنطة



الشكل 8. منحنيات المغنطة المتبقية ومشتقاتها للعيتتين $x = 0.0$ and 0.8 .

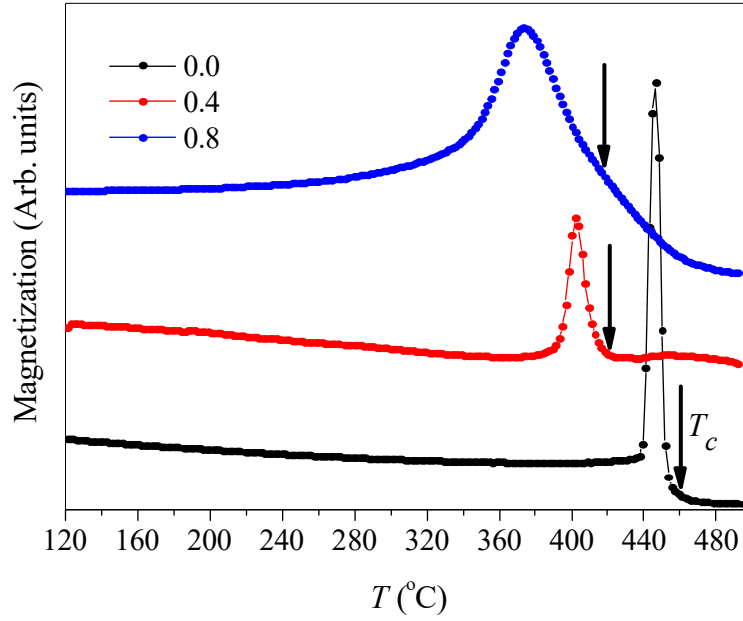


الشكل 9. تغير معدل مجال التباين المغناطيسي الفعال مع تركيز النيكل والتيتانيوم (x).

درجة حرارة كوري، ما يدل على وجود حبيبات فائقة البارامغناطيسية (superparamagnetic) في العينات [53]. وتبين المنحنيات أيضاً انخفاض القمم واتساعها تدريجياً مع زيادة x . وقد يعزى ذلك لانخفاض مستوى التجانس المغناطيسي (magnetic inhomogeneity) الناجم عن التوزيع الإحصائي لأيونات النيكل والتيتانيوم في المواقع البلورية المختلفة. وقد بينت نتائج هذه الدراسة أن درجة حرارة كوري (460°C) للعينات النقية تتفق مع نتائج الدراسات السابقة لفراتيت السترونشيوم السداسي [2]، وأن درجة حرارة كوري تنخفض مع ازدياد x لتصل إلى 422°C للعينات $x = 0.4$. وبزيادة قيمة x لوحظ اتساع انتشار درجة حرارة التحول من الطور المغناطيسي إلى الطور البارامغناطيسي كما يتضح من منحنى العينات $x = 0.8$ في الشكل 10، ولكن معدل درجة حرارة كوري (حيث يشير السهم)، وموقع قمة هوبكنسون يتغيران بشكل أبطأ في المدى $x = 0.4 - 0.8$. ويدل الانخفاض في درجة حرارة كوري على انخفاض شدة تفاعلات التبادل الفائقة (superexchange interactions) نتيجة لإحلال أيونات النيكل والتيتانيوم مكان الحديد.

درجة حرارة كوري

تعتمد مغنطة الطور المغناطيسي على درجة حرارة العينة المقاسة، وتهبط المغنطة بشكل حاد إلى الصفر عند درجة حرارة كوري (T_c , Curie Temperature) حيث يتحول الطور المغناطيسي إلى طور بارامغناطيسي عندما تتغلب الطاقة الحرارية على طاقة التفاعلات المغناطيسية. ولما كانت درجة حرارة كوري صفة مميزة للطور المغناطيسي، فإن قياسات المغنطة مع تغيير درجة حرارة العينة تستخدم لتحديد طبيعة العينة من حيث الأطوار المغناطيسية الموجودة فيها، وتعتبر منهجية مهمة لتوصيف العينة، ورافداً أساسياً للدراسات التركيبية باستخدام الأشعة السينية أو حيود النيوترونات. وبناءً على ذلك، قيس تأثير درجة الحرارة على المغنطة الناجمة عن تطبيق مجال مغناطيسي ضعيف (100 Oe) في العينات كافة، ويبين الشكل 10 أمثلة على المنحنيات التي تم الحصول عليها. وتبين هذه المنحنيات وجود طور مغناطيسي وحيد في كل عينة، مما يؤكد نتائج الدراسة التركيبية باستخدام حيود الأشعة السينية التي أظهرت طوراً بلورياً وحيداً في كل عينة. كما تبين المنحنيات ظهور قمم هوبكنسون (Hopkinson peaks) قبل الهبوط الحاد عند الاقتراب من



الشكل 10. أمثلة على اعتماد المغنطة الناجمة عن تأثير مجال مغناطيسي ضعيف (100 Oe) على درجة الحرارة.

اللازمة لتطبيقات التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة. وبهذا فإن المواد المحضرة مرشحة لتحل محل الفرايت السداسي الذي يحتوي على الكوبالت والتيتانيوم المستخدم في هذه التطبيقات، وبالتالي خفض الكلفة المترتبة على تصنيع وسائط التسجيل المغناطيسي عالي الكثافة.

شكر وتقدير

يتقدم سامي محمود بالشكر والتقدير للجامعة الأردنية على الدعم الذي قدمته له خلال سنة التفرغ العلمي التي قضاها في جامعة ولاية ميشيغان في الولايات المتحدة الأمريكية.

الاستنتاجات

لقد تم تحضير عينات فرايت السترونشيوم السداسي الذي يحتوي على تراكيز مختلفة من أيونات النيكل والتيتانيوم باستخدام منهجية الطحن الميكانيكي والتليد على درجة حرارة مقدارها 1100 °C. وقد تم التحقق من أحادية الطور البلوري المغناطيسي في كل عينة باستخدام حيود الأشعة السينية واعتماد المغنطة على درجة الحرارة. وقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن التعويض الجزئي لأيونات الحديد بأيونات النيكل والتيتانيوم لا يؤثر سلباً على مقدار مغنطة التشبع أو المغنطة المتبقية، فيما يؤدي هذا التعويض إلى خفض المجال القهري إلى المستويات

المراجع

- [1] Smit, J. and Wijn, H.P.J., "Ferrites", (Wiley, New York, 1959).
- [2] Pullar, R.C., Progress in Materials Science, 57 (2012) 1191.
- [3] Özgür, Ü., Alivov, Y. and Morkoç, H., Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 20 (2009) 789.
- [4] Mahmood, S.H., "Permanent Magnet Applications", in: S.H. Mahmood and I. Abu-Aljarayesh (Eds.), Hexaferrite Permanent Magnetic Materials, (Materials Research Forum LLC, Millersville, PA, USA, 2016), pp. 153-165.
- [5] Harris, V.G., Geiler, A., Chen, Y., Yoon, S.D., Wu, M., Yang, A., Chen, Z., He, P., Parimi, P.V. and Zuo, X., Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 321 (2009) 2035.
- [6] Kamishima, K., Hosaka, N., Kakizaki, K. and Hiratsuka, N., Journal of Applied Physics, 109 (2011) 013904.
- [7] Mahmood, S.H. and Bsoul, I., "Tuning the magnetic properties of M-type hexaferrites", in: R.B. Jotania and S.H. Mahmood (Eds.) Magnetic Oxides and Composites, (Materials Research Forum LLC, Millersville, PA, USA, 2018), pp. 49-100.

- [8] Topal, U., *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 25 (2012) 1485.
- [9] Topal, U., *Physica B: Condensed Matter*, 407 (2012) 2058.
- [10] Mahmood, S.H., "Ferrites with High Magnetic Parameters", in: S.H. Mahmood and I. Abu-Aljarayesh (Eds.), *Hexaferrite Permanent Magnetic Materials*, (Materials Research Forum LLC, Millersville, PA, USA, 2016), pp. 111-152.
- [11] Rai, B.K., Mishra, S.R., Nguyen, V.V. and Liu, J.P., *Journal of Alloys and Compounds*, 550 (2013) 198.
- [12] Bate, G., "Recording materials", in: P. E. Wohlfarth (Ed.), *Ferromagnetic materials*, (North-Holland Publishing Company, New York, 1980), pp. 381-508.
- [13] Bate, G., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 100 (1991) 413.
- [14] Sui, X., Scherge, M., Kryder, M.H., Snyder, J.E., Harris, V.G. and Koon, N.C., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 155 (1996) 132.
- [15] Kubo, O., Ido, T. and Yokoyama, H., *Magnetics*, *IEEE Transactions*, 18 (1982) 1122.
- [16] Chantrell, R. and O'Grady, K., *Journal of Physics D: Applied Physics*, 25 (1992) 1.
- [17] Thompson, S., Shirtcliffe, N.J., O'Keefe, E.S., Appleton, S. and Perry, C.C., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 297 (2005) 100.
- [18] Batlle, X., Obradors, X., Rodriguez-Carvajal, J., Pernet, M., Cabanas, M.V. and Vallet, M., *Journal of Applied Physics*, 70 (1991) 1614.
- [19] Gruskova, A., Slama, J., Dosoudil, R., Kevicka, D., Jančárik, V. and Toth, I., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 242 (2002) 423.
- [20] Kakizaki, K., Hiratsuka, N. and Namikawa, T., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 176 (1997) 36.
- [21] Kubo, O. and Ogawa, E., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 134 (1994) 376.
- [22] Gonzalez-Angeles, A., Mendoza-Suarez, G., Gruskova, A., Toth, I., Jančárik, V., Papanova, M. and Escalante-García, J., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 270 (2004) 77.
- [23] Lisjak, D. and Drofenik, M., *Journal of the European Ceramic Society*, 24 (2004) 1841.
- [24] González-Angeles, A., Mendoza-Suárez, G., Grusková, A., Sláma, J., Lipka, J. and Papánová, M., *Materials Letters*, 59 (2005) 1815.
- [25] Mahmood, S.H., Awadallah, A.M., Maswadeh, Y. and Bsoul, I., *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 92 (2015) 012008.
- [26] Mahmood, S.H., Ghanem, A.A., Bsoul, I., Awadallah, A. and Maswadeh, Y., *Materials Research Express*, 4 (2017) 036105.
- [27] Awadallah, A.M., Mahmood, S.H., Maswadeh, Y., Bsoul, I., Awawdeh, M., Mohaidat, Q.I. and Juwhari, H., *Materials Research Bulletin*, 74 (2016) 192.
- [28] Singhal, S., Garg, A.N. and Chandra, K., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 285 (2005) 193.
- [29] González-Angeles, A., Mendoza-Suarez, G., Grusková, A., Lipka, J., Papanova, M. and Slama, J., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 285 (2005) 450.
- [30] Rodriguez-Carvajal, J., *IUCR Newsletter*, 26 (2001) 12.
- [31] Tabatabaie, F., Fathi, M., Saatchi, A. and Ghasemi, A., *Journal of Alloys and Compounds*, 474 (2009) 206.
- [32] Obradors, X., Solans, X., Collomb, A., Samaras, D., Rodriguez, J., Pernet, M. and Font-Altaba, M., *Journal of Solid State Chemistry*, 72 (1988) 218.
- [33] Kalogirou, O., Haack, G., Röhl, B. and Gunßer, W., *Solid State Ionics*, 63 (1993) 528.
- [34] The, G.B., Wong, Y.C. and Tilley, R.D., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 323 (2011) 2318.
- [35] Kuznetsov, M., Pankhurst, Q. and Parkin, I., *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 12 (2001) 533.

- [36] Shannon, R.D., *Acta Crystallographica A*, 32 (1976) 751.
- [37] Warren, B.E., "X-ray Diffraction", (Addison-Wesley, Reading, Massachsetts, 1969).
- [38] Cullity, B.D. and Graham, C.D., "Introduction to magnetic materials", 2nd ed., (John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2011).
- [39] Awadallah, A.M., Mahmood, S.H., Maswadeh, Y., Bsoul, I. and Aloqaily, A.N., *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 92 (2015) 012006.
- [40] Yang, Z.H., Wang, C.S., Li, X.H. and Zeng, H.X., *Materials Science and Engineering: B*, 90 (2002) 142.
- [41] Maswadeh, Y., Mahmood, S.H., Awadallah, A.M. and Aloqaily, A.N., *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 92 (2015) 012019.
- [42] Mahmood, S.H., "Properties and Synthesis of Hexaferrites", in: S.H. Mahmood and I. Abu-Aljarayesh (Eds.), *Hexaferrite Permanent Magnetic Materials*, (Materials Research Forum LLC, Millersville, PA, USA, 2016), pp. 74-110.
- [43] Gorter, E., *Proceedings of the IEE-Part B: Radio and Electronic Engineering*, 104 (1957) 255.
- [44] Alsmadi, A.M., Bsoul, I., Mahmood, S.H., Alnawashi, G., Al-Dweri, F.M., Maswadeh, Y. and Welp, U., *Journal of Alloys and Compounds*, 648 (2015) 419.
- [45] Alsmadi, A.M., Bsoul, I., Mahmood, S.H., Alnawashi, G., Prokeš, K., Siemensmeyer, K., Klemke, B. and Nakotte, H., *Journal of Applied Physics*, 114 (2013) 243910.
- [46] Wartewig, P., Krause, M., Esquinazi, P., Rösler, S. and Sonntag, R., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 192 (1999) 83.
- [47] Gruskova, A., Lipka, J., Papanova, M., Kevicka, D., Gonzalez, A., Mendoza, G., Toth, I. and Slama, J., *Hyperfine Interactions*, 156 (2004) 187.
- [48] Bsoul, I., Mahmood, S.H., Lehlooh, A.-F. and Al-Jamel, A., *Journal of Alloys and Compounds*, 551 (2013) 490.
- [49] Grusková, A., Jancarík, V., Slama, J. and Usakova, M., *Acta Physica Polonica-Series A: General Physics*, 113 (2008) 557.
- [50] Mendoza-Suarez, G., Corral-Huacuz, J., Contreras-García M. and Juárez-Medina, H., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 234 (2001) 73.
- [51] Bsoul, I., Mahmood, S.H. and Lehlooh, A.F., *Journal of Alloys and Compounds*, 498 (2010) 157.
- [52] Pfeiffer, H. and Schüppel, W., *Physica Status Solidi (a)*, 119 (1990) 259.
- [53] Mahmood, S.H. and Bsoul, I., *EPJ Web of Conferences*, 29 (2012) 00039.

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

لماذا لم يكتشف الفلكيون المسلمون مركزية الشمس؟

Doi : <https://doi.org/10.47011/13.4.2>

محمد باسل الطائي^a وسارة فايز الخطيب^b

a قسم الفيزياء، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.

b باحثة، الأردن.

Received on: 13/07/2020;

Accepted on: 24/02/2021

الملخص: تتداعى إلى التساؤل أسباب تأخر اكتشاف حقيقة مركزية الشمس في النظام الكوكبي. فإذا كانت أوروبا قد قضت رداً طويلاً من الزمن في ظلمة قرونها الوسطى، فإن علماء الفلك العرب والمسلمين عاشوا قروناً يحاولون ترقيع النظرية الكوكبية التي وضعها بطليموس والتي كانت تقول بمركزية الأرض. لقد عاشت أجيال عديدة من علماء الفلك المسلمين، ابتداءً من القرن الميلادي الثامن وحتى القرن الخامس عشر، وهي تدور في حلقات من أفلاك التدوير والتعادل، ولم يتجرأ أحد منهم على معالجة "فرضية" مركزية الشمس ويخرج من دائرة تلك الأفلاك المكرورة. ومما لا شك فيه أن الفلكيين المسلمين قاموا بجهود كبيرة على صعيد تحقيق الأرصاد الفلكية وطوروا كثيراً من الأجهزة الفلكية الدقيقة اللازمة لتلك الأرصاد. وعلى صعيد الكتابة والتأليف، فقد خلف أولئك العلماء ما لا يقل عن 10 آلاف رسالة وكتاب ومقالة مخطوطة في علم الفلك لم تزل حتى اليوم قابضة على رفوف المكتبات وفي خزائن المخطوطات.

يهدف البحث إلى مراجعة هذا السؤال الكبير عن سبب عدم اكتشاف المسلمين لمركزية الشمس، محاولاً استنطاق الأعمال النظرية الأخيرة للفلكيين المسلمين التي كانت بحق أعمالاً جلية ساهمت في الوصول إلى النموذج الكوبرنيكي. فقد كشفت العديد من الدراسات الحديثة، كما سنبين في هذا البحث بإحالات كثيرة إلى تلك الدراسات، حقيقة أن علماء الفلك المسلمين كانوا قد انتقدوا نظام مركزية الأرض ابتداءً من ابن الهيثم في كتابه (الشكوك على بطليموس)، مروراً بالبيروني في مناقشته لإمكانية أن تكون الأرض تدور حول نفسها وتدور حول الشمس، وصولاً إلى أعمال مدرسة مراغة والنماذج الكوكبية المخالفة لمنهجية بطليموس التي ابتدعها فلكيو تلك المدرسة وكانت قائمة على ما يسمى "مزودج الطوسي". فضلاً عن مقترحات ابن الشاطر الدمشقي بخصوص حركات القمر.

أكد البحث حقيقة أن التحول عن القول بمركزية الأرض يتطلب انزياحاً كبيراً في "القدوة" Paradigm التي مثلتها الرؤية الأرسطية للعالم من جهة ومنهجية بطليموس لتفسير الحركة الكوكبية من جهة أخرى. هذه القدوة التي كانت مهيمنة على تفكير الفلكيين المسلمين فضلاً عن فلاسفتهم وكثير من متعلميهم وفقهائهم. وإذا تمكن الفلكيون المسلمون من التخلص من منهجية بطليموس، فإنهم حققوا خطوة واحدة إلى الأمام ولم يتمكنوا من إكمال الشوط، فجاء كوبرنيكوس بالقفزة الجديدة التي تمثلت في القول بمركزية الشمس. كما يشير البحث إلى أن الرؤية الإسلامية لفلسفة الطبيعة التي تداولها المتكلمون المسلمون - وليس الفلاسفة - لربما كانت قادرة على تحقيق النقلة النوعية في القدوة العلمية.

الكلمات المفتاحية: مركزية الأرض، مركزية الشمس، بطليموس، مزودج الطوسي، الفلك عند المسلمين.

Why Couldn't Muslim Astronomers Discover the Heliocentric System?

M. B. Altaie

Physics Department, Yarmouk University, Irbid, Jordan.

Sara F. Al-Khateeb

Researcher, Jordan.

Extended Abstract

It comes to question the reasons why Muslim astronomers could not recognize the centrality of the Sun in the planetary system. While Europeans have spent centuries in their dark ages, Muslims spent the same centuries trying to verify the Ptolemaic planetary theory which has adopted the assumption of geocentricism, both theoretically and observationally. Many generations of Muslim astronomers from the 8th century to the 15th century lived circling in boring games of epicycles and deferments. Undoubtedly, Muslim astronomers devoted great efforts for developing the astronomical observations. For this purpose, they invented and developed many precise astronomical instruments and on the side of scientific literature, they wrote thousands of manuscripts in astronomy and observational techniques.

This article questions the reasons why Muslim astronomers could not recognize the heliocentric system, despite their serious critique of the Ptolemaic geocentric model. For this purpose, we try to interrogate the astronomical manuscripts written by Muslim astronomers during the centuries before the Copernican breakthrough, since it is now believed that the efforts of Muslim astronomers have contributed great deal to the Copernican discovery of the heliocentric system. Some new studies in this area have already pointed to the fact that prominent Muslim astronomers have criticized the Ptolemaic geocentric system starting with the article of Ibn al-Haytham entitled "The Doubts about Ptolemy", then al-Beruni's assertion of the possibility of the spinning Earth while rotating around the Sun which comes in his assessment of the Indian astronomers' claim of the heliocentric model. The work of the astronomers of Muragha school and the Muragha observatory which was erected in 1259 and their models proposing to explain the observed planetary motions using the intelligent model of the "Tusi Couple", in addition to the comments and suggestions of Ibn al-Shatir of Damascus about the lunar motion have contributed a great deal to the advancement of astronomy. These and many other flash points in the history of Islamic astronomy marked a strong zeal for a change that never took place. The question is: why could not Muslims adopt a new paradigm?

This article emphasizes the fact that a transformation from the assumption of a geocentric system to a heliocentric system required a fundamental paradigm shift from the Aristotelian belief in the geocentric planetary system and the more developed Ptolemaic models. Such a paradigm was prevailing in the thoughts of Muslim philosophers as well as the religious clerics. We point to the fact that in addition to the observed reality of the celestial objects rotating around the Earth with different periods, the Aristotelian picture of the universe was in agreement with the interpretations of some verses of the Qur'an related to the celestial motion. We point here to the description of the heavenly spheres given by Ikhwan as-Safa who were a group of religious philosophers with some influence in the scientific circle. While being in doubt about the Ptolemaic models, Muslim astronomers were unable to continue their revolution to adopt a profoundly different model. The traditional understanding of some religious texts may have influenced the realization of some scientific facts. This may explain why Nasir al-Din al-Tusi, who belongs to the same sect of Ikhwan as-Safa, resorted to device his couple to explain the apparently non-circular orbits of the planets by circular motion of his couple. However, we allude to the possibility that Muslim Mutakallimun could have achieved such a paradigm should they have the chance to continue their project on the Islamic worldview of nature. The endeavour of Mutakallimun to establish a rational and liberal attitude towards science and religion was negatively affected by their muddling with the theological question more than the questions related to natural philosophy. Internal fight between different factions of the Mutakallimun dispersed their efforts. Furthermore, the prohibition of kalam and the debates related to kalam aborted any progress in the rational approach to establish a scientific trend in religious studies.

Keywords: Geocentric model, Heliocentric model, Ptolemy, Tusi couple, Islamic astronomy.

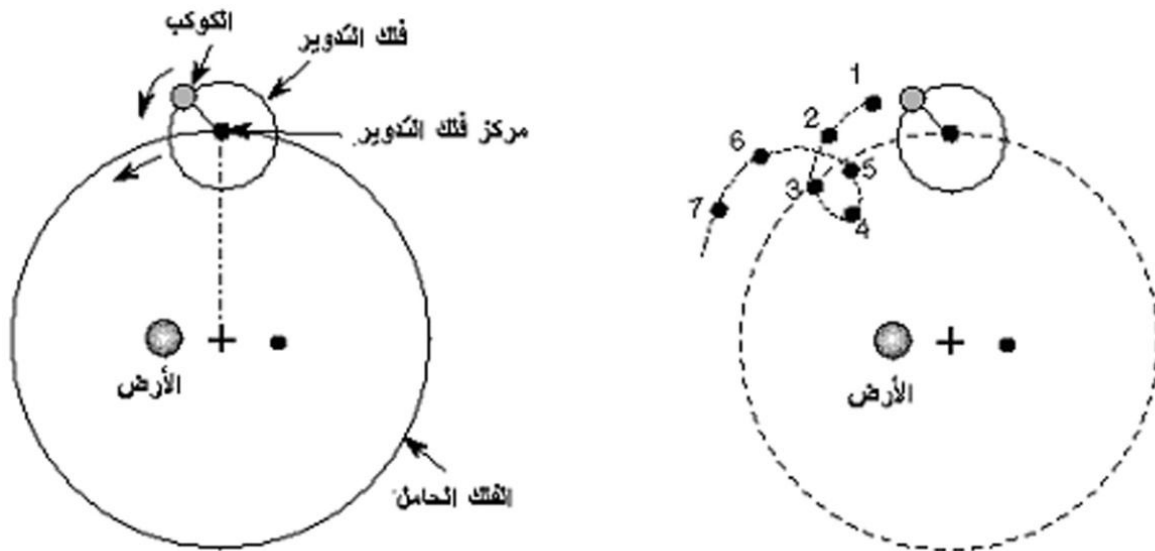
المقدمة

وتحيط بها سبع كرات سماوية تُمسك كل منها بجرم أو مجموعة من الأجرام، أولها كرة القمر وثانيها كرة عطارد ثم كرة الزهرة وبعدها كرة الشمس تليها كرة المريخ ثم كرة المشتري ثم كرة زحل. وهذه هي الكرات السماوية السبع [2]. وقد اختار أرسطو الكرة لكونها الشكل الهندسي المثالي [3]. لكن هذا النموذج الكوكبي واجه مصاعب أخرى كان أهمها تفسير الحركات التراجعية Retrograde Motions للكواكب السيارة الخمسة التي سماها العرب الداراري الخمس وفي تسمية أخرى سموها الكواكب المتحيرة. كما احتاج هذا النموذج إلى تفسير تغير سطوع الكواكب السيارة خلال انتقالها في البروج في مديات دوراتها [4].

لذلك قام بطليموس القلوزي (100-178م) في القرن الميلادي الثاني بوضع نموذج كوكبي يعالج قضية الحركة التراجعية للكواكب ويفسر في الوقت نفسه مسألة اختلاف سطوع الكواكب في أثناء انتقالها في البروج. وقام هذا النموذج على القول بأن الكواكب السيارة تتحرك في "أفلاك تدوير" Epicycles تقع مراكزها على محيط أفلاك تحملها تدور بها حول الأرض، وسمي هذا "الفلك الحامل" Deferent، كما هو مبين في الشكل (1).

هناك ثلاثة أسباب رئيسية جعلت الإنسان يعتقد بأن الأرض هي مركز الكون. أولها المشاهدة الحسية المباشرة للحركة اليومية للأجرام السماوية، الشمس والقمر والكواكب الخمسة المشاهدة بالعين وما كان يسمى "كرة النجوم الثابتة"، وهي تدور في حركتها الدورية الظاهرية حول الأرض. وثاني هذه الأسباب عدم ملاحظة وجود أي اختلاف للمنظر Parallax عند رصد نجوم السماء الثابتة [1]. وقد احتج أرسطو بهذا السبب واعتبره الحجة الأكثر أساسية للقول بسكون الأرض. وثالث الأسباب عقلي يوجي به وجود الإنسان سيد الكائنات على هذه الأرض مخلوقاً مميزاً في العالم، فضلاً عن أن أحداً من الناس لا يشعر بأي حركة ذاتية للأرض. لذلك قال اليونان القدماء (فيما عدا أرسطارخوس) بمركزية الأرض في الكون. لكنهم كانوا قد عرفوا أن الأرض كروية الشكل من خلال ملاحظات عديدة أهمها تشكّل ظل الأرض الظاهر في أثناء الخسوف على سطح القمر قوساً دائرياً مثالياً. وإذا كانت الأرض كروية الشكل والأجسام حرة الحركة تسقط نحوها من كل جانب، فلا بد من أن يكون مرجع الحركات الكونية هو الأرض. وهكذا كان للأرض أن تكون مركز العالم.

لعل من المفيد التذكير بأن أكثر من معضلة كانت قد واجهت هذا التصور القائل بمركزية الأرض، أولها ضرورة تفسير سبب عدم سقوط أجرام السماء على الأرض. هنا طرح أرسطو نموذجاً كوكبياً تكون الأرض فيه عند المركز



الشكل 1. نموذج بطليموس في أفلاك التدوير [5].

بتطويره. والحق أن النتاج العلمي للمسلمين في علم الفلك يكاد يكون معتمداً على جهدهم الخاص مستفيدين بما وعوه وعلموه من المصادر الأساسية القليلة التي جاءت من الهند واليونان. ومن الجدير بالملاحظة أن المسلمين اهتموا منذ باكورة عهدهم مع علم الفلك بالأرصاء محاولين التحقق من الأرصاء التي احتواها المجسطي. وبالفعل قاموا بتصحيح كثير من الأرصاء. ولهذه الغاية، طوروا أجهزة فلكية كثيرة مكنتهم من تحقيق دقة كبيرة في الرصد الفلكي (انظر المرجع [11] و كذلك المرجع [17]). ويمكنني تقسيم المراحل التي مر بها علم الفلك في بلاد الإسلام إلى ما يلي:

مرحلة النقل والاستيعاب

تبدأ هذه المرحلة مع الترجمات الأولى لعلوم الهند واليونان؛ فقد قام محمد الفزاري ويعقوب بن طارق عام 770م بترجمة كتاب السندهند للفلكي الهندي (براهماكويتا). كما تمت ترجمة كتاب (المجسطي) لبطلميوس. وكان الهدف الأول للمسلمين استيعاب النظرية الفلكية لليونان؛ إذ إن المصادر الهندية لم تكن تحوي نظرية فلكية واضحة، بل هي نظام حساب كان هدفه بالأساس تنجيماً. وطرائق الحساب الهندي هي ما تحصل من علوم البابليين والكلدان التي كان نقلها الإسكندر المقدوني إلى الهند. وهنا ينبغي التأكيد على أن الهنود اقتفوا أثر البابليين؛ فقد كان ما لديهم يعتمد على الأرصاء مؤلفاً بذلك بنية عديدة يصح القول إنها نتائج تجريبية Empirical. وقد كانت اهتمامات المسلمين في الفلك على ثلاثة وجوه:

الأول استخدام المعرفة الفلكية بهدف التنجيم والتنبؤ بأحوال الدنيا. وقد شهد البلاط العباسي حضوراً مميزاً للمنجمين أمثال محمد بن فرخان الطبري وإبراهيم الفزاري وأبي معشر الفلكي وسند بن علي. والثاني من الاهتمامات كان لأسباب دينية عقائدية؛ فقد وجد بعض مفكري المسلمين أن النظرية الفلكية اليونانية إلى جانب توافقها مع المشاهدة الحسية لحركة الأجرام السماوية فهي تتفق أيضاً مع المعتقد الديني الإسلامي [9]. لذلك سارع بعض المسلمين إلى تبني ذلك التصور اليوناني للعالم في تفسير بعض آيات القرآن التي تصف السماوات السبع الطباق. وقد تبني بعض المفسرين تصورات اليونان هذه في تفاسيرهم. وفي هذا الصدد، روج إخوان الصفا (القرن التاسع الميلادي) للنظرية الكوكبية اليونانية على نحو عقائدي؛ إذ

لقد كان الهم الأساس في نظام بطلميوس التوصل إلى نموذج نظري هندسي فلكي حركي تتفق نتائجه مع الأرصاء؛ ذلك لأن الوصول إلى مثل هذا النموذج سيمكّن الفلكيين من معرفة مواقع الكواكب والشمس والقمر في السماء لأي زمن مستقبلي يرغبون بتعيينه، وبذلك تكون مشكلة الحركة الفلكية قد حُلّت تماماً.

لم يتمكن نموذج بطلميوس الأساسي من تقديم الحل المطلوب؛ فقد جاءت الأرصاء مخالفة للحسابات قليلاً أو كثيراً، مما أكد عدم اكتمال النموذج. ولحل هذه المشكلة، كان بطلميوس قد اقترح ما سمي "نقاط التعاديل" Equants على نماذج المدارات الكوكبية، وذلك بإزاحة الأرض عن نقطة مركز الدائرة إلى اليمين أو اليسار أو الأعلى أو الأسفل قليلاً حتى تأتي الحسابات النظرية متوافقة مع الأرصاء [6]. وهكذا أدخل بطلميوس عباد الله في حلقة مفرغة من محاولات لا نهاية لها في التجربة والخطأ استمرت بعده أربعة عشر قرناً لغرض ضبط المدارات بما يتوافق مع الأرصاء.

وفر النموذج البطليمي أساساً للحساب الفلكي النظري، وبذلك وفر أرضية للتنبؤ بمواقع الكواكب وحصول الخسوف والكسوف مقدماً. إلا أن نتائج النظرية لم تتفق مع الحقائق الرصدية. فجعلت التصحيحات على هذا النموذج تتوالى منذ القرن الثاني الميلادي حتى القرن الخامس عشر. وخلال هذه القرون الطويلة، وقعت فترة الفلك العربي الإسلامي على مدى أكثر من سبعة قرون. وعلى مدى هذه القرون، كان الفلكيون المسلمون منشغلين في اقتراح التعاديل ومتفنين في تقدير أقطار الأفلاك الحاملة وأفلاك التدوير.

الفلك عند المسلمين في العصور الوسيطة

جاء اهتمام المسلمين بعلم الفلك مبكراً مع نشأة دولتهم الواسعة واستقرارها على عهد أبي جعفر المنصور (714-775م). فقد أمر هذا الخليفة عام 770م بترجمة زيج السندهند في علم الفلك [7]. وتساعد الاهتمام بما لدى الأمم الأخرى من علوم الفلك، وبخاصة في عهد الخليفة المأمون؛ إذ تمت ترجمة كتاب بطلميوس الذي سمي (المجسطي)، وفيه عرض لنظريته الكوكبية وبعض الأرصاء، فضلاً عن مقالات في التنجيم [8]. كما ترجم كتاب إقليدس في الهندسة، وترجمت كتب قليلة أخرى في الهندسة والعدد والحساب الفلكي. وهذا مما مكّن علماء المسلمين من متابعة الحساب الفلكي الذي كان عند الهند واليونان وقاموا

وتطوير نظريات القُطوع المخروطية. لذلك، فقد قاد ابن الهيثم مجهوداً ريادياً رائعاً محققاً إنجازات رائعة في هذا الشأن [12]. وسار على هذا النهج غيره من علماء المسلمين، فأضافوا أعمالاً أصيلة إلى ما أخذوه عن اليونان. ولعل أهم ما أنجزه ابن الهيثم بخصوص النظرية الكوكبية كتابه المعنون (الشكوك على بطليموس)، وفيه انتقد الافتراضات الرياضية والهيئات الهندسية لبطلميوس - مثل التعاديل - من باب كونها أخيلة لا وجود لها في الواقع. وكأنه بذلك عنى أن تكون النظم الفيزيائية مؤلفة بالضرورة من عناصر لها وجود موضوعي حقيقي. وبالتالي، فإن ابن الهيثم هنا يريد تمييز النموذج النظري التخيلي عن النظام الفيزيائي الحقيقي. ومن الجدير بالذكر أن ابن الهيثم نهض بعلم الفلك واضحاً جداً وواضحاً بين الحقائق الرصدية والمعتقدات الدينية أو الفلسفية والتنجيمية؛ إذ إن فلكي الغرب ظلوا حتى عهد كبلر (القرن السابع عشر الميلادي) يؤمنون بالتنجيم أو يمارسونه على الأقل. إلا أن أغلب علماء الفلك المسلمين رفضوا هذا المسلك، رغم قيامهم بتأليف بعض الكتب مثلما فعل البيروني في وضعه لكتاب (التفهيم لأوائل صناعة التنجيم)، وهذه مسألة جديرة بالملاحظة [13]. فقد رفض ابن الهيثم على أسس بصرية أن تكون كرات السماء صلبة كما هي عند أرسطو، وقال إن كثافتها لا بد من أن تكون أقل من كثافة الهواء. كما رفض أيضاً تفسير أرسطو للمجرة بكونها نوعاً من الأبخرة النجومية التي تكون في طبقات الجو العليا، مبيناً أن عدم وجود اختلاف للمنظر في المجرة يؤكد أنها بعيدة جداً وليست جزءاً من جو الأرض [14]. وكان ابن الهيثم قد كتب (مقالة في ضوء القمر) صحح فيها تفسير ظهور أطوار القمر، وبين أنه لا يعكس الضوء كما تعكسه المرأة، بل يعكس الضوء من الأجزاء التي يصيبها ضوء الشمس.

أما بشأن البيروني (ت 1048م)، فإن مساهماته الأصيلة في الحساب الفلكي معروفة، ومما يسجل له مراجعته لعلم الفلك والتقاويم عند الهند وتمحيصه لإنجاز الهنود، وذكر أنهم يقولون بدوران الأرض حول محورها، وأنه لا يجد في ذلك حرجاً. أما بشأن مركزية الشمس، فإن البيروني كان محايداً في موقفه من هذه المسألة معتبراً إياها قضية فلسفية [15].

نقرأ قولهم: "واعلم أن الأفلاك تسعة: سبعة منها هي السماوات السبع، وأدناها وأقربها إلينا فلك القمر، وهي السماء الأولى؛ ثم من ورائه فلك عطارد وهي السماء الثانية؛ ومن ورائه فلك الزهرة وهي السماء الثالثة؛ ثم من ورائه فلك الشمس وهي السماء الرابعة؛ ومن ورائه فلك المريخ وهي السماء الخامسة؛ ومن ورائه فلك المشتري وهي السماء السادسة؛ ثم من ورائه فلك زحل وهي السماء السابعة، وزحل النجم الثاقب، وإنما سُمي الثاقب لأن نوره يثقب سمك سبع سماوات حتى يبلغ أبصارنا؛ هكذا روي في الخبر عن عبد الله بن عباس ترجمان القرآن. وأما الفلك الثامن، وهو فلك الكواكب الثابتة الواسع المحيط بهذه الأفلاك السبعة، فهو الكرسي الذي وسع السماوات والأرض. وأما الفلك التاسع، المحيط بهذه الأفلاك الثمانية، فهو العرش العظيم الذي يحمله فوقهم يومئذ ثمانية كما قال الله، عز وجل. واعلم يا أخي أن كل واحد من هذه السبعة المقدم ذكرها سماء لما تحته وأرض لما فوقه، ففلك القمر سماء الأرض التي نحن عليها وأرض لفلك عطارد، وكذلك فلك عطارد سماء لفلك القمر وأرض لفلك الزهرة، وعلى هذا القياس حكم سائر الأفلاك، كل واحد منها سماء لما تحته وأرض لما فوقه إلى فلك زحل الذي هو السماء السابعة [3]". ولقد تبنى بعض الصوفية مثل هذا التصور ورسموا عليه وطوروه وجعلوه جزءاً من معتقدهم الديني [10].

أما الوجه الثالث فهو الاهتمام العلمي الذي يحاول الإجابة عن الأسئلة الكبرى الأساسية في صورة العالم وقوانينه. فقد عمل المسلمون باكراً على توظيف ما تعلموه في إنتاج جديد؛ إذ قام محمد الخوارزمي (ت 830) بوضع زيج فلكي يحدد مواقع الكواكب والشمس والقمر. كما أجرى حبش الحاسب أرساداً مهمة في مرصد الشماسية ببغداد خلال الفترة (825-835م)، وأنجز البتاني (853-929م) كثيراً من التدقيق للأرصاء التي تضمنها كتاب بطليموس وصحح العديد منها [11]. ثم توالى الجهود في تطوير نظرية الفلك وأدواته.

مرحلة الإبداع والتطوير

مع بداية القرن الحادي عشر، وبعد استيعاب عميق للنظرية الفلكية اليونانية، وجد علماء الطبيعة المسلمون وفي مقدمتهم الحسن بن الهيثم (965-1039م) أن التطبيقات الحسابية للنظرية الفلكية اليونانية تحتاج إلى تطوير علم الهندسة الكروية Spherical Geometry

مرحلة النضج

تحليل موجز لأعمال مدرسة مراغة

تركزت جهود فلكيي مراغة على محاولة تجاوز التعاديل البطليمية باعتبارها تفضي إلى حركات مدارية مخالفة لرؤية أرسطو؛ إذ لا تكون الأرض عندها في مركز الدوران، بل تصبح مزاحة عنه قليلاً. ولتفسير اقتراب الكواكب وابتعادها عن الأرض في حضيضاتها وأوجاتها، اقترح نصير الدين الطوسي آلية حركة جديدة تقوم على تحويل الحركة الدورانية إلى حركة خطية؛ إذ يتحرك الكوكب على محيط دائرة صغيرة تدور داخل أخرى قطرها ضعف قطر الصغرى ومتماسمة معها من الداخل. وبهذا تصنع النقطة التي على محيط الدائرة الصغرى حركة خطية فيما يكون أصل الحركة دوراناً مثالياً. وسميت هذه الآلية الحركية "مزدوج الطوسي" [19].

إن الإجراءات التي اتبعتها الفلكيون المسلمون في مدرسة مراغة في تنظيرهم لحركة الكواكب السيارة والشمس والقمر إنما كانت أشبه بعملية تركيب سلسلة فورييه Fourier Series من مجموعة قياسية من الدوال المثلثية الدورية (الجيب وجيب التمام) لتكوين دالة تصف الحركة الواقعية للكواكب هندسياً. وكان فرضهم الأساس هو اعتماد الدوائر المثالية متداخلة مع بعضها لتحقيق الحركات المطلوبة بما يتوافق مع الأرصاد.

أما ما فعله كوبرنيكوس فإنه يتلخص بخطوتين:

الأولى: إختيار الشمس مركزاً للنظام الكوكبي

الثانية: إلغاء التعاديل البطليمية واستخدام ما يشبه مزدوج الطوسي لتحقيق وصف للحركة يماثل الوصف الذي تقدمه الأرصاد الفلكية.

وهكذا نرى أن الخطوة الرئيسية المفقودة في جهود المسلمين هي اعتماد مركزية الشمس؛ إذ إنهم أبقوا على مركزية الأرض في النظام الكوكبي متشبثين بالحركة الدائرية المثالية لتحقيق النموذج الذي تتفق نتائجه مع الأرصاد. والسؤال الذي يطرح نفسه: هل أفاد كوبرنيكوس من أعمال الفلكيين المسلمين في تكوينه للنموذج الكوكبي الذي طرحه عام 1543م؟

أغلب الدراسات الغربية السابقة تقول بعدم وجود دليل مباشر على إفادة كوبرنيكوس من أعمال الفلكيين المسلمين. لكن مراجعة أعمال كوبرنيكوس في كتابه (حول دوران الكرات السماوية) توحى بوجود رابط قوي بين ما قدمه هذا الرجل من آليات الحركة وطرائق الحساب وما

وهي التي تتمثل بانبثاق مدرسة مراغة في القرن السابع الهجري/ الثالث عشر الميلادي ومرصدها الكبير الذي يقع في محافظة أذربيجان الشرقية في إيران حالياً. وقد ضمت هذه المدرسة والمرصد الذي أنشئ فيها نخبة ممتازة من الفلكيين المسلمين كان من أكثرهم شهرة مؤيد الدين العرضي (ت1266م) ونصير الدين الطوسي (ت1274م) ونجم الدين القزويني (ت1277م) وقطب الدين الشيرازي (ت1311م) وصدر الشريعة البخاري (ت1347م) وابن الشاطر الدمشقي (ت1375م) وعلي القوشجي (ت1474م) والبرغندي (ت1525م) وشمس الدين الغافري (ت1550م). لقد قام هؤلاء الفلكيون بدراسة نظامية للنماذج البطليمية وقاموا بأرصاد كثيرة كانت على جانب كبير من الدقة. ومن المعروف أن الطوسي والقوشجي ناقشا مسألة توفير الدليل الرصدي على دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس. لكن الطوسي أكد أن مثل هذا الدليل لا يمكن أن يأتي بالتجربة [16].

ومع بداية القرن الخامس عشر الميلادي، قام ألغ بيك بإنشاء مدرسة ومرصد في سمرقند سمي باسمه. وعمل فيه الفلكي البار علي القوشجي مساعداً لألغ بيك. كما عمل فيه الفلكي التركي قاضي زادة الرومي (ت1436م). ويشتهر هذا المرصد بالربع المجيب الهائل الذي يبلغ قطر دائرته أكثر من أربعين متراً ويقع جزء منه تحت الأرض؛ إذ تم تشييده لغرض رصد حركات الشمس بدقة عالية. لكن تدهور الأحوال السياسية أدى إلى تدمير المرصد عام 1449م [17].

وهنا لا بد لنا من وقفة - ولو قصيرة - مع الفلك في الأندلس. ففي الأندلس نشطت الحركة الفلكية وساهمت في تطوير علم الفلك الإسلامي خلال القرنين الحادي عشر والثاني عشر، وأبرز ما يؤشر بصدور النظرية الكوكبية هو كتاب (إصلاح المجسطي) لجابر بن أفلح (ت1150م)، واعتراضات ابن رشد (ت1198م) والبطروجي (ت1204م) على منهجية بطلميوس في أفلاك التدوير بسبب مخالفتها لمبادئ أرسطو. ومن المعروف أن البطروجي اقترح ما سمي نظرية الشعاعات التي استغنى فيها عن أفلاك التدوير والتعاديل التي اعتمدها بطلميوس [18].

من جانب آخر، فإن علماء الفلك المسلمين الذين تتلمذوا على التراث الفلكي والفلسفي اليوناني - ومنهم نصير الدين الطوسي - كانوا متمسكين بالقُدوة الأرسطية والتصورات الأرسطية للعالم، ومن ذلك مركزية الأرض ومثالية الحركة الدورانية. يؤكد هذا مثلاً لجوء الطوسي إلى إلغاء التعاديل البطليمية والاستعاضة عنها بمزدوج حركي سمي "مزدوج الطوسي"، كما أوضحنا آنفاً. ويبدو أن الطوسي اقترح هذا النوع من الحركة تحقيقاً لغايتين: الأولى العودة بالحركة الفلكية إلى مثالياتها الأرسطية وإلغاء التعاديل البطليمية التي جعلت الحركة الدورانية حركة غير حقيقية بإزاحة مركز الحركة عن موقعه. والهدف الثاني هو تفسير الحركة التراجعية. ومن الجدير بالذكر أن مؤيد الدين العرضي وابن الشاطر الدمشقي كان كل منهما قد اقترح آليات للحركة مشتقة من مزدوج الطوسي. وهذا ما كان عليه التوجه الفلكي النظري لمرصد مراغة ومدرسته.

من جانب آخر، نجد أن هنالك إلماعات فكرية وعلمية جديرة بالتقدير لدى بعض علماء الفلك المسلمين في عهد مبكر من حضارة الإسلام؛ إذ نجد أن جعفر بن موسى بن شاعر (ت873م) قال بأن القوانين التي تنطبق على أجرام السماء هي نفسها التي تنطبق على الأرض [23]. أما البيروني، ففي تحليله لقول الفلكيين الهنود بدوران الأرض حول نفسها وحول الشمس، فإنه أكد أن هذا القول لا يتعارض مع الحساب والرياضيات. إلا أن من الواضح والمؤكد أن جميع الفلكيين المسلمين كانوا على مذهب مركزية الأرض.

ولكن، هل كان من الممكن أن يحصل انزياح القُدوة في الرؤية الكونية في زمن ما من تاريخ المسلمين؟

نسأل هذا السؤال بدافع الكشف عن تأثيرات المصادر التعليمية والقُدوة الفكرية في تكوين الثقافة لمجتمع ما. ونقصد بالمجتمع هنا جماعة الناس الذين تجمعهم اهتمامات مشتركة ويتداولون لغة مشتركة سواء كانوا من جنس واحد أو من أجناس مختلفة وفي مكان وزمان واحد أو في أمكنة وأزمنة مختلفة.

لإجابة هذا السؤال، دعنا نراجع مجتمعاً إسلامياً آخر يمتلك ثقافة مخالفة لثقافة الفلاسفة المسلمين، ثقافة الفارابي وابن سينا والطوسي. دعنا نراجع تراث المتكلمين المسلمين. فهؤلاء جماعة نشأت في القرن الثاني الهجري/ الثامن الميلادي انطلقوا بأفكار مخالفة للرؤية الأرسطية للعالم وتقاطعوا في رؤيتهم مع الرؤية اليونانية في خمسة مسائل أساسية: ففي حين كان اليونان يقولون بالاستمرارية

كان قد تم إنجازه في مدرسة مراغة من قبل مؤيد الدين العرضي ونصير الدين الطوسي وابن الشاطر الدمشقي. ويقول مؤرخا الفلك روبرت سواردلو وأوتو نيجي باور في كتابهما الرصين المعنون (الفلك الرياضي عند كوبرنيكوس) [20] إن النموذج القمري الذي طرحه كوبرنيكوس هو نسخة طبق الأصل لنموذج ابن الشاطر، وإن التقنيات المستخدمة في النموذج الحركي للكواكب الخارجية مطابقة لما قدمه العرضي وقطب الدين الشيرازي، في حين أن النموذج الحركي للكواكب الداخلية لم يكن صحيحاً وهو تحويل لنموذج ابن الشاطر. وقد أكد مثل هذا الكلام مؤرخ علم الفلك في جامعة كولومبيا الأمريكية جورج صليبا [17]. وقد أجرى الباحث الأمريكي ديفيد كنج [21] تحليلاً رياضياً تفصيلياً دقيقاً أكد فيه النتائج التي ذكرها سواردلو ونيجي باور نفسها.

والآن، نأتي إلى السؤال المهم: لماذا لم يكتشف الفلكيون المسلمون مركزية الشمس؟

إن القول بمركزية الشمس لنظام حركة العالم يحتاج إلى إحداث تحول جذري في التفكير أو ما يسمى اليوم "إنزياح القُدوة" Paradigm Shift. ذلك أن التحول من الاعتقاد الراسخ بمركزية الأرض إلى القول بمركزية الشمس ليس أمراً سهلاً. فالملاحظة الحسية اليومية تؤكد للناظر مركزية الأرض، كما أن التعاليم العقيدية المباشرة تبدو وكأنها تؤكد له جريان الشمس والقمر في أفلاكهما في السماء. ولعلنا لا نستغرب دور التعاليم الدينية حين نعلم أن مفتي المملكة العربية السعودية الشيخ عبدالعزيز بن باز كان قد كتب عام 1982 في مسألة جريان الشمس وسكون الأرض مقالاً أعاد نشره في كتيب بعنوان (الأدلة النقلية والحسية على جريان الشمس وسكون الأرض وإمكان الصعود إلى الكواكب)، وفي مقدمته يقول: "فإنه لما شاع بين الكثير من الكتاب والمدرسين والطلاب القول بأن الشمس ثابتة والأرض دائرية، كتبت في ذلك مقالاً يتضمن إنكار هذا القول وبيان شناعته وذكر بعض الأدلة النقلية والحسية على بطلانه وغلط قائله، وأوضحته فيه أن القول بثبوت الشمس وعدم جريانها كفر وضلال، ونشر هذا المقال في الصحف المحلية عام 1385هـ...". [22]. فإذا كان هذا هو موقف رجل متعلم وفقه ومرجع لأمة الإسلام في القرن العشرين، فما عسى أن يكون فهم الناس لمثل هذه المسائل؟ وما عسى أن يكون موقف أهل الدين والعقيدة قبل عشرة قرون من عصرنا هذا؟

5. تساءل أبو حامد الغزالي عما إذا كان العالم يمكن أن يكون أكبر مما هو عليه أو أصغر مما هو عليه، مجيزاً بالتالي توسع الكون وانكماشه ومخالفاً مصادرة أرسطو بثبات حجم العالم [26].

6. قال إبراهيم النظام بالطرفة في الحركة وأجاز الانتقال بالطفر [27] Teleportation.

7. اتفق المعتزلة والأشاعرة من المتكلمين على نفي الحتم السببي، واعتبروا حوادث العالم ممكنة لا واجبة [24].

بالتالي يمكن القول إن رؤية المتكلمين المسلمين والمنهجية العقلية المتجددة المخالفة للجدور الفكرية للعقل اليوناني هي التي كانت مرشحة لإحداث النقلة النوعية وتحقيق انزياح القدوة في العلوم الطبيعية ومنها علم الفلك. لكن انحسار المتكلمين وتحريم الاشتغال بعلم الكلام وبعد ذلك اختلاط الكلام بالفلسفة وانغلاق التفكير الديني بتعطيل الاجتهاد أدى إلى ضياع المسلك الذي ربما كان مؤهلاً لإحداث تلك النقلة التاريخية الكبرى، وأدى إلى الجمود على الظاهر من النص الذي يقرر أن الشمس هي المتحركة والأرض ساكنة، والذي يوحي على نحو متشابه وليس على نحو محكم بأن السماوات هي الأفلاك [9]، في حين أن الدارس الممحص للآيات المئة والتسعين التي وردت فيها مفردة السماوات ليكاد يقطع بأنها من المتشابه لعدم إمكانية الوقوف على مفهوم قطعي منها، بل هي جزء من الغيب.

الخلاصة والنتائج

حاولنا في هذا البحث الإجابة عن السؤال المهم: لماذا لم يكتشف المسلمون مركزية الشمس؟ وأوضحنا أن هذه القضية ليست من الأمور الواضحة بذاتها، بل هي مما يحتاج إلى استدلال وبرهان ليس في الأدلة المباشرة إمكانية الكشف عنه. ومن خلال استعراض أهم أعمال الفلكيين المسلمين خلال القرون التي عاشتها حضارة الإسلام، تبين لنا أنهم ومنذ وقت مبكر بدأوا بنقد النهج البطليمي في تصوير الحركة الكوكبية من خلال أعمال ابن الهيثم والبيروني وابن الشاطر الدمشقي. وخلال القرن الميلادي الثالث عشر وما بعده عالجوا مسألة الحركة الكوكبية على نحو جديد في إطار مبتكر هو الحركة الدولابية المتداخلة التي عبر عنها مزدوج الطوسي في أبسط أشكاله. إلا أن الذي ظهر أمامنا أن تلك المعالجة تمسكت بنهج أرسطو بقضيتين في آن واحد. الأولى افتراض مركزية الأرض في النظام الكوكبي، والثانية القول بضرورة أن تكون حركات الأجرام السماوية في مدارات دائرية مثالية. وهذا برأينا ما

في بنية المادة والمكان والزمان، قال المتكلمون بالتجزئة وذرية المادة والمكان والزمان. وفي حين قال اليونان بقدوم العالم وعدم وجود بداية له، قال المتكلمون المسلمون بحدوث العالم وضرورة وجود بداية له. وفي حين قال اليونان بالثبات والانتظام في أحوال العالم وأن لا جديد تحت الشمس، قال المتكلمون بالتغير الدائم والتجدد. وإذا كان اليونان يرون أن قوانين العالم وظواهره واجبة وحتمية، قال المتكلمون بأنها لا بد من أن تكون ممكنة وأن يكون وقوعها ذا طبيعة احتمالية جوازية في الأساس. وإذا كان اليونان يرون الزمان والمكان كيانيين مطلقين ومستقلين عن بعضهما، قال المتكلمون بتداخل الزمان والمكان ونسبيتهما [24]. وهكذا نرى أن المتكلمين كانوا عازمين على تحقيق انزياح القدوة إذ استعاضوا عن القدوة اليونانية بالقدوة الإسلامية، خلافاً للفلاسفة الفارابي وابن سينا وابن رشد الذين كانت رؤيتهم لفلسفة العالم تتبع الرؤية اليونانية شبراً بشبر وذراعاً بذراع.

وفي هذه العجالة نقدم بعض الأمثلة التي تؤكد أن المتكلمين كانوا قد حققوا بالفعل انزياح القدوة ليس في علوم الفلك بل على صعيد الفكر الفلسفي، وبقي عليهم أن ينتقلوا إلى ميدان العلوم الطبيعية لكي يزيحوا القدوة اليونانية ويحققوا النقلة النوعية. وعلى الرغم من أن الزمن لم يتح لهم المجال لتحقيق ذلك، فقد كان ذلك درساً علينا أن نتعلمه.

1. نفى أبو بكر الباقلاني (ت403هـ) أن يكون العالم مؤلفاً من العناصر الأربعة النار والتراب والهواء والماء [25].

وهذا أمر مهم، وفيه تهشيم للقدوة الأرسطية في فهم العالم؛ إذ كانت منهجية التحليل الطبيعي قائمة على القول بالعناصر الأربعة.

2. نقض الباقلاني أحكام التنجيم، ونفى أن يكون لها تأثير في الأشياء، مؤكداً أن الكواكب والشمس والقمر هي من جنس مادة الأرض تخضع لقوانينها [25].

3. نفى ابن حزم الأندلسي (ت 386 هـ) أن يكون الزمان والمكان مطلقين ومستقلين، وأكد بحجج عديدة أنهما متداخلان ونسبيان [9].

4. عارض أبو حامد الغزالي [26] قول جالينوس إن الشمس تكوين أثري لا يتغير ولا ينقص، مؤكداً أن الأرصاد ليست دقيقة في هذا الشأن، بل هي تقريبية، وربما نقصت الشمس من جرمها شيئاً دون أن نشعر بذلك.

ما أنجزه كبلر، ليجد أن هنالك مؤشرات (وليس أدلة قطعية الآن) على أن كوبرنيكوس استفاد بالضرورة من أعمال الفلكيين المسلمين [28].

أما بصدد تشخيص ما يحتمل أن يكون من الأسباب التي ساهمت في هذه العقبة التي لم يتمكن منها الفلكيون المسلمون، فإننا نرى أن هيمنة الفكر الأرسطي على الرؤية عند علماء الطبيعة المسلمين وهيمنة التفسيرات الدينية الموافقة إلى حد كبير لتلك الرؤية الأرسطية من جانب آخر قد خلقت حاجزاً معرفياً منع الفكر من تحقيق انزياح القدوة اللازم لإحداث النقلة النوعية في التفكير الفلكي. مثل هذه النقلة التي يرى الباحث أنها كانت كامنة في رؤية ومنهج المتكلمين المسلمين، على الرغم من أنهم لم يبلغوا أن يعالجوا المسائل الفلكية على نحو جدي قبل أن أجهضت حركتهم الفكرية لأسباب تاريخية وعقائدية معروفة.

دفع فلكي مدرسة مراغة لإلغاء التعاديل البطليمية والاستعاضة عنها بمزدوج الطوسي وتراكييه. لكننا من جانب آخر بينا أن ما قام به فلكيو مراغة، على الرغم من أنه قصر في إدراك حقيقة مركزية الشمس، فإنه أنجز خدمة كبيرة مكنت كوبرنيكوس من التوصل إلى نموذج القبول بمركزية الشمس. وهذه نقطة مهمة جداً؛ إذ لولا توفر كوبرنيكوس على آليات الطوسي وحلول ابن الشاطر، لم يكن بمقدوره تبرير الحركة الكوكبية بالأفلاك الدائرية بالقول بمركزية الشمس فقط، لأن ذلك كان سيعطيه حلولاً خرقاء مخالفة للأرصاء. بل كان على كوبرنيكوس عندئذ أن يقول بدلاً عن ذلك بالتعاديل، وهو ما لن يضيف إلى البنية الفلكية شيئاً جديداً، أو أن يكتشف أن مدارات الكواكب إهليلجية وليست دائرية مثالية. وهو ما لم يقدر على اكتشافه كوبرنيكوس بالتأكيد، بل كشفه كبلر من بعد. إن الدارس الممحص لأعمال وحسابات كوبرنيكوس، إذا ما قارنها مع

المراجع

- [1] Zeilik, M.A. and Gregory, S.A., "Introductory Astronomy & Astrophysics", 4th Edn., (Saunders College Publishing, 1998), p. 44.
- [2] Aristotle, "On the Heavens", (Create Space Independent Publishing Platform, 2014).
- [3] Ikhwan as-Safa, "Rasā'il Ikhwān as-safā'", The third letter of the mathematical part, (Dar Sadir, Beirut 1971), p. 35.
- [4] Hetherington, N.S. "Planetary Motions: A Historical Perspective". (Westport, Conn.: Greenwood Press, 2006), p. 28.
- [5] Altaie, M.B., "Astronomy and Calendars", First Edition, (al-Nafayes Publishing, Beirut, 2003).
- [6] Crowe, M.J., "Theories of the World from Antiquity to the Copernican Revolution", Second Revised Edition, (Dover Publication, INC., 2001), p. 65.
- [7] Al-Qafti, "Ikhbar al Ulama bi Akhyar al Hukama", edited by Ibrahim Shams al-Din, (Dar al-Kutub al-Ilmiyah, Beirut 2005), p. 201.
- [8] Ibn Khullakan, "Wafayat al-A'yaan wa Anba' al-Zaman", Vol.2, Edited by Ihsan Abbas, (Dar Sadir, Beirut, 1994), p.217.
- [9] Ibn Hazm, "al-Fisal Fi al-Milal wa al-Nihal", Edited by Imad al-Din Ahmad Hayder, (Dar al-Kutub al-Ilmiyah, Beirut 1978).
- [10] Ibn Arabi, Muhi al-Din, "Al-Futihat al-Makkiyah", Vol. 1, p.113; Vol. 3, p. 419, Vol.4, p. 55,. (Dar Sadir, Beirut, 1980).
- [11] Kennedy, E.S., Transactions of the American Philosophical Society, New Series, 46 (2) (1956) 123.
- [12] Abdul Latif, A.I., "Ibn al-Haytham the Geometer", (The Scientific Research Deanship, The University of Jordan, Amman, 1994).
- [13] Rashid, R., Arabic Sciences and Philosophy, 17 (2007) 7.
- [14] Bouali, H., Zghal, M. and Ben Lakhdar, Z., The Education and Training in Optics and Photonics Conference, (2005).
- [15] Al-Beruni, "India", 2nd Edn., (Alam al-Kutub, Beirut, 1993), p.205.
- [16] Ragep, F.J., Science in Context, 14 (1-2) (2001) 145.
- [17] Saliba, G., "Islamic Science and the Making of the European Renaissance", (Cambridge, MA: MIT Press, 2007), p.190.
- [18] Goldstein, B., Isis, 63 (1) (1972) 39.

- [19] Kren, C., *Isis*, 62 (4) (1971) 490.
- [20] Swerdlow, R. and Neugebauer, O., "Mathematical Astronomy in Copernicus's *de Revolutionibus*", (New York: Springer-Verlag, 1984).
- [21] Kennedy, E.S., "Studies in the Islamic Exact Sciences", (American University of Beirut, 1983).
- [22] Bin Baz, Shaykh Abdul Aziz, "The Narrated and Sensical Evidences for the Moving Sun and the Stationary Earth and the Possibility of Space Flights", 2nd Edn., (Al-Riyadh Bookshop, Al-Riyadh, Saudi Arabia, 1982), p.17.
- [23] Saliba, G., *Journal for the History of Astronomy*, 25 (1994) 115.
- [24] Altaie, M.B., "Daqiq al-Kalam: The Islamic Approach to Natural Philosophy", 2nd Edn., (KRM, UAE, 2018).
- [25] Al-Baqillani, Abu Bakr, "Tamheed al-Awael wa Talkhees al-Dalail", Edited by Imad al-Din Ahmad Haydar, (Muassasat al-Kutub al Thaqafiyah, Beirut), pp.57-59.
- [26] Al-Ghazali, Abu Hamid, "The Incoherence of the Philosophers", Edited by Michael Marmura, (Bigham Young University, 2000), pp. 48-49.
- [27] Al-Ashari, Abu al-Hasan, "Maqalat", Edited by Ritter, 3rd Edn., (Franz Schtaise, Wiesbaden Germany, 1980).
- [28] King, D.A, "Islamic Astronomy, in: Walker, Christopher, *Astronomy before the telescope*", (British Library Press, 1999), pp. 143-174.

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

دراسة نظرية لإمكانية الحصول على النظير المشع ^{13}N للتطبيقات الطبية باستخدام جهاز البلازما المحرقة الكثيفةDoi : <https://doi.org/10.47011/13.4.3>وليد مصطفى صهيوني^a، علاء عاطف ناصيف^b^a قسم الفيزياء، جامعة البعث، حمص، سوريا.^b كلية الهندسة، الجامعة الوطنية الخاصة، حماة، سوريا.

Received on: 27/2/2018;

Accepted on: 10/4/2018

الملخص: يهدف البحث إلى دراسة خصائص حزمة أيونات الديتيريوم الصادرة عن قبضة البلازما (Pinch) المتشكلة في جهاز البلازما المحرقة الكثيفة عند استخدام غاز الديتيريوم في عملية التشغيل باستخدام برنامج Lee الحاسوبي، ودراسة تفاعل حزمة الأيونات هذه مع هدف من الغرافيت لإحداث التفاعل (d,n) وإنتاج النظير المشع ^{13}N (الأمونيا). ثم حساب النشاط الإشعاعي للنظير المشع الناتج، وهل يحقق شروط استخدامه في التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Positron Emission Tomography PET)؟ وبالتالي استخدام هذه التقنية في إنتاج النظائر المشعة قصيرة الأجل (Short-lived Radioisotopes SLR) كبديل عن المسارعات. تم حساب النشاط الإشعاعي للنظير المشع ^{13}N عند أزمنة تعرض ومعدلات تكرار مختلفة. وتم الحصول على أعلى قيمة للنشاط الإشعاعي $55.79 \times 10^6 \text{ Bq}$ عند زمن تعرض مقداره 3000 sec ومعدل تكرار 16 Hz، وهذه القيمة أقل من القيمة المطلوبة لاستخدام النظير المشع ^{13}N في تقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Positron Emission Tomography PET)، وبالتالي، يجب البحث في زيادة طاقة الجهاز من أجل زيادة عدد وطاقات أيونات الديتيريوم الصادرة وبالتالي الحصول على نشاط إشعاعي أكبر.

الكلمات الدالة: جهاز البلازما المحرقة الكثيفة، برنامج Lee، النشاط الإشعاعي.

A Theoretical Study of the Possibility of Obtaining the Radioisotope ^{13}N for Medical Applications Using Dense Plasma Focus DeviceWalid Sahyouni^a and Alaa Nassif^b^a Physics Department, Al-Baath University, Homs, Syria.^b Faculty of Engineering, Al-Wataniya Private University, Hama, Syria.

Email: Alaa.nassif@wpu.edu.sy

Extended Abstract

The aim of this research is to study the possibility of obtaining the short-lived radioisotope ^{13}N by colliding with a deuterium ion beam emitted by an NX2 dense plasma focus device with a graphite target, as a technique alternative to the traditional technique for getting short-lived radioisotope (SLR) accelerators.

Lee code was used to study the properties of the plasma pinch, which is the source of deuterium ion beams. Then, a function of distributing the beam energy and stopping power was found within the graphite using SRIM program. The reaction cross-section was also found from an EXFOR database and the radiative yield of the reaction was calculated.

The radioactivity of ^{13}N was calculated and found to be equal to $A = 4.14 \times 10^3 \text{ Bq}$.

The effect of the change in deuterium gas pressure on the radioactivity was studied and it was found that the best value for the pressure is 3 Torr, where the number of deuterium ions is the greatest amounting to 3.12×10^{11} ions and thus the radioactivity increased to 5.616×10^3 Bq.

The effects of repetition rate of the studied dense plasma focus device and the exposure time of the graphite target to deuterium ions were studied. The radioactivity was calculated at repetition rates (1,5,10,16) Hz and exposure times (30,60,600) sec., where we noticed an increase in the value of radioactivity at a repetition rate of 16 Hz and an exposure time of 600 sec., reaching to 28791×10^3 Bq.

To obtain a radioactivity value for ^{13}N suitable for use in PET technique, the radioactivity value was calculated at high repetition rates (50,100,500) Hz and exposure times (30,60,600) sec. We obtained the value of radioactivity 527×10^6 Bq at a repetition rate of 500 Hz and an exposure time of 300 sec. and this value is suitable for use in PET technique. However, there are technical difficulties in the studied dense plasma focus device to obtain a high repetition rate of this value.

The radioactivity of ^{13}N was calculated at very high times of exposure of the graphite target to deuterium ions (1000, 1500, 2000, 2500, 3000) sec. at the repetition rates of the device studied. The highest radioactivity value obtained was 55.79×10^6 Bq at an exposure time of 3000 sec. and this value is less than the required value for the required use in PET technique.

Keywords: Dense plasma focus device NX2, Lee code, Radioactivity.

المقدمة

ازداد في السنوات الأخيرة الطلب على النظائر المشعة قصيرة العمر (SLR) (Short-lived radioisotopes) بشكل ملحوظ، وذلك لأهميتها في التطبيقات الطبية، وخصوصاً في الطب النووي وفي التشخيص الطبي من خلال التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Positron Emission Tomography PET)، ولكن هذه الزيادة في الطلب على استخدام هذه النظائر لم تترافق مع تطور تقنيات الإنتاج؛ إذ إن الطريقة التقليدية للحصول على هذه النظائر المشعة تتم من خلال قذف أهداف بحزم من الأيونات ضمن المسارعات (accelerators)، ولكن تكلفة هذه الطريقة في الإنتاج ضخمة جداً وتحتاج لأبنية خرسانية ضخمة للتدريع، واستخدام عدد كبير من العاملين، وتكلفة صيانة مرتفعة، كما أن هذه النظائر تتميز بعمر النصف القصير، وبالتالي يجب إنتاجها بالقرب من أماكن استخدامها وهذا يتطلب وجود المسارعات ضمن المستشفيات، وهذا أمر صعب التحقيق. كل هذه الأسباب دفعت للتفكير في البحث عن تقنيات إنتاج أخرى، وهنا تطرح أجهزة البلازما المحرقة الكثيفة (DPF) نفسها كطريقة بديلة محتملة لإنتاج هذه النظائر المشعة، وذلك نظراً لتكلفتها المنخفضة نسبياً مقارنة بالمسارعات، وعدم وجود نواتج إشعاعية ضارة [1].

تم إجراء العديد من الدراسات والأبحاث التجريبية والعديد من أجل دراسة إمكانية استخدام أجهزة البلازما المحرقة منخفضة الطاقة لإنتاج النظائر المشعة قصيرة العمر (SLR). فقد درس Bienkowska وآخرون [3]

تستخدم النظير المشع ^{13}N (الأمونيا) في عملية تصوير (PET) لتقييم عيوشية العضلة القلبية (تدفق الدم) عند تضيق الشرايين الإكليلية (artery disease)

الإشعاعي لهذا النظير والبحث في استخدامه في عملية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Positron Emission Tomography PET).

المواد المستخدمة: برنامج Lee الحاسوبي؛ قاعدة بيانات EXFOR؛ برنامج SRIM.

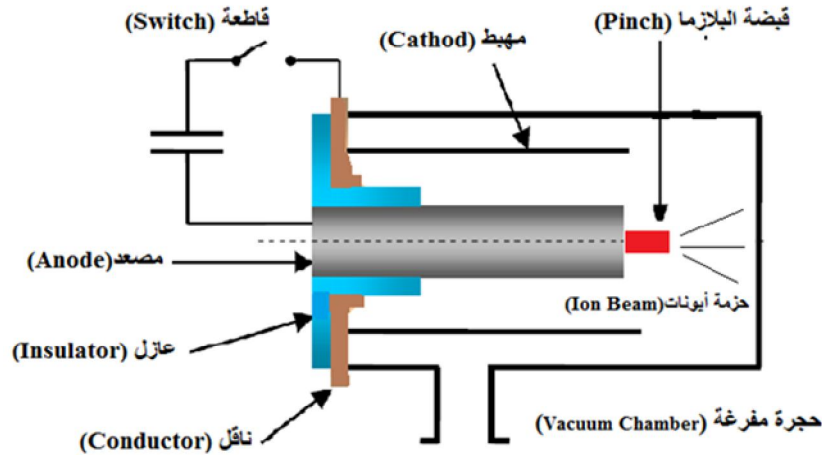
طرق البحث

آلية عمل جهاز البلازما المحرقة الكثيفة (Dense Plasma Focus DPF)

يتكون جهاز البلازما المحرقة الكثيفة (الشكل 1) من قطبين محوريين أسطوانيين معزولين كهربائياً من إحدى النهايات والنهاية الأخرى مفتوحة، وتوضع هذه المجموعة من الأقطاب ضمن حجرة مفرغة تحتوي على غاز تحت ضغط معين. عند إغلاق القاطعة، فإن كموناً من مرتبة عشرات kV يتم تطبيقه بين الأقطاب، حيث تنتقل الطاقة المخزنة كهربائياً في بنك المكثفات إلى الأقطاب وتتشكل طبقة من البلازما بينهما، وتتحرك هذه الطبقة محورياً بسبب قوة لورنتز ($J \times B$). وعند الوصول إلى نهاية الأقطاب تنهار هذه الطبقة قطعياً نحو محور المصعد حيث تنقبض (pinched) بسبب الحقول الكهروستاتيكية وتتشكل قبضة بلازما (Pinch) حارة وكثيفة، وتستمر هذه القبضة لمدة عشرات نانو ثانية ثم تنهار هذه القبضة بسبب لا استقرارات البلازما (لا استقرار من النوع Sausage $m = 0$) ويتولد نتيجة لذلك كمون عالٍ (هذا الكمون يكون أعلى بكثير من كمون بنك المكثفات المستخدم في عملية التشغيل). ولذلك تتسرع الإلكترونات باتجاه المصعد والأيونات بالاتجاه المعاكس، وهذه الآلية مشابهة لعمل الثنائي (diode) بسبب الاختلاف بين كتل الإلكترونات والأيونات [6].

إنتاج النظائر المشعة من جهاز البلازما المحرقة PF-150 (20 kJ) وحصلوا على نشاط إشعاعي $A=2.8 \times 10^4$ Bq. كما درس Roshan وآخرون [4] استعمال جهاز البلازما المحرقة NX2 (1.7 kJ) تجريبياً من أجل الحصول على النظير المشع ^{13}N وسجلوا أعلى نشاط إشعاعي 40 kBq وتوقعوا الحصول على نشاط يصل إلى 10 MBq عند استخدام معدل تكرار 16 Hz وفترة تعرض 600 sec. وأجرى Akeel وآخرون [5] سلسلة من التجارب العددية على جهاز البلازما المحرقة الكثيفة NX2 (1.7 kJ) باستخدام برنامج Lee وتوصلوا إلى نشاط إشعاعي مقداره 1.03 kBq عند معدل تكرار 1 Hz، و0.443 MBq عند معدل تكرار (1 Hz) وفترة تعرض 600 sec، ونشاط مقداره 4.5 MBq عند معدل تكرار 10 Hz، وفترة تعرض 600 sec، ونشاط مقداره 7.5 MBq عند معدل تكرار 16 Hz وفترة تعرض 600 sec. وتحقق Saed وآخرون [1] عددياً من إمكانية إنتاج النظير ^{13}N من أجهزة البلازما المحرقة الكثيفة وتوصلوا إلى نشاط إشعاعي مقداره 0.2 MBq عند معدل تكرار 1 Hz وفترة تعرض 600 sec، وارتفع هذا النشاط إلى 4 MBq عند معدل تكرار 16 Hz.

سنقوم في هذه الدراسة بالبحث عن إمكانية الحصول على النظير المشع ^{13}N بواسطة جهاز البلازما المحرقة الكثيفة NX2 من خلال اصطدام حزم الديترونات الناتجة عن انهيار قبضة البلازما عند استخدام غاز الديتيريوم، وتسريع هذه الأيونات بالكمون الناتج بعد الانهيار بهدف من الغرافيت وحدوث التفاعل $^{13}\text{N}(d,n)^{12}\text{C}$ ؛ إذ إن هذا التفاعل هام للغاية بسبب طاقة العتبة المنخفضة (0.6 MeV) والمقطع العرضي الكبير (240 mbarns) [5] وتوافر أهداف الكربون، ومن ثم حساب النشاط

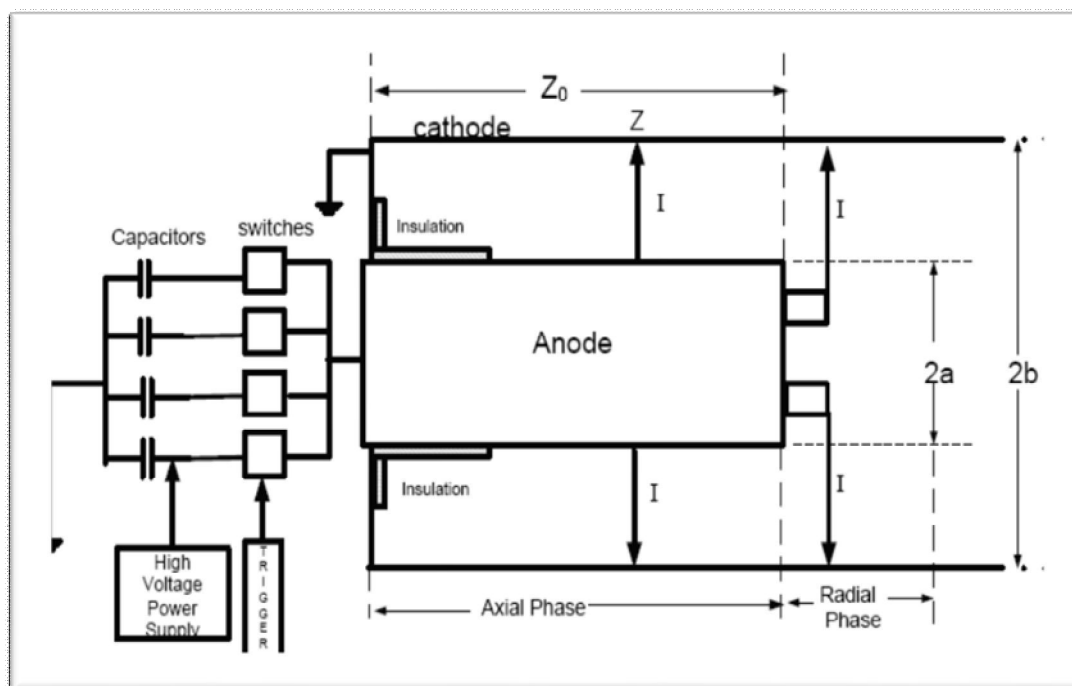


الشكل 1. مخطط لجهاز البلازما المحرقة الكثيفة وتشكل قبضة البلازما (Pinch).

وحيدة، بينما يعمل جهاز NX2 بمجموعة من المكثفات مرتبة بشكل متوازٍ لتقليل التحريض الكهربائي الساكن (الضائع) L_0 في الدارة الخارجية إلى أقل من 15nH . وتستخدم مجموعة من 12 مكثفة سعة كل منها $0.6\mu\text{F}$ مرتبة كما في الشكل (2). يعمل هذا الجهاز بتردد تكراري مقداره 16 Hz . ويُنتج تيار تفريغ تبلغ ذروته 400 kA عند كمون تشغيل مقداره 11.5 kV . وبسبب التردد العالي في جهاز NX2، فإن أقطاب الستاتلس ستيل تحتاج لتبريد بالماء لتجنب التسخين الزائد [7].

جهاز البلازما المحرقة الكثيفة NX2

تقوم دراستنا على إجراء سلسلة من التجارب العددية على جهاز البلازما المحرقة الكثيفة NX2؛ الذي هو عبارة عن جهاز بلازما محرقة مركّز (compact plasma focus (CPF) يعمل أساساً باستخدام غاز النيون من أجل توليد SXR، ولكن يمكن استعمال غازات أخرى منها غاز الديتيريوم. آلية عمل هذا الجهاز مشابهة لأجهزة البلازما المحرقة التقليدية ضمن مرحلتين شعاعية ومحورية، ولكن ما يميزه من الناحية التقنية هو الاختلاف في بنك المكثفات، حيث تعمل الأجهزة التقليدية بمكثفة



الشكل 2. مخطط جهاز البلازما المحرقة الكثيفة (NX2).

للديترونات بعين الاعتبار، فإنه يمكن كتابة تابع توزيع الطاقة بالعلاقة:

$$f(E) = \frac{dN_i}{dE} = C.E^{-m} \quad (2)$$

وهنا تجدر ملاحظة أن طيف الديترونات الساقطة على الهدف يختلف عن طيف الديترونات الصادرة عن قبضة البلازما لسببين: الأول أن طيف الطاقة يعتمد على زاوية إصدار الديترونات، وذلك حسب آلية التسريع وهذه الآلية توجد عدة نماذج مقترحة لتفسيرها، والثاني هو تفاعل الديترونات مع الغاز المتبقي ضمن حجرة التفريغ، وهذا يقلل من طاقتها، ولكن هذا الانخفاض في الطاقة قليل جداً، ولذلك يمكن إهماله في حساباتنا. فقد وجد مثلاً أنه

إيجاد تابع توزيع الطاقة لأيونات الديتيريوم

تمت دراسة خصائص حزم الأيونات عالية الطاقة الصادرة عن أجهزة البلازما المحرقة في العديد من التجارب، ووجد أن الطيف الأيوني يعتمد على طاقة الأيون من خلال قانون تناقص الطاقة:

$$\frac{dN_i}{dE_i} \propto E_i^{-m} \quad (1)$$

حيث N_i عدد الديترونات الساقطة على الهدف، والأس m يقع ضمن المجال (2-9) وهو يعتمد على مجال الطاقة المدروس [8]. وبأخذ قانون توزيع الطاقة

$$\langle y \rangle = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} \cdot \left[\frac{1-m}{E_{\max}^{1-m} - E_{\min}^{1-m}} \right] \cdot \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} n \cdot \frac{E^{-m} \cdot \sigma(E)}{dE} \cdot dE. \quad (5)$$

حيث: Ω_1 الزاوية المجسمة للمنبع (القبضة)، Ω_2 الزاوية المجسمة للهدف. n كثافة هدف الغرافيت $(n = 1.129 \times 10^{29} \text{ m}^{-3})$. قدرة الإيقاف لهدف الغرافيت. $\sigma(E)$ المقطع العرضي التجريبي للتفاعل $^{12}\text{C}(\text{d}, \text{n})^{13}\text{N}$.

$$\frac{dE}{dx} \text{ إيجاد قدرة الإيقاف}$$

يتم حساب قدرة الإيقاف للديتيريوم في مادة الهدف وفق علاقة (Bethe) التالية [11]:

$$\frac{dE}{dx} (\text{MeV}/\text{m}) = \frac{4\pi z^2 n Z}{m^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \left(\ln \left[\frac{2mv^2}{I} \right] \right). \quad (6)$$

حيث: z شحنة الديتيريوم ($z=1$), n عدد الذرات في وحدة الحجم (atom/m^3) لمادة الهدف. Z العدد الذري لمادة الهدف، m كتلة الإلكترون. v سرعة الجسيمة الواردة، e شحنة الإلكترون، ϵ_0 سماحية الخلاء. I متوسط طاقة الإثارة والتأين للمادة الماصة، ويتم تحديد هذا المقدار تجريبياً لكل مادة. وبالنسبة للغرافيت موضوع الدراسة، فإن ($I = 73.8 \text{ eV}$).

نستخدم برنامج 2013 SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) [12] لإيجاد قدرة الإيقاف لأيونات الديتيريوم ذات الطاقة ($0.6 - 3 \text{ MeV}$) ضمن هدف الغرافيت، وقد تم الحصول على القيم المبينة في الجدول (1).

برسم تغيرات قدرة الإيقاف ضمن الغرافيت مع طاقة أيونات الديتيريوم الواردة، نحصل على الشكل (3)، ثم نرسم منحني المطابقة ونحصل على العلاقة التي تعطي قدرة الإيقاف كما يلي:

$$\frac{dE}{dx} = 51458 E^{-0.687} \quad (7)$$

من أجل ديترونات ذات طاقة (400 keV) تعبر مسافة (20 cm) من غاز الديتيريوم بضغط (3 Torr)، فإن فقدان الطاقة كان بحدود (6 keV)، وهذا قليل جداً مقارنة مع الطاقة الكلية للديترونات [9,8]. وبإجراء التكامل:

$$dN_i = C E^{-m} dE \Rightarrow$$

$$N_i = \int_0^{N_i} dN_i = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} C E^{-m} dE \Rightarrow N_i = \left[C \frac{E^{1-m}}{1-m} \right]_{E_{\min}}^{E_{\max}}$$

نوجد قيمة الثابت C :

$$\Rightarrow C = N_i \cdot \left[\frac{1-m}{E_{\max}^{1-m} - E_{\min}^{1-m}} \right], \quad (3)$$

وبالتعويض في علاقة $f(E)$ ، نحصل على:

$$f(E) = N_i \cdot \left[\frac{1-m}{E_{\max}^{1-m} - E_{\min}^{1-m}} \right] \cdot E^{-m} \quad (4)$$

المردود الإشعاعي للتفاعل

يعرف المردود الإشعاعي بأنه احتمال التفاعل لديترون واحد يعبر هدفاً سميكاً في تجارب إنتاج النظائر المشعة بحيث تكون سماكة الهدف أكبر بكثير من مسافة اختراق الأيون، ولذلك يجب حساب مردود الهدف. عندما يخترق أيون وارد طاقته (E) مسافة صغيرة (dx) ضمن الهدف، فإن طاقته تنخفض بمقدار ($E - dE$)، وهذا يؤدي إلى تغيير في المقطع العرضي للتفاعل ($\sigma(E)$) وقدرة الإيقاف ($\frac{dE}{dx}$) الذين يعتمدان على طاقة الديترون الوارد [10].

إن احتمال التفاعل لديترون واحد يعبر مسافة (dx) ضمن الهدف يمكن استنتاجه من المقطع العرضي: $P_{dx} = n \cdot \sigma(E) \cdot dx$ حيث n كثافة الهدف، و $\sigma(E)$ المقطع العرضي للتفاعل.

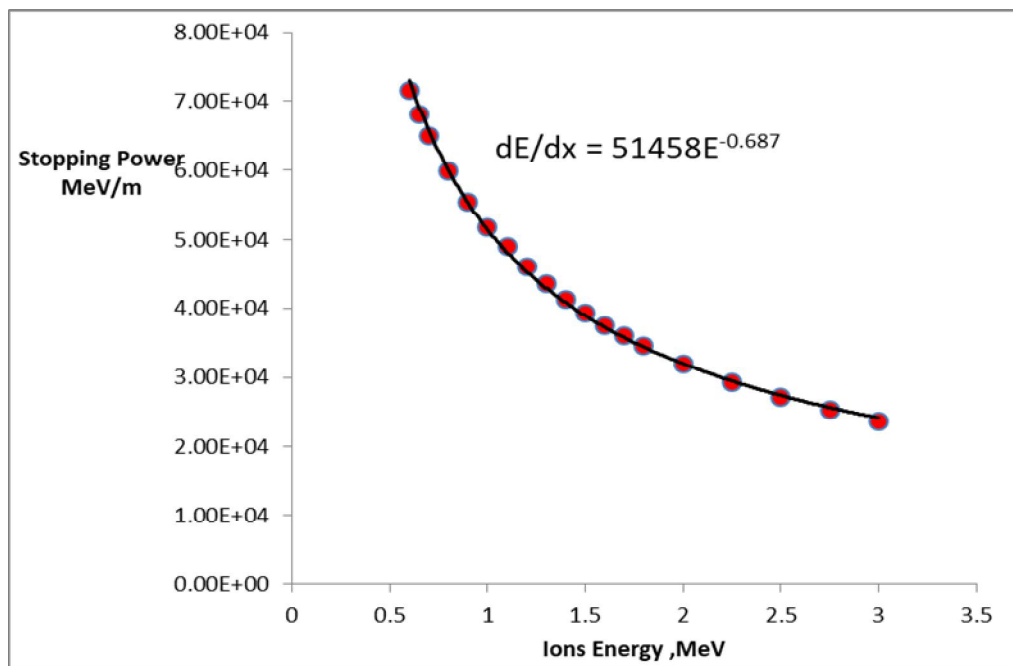
وعند عبور الديترون هدفاً سميكاً نحصل على:

$$P = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} n \cdot \sigma(E) \cdot \left(\frac{dE}{dx} \right)^{-1} \cdot dE$$

حيث (P) هو احتمال التفاعل لديترون واحد طاقته (E_d) يعبر هدفاً سميكاً، ومن أجل العدد الكلي للتفاعلات، يصح المردود الإشعاعي للتفاعل معطى بالعلاقة:

الجدول 1. قيم قدرة الإيقاف مع تغير طاقة أيونات الديتيريوم.

| قدرة الإيقاف (MeV/m) (Stopping Power) | طاقة أيونات الديتيريوم (MeV) (Ions Energy) |
|--|---|
| 7.16E+04 | 0.6 |
| 6.81E+04 | 0.65 |
| 6.50E+04 | 0.7 |
| 5.98E+04 | 0.8 |
| 5.55E+04 | 0.9 |
| 5.19E+04 | 1 |
| 4.90E+04 | 1.1 |
| 4.61E+04 | 1.2 |
| 4.36E+04 | 1.3 |
| 4.13E+04 | 1.4 |
| 3.94E+04 | 1.5 |
| 3.76E+04 | 1.6 |
| 3.60E+04 | 1.7 |
| 3.45E+04 | 1.8 |
| 3.20E+04 | 2 |
| 2.94E+04 | 2.25 |
| 2.71E+04 | 2.5 |
| 2.53E+04 | 2.75 |
| 2.37E+04 | 3 |

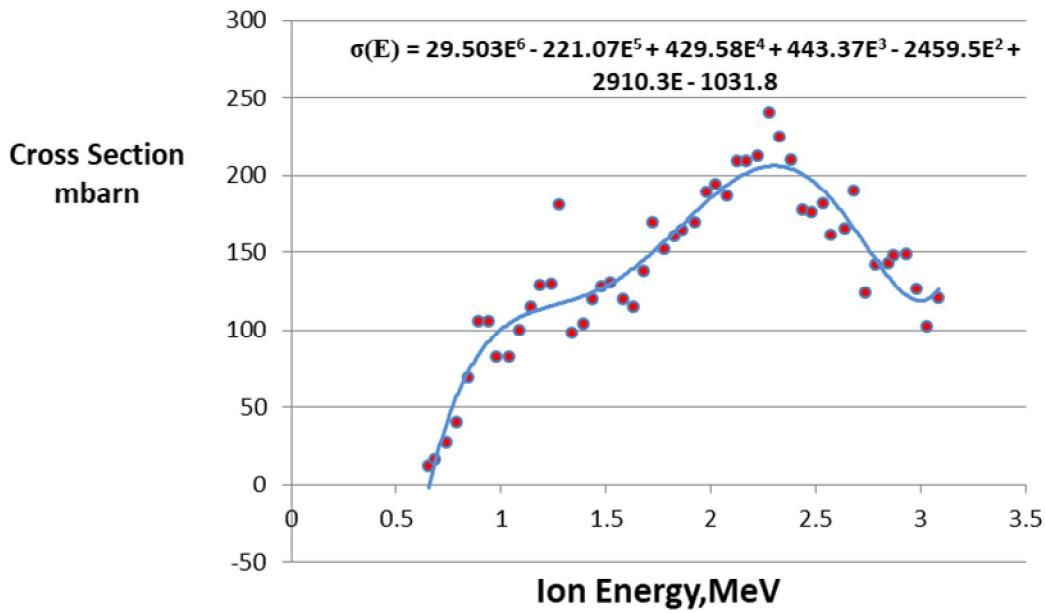


الشكل 3. قدرة الإيقاف لأيونات الديتيريوم ضمن هدف الغرافيت مع منحنى المطابقة.

إيجاد المقطع العرضي للتفاعل $\sigma(E)$ من قاعدة بيانات EXFOR لإيجاد المقطع العرضي للتفاعل $^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})^{13}\text{N}$ [13] ضمن مجال الطاقة $(0.6 - 3\text{MeV})$ ، ثم إجراء عملية المطابقة للقيم.

الجدول 2. قيم المقطع العرضي مع تغير طاقة أيونات الديتيريوم.

| المقطع العرضي (Cross-section) (mbarn) | طاقة أيونات الديتيريوم (MeV) (Ions Energy) |
|--|---|
| 12.37 | 0.6542 |
| 15.72 | 0.6869 |
| 27.16 | 0.7385 |
| 39.95 | 0.7902 |
| 105 | 0.8943 |
| 82.34 | 0.9825 |
| 82.29 | 1.043 |
| 99.81 | 1.09 |
| 114.3 | 1.142 |
| 128.8 | 1.189 |
| 129.7 | 1.245 |
| 181 | 1.279 |
| 97.59 | 1.338 |
| 119.8 | 1.436 |
| 127.9 | 1.478 |
| 130.2 | 1.525 |
| 119.3 | 1.586 |
| 114.6 | 1.632 |
| 137.5 | 1.679 |
| 169.2 | 1.727 |
| 151.3 | 1.778 |
| 160 | 1.829 |
| 163.7 | 1.867 |
| 189.3 | 1.979 |
| 193.9 | 2.026 |
| 186.5 | 2.077 |
| 208.7 | 2.129 |
| 211.7 | 2.227 |
| 240 | 2.279 |
| 224.4 | 2.33 |
| 209.2 | 2.381 |
| 177.1 | 2.436 |
| 176 | 2.483 |
| 181.4 | 2.534 |
| 160.8 | 2.576 |
| 165.1 | 2.641 |
| 189.7 | 2.684 |
| 123.2 | 2.739 |
| 142 | 2.786 |
| 142.3 | 2.846 |
| 147.7 | 2.875 |
| 125.7 | 2.981 |
| 119.9 | 3.084 |



الشكل 4. منحنى مطابقة القيم التجريبية للمقطع العرضي للتفاعل.

بفرض: $\theta_1 = 25^\circ = 0.436 \text{ rad}$ ، بالتالي:

$$\Omega_1 = 2\pi(1 - \cos 0.436) = 0.587 \text{ sr}$$

2- زاوية السقوط: يسقط جزء من الأيونات الصادرة على هدف الغرافيت، وتتناسب هذه الزاوية مع مساحة السطح، وهي تعطى بالعلاقة:

$$\Omega_2 = \pi \cdot \theta_2 = \pi \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (10)$$

حيث r نصف قطر المنبع، R البعد بين الهدف والمنبع (القبضة).

بفرض $R = 20 \text{ cm}$ ، $r = 1 \text{ cm}$ ، وبالتعويض:

$$\Omega_2 = \pi \cdot \left(\frac{1}{20}\right)^2 = 0.0078 \text{ sr}$$

برسم تغيرات المقطع العرضي للتفاعل مع طاقة أيونات الديتيريوم نحصل على الشكل (4)، وبرسم منحنى المطابقة نحصل على العلاقة التي تعطي المقطع العرضي:

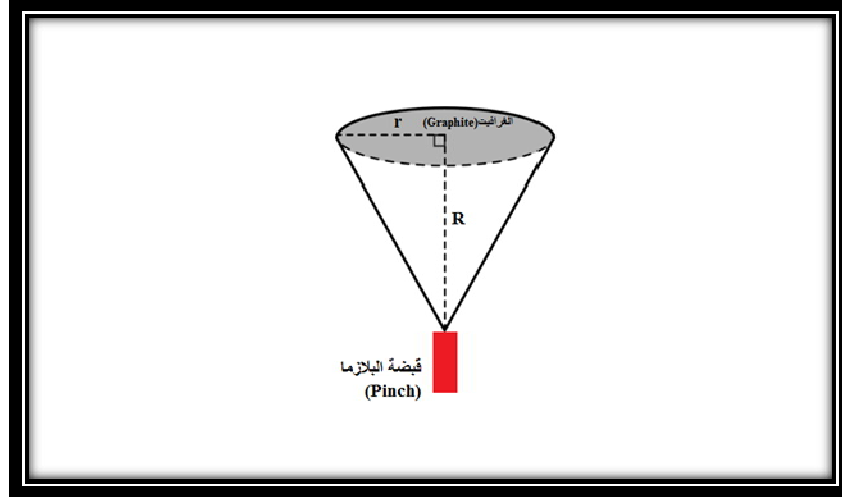
$$\sigma(E) = 29.503E^6 - 221.07E^5 + 429.58E^4 + 443.37E^3 - 2459.5E^2 + 2910.3E - 1031.8 \quad (8)$$

حساب زوايا الإصدار والسقوط

توجد في هذه الدراسة زاويتان يجب حسابهما: الأولى هي زاوية إصدار الأيونات من القبضة، والثانية هي زاوية سقوط الأيونات على الهدف، كما هو موضح في الشكل (5).

1- زاوية الإصدار: تصدر أيونات الديتيريوم على شكل مخروط رأسه يقع على القبضة وقاعدته تقع على الهدف. وتعطى الزاوية المجسمة للمخروط بالعلاقة:

$$\Omega_1 = 2\pi(1 - \cos \theta_1) \quad (9)$$



الشكل 5. زاوية إصدار وسقوط أيونات الديتيريوم على هدف الغرافيت.

حيث m_e كتلة الإلكترون، m_i كتلة الأيون، J_0 كثافة التيار الكلي.

ويمكن حساب كثافة التيار الكلي من علاقة (Langmuir-Child) التالية:

$$J_0 = \frac{\sqrt{2}}{9\pi} \cdot \left(\frac{e}{m_e}\right)^{1/2} \cdot \frac{\phi^{3/2}}{d^2} \quad (14)$$

حيث: ϕ الكمون المتحرض من قبضة البلازما، d طول قبضة البلازما. وبالتالي يكون تيار الأيونات:

$$I_i = J_i \cdot \pi r^2$$

حيث: r نصف قطر قبضة البلازما.

بالتعويض، نجد:

$$I_i = 0.29 \left(\frac{e}{m_i}\right)^{1/2} \cdot \phi^{3/2} \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^{1/2} \quad (15)$$

ويكون عدد الأيونات:

$$N_d = 1.39 \times 10^{12} \phi^{3/2} \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^{1/2} \cdot \tau \quad (16)$$

استخدام برنامج Lee

سنستخدم برنامج Lee - الإصدار (RADPFV5.15FIB) [14] لتنفيذ تجارب عديدة على جهاز البلازما المحرقة NX2 من أجل حساب مميزات قبضة البلازما المتشكلة عند استخدام غاز الديتيريوم كغاز للتشغيل وفق المعطيات التالية [15]:

الآن يمكن حساب مردود التفاعل بتعويض القيم التي تم الحصول عليها وإجراء التكامل، وبذلك نحصل على قيمة المردود: $\langle y \rangle = 1.565 \times 10^{-5}$.

النشاط الإشعاعي

يعطى النشاط الإشعاعي بالعلاقة:

$$A = N_d \cdot \langle y \rangle \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (11)$$

حيث: N_d عدد أيونات الديتيريوم الساقطة على الهدف. $T_{1/2}$ عمر النصف للنظير المشع ^{13}N :

$$T_{1/2} = 9.97 \text{ min} \approx 600 \text{ sec}.$$

حساب عدد الأيونات الساقطة على هدف الغرافيت

يعطى العدد الكلي لأيونات الديتيريوم الساقطة على الهدف بالعلاقة [10]:

$$N_d = \frac{\tau}{e} I_i \quad (12)$$

حيث: I_i تيار الأيونات، τ زمن تشكل القبضة (زمن إصدار الأيونات)، e شحنة الإلكترون.

بافتراض أن آلية التسريع هي تشكل ثنائي بلازما (Diode) ضمن عمود البلازما حيث يتألف من منطقتين لهما ناقلية مرتفعة وبينهما منطقة ذات ناقلية منخفضة (فجوة تسريع)، فإن كثافة تيار الأيونات تعطى بالعلاقة:

$$J_i = 1.86 \cdot \left(\frac{m_e}{m_i}\right)^{1/2} \cdot J_0 \quad (13)$$

الكُمون المتولد عن انهيار القبضة:

$$U = 65kV = 65 \times 10^3 V$$

النتائج

بالتعويض نحصل على عدد أيونات الديتيريوم المقذوفة من خلال القبضة والساقطة على الهدف:

$$N_d = 2.3 \times 10^{11} \text{ ions}$$

وبالتالي يكون النشاط الإشعاعي:

$$A = 2.3 \times 10^{11} \times 1.565 \times 10^{-5} \times \frac{0.693}{600} \\ = 4.14 \times 10^3 Bq$$

سنقوم الآن بدراسة العوامل المؤثرة على النشاط الإشعاعي.

تأثير تغير ضغط غاز الديتيريوم على النشاط الإشعاعي

تم إيجاد مميزات قبضة البلازما عند ضغوط مختلفة لغاز الديتيريوم، ثم حساب النشاط الإشعاعي عند كل قيمة للضغط. وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (3).

I. بارامترات بنك المكثفات: التحريض $L_0 = 20 \text{ nH}$,

السعة $C_0 = 28 \mu F$ ، المقاومة الداخلية $r_0 = 2.3 \text{ m}\Omega$.

II. بارامترات أنبوب البلازما المحرقة: نصف قطر المهبط

$b = 4.1 \text{ cm}$ ، نصف قطر المصعد $a = 1.9 \text{ cm}$ ، طول

المصعد $z_0 = 5 \text{ cm}$.

III. بارامترات التشغيل: الجهد المطبق $V_0 = 14 \text{ kV}$ ،

الضغط $P_0 = 10 \text{ Torr}$.

IV. بارامترات النموذج: عامل الكتلة في المرحلة المحورية

$f_m = 0.06$ ، عامل التيار في المرحلة المحورية $f_c = 0.7$ ،

عامل الكتلة في المرحلة القطرية $f_{mr} = 0.16$ ، عامل التيار

في المرحلة القطرية $f_{cr} = 0.7$.

من برنامج Lee، وبعد إدخال المعطيات السابقة، تم

الحصول على البيانات التالية:

نصف قطر القبضة:

$$r_p = 0.313 \text{ cm} = 0.313 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$z_p = 2.802 \text{ cm} = 2.802 \times 10^{-2} \text{ m} \quad \text{طول القبضة:}$$

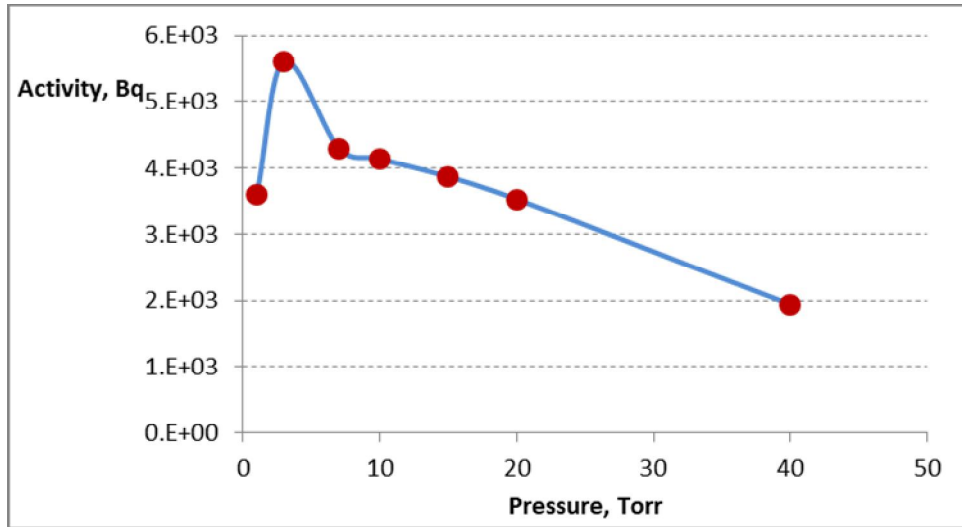
$$\tau = 30 \text{ ns} = 30 \times 10^{-9} \text{ s} \quad \text{زمن بقاء القبضة:}$$

الجدول 3. تغير مميزات قبضة البلازما وعدد الأيونات والنشاط الإشعاعي مع تغير ضغط غاز الديتيريوم.

| $P(\text{Torr})$ | $r_p(\text{cm})$ | $d(\text{cm})$ | $\phi(\text{kV})$ | $\tau(\text{ns})$ | $N_d(\text{ions})$ | $A(\text{Bq})$ |
|------------------|------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | 0.300 | 2.806 | 102 | 13.5 | 1.99×10^{11} | 3.59×10^3 |
| 3 | 0.303 | 2.805 | 89 | 19.1 | 3.12×10^{11} | 5.616×10^3 |
| 7 | 0.309 | 2.802 | 74 | 25.8 | 2.39×10^{11} | 4.302×10^3 |
| 10 | 0.313 | 2.802 | 65 | 30 | 2.30×10^{11} | 4.14×10^3 |
| 15 | 0.321 | 2.803 | 54 | 36.5 | 2.15×10^{11} | 3.87×10^3 |
| 20 | 0.332 | 2.800 | 45 | 43 | 1.96×10^{11} | 3.528×10^3 |
| 40 | 0.403 | 2.797 | 19 | 78.4 | 1.08×10^{11} | 1.944×10^3 |

وبرسم تغيرات النشاط الإشعاعي مع ضغط غاز

الديتيريوم، نحصل على الشكل (6).



الشكل 6. تغيرات النشاط الإشعاعي مع ضغط غاز الديتيريوم.

$$A = N_d \cdot \langle y \rangle \cdot v \cdot \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} \right)$$

حيث t زمن تشغيل الجهاز، v تواتر الاطلاقات.

قمنا بحساب النشاط الإشعاعي عند أزمنة تعرّض مختلفة (30,60,300,600 sec.) ومعدلات تكرار مختلفة (1,5,10,16 Hz) وحصلنا على النتائج المبينة في الجدول (4):

نلاحظ أن للنشاط الإشعاعي قيمة عظمى عند الضغط (3Torr)، وهذا يعود لأن عدد أيونات الديتيريوم يكون أعظمياً عند هذه القيمة للضغط.

دراسة تغير النشاط الإشعاعي مع معدل التكرار

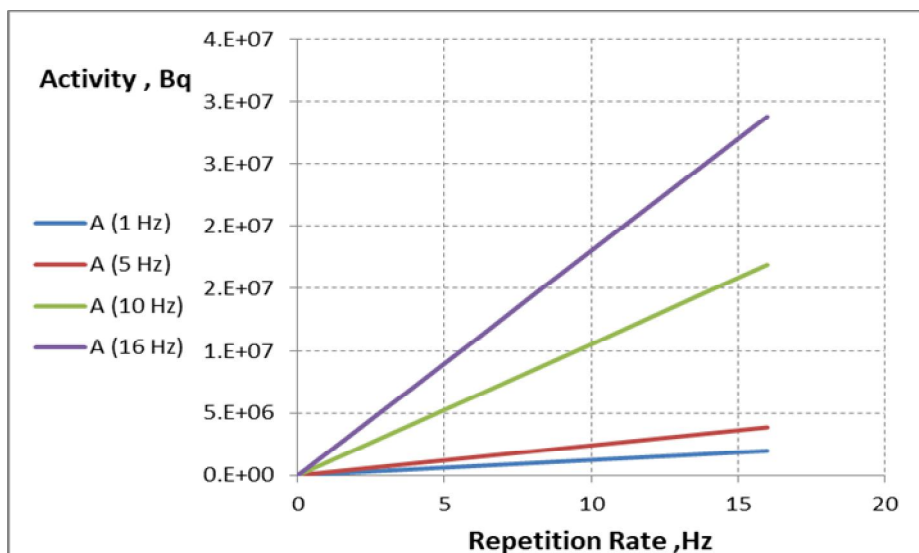
تمت دراسة تأثير معدل التكرار (عدد الإطلاقات في واحدة الزمن) على كمية النشاط الإشعاعي الذي تم الحصول عليه، وذلك عند معدلات تكرار $1,5,10,16\text{Hz}$ مع زمن تعرّض لأيونات الديتيريوم على هدف الغرافيت $(30,60,300,600)\text{sec}$ ، وحساب المردود عند كل زمن وفق العلاقة:

الجدول 4. تغير النشاط الإشعاعي مع تغير زمن التعرّض ومعدل التكرار.

| $v(\text{Hz})$ | $t = 30\text{sec}$ | $t = 60\text{sec}$ | $t = 300\text{sec}$ | $t = 600\text{sec}$ |
|----------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | $A(\text{Bq})$ | $A(\text{Bq})$ | $A(\text{Bq})$ | $A(\text{Bq})$ |
| 1 | 122×10^3 | 240×10^3 | 1054×10^3 | 1799×10^3 |
| 5 | 612×10^3 | 1204×10^3 | 5270×10^3 | 8997×10^3 |
| 10 | 1225×10^3 | 2409×10^3 | 10540×10^3 | 17994×10^3 |
| 16 | 1961×10^3 | 3855×10^3 | 16865×10^3 | 28791×10^3 |

التكرار إلى 16Hz ضمن نفس الفترة الزمنية، فإن النشاط الإشعاعي ارتفع إلى $28.791 \times 10^6\text{Bq}$ ، وهذا يدل على أن معدل التكرار عامل هام جداً من أجل زيادة النشاط الإشعاعي.

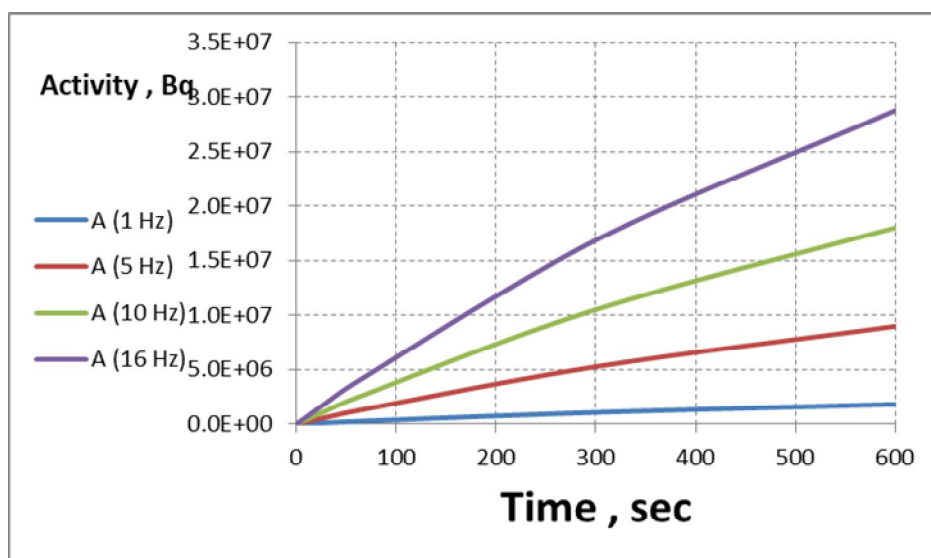
وبإجراء دراسة لتغيرات النشاط الإشعاعي مع تغير معدل التكرار، نلاحظ أنه مع ازدياد معدل التكرار، فإن النشاط الإشعاعي يزداد أيضاً. ويلاحظ من الشكل (7) أنه عند معدل تكرار 1Hz لفترة زمنية 600sec (فترة زمنية مساوية لعمر النصف للنظير المدروس)، كان النشاط الإشعاعي $1.799 \times 10^6\text{Bq}$ ، بينما عند زيادة معدل



الشكل 7. تغيرات النشاط الإشعاعي مع معدل التكرار.

كما تمت دراسة تغيرات النشاط الإشعاعي مع زمن الإطلاق، ونلاحظ أيضاً زيادة النشاط مع زيادة زمن الإطلاق؛ فمن أجل معدل تكرار $(\nu = 10 \text{ Hz})$ ولفترة تعرض $(t = 30 \text{ sec.})$ كان النشاط الإشعاعي $(A = 1.225 \times 10^6 \text{ Bq})$ وعند زيادة فترة التعرض إلى $(t = 600 \text{ sec.})$ ازداد النشاط الإشعاعي إلى $(A = 17.994 \times 10^6 \text{ Bq})$ ، وبالتالي فإن زمن التعرض هو أيضاً عامل مؤثر على النشاط الإشعاعي.

كما تمت دراسة تغيرات النشاط الإشعاعي مع زمن الإطلاق، ونلاحظ أيضاً زيادة النشاط مع زيادة زمن الإطلاق؛ فمن أجل معدل تكرار $(\nu = 10 \text{ Hz})$ ولفترة تعرض $(t = 30 \text{ sec.})$ كان النشاط الإشعاعي $(A = 1.225 \times 10^6 \text{ Bq})$ وعند زيادة فترة التعرض إلى $(t = 600 \text{ sec.})$ ازداد النشاط الإشعاعي إلى $(A = 17.994 \times 10^6 \text{ Bq})$ ، وبالتالي فإن زمن التعرض هو أيضاً عامل مؤثر على النشاط الإشعاعي.



الشكل 8. تغيرات النشاط الإشعاعي مع زمن التعرض.

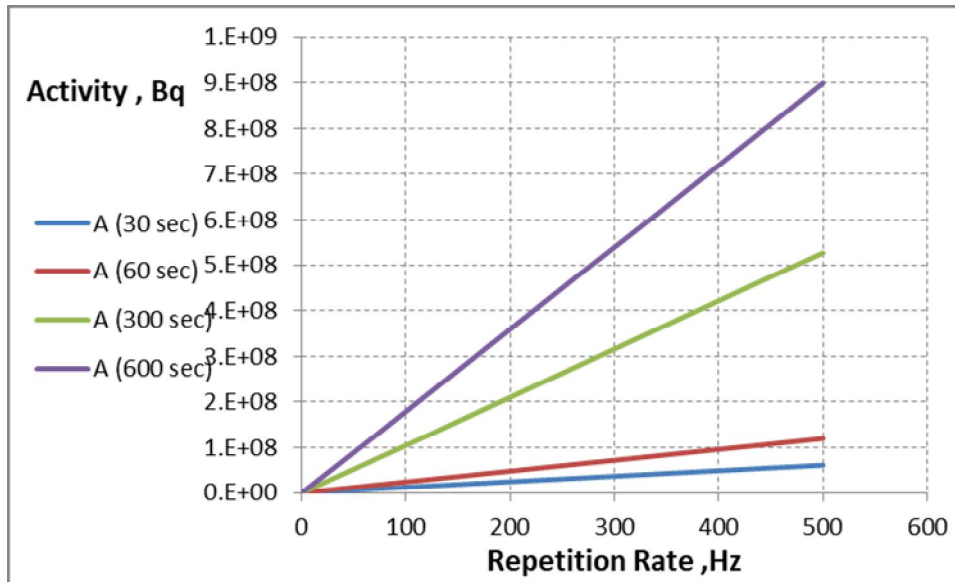
وبما أنه قد تبين لنا أن زيادة معدل التكرار تزيد من النشاط الإشعاعي، فإننا سنقوم بحساب النشاط الإشعاعي عند معدلات تكرار أعلى $(50, 100, 500 \text{ Hz})$.

تم إجراء حساب لقيمة النشاط الإشعاعي عند معدلات تكرار عالية، وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (5).

عند دراسة استخدام النظير المشع ^{13}N (الأمونيا) في عملية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) لعضلة القلب وفق الدراسة [2]، فإن النشاط الإشعاعي يجب أن يكون بحدود $(10 - 20 \text{ mCi})$ ؛ أي $(370 \times 10^6 \text{ Bq} - 740 \times 10^6 \text{ Bq})$ ، وهذا المجال أكبر بكثير من القيمة التي تم الحصول عليها $(28.791 \times 10^6 \text{ Bq})$ عند معدل تكرار $(\nu = 16 \text{ Hz})$.

الجدول 5. تغيّر النشاط الإشعاعي عند معدلات تكرار مرتفعة.

| $\nu = 50\text{Hz}$ | | $\nu = 100\text{Hz}$ | | $\nu = 500\text{Hz}$ | |
|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $T(\text{sec})$ | $A(\text{Bq})$ | $T(\text{sec})$ | $A(\text{Bq})$ | $T(\text{sec})$ | $A(\text{Bq})$ |
| 30 | 6.12×10^6 | 30 | 12.25×10^6 | 30 | 61.29×10^6 |
| 60 | 12.04×10^6 | 60 | 24.09×10^6 | 60 | 120.49×10^6 |
| 300 | 52.70×10^6 | 300 | 105.40×10^6 | 300 | 527.04×10^6 |
| 600 | 89.97×10^6 | 600 | 179.94×10^6 | 600 | 899.74×10^6 |



الشكل 9. تغيرات النشاط الإشعاعي مع معدلات تكرار مرتفعة.

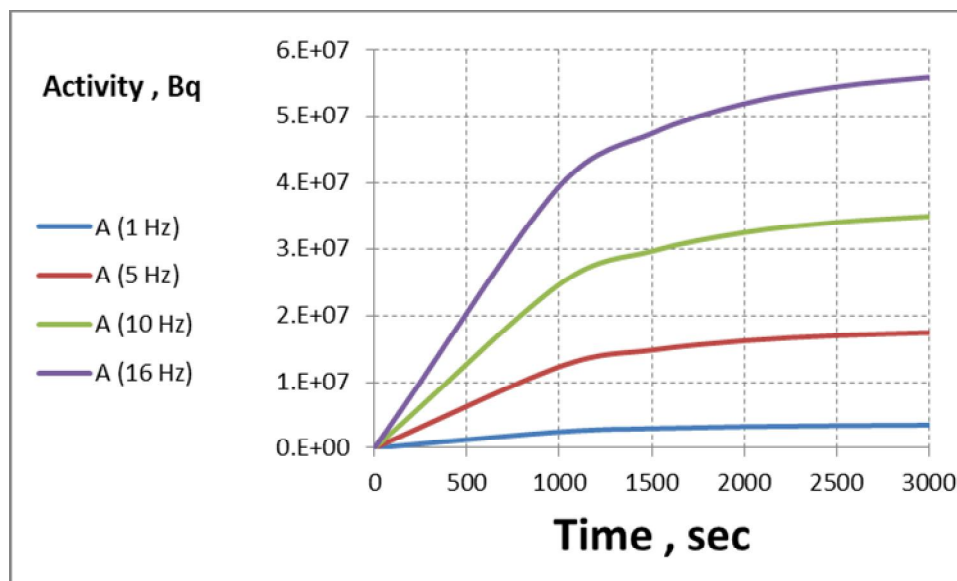
القيم باستخدام معدلات تكرار عالية، لذلك يمكن الاستعاضة عن ذلك بزيادة زمن التعرّض.

تمت دراسة النشاط الإشعاعي عند أزمّة تعرّض مرتفعة تصل حتى (50 min)، وحصلنا على النتائج المبينة في الجدول (6):

من الحسابات، يتضح أنه تم الحصول على نشاط إشعاعي مناسب مقداره $A = 527.04 \times 10^6 \text{ Bq}$ ، وذلك عند معدل تكرار ($\nu = 500\text{Hz}$) وفترة تعرّض ($t = 300\text{sec}$). هذه النتيجة تعتبر جيدة من الناحية النظرية، ولكن بسبب الصعوبات التقنية لأجهزة البلازما المحرقة الكثيفة الموجودة حالياً، لا يمكن الوصول إلى هذه

الجدول 6. تغيّر النشاط الإشعاعي عند أزمّة تعرّض مرتفعة.

| $\nu(\text{Hz})$ | $t = 1000\text{sec}$ | $t = 1500\text{sec}$ | $t = 2000\text{sec}$ | $t = 2500\text{sec}$ | $t = 3000\text{sec}$ |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | $A(\text{Bq})$ | $A(\text{Bq})$ | $A(\text{Bq})$ | $A(\text{Bq})$ | $A(\text{Bq})$ |
| 1 | 2.46×10^6 | 2.96×10^6 | 3.24×10^6 | 3.39×10^6 | 3.48×10^6 |
| 5 | 12.32×10^6 | 14.81×10^6 | 16.21×10^6 | 16.99×10^6 | 17.43×10^6 |
| 10 | 24.65×10^6 | 29.62×10^6 | 32.42×10^6 | 33.98×10^6 | 34.86×10^6 |
| 16 | 39.44×10^6 | 47.4×10^6 | 51.87×10^6 | 54.38×10^6 | 55.79×10^6 |



الشكل 10. تغيرات النشاط الإشعاعي عند أزمنة تعرض مرتفعة.

وبالتالي فإن معدل التكرار وزمن التعرض عاملان مهمان جداً من أجل زيادة النشاط الإشعاعي.

- تبيّن عند إجراء الدراسة المرجعية أنه في أحد استخدامات النظير المشع ^{13}N لتصوير عضلة القلب بتقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Positron Emission Tomography PET)، فإن النشاط الإشعاعي المطلوب للنظير المشع يقع ضمن المجال $(370 \times 10^6 \text{ Bq} - 740 \times 10^6 \text{ Bq})$ ، وهذا المجال أعلى بكثير من أعلى قيمة تم التوصل إليها. وبما أنه تبيّن حسابياً أن النشاط الإشعاعي يزداد عند زيادة معدل التكرار وزمن التعرض، فقد قمنا بإجراء المزيد من التجارب العددية بالاستفادة من هذه النتيجة لمحاولة زيادة النشاط الإشعاعي.
- قمنا بحساب النشاط الإشعاعي عند معدلات تكرار عالية (50, 100, 500 Hz) وفترات تعرض (30, 60, 600 sec). وقد توصلنا إلى قيمة نشاط إشعاعي تقع ضمن المجال المطلوب للاستخدام في تصوير PET؛ إذ كانت القيمة $527 \times 10^6 \text{ Bq}$ عند معدل تكرار 500 Hz وزمن تعرض 300 sec.
- تعتبر هذه النتيجة جيدة، ولكن توجد صعوبات تقنية في أجهزة البلازما الموجودة حالياً، وهي أنه لا يمكن الوصول إلى مثل هذه القيمة لمعدل التكرار.
- تم اللجوء إلى العامل الثاني وهو زيادة زمن تعرض الهدف لأيونات الديتيريوم؛ فقد تم حساب النشاط الإشعاعي عند أزمنة تعرض طويلة (1000, 1500, 3000 sec).

يتبين من النتائج التي تم الحصول عليها أن أعلى نشاط إشعاعي تم الحصول عليه هو $(55.79 \times 10^6 \text{ Bq})$ عند زمن تعرض (3000 sec.)، وهذه القيمة أقل من القيمة المطلوبة لاستخدام النظير المشع ^{13}N في عملية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Positron Emission Tomography PET).

الاستنتاجات

- عند الشروط المدروسة، فإن النشاط الإشعاعي للنظير ^{13}N كان $A = 4.14 \times 10^3 \text{ Bq}$.
- عند دراسة تأثير تغير ضغط غاز الديتيريوم على النشاط الإشعاعي للنظير المشع المدروس، تبيّن تغير عدد الأيونات الصادرة عند تغير ضغط الغاز، وأن قيمة الضغط 3 Torr هي أفضل قيمة حيث يكون عندها عدد الأيونات أعظمياً (3.12×10^{11} ions)، وبالتالي يكون النشاط الإشعاعي في أعلى قيمة له، وهي $5.616 \times 10^6 \text{ Bq}$.
- بالاستفادة من ميزة أن جهاز البلازما المحرقة المستخدم في الدراسة تكراري، تم تنفيذ عدد من التجارب العددية لحساب النشاط الإشعاعي عند معدلات تكرار مختلفة (1, 5, 10, 16 Hz) وأزمنة مختلفة لتعرض الهدف لأيونات (30, 60, 600 sec.)، وتبيّن أن النشاط الإشعاعي يزداد عند زيادة معدل التكرار وزمن التعرض؛ فقد تم تسجيل قيمة نشاط إشعاعي $28791 \times 10^3 \text{ Bq}$ عند معدل تكرار 16 Hz وزمن تعرض 600 sec.

إنتاج النظير المشع ^{13}N بنشاط إشعاعي مناسب للتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Positron Emission Tomography PET).

- يمكن البحث مستقبلاً في إنتاج النظائر المشعة قصيرة العمر عند استخدام أجهزة بلازما محرقة كثيفة ذات طاقة أعلى، وهذا يمكن من زيادة عدد وطاقات أيونات الديتيريوم، وبالتالي الحصول على نشاط إشعاعي أكبر.

(2000, 2500, 3000 sec. وعند معدلات تكرار متوافرة في الجهاز المستخدم في الدراسة، وتم الحصول على أعلى قيمة للنشاط الإشعاعي، وهي $55.79 \times 10^6 \text{Bq}$ ، وذلك عند زمن تعرّض (3000 sec.)، وهذه القيمة أقل من القيمة المطلوبة للاستخدام المدروس.

- نستنتج من دراستنا هذه أن أجهزة البلازما منخفضة الطاقة ضمن الشروط التقنية المتوافرة حالياً لا يمكنها

المراجع

- [1] Saed, M., Roshan, M.V., Banoushi, A. and Habibi, M., Journal of Modern Physics, 7 (12) (2016) 1512.
- [2] Castillo, S., "Medical and Statistical Review of N-13 Ammonia Positron Emission Tomograph", (Florence Houn, MD MPH FACP, Medical Officer, 1999).
- [3] Bienkowska, B., Jednorog, S., Ivanova-Stanik, I.M., Scholz, M. and Szydowski, A., Acta Physica Slovaca, 54 (4) (2004) 401.
- [4] Roshan, M.V., Springham, S.V., Rawat, R.S. and Lee, P., IEEE Transactions on Plasma Science, 38 (12) (2010) 3393.
- [5] Akeel, M., Alsheikh Salo, S., Ismael, S., Saw, S.H. and Lee, S., Physics of Plasmas, 21 (7) (2014) 072507.
- [6] Kiai, S.S., Adlparvar, S., Sheibani, S., Elahi, M., Safarien, A., Farhangi, S., ... and Khanchi, A.R., Journal of Fusion Energy, 29 (5) (2010) 421.
- [7] Federico, J. et al., International Journal of Engineering and Technology, 1 (1) (2010).
- [8] Shirani, B. and Abbasi, F., Journal of Fusion Energy, 32 (2) (2013) 235.
- [9] Young, F.C., Golden, J. and Kapetanakis, C.A., Review of Scientific Instruments, 48 (4) (1977) 432.
- [10] Knoll, G.E., "Radiation Detection and Measurement", (John Wiley & Sons, New York, 1999).
- [11] "The stopping and range of ions in matter", www.srim.org.
- [12] Michelmann, R., "Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR)", <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>.
- [13] Shirani, B. and Abbasi, F., Journal of Fusion Energy, 32 (2) (2013) 235.
- [14] Lee, S., "Radiative Dense Plasma Focus Computation Package: RADPF", <http://www.plasmafocus.net>; <http://www.intimal.edu.my/school/fas/UFLF>.
- [15] Lee, S. and Saw, S.H., Physics of Plasmas, 20 (6) (2013) 062702.

Jordan Journal of
P H Y S I C S

An International Peer-Reviewed Research Journal

Volume 13, No. 4, December 2020, Jumada 1 1442 H

Table of Contents:

| Articles | Pages |
|---|---------|
| Synthesis and Characterization of Ni-Ti Partially Substituted Hexaferrites for High-Density Magnetic Recording Applications | 263-277 |
| Ibrahim Bsoul, Suaad Assrhan, Sami H. Mahmood | |
| Why Couldn't Muslim Astronomers Discover the Heliocentric System? | 279-288 |
| M. B. Altaie and Sara F. Al-Khateeb | |
| A Theoretical Study of the Possibility of Obtaining the Radioisotope ^{13}N for Medical Applications Using Dense Plasma Focus Device | 289-303 |
| Walid Sahyouni and Alaa Nassif | |

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:

| | | |
|---|--|---|
|  | 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., Hijawi, 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", 2nd 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 Properties 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 Natl. 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 :** jip@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:



The Hashemite Kingdom of Jordan



Yarmouk University

Jordan Journal of PHYSICS

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

Volume 13, No. 4, December 2020, Jumada 1 1442 H

Jordan Journal of PHYSICS

An International Peer-Reviewed Research Journal

Volume 13, No. 4, December 2020, Jumada 1 1442 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 Université de Paris 6/IN2P3-CNRS, Tour 33, RdC 4,
Place Jussieu, F 75252, Paris Cedex 05, France.
auore@lphnhep.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.cough@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. Khalid Touqan

Chairman of Jordan Atomic Energy Commission, Amman, Jordan.

Prof. Dr. Nasr Zubeidey

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

Prof. Dr. Patrick Roudeau

Laboratoire de l'Accelérateur, Lineaire (LAL), Université 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

Prof. Dr. Shawqi Al-Dallal

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

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

Prof. Dr. Ingo Hofmann

GSI Darmstadt, Planckstr. 1, 64291, Darmstadt, Germany.
i.hofmann@gsi.de

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

Jordan Journal of P H Y S I C S

An International Peer-Reviewed Research Journal

Volume 13, No. 4, December 2020, Jumada 1 1442 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.

ijarayesh@yu.edu.jo

| EDITORIAL BOARD: | ASSOCIATE EDITORIAL BOARD |
|---|--|
| <p>Prof. Nabil Y. Ayoub <i>President, American University of Madaba, Madaba, Jordan.</i> nabil.ayoub@gju.edu.jo</p> <p>Prof. Marwan S. Mousa <i>Department of Physics, Mu'tah University, Al-Karak, Jordan.</i> mmousa@mutah.edu.jo</p> <p>Prof. Jamil M. Khalifeh <i>Department of Physics, University of Jordan, Amman, Jordan.</i> jkalifa@ju.edu.jo</p> <p>Prof. Abdalmajeid M. Alyassin <i>Department of Physics, Yarmouk University, Irbid, Jordan.</i> alyassin@yu.edu.jo</p> <p>Prof. M-Ali H. Al-Akhras (AL-Omari) <i>Department of Physics, Jordan University of Science & Technology, Irbid, Jordan.</i> alakmoh@just.edu.jo</p> <p>Prof. Mohammad Al-Sugheir <i>Department of Physics, The Hashemite University, Zarqa, Jordan.</i> msugh@hu.edu.jo</p> <p>Prof. Tareq F. Hussein <i>Department of Physics, The University of Jordan, Amman, Jordan.</i> t.hussein@ju.edu.jo</p> <p>Prof. Ibrahim A. Bsoul <i>Department of Physics, Al al-Bayt University, Mafrqa, Jordan.</i> Ibrahimbsoul@yahoo.com</p> | <p>Prof. Mark Hagmann <i>Desert Electronics Research Corporation, 762 Lacey Way, North Salt Lake 84064, Utah, U. S. A.</i> MHagmann@NewPathResearch.Com</p> <p>Dr. Richard G. Forbes <i>Dept. of Electrical and Electronic Engineering, University of Surrey, Advanced Technology Institute and Guildford, Surrey GU2 7XH, UK.</i> r.forbes@surrey.ac.uk</p> <p>Prof. Roy Chantrell <i>Physics Department, The University of York, York, YO10 5DD, UK.</i> roy.chantrell@york.ac.uk</p> <p>Prof. Susamu Taketomi <i>2-35-8 Higashisakamoto, Kagoshima City, 892-0861, Japan.</i> staketomi@hotmail.com</p> |

Editorial Secretary: Majdi Al-Shannaq.

Languages Editor: Haider Al-Momani

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>

