عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

مجلة دورية تصدر ستّ مرّات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية في الجمهوريّة العربيّة السوريّة. وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلميّة باللغة العربيّة في الميدانين الذرّي والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

العدد الخامس والسبعون السنة السادسة عشرة أيلول – تشرين الأول 2001

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسّام (رئيس هيئة التحرير)

الدكتور محمد قعقع **الدكتور فؤاد العجل**

الدكتور أحمد الحاج سعيد **الدكتور محمد فؤاد الربّاط**

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

1- ترسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح، على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.

2- يُكتب على ورقةٍ مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة اسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف والمترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.

3- يُقدم المؤلف أو المترجم في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية «Key Words» (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز عشر عبارات باللغتين العربية والإنكليزية.

4- إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة. ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية، إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.

5- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجتمّعة من مصادر عدّة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول «تأليف، جمع، إعداد، مراجعة...» ويرفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.

6- إذا تضمنت المادة صوراً وأشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلاّ إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة «4»)، مرقمة حسب أماكن ورودها.

7- يرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية، الذي تم نشره في أعداد المجلة (2-18).

8- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يُكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أم مختزلاً. وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية 3, 2, 1 أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار. وإذا ورد في نص معادلةٍ أو قانون أحرف أجنبية وأرقام فتكتب المعادلة أو القانون كما في الأصل الأجنبي.

9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالّة (★ , + , x , O...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].

10- تُرقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.

11- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.

12- تخضع مادة النشر للتقييم ولا تُرد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.

13- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

14- توجه المراسلات باسم رئيس هيئة التحرير إلى العنوان التالي:

الجمهورية العربية السورية – هيئة الطاقة الذرّية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – مجلة عالم الذرّة – دمشق – ص. ب 6091

رسوم الاشتراك

الاشتراك السنوي للطلاب (200) ل.س – الاشتراك السنوي للأفراد (300) ل.س – الاشتراك السنوي للمؤسسات (1000) ل.س

الاشتراك السنوي للأفراد من خارج القطر العربي السوري (30) دولاراً أمريكياً. وللمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً – تتضمن الاشتراكات أجور البريد

بالنسبة للمشتركين من خارج القطر تُرسل رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري فرع رقم 13
مزة – جبل – ص.ب 16005
رقم الحساب 2/3012

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

يمكن للمقيمين داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

مجلة عالم الذرّة – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية – دمشق – ص. ب 6091

مع بيانٍ يوضح عنوان المراسلة المفضل

أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة – دمشق – شارع 17 نيسان

سعر العدد الواحد

سورية 50 ل.س / لبنان 3000 ل.ل / الأردن 2 دينار / مصر 3 جنيه / الجزائر 100 دينار / السعودية 10 ريال و6 دولارات في البلدان الأخرى.

تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها.
للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية الكتابة إلينا على العنوان التالي:
هيئة الطاقة الذرّية السورية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر
دمشق ص.ب 6091 – الجمهورية العربية السورية
أو الاتصال على رقم الهاتف6111926/7 – فاكس 6112289

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقالات

□ الدفع النووي البحري . . . . . ش. فريبوغ. 7
ترجمة هيئة التحرير – الدكتور محمد غفر

□ الطاقة النووية الفضائية الروسية ومنظومات الدفع الحراري النووي. . . . ن. ن. بونوماريف ستبنيو وآخرون . . . . . 26.
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

□ الكوار كات. . . . . 47.
□ تعليم المغانط حيلاً جديدة . . . . . 50.
□ الليزر الذي يُخفّض درجة الحرارة . . . . . 52.
□ هل تغادر البروتونات النواة على شكل أزواج؟ . . . . . 53.
□ مادة ذات فعل مزدوج: كهربائي ومغنطيسي. . . . . 55.
□ حركة مبادرة دقيقة للجسيمات العنصرية . . . . . 57.

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

□ تعلّق الطاقة التناظرية النووية بالكثافة . . . . . د. سامي حداد. 61
في نظرية الحقل الوسطي النسبوي

□ النمذجة الرياضية لليزر CO_2 المستعرض مع ماصّ الإشباع SF_6 . . . . د. محمد سوقية، د. بشار عبد الغني، 63
مصطفى حمادي

□ إعادة تنقية وتحديد خواص مزيج الاستخلاص. . . . . د. رفعت المرعي – محمد الحاميش. 73
(Isobutyl acetate - Methyl isobutyl ketone) المستخدم
في طرائق تحليل قياس الضوء الطيفي (التحليل اللوني)

□ تراكيز البولونيوم -210 والرصاص -210 . . . . . د. محمد سعيد المصري، سامر ماميش، 78
في الأسماك المستهلكة في سورية
يوسف بدير، عامر نشواتي

□ تقييم تأثير جرعتين من البروستاغلاندين $F_{2\alpha}$ المشابه، البروسولفين، . . . د. معتز زرقاوي. 84
في توقيت الشياع عند نعاج العواس السوري

□ مقارنة تحليل اليورانيوم في بعض العيّنات الجيولوجية السورية. . . . . د. يوسف معروف جبيلي. 89
باستخدام ثلاث طرائق تعتمد على مفاعل نووي

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

☐ حساب معاملات نقطة الانشطار لنواة الكاليفورنيوم-249 . . . . . د. أسامة الحسنية 96
بالنترونات الحرارية كتابع للطاقة الحركية لنواتج الانشطار

☐ دراسة حاسوبية حول الحركية الدورانية . . . . . د. شريف الحوّاط، سلمان محمد. 98
في ليزر $TEA\ CO_2$ باستخدام الكود PULSAMP

☐ دراسة طيفية لاستقرارية معقد اليورانيوم مع الـ DEHPA . . . . . .د. موسى الإبراهيم، حبيب شليويط . . . . 100.

☐ مقارنة بعض الصفات الكمّية والنوعية لأصناف . . . . . .د. بسام الصفدي، د. عماد الدين عرابي، . . 101.
الثوم المحلية والمدخلة والسلالات الطافرة م. زهير الأيوبي

☐ المستقبلات الهرمونية الستيروئيدية ودورها في سرطان الثدي . . . . . .د. محمد عادل باكير، علي محمد. . . . . 102.

☐ تأثير المعاملات الهرمونية على توقيت الشياع . . . . . .د. معتز زرقاوي. . . . . 104.
ونسبة التوائم في نعاج العواس السوري ضمن الموسم التناسلي

كتب حديثة مختارة

☐ البلّورات السائلة: دراسة تجريبية للخواص الفيزيائية والانتقالات الطورية. .(تأليف: س. كومار) 106
(عرض وتحليل: ج. لايدون)

☐ التبريد والأسر بالليزر . . . . . (تأليف: هـ. متكالف، ب. فان درشتراتن) 107
(عرض وتحليل: د. سكوت فايس)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. . . . . 116.

يُسمح بالنسخ والنقل عن هذه المجلة للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع، أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح به إلا بموافقة خطية مسبقة من الهيئة.

المقالات

الدفع النووي البحري*

شارل فريوغ
تكنيكاتوم - فرنسا

ملخص

ارتبط الدفع النووي البحري بالبرامج الوطنية النووية، كتطبيق واعد للطاقة النووية، وكبديل معلل عن الدفع التقليدي، خاصة عندما يتعلق الأمر بالغواصات أو بحاملات الطائرات. وتطلّب ذلك عملاً علمياً دؤوباً، ليس فقط على صعيد أمثلة الدفع النووي البحري، بل أيضاً على صعيد تطوير نظم تبريد قلب المفاعل، وتفريغ وإعادة تحميل عناصر الوقود، مما استدعى تطويراً مماثلاً لنظم الوقاية الإشعاعية.

الكلمات المفتاحية: الدفع النووي البحري، غوّاصة، حاملات طائرات، مفاعل، وقود نووي، تفريغ، إعادة تحميل، وقاية إشعاعية.

جوانب عامة

منشأ الدفع النووي البحري ومبدؤه

أسس تطور الدفع النووي البحري (لماذا توجد بالأساس سفن وغوّاصات ذات دفع نووي؟)

يقوم ثراء الدفع النووي البحري، وهو أول تطبيق واقعي للطاقة النووية المضبوطة، على بعض العناصر الجوهرية، التي تعتبر الأساس في تطويره، وتُقدم هذه العناصر فيما يلي:

- المقصود في الأمر منبع طاقة **لاهوائي** (حتى يمكن القول بأنه المنبع الوحيد القادر على تقديم طاقة مهمة بدون وقود احتراق في الوضع الراهن للتقانات)، فهو إذاً ملائم، بوجهٍ خاص، لدفع الغواصات،
- إنه يؤمن **اكتفاءً ذاتياً كبيراً جداً**، وبصورة عملية، لا محدود بالمقارنة مع احتياجات السفن وبصورة خاصة الغواصات،
- إنه يمنح مستثمره **استقلالية تامة**، ولهذا أهمية خاصة، من وجهة النظر السياسية والعسكرية.

وإضافة إلى هذه المقارنة الموجزة بين كفاءات الأنماط المختلفة لدفع الغوّاصات (انظر الجدول 1)، يمكن الملاحظة أن نمط الدفع النووي هو

الجدول 1- مقارنة كفاءات الأنماط المختلفة لدفع الغواصات*.

تعليق لا هوائي	استقلالية ذاتية في الغطس	طاقة نووية	نمط الدفع
مجابهة استراتيجية دائمة	3 سنوات بـ 20 عقدة في الساعة	$> 10^8$ kWh	نووي
إعادة الشحن على السطح بسهولة	72 ساعة بـ 5 عقد في الساعة	10^4 kWh	ديزل + بطاريات
تخزين السائل غير قابل للشحن في عرض البحر	10 أيام بـ 6 عقد في الساعة	5.10^4 kWh	دفع مستقل عن الهواء "معياري"
تخزين الأكسجين السائل غير قابل للشحن في عرض البحر	60 يوماً بـ 6 عقد في الساعة	3.10^5 kWh	دفع مستقل عن الهواء "أعظمي"

(*) يجب فهم الكفاءات المقدمة في الجدول 1 كمرتبة للمقادير

(**) AIP: Air Independent Propulsion: دفع مستقل عن الهواء: يقصد بذلك منظومات النماذج المختلفة لتجهيز الغواصات الأكثر حداثة (مفاعلات بالوقود، محركات ستيرلنغ Stirling، محركات ديزل "بدارةمغلقة"، محرك دينامي حراري، إلخ ...). تملك جميع هذه المنظومات نمطاً مشتركاً لاستخدام الأكسجين كمحرق، يخزن على شكل سائل في خزانات بحجوم متغيرة.

تحدّد الاستقلالية الذاتية أثناء غطس الغواصة، بالمرتبة الأولى بحجم خزانات الأكسجين السائل، مع الأخذ بعين الاعتبار مردود الدورة الذي يمكن أن يتغير قليلاً لدى الانتقال من منظومة إلى أخرى في شاطىء بمقدار لايتجاوز معاملاً قدره 1.75 (كقيمة عظمى)، مع ملاحظة أن خزانات الأكسجين السائل المستخدمة في التقانات الراهنة لابعاد شحنها ثانية في البحر.

* نشر هذا المقال في مجلة *RGN*, No.2, Marsh-April, 1999. ترجمة هيئة التحرير والدكتور محمد غفر - قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الأرخص على الإطلاق، إذا نسبنا ثمن امتلاك المنظومة التسليحية إلى عدد العقد المجابة في أثناء العمّلية (هذا يعني، من أجل الغوّاصة، الغاطسة لمنظومة التسليح التي يتجسّد دفاعها الأساسي في السرّية والحذر)*.

وماتزال الغواصة النووية حتى يومنا هذا، الغواصة الأولى التامة والوحيدة الحقيقية.

مبدأ الدفع النووي للغواصات

المبدأ العام

إن المبدأ العام لدفع غواصة نووية هو التالي:

ـــ مفاعل نووي (عموماً - ولكن ليس بصورة نظامية - من النوع ذي الماء المضغوط) يقوم بتزويد عنفة بالبخار.

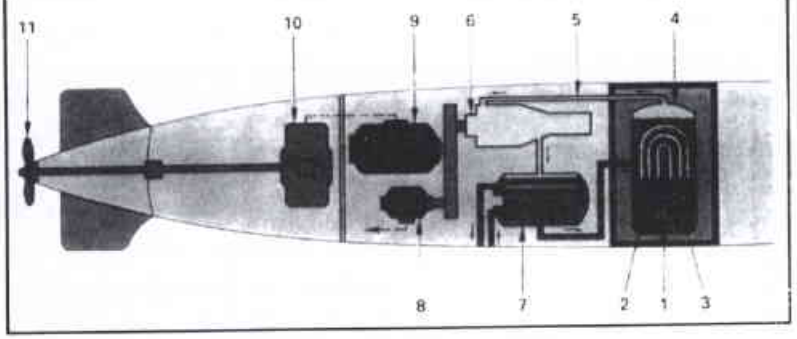
ـــ تُستخدم الطاقة الميكانيكية للعنفة لتدوير عمود مروحة الغوّاصة:

إما بشكل مباشر بوساطة مُخفّض، في هذه الحالة، نقول إن الدفع عنفي - ميكانيكي أو بواسطة الكهرباء، فنقول حينئذٍ إن الدفع عنفي - كهربائي (انظر الشكل 1).

الوقود النووي (1) المحتوى في قلب المفاعل (2) يقوم بتسخين الماء الأولي (3) وهذا الماء يمر وبجريان طبيعي في مولّد البخار (4) مما يسمح بتبخير الماء الثانوي (5) وذلك من أجل تغذية العنفات (6) وبعد ذلك يبرّد الماء الثانوي في مكثّف (7) وقبل أن يعاد ثانية إلى مولّد البخار حيث تحتوي كل عنفة على منوبتين (8) و (9).

ومنوبات الدفع هذه (9) تنتج الكهرباء اللازمة للمحرك الكهربائي الأساسي (10) الذي يدير مروحة الغواصة مباشرة (11) تقوم منوبات القوة (8) بتزويد الكهرباء اللازمة لتجهيزات ومعدات السفينة.

يحصر المرجل النووي في حجرة مستقلة ومراقبة تماماً ومحمية.



الشكل 1- مبدأ دفع عنفي - كهربائي.

وكتكملة، يقدم البخار، المنتج بواسطة المفاعل، الكهرباء بالإضافة إلى المياه العذبة للسفينة،

كما نرى، الأمر سهل جداً، ولهذا السبب تسير العملية بصورة جيدة.

توصيف أشمل

إن الأمر، في الحقيقة أكثر تعقيداً بقليل، لنوضح الأشياء قليلاً بأخذنا مثال الغوّاصات الهجومية الفرنسية من النموذج RUBIS/ AMETHYSTE ذي الدفع العنفي - الكهربائي (انظر الشكل 1):

ـــ مفاعل نووي (بالماء المضغوط) يقوم بتزويد العنفة بالبخار:

- يُسخن قلب المفاعل النووي الماء الأولي،
- يمنح الماء الأولي حرارته للماء الثانوي الذي يتبخر ضمن مولّد بخار،

ـــ الطاقة الميكانيكية للعنفة تُحوّل إلى كهرباء بوساطة منوّبة ومقوّم:

- ينفلت البخار الثانوي في العنفتين نحو مكثفين مبرّدين بمياه البحر (المنبع البارد لدورة كارنو)،
- يُعاد الماء الثانوي المسترد من المكثفين إلى مولّد البخار باستخدام مضخات تغذية.
- تدار مجموعتان عنفيتان - ميكانيكيتان بسرعة ثابتة بالعنفتين اللتين يُسيّر كل منهما:
- منوبة دفع Alternateur de Propulsion (ATP)،
- منوبة قوة Alternateur Force (ATF)،
- مضخة تغذية مقرونة.

ـــ محرك كهربائي بتيار مستمر يقوم بتدوير عمود مروحة الغوّاصة:

- يُقوّم التيار المتولد من منوبتي الدفع بوساطة قاطعين،
- محركا سحب أساسيان (MEP) بتيار مستمر يقومان بتدوير محور العمود (تقدم أو رجوع)،
- يتم الحصول على تغير في سرعة محركي السحب الأساسيين بتغيير شدة تيار إثارة منوبتي الدفع عن طريق منوبة معكوسة.

ـــ *وكتكملة:*

- تقوم كلتا منوبتي القوة بالمحافظة على توتر متناوب على مجموعتي القضبان العادية للتغذية الكهربائية الخاصة بالغوّاصة،
- تحافظ مجموعتا المحولات الدوّارة ومن خلال التعويم على إبقاء البطارية مشحونة بما فيه الكفاية. ففي حالة وجود شذوذ في منوبتي القوة، تنقلب هاتان المجموعتان بصورة آلية وتحافظان دون انقطاع على التوتر ولكن باستطاعة منقوصة في جزء من الشبكة، تُخدّم هاتان المجموعتان أيضاً إقلاع التجهيزات قبل الوصل بشبكة منوّبات القوة.
- في حالة فقْد الدفع الأساسي (فقْد محركي السحب الأساسيين) يقوم محرك سحب مخصص للإغاثة (MES) يعمل بالتيار المستمر ومغذى من البطارية، بدفع الغوّاصة ولكن بسرعة صغيرة.
- أما في حالة فقْد المفاعل أو العنفات، تقوم منظومة ديزل/منوبة/مقوّم بإعادة شحن البطارية الأساسية مباشرة بعد عوم الغوّاصة على السطح،

* هذه العروض لاتلغي بتاتاً حاجة كل ممثلي الدفع النووي وبصورة خاصة في فرنسة إلى تقليص تكلفة الامتلاك بكل الوسائل المتاحة.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

- تُنتج المياه العذبة اللازمة للغواصة بوساطة غلايتين على البخار يتم تغذيتهما من قبل مولّد بخار المفاعل.

التطور المثار بالحرب الباردة (أربعون عاماً من الدفع النووي البحري في العالم)

كما هو الحال بالنسبة لمجمل تطبيقات الطاقة النووية، فقد وُلّدت المسألة، على مستوى المبادىء الأساسية، في الولايات المتحدة، في العام 1942، عندما أعلن إنريكو فيرمي E. Fermi، في شيكاغو، عن بناء أول مفاعل نووي، وأدرجت مباشرة، إمكانية دفع الغواصات كتطبيق واعد للطاقة النووية (تميزت سنة 1942 بنسف عدد كبير من السفن الأمريكية). خلال الحرب العالمية الثانية، أعطيت الأولوية لتطوير السلاح النووي (مشروع منهاتن)، لكن الحرب الباردة أعطت دفعاً حاسماً وفوق العادة لتطوير التطبيق:

- آذار 1953: بناء أول مفاعل مخصص للدفع النووي وذلك في انداهو Indaho،
- كانون الثاني 1955: أول عملية غطس في طريق حر بالدفع النووي لـ NAUTILUS،
- 1959: في فرنسة إعلان مشروع COELACANTHE،
- 1960: أربع سفن أمريكية في البحر وسفينة واحدة روسية،
- آب عام 1964: في فرنسة، تدشين المفاعل الأرضي PAT في كاداراش Cadarache،
- 1970: 90 سفينة أمريكية في البحر و 55 سفينة روسية،
- 1971: في فرنسة، السفينة REDOUTABLE في البحر،
- 1975: عدد السفن الروسية يفوق عدد السفن الأمريكية،
- 1980: 125 سفينة أمريكية في البحر، 150 سفينة روسية.

تلخص المنحنيات المرافقة وبصورة تركيبية تطور الأساطيل النووية في أكبر الدول البحرية (الولايات المتحدة، الاتحاد السوفييتي، ومن ثم روسية، بريطانية العظمى، فرنسة، الصين).

يُظهر انعطاف هذه المنحنيات منذ عام 1990 (الموافقة بصورة تقريبية لتفكك الاتحاد السوفيتي ولنهاية المنافسة الأمريكية السوفيتية) وبشكل كمي، حجم فائض التسليح المميز لتلك الحقبة التاريخية (انظر الشكل 2).

الحالة الراهنة للسفن النووية

تخطيطياً، يمكن تصنيف السفن ذات الدفع النووي الموجودة حالياً في الخدمة بالصورة التالية:

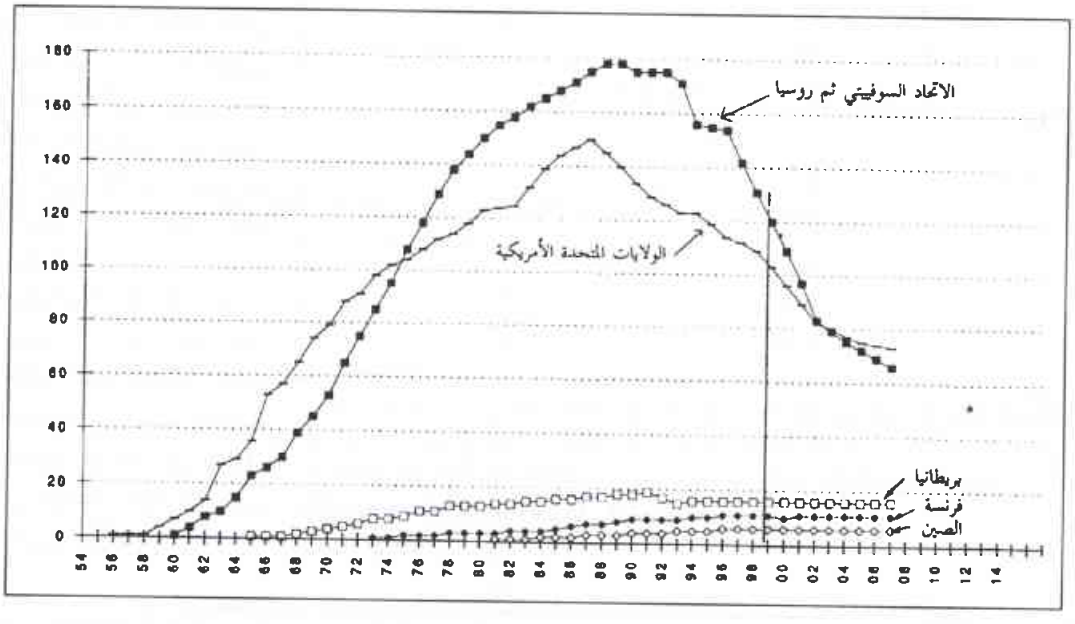
الغوّاصات

فيما يتعلق بالغوّاصات، نميز بصورة شبه اصطلاحية:

الغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE، أي SSBN وفقاً للمصطلح الأنكلوسكسوني: حيث يقصد بذلك قواعد إطلاق صواريخ استراتيجية بالستية وهي غواصات سريّة ومتحركة يصعب رصدها عملياً. عموماً، هذه الغوّاصات ذات أوزان كبيرة وكبيرة جداً تتراوح بين 8000 و16000 طن وهذا عائد من حيث المبدأ إلى حجوم الصواريخ المحمولة.

الغوّاصات النووية الهجومية SNA: أي SSN وفقاً للمصطلح الأنكلوسكسوني، ويقصد بذلك غوّاصات تتشابه مع الغوّاصات التقليدية وتختلف كثيراً عن الغواصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE. عموماً، أوزان هذه الغوّاصات متوسطة وأكبر من أوزان الغوّاصات التقليدية المحيطية -2500 حتى 6000 طن - مع توجه حديث نحو زيادة وزن مرتبطة بحمولة أسلحة يتحسن أداؤها أكثر فأكثر ونحو البحث عن السريّة الصوتية.

يشار هنا، إلى أن الغوّاصات النووية الهجومية SNA، بمساعدة النمنمة، قادرة على حمل أسلحة نووية تكتيكية أو ما قبل الاستراتيجية (طربيدات نووية أو صواريخ سفن مراقبة).



الشكل 2- تقدير الأساطيل النووية العسكرية - عدد السفن العاملة بالدفع النووي في كل بلد.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

السفن الحربية العائمة

إن الدفع النووي المتعلق بالسفن الحربية العائمة مقتصر على السفن العملاقة. ويميز هنا ما يلي:

- حاملات الطائرات ذات الدفع النووي (PAN)، حيث يقدم نمط الدفع النووي لهذه الحاملات، بعضاً من المزايا سنتعرض لها بالتفصيل لاحقاً.
- سفن عملاقة أخرى للمعارك أو للدعم (طرّادات نووية، سفن تموين) بناها الأمريكيون والروس بعدد محدود جداً من الوحدات.

السفن العاملة بالدفع النووي والمخصصة لأغراض ليست عسكرية حصراً

إن السفن الوحيدة ذات الدفع النووي المخصصة لأغراض غير عسكرية والمستمرة حقيقياً لفترة معتبرة هي سفن كاسحات الجليد. والروس وحدهم الذين بنوا واستثمروا أسطولاً من سفن هذا النوع.

إن الدفع البحري هو إذاً تطبيق للطاقة النووية في المجال تحت البحري والعسكري

ومن المحتمل أن تدوم هذه الحالة. وبالفعل، لم تتجمع الظروف التنظيمية والاقتصادية والسياسية والرأي العام لرؤية هذه الحالة تتطور على المدى المتوسط.

الآفاق في المدى المتوسط

على الرغم من أن القاعدة الأساسية المتبعة في عالم تنبؤ المستقبل لاتوصي بطرح تنبؤات لأقل من 75 سنة، يمكن المخاطرة بأن نعطي فيمايلي رؤية مستقبلية لحالة الملاحة النووية في عام 2015، مع التمييز بين أعضاء النادي الحاليين وبين الأعضاء المحتملين. أدى تناقص حدة العداء شرق/غرب إلى تقليص حجم الملاحة البحرية العسكرية لبلدان نصف الكرة الشمالي (وهذا ماتوضحه منحنيات الشكل 2). غير أن المهام الأساسية الملقاة على عاتق القوى البحرية للدول البحرية الكبرى (أعضاء النادي) لم تتغير في الحقيقة من طبيعتها. فمقدرات الرمي السريع وإمكانيات التدخل البعيد مازالت عموماً على حالها، وخير دليل على ذلك احتفاظ الدول المتميّزة بحرياً بـ:

- قدرة نووية استراتجية بمستوى مقلص ومجمد نظرياً (؟) بمعاهدة حظر التجارب (هذا يعني في الواقع أسطولاً من الغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE).
- قدرة بحرية خاصة بأعالي البحار وقادرة على ضمان طرق الاتصال الحيوية،
- قوى ضاربة للأرض، انطلاقاً من أعالي البحار (هذا يعني في الواقع قوة جو بحرية).

وهذا يفترض مقدرة مراقبة وتحكم بمنطقة واسعة من محيط القوى الجوبحرية وبخاصة مقدرة مضادة للغوّاصات. وعليه، سيبقى السلاح تحت البحري العنصر الجوهري للقوى البحرية الكبرى الحربية والغوّاصة مازالت وستبقى الأكثر تفوقاً.

ضمن إطار تقليص النفقات، عمدت القوى البحرية إلى تقليص مقدرتها النووية إلى الحدّ الأدنى الضروري مع المحافظة على تعزيز قدرتها على ردع القوى البحرية الأخرى (الأعضاء المحتملين) بكل الوسائل المتاحة. وباستثناء وقائع جيواستراتجية كبرى، يمكن المخاطرة بإعطاء، ومن خلال الجدول 2، الحجم الاسمي للقوى البحرية النووية في عام 2015 (انظر الجدول 2).

الجدول 2– الوزن "الاسمي للغواصات النووية في عام 2015.

البلدان	SNLE	SNA	PAN	Autres NS	BG
أعضاء النادي					
الولايات المتحدة الأمريكية	20	40	10	1 ou 2 ?	7
روسيا	25	40	1 ou 2	5	
الصين	4 ?	8			
المملكة المتحدة	4	10			
فرنسا	4	6	1 ou 2 ?		
المنتسبون المحتملون					
الهند		2 ?			
البرازيل		2 ?			
اليابان		2 ?			
كندا		1 ?			
استراليا		1 ?			

(i) أفرض الاتحاد السوفيتي الهند غواصة نووية وقيل أنها لم تبحر بعد (عما قريب قد يكون ذلك ممكناً).
(b) صنعت البرازيل في ساو باولو مفاعلاً بالماء المضغوط، مخصّصاً للغواصات.
(j) المشاريع اليابانية الأصيلة جداً والمدروسة بعمق لمفاعل سفن تجارية يمكنه تماماً تجهيز غواصة.
(c) تهتم بهذا الأمر منذ زمن طويل كي لا تعود إليه في يوم من الأيام.
(a) محاطة بمياه.

★ بدأ تصنيع هيكل الغواصة في ترسانة شيربورغ Cherbourg وهو الهيكل ذو الرقم 244 منذ البداية.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

البرامج الفرنسية

نقدم في هذا الفصل، وباختصار، السفن ذات الدفع النووي المنجزة في فرنسة، حيث سيتم التركيز على تلمس الرهان الأساسي لكل برنامج وما مثله من الناحية التاريخية بالنسبة لفرنسة من وجهة النظر الاستراتجية كما من وجهة النظر التقانية.

التلمسات الأولى: الـ Q244 ★

إن بدء العمل ببناء نوتيلوس ثم وضعها في الخدمة حثّ البحرية الفرنسية (الغوّاصة جول فيرن .... أمريكية)، إذاً فالبرنامج أُطلق عام 1954. الطموح موجود ويتوقع البرنامج الإنجاز المباشر لأول مفاعل يُبنى في جزء من هيكل الغوّاصة، دون إنجاز نموذج أولي يتيح إجراء التقويمات والإيضاحات الضرورية.

من بين الصعوبات التي لاتحصى، تجسدت الصعوبة الأهم في عدم امتلاك فرنسة لليورانيوم المغنى، ولهذا اعتمدت سلسلة اليورانيوم المهدأ والمبرد بالماء الثقيل (على الرغم من عدم امتلاك فرنسة كمية كبيرة منه). وبسبب محدوديّة مخطط التفاعلية وقلة الخبرة في ترتيب المفاعل، اضطر المصممون إلى تبني التطبيق على المستوى التقاني. وهكذا، مع ظهور المصاعب النظرية والتقانية بالتدريج، بدأ المشروع يتعرض للخطر أكثر فأكثر وللتبسيط: لم يدخل المفاعل إلى الهيكل واستثماره العملي في الغوّاصة أصبح مشكوكاً فيه. وفي عام 1957 كان الفشل الذريع قد اقترب عندما طرأ حادثان "غير تقنيين":

- من جهة، أعلنت الولايات المتحدة عن استعدادها لتزويد حلفائها باليورانيوم المغنى والمستخدم من أجل غايات عسكرية،

- ومن جهة ثانية، وصول الجنرال ديغول إلى السلطة والقرار المترافق بإطلاق قوة الردع يتضمان وجود أكيد لليورانيوم المغنى تحت التصرف.

وعليه أُعيد توجيه المشروع باتجاه سلسلة الماء الخفيف والمضغوط وبتصور عام أكثر تبسيطاً. وباستخلاص الدروس من فشل المحاولة الأولى المتضمنة تخطيطاً طموحاً زاد بدون فائدة من الصعوبات التي كانت بالأساس كبيرة، اتُّخذ قرار بناء نموذج أولي حقيقي على الأرض قادر على الإثبات الحقيقي للتصور واختبار قدرات المنظومة قبل الشروع ببناء الغوّاصة.

ومع ذلك فقد خدم مشروع Q244:

- من جهة، تأهيل المهندسين والمستثمرين الذين سيقومون بمهمة قيادة المشاريع اللاحقة بنجاح بعد اكتسابهم الخبرة أثناء إنجازهم لمشروع PAT في كاداراش.

- من جهة ثانية، تأمين القواعد التقانية اللازمة لنمط الماء المضغوط، بسبب وجود عدد كبير من النقاط المشتركة:

  - تقانة الزركونيوم،
  - تقانة اليورانيوم المعدني وأكسيد اليورانيوم،
  - مواد الوقاية الإشعاعية،
  - مفهوم وإنجاز أوعية الضغط: حوض، ضاغط، مولّد بخار

- وأخيراً الهيكل، المبني مسبقاً، سيستخدم بصورة جزئية من أجل تشييد أول غوّاصة تجريبية قاذفة للصواريخ تدعى "Le Gymnote"، نسبة إلى شكلها العام العجيب، والتي بُنيت بعد بضع سنوات.

النموذج الأولي الأرضي - المرجل ذو الحلقات

بعد التأكد من الحصول على اليورانيوم المغنى الذي يتيح بدوره نمط الماء المضغوط، بوشر ببناء النموذج الأولي على الأرض في كاداراش. تطورت الأمور بصورة متسارعة، إذ أنه وبعد أربع سنوات فقط من بدء العمل، تم تدشين النموذج الأرضي (في آب من عام 1964). ويعود الإسراع في تنفيذ المشروع إلى التعبئة العامة التي ميّزت تلك الحقبة بالإضافة إلى الخبرة المكتسبة لدى الفرق المسؤولة بعد تدريبها ودراستها لـ Q244.

إن المرجل النووي للنموذج الأولي الأرضي في كاداراش ماهو إلا مفاعل بالماء المضغوط ذو البنية الحلقية، حيث يجمع المفهوم والإنجاز بمهارة جزءاً راجحاً من الحلول الفرنسية الأصيلة - بعضها على غاية من الفطنة★ بالإضافة إلى عدد لابأس به من مفاهيم يابانية نابعة من استغلال يقظ ومتواصل لمجموع المعلومات المتوفرة في المنشورات العلنية في تلك الحقبة (وكمثال على ذلك: المعلومات المنشورة في أيلول من عام 1958 من قبل فريق المهندسين العاملين في وحدة المفاعلات البحرية لـ وستنغهاوس حول المفاعل الكهربائي في Shippingport). ويقصد بذلك إنجاز أول مفاعل بالماء المضغوط باستطاعة لم تشيد سابقاً في فرنسة وذلك بالسرعة الكلية وبكل الوسائل المتاحة. علاوة على ذلك، يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار بأن هذا المفاعل سيوضع في هيكل الغوّاصة ويجب أن لايكون وزنه كبيراً ودون أن يجعل توازن الكتلة أمراً مريباً في الغوّاصة المستقبلية.

وفي النتيجة، لدى إقلاع النموذج الأولي الأرضي PAT:

- تم التحكّم بصورة كاملة بتقانة المفاعل بالماء المضغوط والمخصص للدفع البحري كما أن الملكية الوطنية لهذا المفاعل هي كلية،

- كما أن المخاطر التقانية الصناعية والمالية جُعلت في حدودها الدنيا القابلة للإنجاز.

برنامج الغوّاصات النووية القاذفة للصواريخ SNLE من النموذج Le REDOUTABLE (ست غوّاصات)

عُدّل بصورة بسيطة المفاعل الأرضي PAT، ورُفعت استطاعته بصورة ملحوظة من أجل الأخذ بعين الاعتبار:

- بعض العيوب في المفهوم التي ظهرت أثناء التجارب (الضاغط، الحماية النترونية للحوض، إلخ ...)،

- كون قطعة الهيكل في SNLE من النموذج Le REDOUTABLE أكبر بقليل من مثيلتها في المفاعل الأرضي PAT في كاداراش، وهذا ما أدى إلى إعادة إنتاج ست منها لتزويد أول ست غوّاصات فرنسية قاذفة للصواريخ SNLE.

★ عدد لابأس به من هذه الحلول التقانية سيساهم فيما بعد في نجاح فَرنسة Francisation الرخصة الأمريكية Westinghouse والخاصة بالمفاعلات المولّدة للكهرباء.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ساهم النجاح المكتسب في إنجاز المفاعل PAT في بناء Le REDOUTABLE وذلك قبل الحصول على النتائج النهائية لـ PAT.

خضعت Le REDOUTABLE للتجارب في عام 1969 وأدخلت في الخدمة الفعلية في عام 1971. وأتبعت بخمس غوّاصات مشيدة عملياً بمفاعل مماثل، مع الأخذ بعين الاعتبار لما يلي:

- تشغيل مُرضٍ على مستوى الأداء،
- ميزات عالية الإمكانية تم التأكد منها أثناء الخدمة
- سهولة نسبية في القيادة والصيانة بالمقارنة مع أول نموذج للمفاعل الأرضي.

المفاعل الأرضي CAP: (مرجل متقدم نموذج أولي)، مفاعل متراص ذو بنية متكاملة

السياق التاريخي لحقبة إطلاق المشروع

منذ عام 1966، واعتماداً على النجاح الذي حققه الـ PAT، وُضع تصور بهدف تحديد بُنى مفاعلات بالصورة الأمثل للغوّاصات ذات الدفع النووي وكذلك للسفن العائمة العملاقة. أُنجز عدد لابأس به من الدراسات وجرت مقارنتها آخذة بعين الاعتبار الإنجازات الأجنبية، على سبيل المثال Otto HAHN الألماني، وانبثق من ذلك بنيتان:

- الأولى خُصّصت للغوّاصات وسميت CAP (مرجل متقدم نموذج أولي). تمت مراجعة هذه البنية العامة (بنية K) وجرى تصحيحها عدة مرات على نقاط مختلفة من المرتبة الثانية في المفهوم العام ووضعت في الخدمة في جميع الإنجازات اللاحقة،

- الثانية خُصّصت للسفن العائمة وسميت CAS (مرجل متقدم في السلسلة)، كما أنها عرضت وفي مراجعات متتالية لتجهيز أنواع مختلفة من السفن (حاملة الحوامات والمسماة PH75، حراقة نووية C75، كاسحات جليد مخصصة لحفر السواحل الكندية، إلخ ...)، لم تتحقق هذه البنية قط.

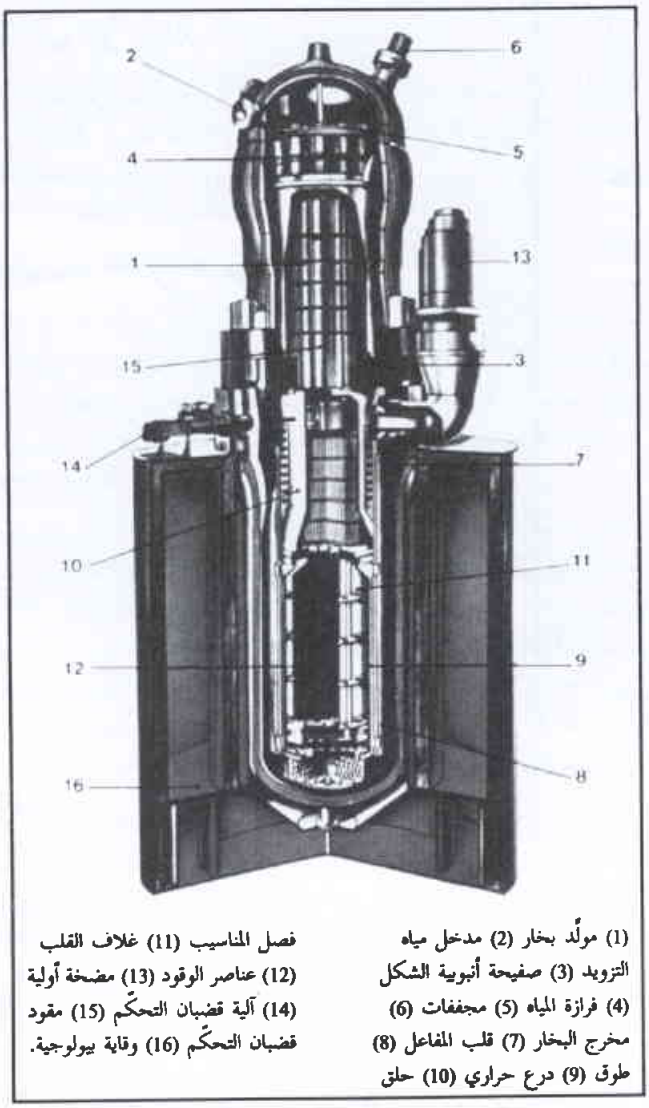
يُحقق مجمل هذه التصاميم الجذابة، وبصورة جذرية، مايلزم من أجل بناء مفاعل نموذجي يثبت صحة التصورات المقدمة.

ونظراً لعدم توفر التغطية المادية، والتي هي بالأساس عسكرية، لجميع الاحتياجات، تقرر إعطاء هدف آخر لـ CAP وهو الإسهام في كفاءة وقود محطات توليد الكهرباء لفراماتوم Framatome بهدف إثبات قدرة قلب المفاعل على تحمل الانتقالات الحرارية المرتبطة بالتشغيل بالتحكّم من بعد.

الأهداف الكبرى لمشروع CAP (الشكل 3)

المقصود بذلك وبصورة أساسية، إثبات تفوق التصميم المتكامل وقدرته على تجهيز الغوّاصات ذات الأوزان الصغيرة وللتأكيد أيضاً على المزايا المتوخاة:

- تقليل ملموس في كتلة الوقاية،
- مقدرة تشغيل بالجريان الطبيعي للمائع الأولي وصولاً إلى الاستطاعة الهامة المتوخاة مما يُحسّن من سرّية الغواصة ويُعزز الأمان العام للتشغيل وتقليص الاستهلاك الكهربائي للمرجل،
- تحسين إيقاع التشييد وجودة إنجاز الدارة الأولية والتي لم تعد تطلب الكثير من اللحام في الموقع.



(1) مولّد بخار (2) مدخل مياه التزويد (3) صفيحة أنبوبية الشكل (4) فرازة المياه (5) مجففات (6) مخرج البخار (7) قلب المفاعل (8) طوق (9) درع حراري (10) حلق فصل المناسيب (11) غلاف القلب (12) عناصر الوقود (13) مضخة أولية (14) آلية قضبان التحكّم (15) مقود قضبان التحكّم (16) وقاية بيولوجية.

الشكل 3- المرجل المرجعي لـ CAP.

وقد طغى مجموع هذه المزايا على العقبات القليلة والمتمثلة بوحدانية مولّد البخار وبالحاجة إلى الرسو من أجل إعادة تحميل القلب.

يُضاف إلى ذلك أن اختبار الوقود في محطات توليد الكهرباء وبناء الـ CAP، شكلا فرصة سانحة لتقييم التصورات الجديدة.

المنجزات التقانية الأساسية لـ CAP

يميز مفهوم المرجل المتقدم النموذجي بعدد هائل من التطورات التقانية خاصة عندما يقارن بالمفاعل الأرضي PAT، وهنا يمكن الإشارة إلى النقاط التالية:

- البرهنة على مقدرة تشغيل الجريان الطبيعي للمائع الأولي وصولاً إلى الاستطاعة الهامة المتوخاة ويعود ذلك إلى التصميم العام للمنظومة التي يوضع في داخلها مولّد البخار (البؤرة الباردة) مباشرة فوق قلب المفاعل (البؤرة الساخنة). يسمح التصميم العام للجريان الأولي بتخديم عمود ساخن متصاعد بلا انقطاع وعمود بارد هابط بلا انقطاع. يتم تقليص الضياع في حمولة الدارة الأولية بإلغاء الحلقات وتدابير مختلفة متعلقة بالحوض الداخلي.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

– يتم وبصورة متلازمة استخدام منظومة تغذية كهربائية للمضخات الأولية، مما يُعطي عطالة لدى الإقلاع وعند التبطيء يسمح بالتحول من حالة الجريان الطبيعي إلى حالة الجريان القسري دون أن يشكل ذلك أي خطر على القلب،

– تحقيق وفر محسوس في مادة الوقاية الثانوية بالنسبة لمفهوم الحلقات، حيث تختلط الدروع الواقية من الآزوت –16، وبصورة تلقائية، مع الجدران السميكة للحوض ولمولّد البخار،

– هناك أيضاً تحسّن واضح في الأمان يمثله إلغاء الحلقات وكذلك حجم مهم من اللحام المنجز في الموقع لأن تصدعه لن يؤخذ بعين الاعتبار في التحليل الواجب إجراؤه.

– أُنجزت مراجعة كاملة لمفهوم مولّد البخار وجُعل التصميم العام دورانياً بحيث يتوافق مع الجزيان الأولي، وخُفّضت الضخامة في الارتفاع إلى الحد الأدنى. وكون مولّد البخار وحيداً فقد أولي الكثير من العناية لدى إنجازه بحيث يسهل فكه ومراقبته. ويسهل سد الأنابيب التي وجدت ضعيفة أثناء المراقبة.

– إن تصميم الأحواض الداخلية أكثر تعقيداً بالمقارنة مع التصميم الحلقي، وهذا يخص آليات تشغيل ماصّات تبين أنها ذات تصوّر شاق كما أن التصميم العام يقود وبصورة طبيعية إلى تشغيل عدة ماصّات بنفس الآلية، وهذا الشيء ليس الأمثل من أجل التحكّم بفعّالية القلب،

– أُنجز تنقيح كامل للتحكّم الموجه،

– إن وعاء الضغط في المفاعل هو من النموذج: إبطال الضغط، ويحصل ذلك بالبقبقة القسرية للبخار الساخن، الوارد من مولد البخار أو من الحوض، في خزان مياه باردة. هذا النظام جذاب بمبدئه لأنه يتيح التحكّم بالضغط المطلوب، وهذا هام بصورة خاصة عندما يكون الوعاء بيتونياً، لكنه مع ذلك لم يعتمد في الدفع البحري بسبب ميلانات سطح السفينة.

ومن الصعوبة بمكان هنا الإشادة بكفاءة هذه المنظومة، بل يمكن اعتبار الأمر مربكاً من وجهة النظر المتعلقة بتهيئة مفاعل اختبار*.

وبالمحصلة، فإن المرجل المتقدم النموذجي CAP، يعتبر وبشكل مطلق تهيئة ضرورية في تطوير نمط المفاعلات المندمجة ذات البنية المتكاملة.

وهكذا، وبعد أشهر من التشغيل تحققت صحة الاختيارات الأساسية فيما يخص التصميم العام. علاوة على ذلك، وفيما يتعلق بالعديد من النقاط المفتاحية لتصميم مجموعة المرجل فإن الحلول المتبناة للغوّاصات النووية الهجومية SNA من النموذج RUBIS تختلف كثيراً عن تلك الخاصة بالـ CAP التي برهنت عن محدوديتها.

من دون الدخول في التفاصيل، يمكن الإشارة إلى مايلي:

– أُعيد التفكير بصورة كبيرة بتنضيد étagement المجموع قلب/ آليات/ مولّدات بخار،

– عُدّل مولّد البخار بصورة واسعة،

– اختلفت سلسلة تشغيل آليات تحريك الماصّات،

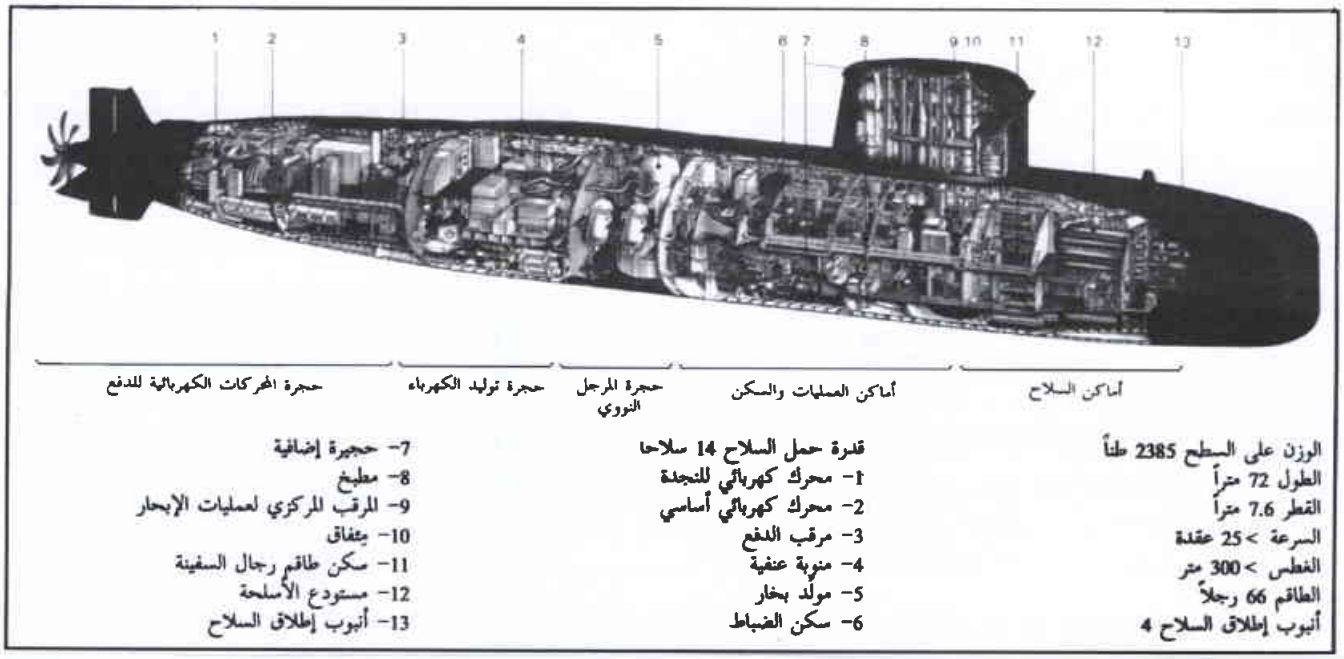
– اختلف الجزيان الأولي.

وكان من الممكن أن تولد بعض التأخرات وزيادة النفقات فيما لو تمت مصادفة هذه المشاكل مباشرة على أول غوّاصة نووية هجومية SAN. النماذج الأولية ليست ترفاً لامعنى له.

برنامج الغواصة الهجومية SNA من النموذج RUBIS/ AMETHYSTE (الشكل 4)

السياق التاريخي لحقبة إطلاق المشروع

لدى إطلاق البرنامج في عام 1970، ارتأت البحرية الوطنية استبدال غوّاصاتها التقليدية المتقادمة من النموذج Narval و Arethuse،



الشكل 4– الغواصة النووية الهجومية Rubis.

* مع ملاحظة أن كل التطورات الحديثة في تحليل الأمان التي تقود إلى اعتبار أن الوضع تحت الضغط يتم بانفجار الهدروجين (غير القابل للتكثيف) تنتزع الكثير من الأهمية لهذا الجهاز.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

كما توقعت الخطة الزرقاء "Plan Bleu" آنذاك المحافظة على أسطول بحوالي عشرين* غوّاصة تقليدية بوزن وسطي يقارب الـ 1200 طن وجميعها مشتقة من الجيل AGOSTA، أي الجيل الأخير من الغوّاصات ذات الدفع التقليدي المصنوعة في فرنسة - والمصدّرة إلى العديد من البلدان.

وروّج المؤيدون للدفع النووي، بأنه بكلفة أقل بكثير من هذا البرنامج يمكن تزويد فرنسة بأسطول من خمس غوّاصات بدفع نووي ذات كفاءات عملياتية أعلى بما لايقارن من الغوّاصات التقليدية.

وبالمحصلة، يمكن مقارنة المقدرات العملياتية للغواصات الهجومية من النموذج RUBIS، تماماً بالمقدرات العملياتية للغوّاصات النووية الهجومية الإنكليزية والروسية، بأوزانها التي تزيد مرتين أو ثلاث مرات عن الغواصات الفرنسية. علماً بأن المهام التي يمكن أن توكل إليها هي من الطبيعة نفسها، في حين لاتستطيع الغوّاصات العاملة بالدفع التقليدي القيام بذلك. وهكذا أصبحت البحرية الوطنية الفرنسية تنتمي إلى نادي البحرية المالك للسفينة الرئيسية capital ship: الغواصة الهجومية ذات الدفع النووي.

الأهداف الكبرى لبرنامج RUBIS/AMETHYSTE وتلاحقاته

تتمثل الغاية الأساسية في إعطاء الغوّاصات ذات الأوزان الصغيرة (وبالتالي الأقل تكلفة) مقدرات عملياتية متفوقة كالتي يقدمها الدفع النووي**.

على الرغم من بعض المصاعب الأولية المتعلقة بتصميم وصنع مولّد البخار، حقق البرنامج في النهاية نجاحاً ورُفع عدد السفن من خمس إلى ثمانٍ ثم أُعيد بسرعة إلى سبع غوّاصات، وهذا العدد يقابل السعة العظمى لرتل الصيانة، كما أن الغوّاصة لم تُستكمل، حيث أوقف بناؤها بقرار متسرّع رغم التقدم الكبير في بنائها.

المنجزات التقانية الأساسية لبرنامج RUBIS/AMETHYSTE

يتميز برنامج المرجل بتطور تقاني عالٍ جداً نسبة للإنجازات السابقة، فهو يمثل، إضافة إلى ضيق حجرة المرجل، انتصاراً حقيقياً جميلاً. المفاعل بسيط للغاية ولايوجد ما يعادله حتى الآن. وهذا ما يجعل استثماره سهلاً.

تؤمن البنية المتكاملة مايلي:

- مقدرة دمج في قطر أصغر للهيكل***،
- سهولة في التشييد في الموقع بالمقارنة مع البنية الحلقية،
- ربحاً هاماً في كتلة الحماية،
- مقدرة تشغيل متميزة بالجريان الطبيعي حتى المسير الجيد.

أُعيد من جديد تصميم التحكم المراقب بالمفاعل بالنسبة لما هو عليه لدى الغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE من النموذج Le REDOUTABLE. إن تنظيم الحصر الأصيل يُوفق بمهارة بين الاهتمامات بآمان الغطس وبين متطلبات الأمان النووي.

يجسد الدفع العنفي - الكهربائي الحلول المستقبلية التي يمكن أن تتابع لبرنامج BARRACUDA.

البرنامج K15: مفاعل بتقانة مشتركة مع الغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE من النموذج LE TRIOMPHANT ومع حاملات الطائرات من النموذج CHARLES DE GAULLE

السياق التاريخي لحقبة إطلاق البرنامجين Le TRIOMPHANT وChales de Gaulle

لدى إطلاق هذين البرنامجين في بداية الثمانينيات، ارتأت البحرية الوطنية الفرنسية مايلي:

- من جهة، استبدال الغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE، من الجيل الأول، ذات الأوزان المحدودة قليلاً لمتابعة تطور الصواريخ متعددة الرؤوس حيث ينبغي زيادة المدى وتحسين كفاءات السرّية الصوتية.

- من جهة ثانية، استبدال حاملتي الطائرات فوش FOCH و كليمنسو CLEMENCEAU اللتين يعود تاريخ إنشائهما إلى نهاية الخمسينيات.

- المناسبة هي بلا ريب مغرية لإصابة هدفين برمية واحدة، فقدّمت لذلك تصورها للمفاعل المسمى "K15"، وهو مرجل يستثمر النجاحات السابقة:

- ويتضمن العديد من التحسينات.

- قادر على تجهيز الغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE من النموذج Le TRIOMPHANT وكذلك حاملة الطائرات Charles de Gaulle بآنٍ واحد.

- مع البحث عن تطابق أعظمي بين التطبيقين مع أنهما من طبيعتين مختلفتين جداً.

يضمن "الجذع المشترك K15" اقتصاداً هاماً في الوسائل والدراسات، ولهذا السبب تم تبنّيه، وبعناد ودأب، من قبل الفرق المكلفة بالدراسات رغم الضغوط المتشعبة والتي لم تقف عن الازدياد مع تقدم البرامج.

الأهداف الكبرى لبرنامج LE TRIOMPHANT وتلاحقاته

ترتبط الأهداف الأساسية لبرنامج LE TRIOMPHANT بمصداقية القوة البحرية الاستراتجية والتي تفترض:

---

* يلاحظ منذ البداية أن الرقم 20 غواصة لم يكن واقعياً.

** ما تزال الغواصات الهجومية الفرنسية حتى اليوم، أي بعد 20 عاماً على تصميمها، الغواصات المحيطية الأصغر حجماً ذات الدفع النووي (وبالتالي الأقل كلفة). ومن الهام هنا الإشارة إلى أنه إذا كانت أوزان الغواصات النووية الهجومية من النموذج Rubis تشكل عائقاً أكيداً مقارنة بمثيلاتها في القوى البحرية الأجنبية، فإنها لو كانت أعلى لما كانت هناك غواصات نووية هجومية فرنسية أو أنها جاءت متأخرة أكثر لأن البحرية الفرنسية لم تكن لتحتمل ميزانية كهذه.

*** عملياً، يسمح تصميم المنظومة بالتثبيت عند الصفر، مما يلغي بالتالي المشاكل، كما يتيح الحيز بين هيكل الغواصة والمرجل، استخداماً أمثل للحيز الذي تقدمه الغواصة من جهة الارتفاع، في حين ينجز الجريان أمام/خلف، جانبياً في حجرة المفاعل.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

- بناء غوّاصات خافتة جداً بإمكانها أن تبقى غير قابلة للكشف، رغم التطور في وسائل الكشف الصوتي للغوّاصات وبالصورة المثلى ينبغي أن تمتزج الغوّاصات المستقبلية مع ضجيج البحر الخاص،

- مقدرة هذه الغوّاصات على استعمال صواريخ بحر-أرض بالستية استراتيجية قادرة على اختراق الدفاعات النهائية للعدو المحتمل رغم التطور المتوقع لهذه الدفاعات

- علاوة على ذلك، تسمح زيادة مدى الصواريخ بتوسيع مناطق المهمة الدورية معززةً عدم قابلية كشف الغوّاصات،

بالمحصلة، حققت الغوّاصة Le TRIOMPHANT الأهداف الموضوعة منذ بداية البرنامج. والغوّاصة Le Temeraire حالياً قيد التجريب، والغوّاصة Le Vigilant قيد البناء، كما خُطط لغواصة رابعة.

التقدم التقاني لبرنامج LE TRIOMPHANT

على الرغم من أن التطور العام للغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ لايمثل من ناحيتي الاستخدام المرتقب ومحيط المفاعل أية حداثة في تصميم المرجل، إلا أن برنامج Le TRIOMPHANT مثّل قفزة تقانية هامة، توضّح فيما يلي جوانبها الأساسية:

السويات المبتغاة على صعيد السرّية الصوتية (اهتزازات) عالية جداً.

لقد حُدّدت هذه السويات ليس بالمرجعية نسبة إلى المهارة الحالية في التقنية المضادة للاهتزاز أو تدابير معاكسة لكن بدلالة التطور المرتقب لهذه الأخيرة. وهكذا قادت متطلبات السرّية الصوتية على سبيل المثال:

- إلى تطوير ملحقات تدور بصورة خافتة جداً (دون صلة مع أي من آلات مماثلة لم تُصنع أبداً من قبل في فرنسة)،

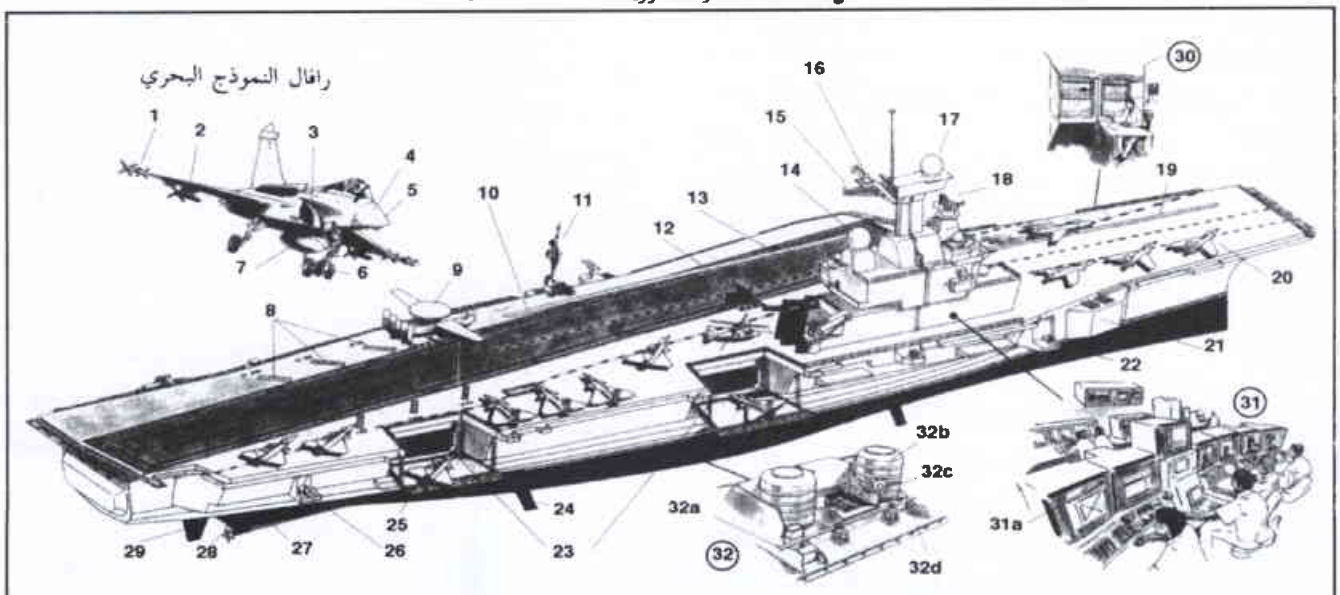
- إلى تعريف دارات الموائع التي تنقص فيها سرعات الجريان بعامل يمكن أن يصل إلى 10 وبصورة نموذجية بعامل يساوي 5) بالمقارنة مع المفاهيم السابقة،

- إلى تحديد تغذية كهربائية للمرجل النووي من خلال شبكة قاعدية تعمل بالتيار المستمر علماً بأن أغلب الدارات المشغّلة للمرجل ، ولأسباب تقانية أساسية مرتبطة بمسألة الأمان، تُغذّى بالضرورة بالتيار المتناوب.

- إلى تعريف معاليق عالية الأداء لأغلبية مصادر الاهتزاز الآتية من المفاعل،

- إلى استخدام مطاط اصطناعي مرن على أغلب دارات المرجل مع الأخذ بالحسبان المتعلق بانقطاع هذا المطاط المرن من وجهة نظر تحليل الأمان،

الشكل 5- حاملة الطائرات النووية Charles de Gaulle.



1- صاروخ MAGIC-2
2- صاروخ MICA جو - جو
3- جنيحات قابل Conard
4- بدن الطائرة حاوياً على المحمولة الإلكترونية
5- رادار مسح RBEZ
6- عجلة صغيرة قبل الطي
7- خزان احتياطي
8- إشارات توقف تستخدم من أجل هبوط الطائرات على ظهر السفينة
9- طائرة رصد Hawkeye e-2C
10- قاذفة الصواريخ
11- صاروخ ASTER -15
12- حارف الرمي
13- رادار بحري DECCA
14- رادار ثلاثي الأبعاد DRJ 11B لحساب ارتفاع تحليق الطائرات
15- كاشف تحت الأحمر DIBV vampire
16- رادار حراسة جوية وبحرية DRBV 15C
17- رادار Arabel (نظام مضاد للصواريخ)
18- رادار حراسة بدى بعيد DRBV 26-D
19- قاذفة صواريخ
20- Super Etendar
21- صومعة SAAM 2x8 صاروخ
22- منظمة رائجة SAGAIE
23- مرآب طائرات 5000 متر مربع
24- جنيح مثبت
25- مصعد بوزن 36 طن
26- منظومة رائجة SAGAIE
27- محور التوجيه
28- المروحة
29- جساد Safran
30- حجرة نموذجية (كل حجرة لطاقم رجال السفينة تحتوي على تسعة أسرة، تلفزيون، تسع خزائن ودورة مياه واحدة
31- صالة التحكّم بمنظومة السلاح (90 شخصاً و 17 خزانة جهاز)
a31- خزانة جهاز 8- SENIT
32- مجموعة المرجل
a32 محور توجيه الميمنة
32b الطوق المحيط بالمفاعل (قطر 10 أمتار، ارتفاع 10 أمتار)
32c مخزن أمان للمواد المشعة بصورة ضعيفة
32d صندوق الوقاية المعززة للصواريخ

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

منهجية تحليل الأمان وإثباته أُعيد النظر فيها بصورة كاملة.

في الثمانينيات، طُبقت التطورات المُنجزة في فرنسة على صعيد منهجية تحليل الأمان على برنامج Le TRIOMPHANT بمناسبة تطوير مفاعلات مولدات الكهرباء، (حيث لم يكن بالإمكان تطبيق ذلك مادياً على البرامج السابقة ذات التصاميم القديمة).

بقيت الآلية المتبعة في تحليل أمان مفاعلات الدفع النووي مماثلة ومن كل النواحي لتلك المستخدمة في مفاعلات مولدات الكهرباء، كما أن الهيئة المراقبة لهذه التقنية بقيت نفسها (الـ IPSN). فقط تمت ملاءمة بعض الجوانب.

عُدّل، من الناحية التقانية وبصورة كاملة، نظام التحكّم المراقب للمرجل آخذاً بالاعتبار التطورات العامة للتقنيات في هذا المجال. مع الإشارة هنا إلى أن مفاعل Le TRIOMPHANT هو أول مفاعل نووي فرنسي يُجهز بنظام تحكّم مراقب للأمان رقمي بصورة كاملة.

الأهداف الكبرى لبرنامج PA Charles de Gaulle (PACdG) وتلاحقاته (الشكل 5)

ينحصر الرهان الأساسي لبرنامج PACdG في جعل حاملات الطائرات تستفيد، بأقل تكلفة، من الأفضلية العملياتية الهامة جداً التي يقدمها الدفع النووي (بفعل التماثل مع مفاعل الغوّاصات النووية قاذفات الصواريخ SNLE NG) وبالمقارنة مع المنشأة التقليدية، نجد خصوصاً تحسيناً بالغ الأهمية لـ:

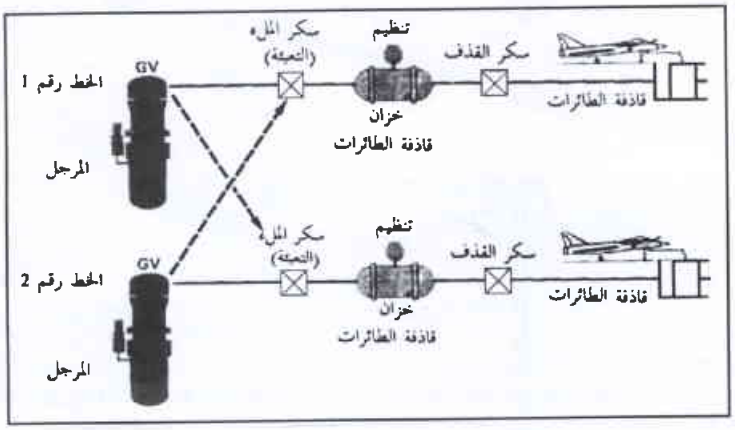
- استقلالية الدفع والتزويد بالطاقة الكهربائية، غير المحدود عملياً دون أي صلة مع الدفع التقليدي،
- الاندماجية بخاصة فيما يتعلق بغياب المداخن ذات الحجم المزعج، الذي يعقد تصميم سطح الإقلاع، وكذلك يعيق حركة هبوط الطائرات (حول هذه النقطة يمكن أن نشير على سبيل المثال، إلى أن هبوط طائرة المراقبة الرادارية HAWKEYE، التي حسنت وبصورة حاسمة حماية المجموعة الجوبحرية، أصبح ممكناً في حين أن هذا الهبوط على الحاملة PA ذات الدفع التقليدي والوزن المكافىء أقل سهولة بكثير).
- الكتلة، أقل بكثير من تلك الخاصة بالدفع التقليدي، التي تتطلب حمولة من الوقود تقدّر بـ 8000 طن. وهكذا استخدم ماتحرر من كتلة وحجم لصالح زيادة حجم وقود المفاعل المحمول، مما يسمح لحاملة الطائرات شارل دوغول بالعمل دون مرافقة.
- مرونة المناورة،
- وثوقية التشغيل،

إن حاملة الطائرات شارل دوغول هي الآن قيد التجريب في البحر وستكون هذه التجارب فرصة مناسبة للبحرية لتقييم هذه الأداة وتقدير أدائها. لنجازف في بيع جلد الدب قبل قتله ولنؤكد باكراً أنه بعد مرحلة تجربة التحمّل فيما يخص الدفع والتزويد بالطاقة ستكون هذه التجارب ناجحة ليس فقط على صعيد التأكيد على أن مصدر الطاقة النووية هو الأنسب والأنجع، وإنما، أيضاً سيجعل هذا النجاح قيادة السفينة ***تنسى كلياً أية متاعب*** تزعج القيام بالمهمة الأساسية ألا وهي وضع الطيران الحربي في ظروف عملياتية متنوعة وغير متوقعة.

الإنجازات الأساسية والرهانات التقانية لبرنامج حاملة الطائرات شارل دوغول PACdG

ارتبطت حاملة الطائرات PACdG، أول سفينة عائمة صنعت في فرنسة*، بالعديد من الإنجازات التقانية. ومن بين العديد من المسائل يمكننا ذكر الرهانات الأساسية التالية:

- فيما يخص الإعداد والتهيئة، إن حاملة الطائرات، على عكس ما يمكن أن نفكر به بديهياً، هي أكثر تطلباً من الغوّاصة فالحجم بالارتفاع المتوفر أصغر مما هو عليه في الغوّاصة؛
- في الغواصة، وبعد فتح الهيكل، يكون الدخول إلى المفاعل مباشراً في حين يتطلب الأمر في حاملة الطائرات وضع تصميم جديد تماماً لإعادة تحميل الوقود الذي يُنجز بصورة كاملة داخل السفينة (في مرآب الطائرات المخصص لهذه الغاية)، كما يتطلب تحديد آلات تسمح بسحب تجهيزات تتيح المرور إلى القلب، ونقل عناصر الوقود المشعّة إلى حوض التخزين في ميناء الصيانة،
- تُزوَّد قاذفات الطائرات بالبخار عن طريق مرجل نووي من خلال خزان صادّ يسمى "رطب"**. وقد شكّل ذلك بالنسبة للمصممين عقبة جديدة خاصة من ناحية توصيف البخار (مخصص لخدمة القاذفات) مما استدعى العديد من إجراءات الكشف الدوري الذي يخضع له المفاعل النووي (الشكل 6)؛
- فيما يتعلق بالخطر والعدوان المحتمل فإن حاملة الطائرات تختلف وبصورة واضحة عن الغواصة في النقاط التالية:
- مقدرة على حمل السلاح والصواريخ، بما في ذلك الأسلحة شبه الاستراتيجية،



الشكل 6– حاملة الطائرات شارل دوغول مبدأ تغذية قاذفات الطائرات بالبخار.

* بالطبع أنجز العديد من الدراسات حول تصاميم مختلفة: حاملات الحوامات والمسماة PH75، كاسحات الجليد لحفر السواحل الكندية، الحاملات السريعة للحاويات والمخصّصة لمختلف صنوف الأسلحة. والإنجاز الحقيقي هو الوحيد الذي أظهر المشاكل الحقيقية المتعلقة بالتقانة أو بالاستثمار.

** يتم تزويد أجهزة قذف الطائرات على كل من PA Foch و Clemenceau، عن طريق خزان بخار جاف، وهذا يعتبر أكثر صعوبة من أجل المحافظة على ضغط مستقر في أسطوانات أجهزة القذف وبالتالي تسارع ثابت – عند دفع الطائرة.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

- حجم هام من الوقود القابل للاشتعال،
- بسبب حجم السفينة الكبير جداً، فإنها عرضة للهجوم، رغم تمتعها بمقدرة كبيرة في الرصد، والحماية، والحصار والرد،
- تأثير إعلامي لعرض سفينة قيادة ذات دفع نووي

إن تحليل ما يسمى بالتعرض للهجوم، يبيّن وبصعوبة واضحة، أنها أكثر منطقية لدى المقارنة بتلك الخاصة بالغواصات، وانعكس ذلك على طريقة معالجة أي عدوان محتملٍ وعلى كيفية تقدير عواقب عدوان خبيث. وهذا التحليل، يظهر وبصورة جلية، أن استخدام حاملة الطائرات شارل دوغول سيكون أكثر مرونة وفعّال مقارنةً بحاملات الطائرات الحالية ذات الدفع التقليدي، وهذا عائد إلى تميز في المقدرة على المناورة لمواجهة أي عدوان.

ـــ إن طريقة استثمار حاملة طائرات، تختلف وبصورة جلية، عن تلك الخاصة بالغواصة، مما استدعى تبني مايلي:

- إن حاملة الطائرات شارل دوغول ماهي إلا مطار عائم، بأكثر من 2000 شخص على سفينة أغلبهم يعدّون أناساً عاديين بالنسبة إلى تنظيم الوقاية الإشعاعية، بينما يوجد نحو 100 شخص على الغواصة يعتبرون من الناحية التنظيمية كأشخاص معنيين مباشرة بالأعمال تحت التشعيع.
- كذلك هناك اختلاف بين الغواصة القاذفة للصواريخ والتي لاتملك إلا ميناء قاعدتها البحرية الوحيد، ولاترسو فيما عدا الاستثناءات، وحاملة الطائرات شارل دوغول التي يمكن أن تظهر بعيدة عن ميناء قاعدة البحرية ولفترة طويلة. يمكن الاستفادة من المساحة المتوفرة على ظهرها كما هو واقع الحال في حاملة الطائرات شارل دوغول من أجل استقبال المعونة من حيث الأشخاص والمواد عند الضرورة (بالطريق الجوي)، وعليه تمّ تعديل مبدأ صيانة المراجل مقارنة بالغواصة، مما أعطى إمكانية ظهورها - في أماكن بعيدة أو تموضعها ولمدة عام كامل أو أكثر.

مفاعل التجارب على اليابسة RES

يتطلب الحفاظ الدائم على التحكّم بتقانة الدفع النووي في السفن البحرية افتراض وجود استثمار منشآت على اليابسة والمماثلة للمنشآت المحمولة على السفن، ولهذا السبب تمّ اعتماد إعادة تجديد مجموعة هذه المنشآت.

الأهداف الكبرى لمشروع مفاعل التجارب على اليابسة

تقدم الأهداف الكبرى لهذا المشروع وفق مايلي:

- تشييد مفاعل تجارب قادر على تحقيق الوظائف المذكورة لاحقاً،
- تأمين حوض ذي سعة كبيرة وقادر على استقبال الوقود المستنفد والمسترد من الغواصات قيد الاستثمار،
- امتلاك مفاعل للتجارب الحرجة، للتحقق من صلاحية قلوب المفاعلات ومن إعادة ضبط آلات الحساب النتروني،

مهام مفاعل التجارب:

- تشعيع وتأهيل الوقود على اليابسة

حول هذه النقطة تجدر الإشارة إلى أنه من غير الممكن، مادياً، توصيف الوقود المستنفد المسترد من الدفع البحري والناتج من استهلاك القلب على ظهر السفينة، إلا في حالة امتلاك مفاعل قادر على حرق هذا الوقود. وللتغلب على ذلك، من المناسب إيصال الوقود المختبر من قبل إلى مقارنة مع استهلاك القلوب المحمولة، بحيث يضمن معدلاً من الاحتراق يساوي على الأقل القيمة العظمى من معدّل الاحتراق على السفينة في ظروف مشابهة لتلك الموجودة قيد الاستثمار.

- تدريب طواقم قيادة المنشآت المحمولة

تواجه البحرية مشكلة صعبة، متمثلة بتدريب طواقم قيادة لهذه المفاعلات لأسباب كثيرة منها معدّل الدوران السريع نسبياً للمستخدمين فيها. وتاريخياً، استدعى هذا الأمر وضع برنامج مكثف جداً لتدريب طواقم قيادة من الناحية النظرية ومن الناحية العملية بالتدرب على أجهزة محاكاة. ويستكمل هذا التكوين بدورة تدريبية على مفاعل حقيقي، وهذه هي المهمة الأساس لمفاعل على اليابسة RES. واعتمدت آلية التدريب هذه من أجل تدريب طواقم قيادة الغواصات، حيث أنه من غير الممكن إنجاز عملية تدريب طواقم قيادة السفن والغواصات على مرحلتين منفصلتين. وليس مستحيلاً أن يعيد الوجود الجديد لحاملة الطائرات شارل دوغول النظر، ولو قليلاً، في دورة التدريب المتبعة حالياً، مع الأخذ بالحسبان القدرات الجديدة المتاحة. علماً بأن القاعدة المتبعة في البحرية الوطنية تُشير وبوضوح إلى عدم الرغبة في تحويل السفن العملياتية إلى مجرد عملية تدرب في ورشة.

- اختبارات التصاميم المتجددة

على هذا الصعيد، أُنجز عدد لابأس به من التحسينات التقنية المتنوعة والتي يصعب تناولها في هذا المقال، ويمكن التأكيد هنا على الرغبة في تزويد مفاعل التجارب على اليابسة RES بأنظمة النجدة القصوى والقادرة، في حالة فقدان مجموع الوسائل المعتادة والمخصصة لغاية كهذه، على تدارك الحادث المسمى "انصهار قلب مضغوط"، كذلك ضمان عدم تثقب الحوض في حال تشكل أدمة ما.

- الحفاظ على قدرات التطور والتعديل من أجل النماذج الأولية المتوقعة، ومن أجل التطبيقات الأخرى أيضاً، رغم صعوبة إنجاز ذلك.

الحالة الراهنة لمشروع مفاعل الاختبارات على اليابسة RES

تتمثل الخيارات الأساسية الحالية الموافق عليها بالنسبة لهذا المشروع بما يلي:

- مفاعل ماء مضغوط ذو تصميم مستمد إلى حد ما من المفاعلات التي جهزت بها حاملة الطائرات شارل دوغول مع وجود عدد لا بأس به من التعديلات الملائمة.
- طوق معدني مغمور جزئياً في حوض ذي حجم كبير، يُقدم بذلك عطالة حرارية كبيرة جداً في حال ارتفاع درجة الحرارة والضغط داخل الطوق.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

يدلّ الجدول الزمني على أنه سيتباعد عند منتصف عام 2006 متقدماً بالنسبة إلى برنامج باراكودا BARRACUDA الذي يجب أن يحضره RES.

برنامج باراكودا BARRACUDA: غواصة المستقبل الهجومية

الأهداف الكبرى لبرنامج باراكودا

إن الأهداف الكبرى لبرنامج باراكودا والمقدمة حالياً من قبل البحرية والمفوضية العامة للتسليح هي:

تأمين برنامج تحت بحري يهدف إلى استبدال الغواصات الهجومية SNA من النموذج RUBIS/AMETHYSTE. ويجب أن يكون برنامج كهذا متعدد التكافؤ polyvalent وسهل التصور، ويلبي الاحتياجات التشغيلية لعشرينيات القرن الواحد والعشرين. ولهذا السبب، يجب زيادة كفاءات الكتمان الصوتي للغواصات النووية الهجومية SNA من النموذج RUBIS وصولاً إلى المستوى الذي تتمتع به الغواصات من النموذج TRIOMPHANT، مع الأخذ بالحسبان تمايز المهام لكل نموذج من هذه النماذج. علاوة على ذلك، يتوجب تحسين المقدرة على حجم التسلح وكذلك أنظمة التدابير المعاكسة.

وفيما يتعلق بالجوانب الأكثر أهمية والمتعلقة بالمرجل النووي، فيتوجب تحسين مستوى الجاهزية العامة للغواصة* وأيضاً *خفض التكلفة* (كلفة الحيازة والاقتناء، وغالباً ما يوصف أمر كهذا بالتناقض)، مع العلم أن البرنامج لن يقرر إلا في حالة تحقيقه لشرط التكلفة المتوقعة في الميزانية المخصصة لذلك.

وأخذاً بالحسبان للعناصر السابقة، فإن غواصة المستقبل يمكن أن تملك المواصفات التالية:

- وزن يتراوح بين 3000 و 4000 طن، مع التذكير بأن أوزان SNA 2300 طن و SNLE 19000 طن و SNLE NG 1400 طن.

- قطر الهيكل الخارجي بحدود 8.8 m متيحاً بذلك تجهيزات داخلية مثلى بثلاثة مستويات للتجهيزات والمرور مؤدياً إلى معامل بشكل محسّن (L/D مختزل) آخذين بالحسبان حمولة الغواصة، مع التذكير بأن أقطار SNA:7.6 m و SNLE:10.6 m و SNLENG: 12.5m.

- سرعة عظمى قريبة من تلك الخاصة بنموذج RUBIS/ AMETHYSTE،

- زيادة في السرعة التكتيكية بالنسبة إلى النموذج RUBIS/ AMETHYSTE،

وفيما يتعلق بالأكثر خصوصية في المرجل النووي، فإن تصميمه العام مشتق بصورة شبه مباشرة من التصاميم السابقة له - لايوجد تجديدات مثيرة - وذلك ضمن إطار المحافظة على المكتسبات وتقليص تكلفة التطوير. ومع هذا، هناك عدد لابأس به من التحسينات المنجزة بالاستفادة من الخبرة المتراكمة في هذا المجال، ومن هذه التحسينات:

- اقتصاد حقيقي ودائم فيما يتعلق بتكلفة الحيازة والبناء.
- تحسين مستوى الجاهزية،
- تحسين الأمان،

الخيارات التقنية الرئيسة لتصميم مرجل BARRACUDA

تقدم الاحتياجات المبتغاة وكذلك الخيارات التقنية الأساسية لتصميم مرجل BARRACUDA وفق مايلي:

الخيارات التقنية المرتبطة مباشرة باحتياجات السفينة

- قدرة حرارية ضمن المجال من قبل البرامج السابقة،
- كتمان صوتي بالمستوى المطلوب، (قدرة التشغيل بـ CN حتى استطاعة كبيرة.
- ازدياد ملموس في الاستهلاك التقديري للطاقة مقارنة مع الغواصة من نموذج RUBIS AMETHYSTE.

الخيارات التقنية العامة الخاصة بالمرجل

- إعادة ربط تصميم مفاعل متماسك بالبنية المتكاملة،
- زيادة مدة بقاء القلوب (استرداد الطاقة من القلوب):

على أن الغاية هي التوصل، خلال عشر سنوات، إلى فعالية تشغيلية في إعادة التحميل، وإذا أمكن جعل طاقة القلب متناسبة مع الطلب.

وبفضل زيادة حجم القلب وكتلة اليورانيوم المقامة، وكذلك تحسين وسائل التحكّم إلى الشكل الأمثل أمكن زيادة الطاقة بنسبة 50% مقارنة بالتصاميم الموجودة بالكتلة ذاتها وبنفس الحجم الكلي للمرجل.

- حصر استخدام اليورانيوم المغنى ذي المحتوى العالي

ضمن هدف تقليص التكلفة وإدارة المخزونات الاستراتجية وأيضاً تحسين وسائل التحكّم، إلى الشكل الأمثل، كل ذلك قاد إلى ترويج استخدام اليورانيوم التجاري،

- تقليص الفترة اللازمة لإعادة تحميل الوقود،

الهدف هو إنجاز عملية تجديد كاملة للقلب (من تشغيل المفاعل وحتى المرحلة الثانية لإنتاج الكهرباء) في أقل من ثلاثة أشهر عوضاً عن خمسة أشهر حالياً، ويتم الحصول على ذلك بتبسيط عمليات التفريغ GV/Couvercle وكذلك تبسيط جوف الحوض،

- تنظيم إدارة عناصر الوقود غير المستنفد كلياً،

تتطلب طريقة إدارة قلب مفاعل الدفع في السفن البحرية اهتلاكاً ناقصاً للقلوب في نهاية حياتها لأن عملية التفريغ لابد وأن تتم بالضرورة قبل انتهاء مدته، إلا في الحالات الموافقة لعدم تكليف السفينة بالمهام المفاجئة. علاوة على ذلك، فإن اهتلاك عناصر الوقود تكون بصورة غير متجانسة تقريباً، وعليه فإن استخدام اليورانيوم يمكن تحسينه وهذا ما يفرض التخلي عن الإدارة في دفعة واحدة على حساب إعادة ترتيب أو

* المقصود بذلك معدل الجاهزية العام للغواصة (مدة جاهزية المعدّات/ مدة جاهزية الصيانة أو الإصلاح) وليست الجاهزية الآنية كاستجابة للإبحار بالاستطاعة المرجوة في البحر المرضية دوماً. ومن الهام هنا الإشارة إلى صعوبة التمييز بين مجموع فترات جاهزيات السفينة والتي تتعلق بصورة خاصة بصيانة المرجل.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

استخدام القلوب المطعّمة doped والاستعاضة عن ذلك بتحميل بعض عناصر الوقود الجديدة، وترك العناصر الأقل استنفاداً من أجل دورة أخرى.

- تحسين وعقلنة التداخل إنسان - آلة، وهذه مسألة في طور النمو المتصاعد في مختلف التقنيات. وعلى هذا الصعيد فإن الدفع النووي في السفن متقدم نسبياً في معالجة هذه المسألة ويعود ذلك إلى أن البرنامج K15، شكّل فرصة سانحة للعديد من الإنجازات في هذا المجال، ومع هذا، هناك حدود للتقدم تتألف من:
  - التفكير جدياً بإيجاد مستوى مناسب من الأتمتة في قيادة المفاعل،
  - إيجاد التجانس الأفضل في علاقة إنسان/آلة لكامل المنشآت،
  - تنظيم قيادة المفاعل "تبعاً للوظيفة" كبديل عن القيادة "تبعاً للمنظومة"،

خيارات التقنية العامة والمتعلقة بتحسين الأمان

فيما يلي بعض محاور التقدم والمتعلقة بأمان المنشآت:

الأمان "الحقيقي"

- لدى تحليل وتقييم حادث إمرود EMERAUDE (انظر فقرة النكبات والحوادث في فرنسا ص 25) يتبيّن أنّ ذلك يتعلق بالأمور التالية:
  - تقانة دارات مياه البحر
  - خطر البخار الذي يجب أن يؤخذ تماماً بالحسبان (تصميم المكثفات)،
  - اختبار منهجي لعواقب عزل دارات مياه البحر (خاصة عزل في غير موضعه)،
  - إدارة صارمة للدخول إلى أماكن التعرض للخطر،
- اختبار الشروط التي تأخذ بالحسبان أحد الحوادث الجسيمة لانصهار قلب المفاعل في الميناء:
  - إدارة مثلى للإمكانية المتبقية لعودة الغواصة إلى الميناء،
  - إيجاد الوسائل للمبادرة المحتملة إزاء حادث جسيم قد يحدث في الميناء،
- تعزيز يُعوّل عليه لتزويد المرجل بالكهرباء،
- إيجاد وسيلة بسيطة ومؤكدة لتبريد المكان ما بعد الحادث (نظام ناجع وبسيط وقادر وبعزم على تخفيض ضغط ما بعد الحادث)،
- تحسين مستوى الوقاية إزاء الأجسام "المنقولة"،

الأمان القطعي

- تنهيج إظهار الأمان (مع تقليص كلفة هذا الإظهار)،
- إنجاز تخطيط كامل لتطبيقات المولّدات الكهربائية (للتذكير فقد أنجز ذلك عملياً)،

بعض المشاكل المتعلقة بالمهندس المصمّم

تعرض هنا بعض المشاكل التقنية الأساسية المطلوب حلّها، والحلول المعمول بها حالياً في فرنسة. من الواضح تماماً أن هذا العرض هو من جهة شديد الاختصار للموضوع الكبير الحجم ومن جهة ثانية، إنه يعطي، ومن بين عروض أخرى كثيرة، رؤية ممكنة للأشياء (ضيقة لكنها موضوعية)، علماً بأن لكل مشكلة تقنية عدة حلول، وقلما تعطي مقارنة موضوعية، الأفضلية بوضوح لحل واحد فقط من بينها (وإذا كانت الحالة غير ذلك، فإن التحاور حول الموضوع سيتوقف بسرعة، لأن الحل الأفضل سيفرض على الجميع، ليصبح كأنه قاعدة في فن المهنة).

الخواص والمتطلبات النوعية للدفع في السفن

تتميز كل جوانب تصميم مفاعل الدفع في السفن وبصورة عميقة بنوعية التطبيق. نبغي في هذه الفقرة، تجميع هذه الجوانب وتبويبها تبعاً لنوعية المفاعلات المولّدة للكهرباء والتي تملك نقاطاً مشتركة (المقصود في الحالتين مفاعلات استطاعة) والمعروفة نسبياً بصورة أفضل.

التكامل والتكييف والتراكيب مع السفينة

باختلافه عن المفاعل المولّد للكهرباء والذي يشكّل وحدة مستقلة نسبياً، فإن مفاعل الدفع في السفن ما هو إلا عنصر من مجموع واسع، وهو السفينة، حيث أن الغاية منها لا تعتمد، ولا بشكل من الأشكال، على طريقة الدفع المختارة.

فالمفاعل ومنشآته الملحقة به (التبريد، التهوية، أنظمة الأمن، أنظمة القيادة، الخدمات الأخرى المتنوعة)، تتشابك وبعمق مع بقية منشآت السفينة. تبرز هذه النقطة بصورة قوية في حالة الغواصات حيث الاقتصاد في الوسائل والمتطلبات تستدعي خلط العديد من المنشآت الملحقة بالسفينة وبالمفاعل. ومن الممكن القول هنا، أن التصميم العام لمنظومة كهذه سيكون أكثر نجاحاً مما لو تمّ التوصل إلى مكاملة وخلط، إلى أقصى الحدود، المنشآت الملحقة أو الخدمات الضرورية الخاصة بالمفاعل، مع المنشآت الأخرى للسفينة. ويمكن هنا تناول الأمثلة النموذجية:

تختلط بنيات الغواصة كالهيكل والحواجز المقاومة لضغط البحر مع الحواجز المقاومة الضرورية لتحصين المفاعل،

- تستخدم تجهيزات السفينة والتي يمكن لها أن تشكل دروع وقاية من الإشعاعات، لتحقيق وإنجاز الوقايات البيولوجية (خزانات الماء أو الوقود، التدريعات، القدرات العالية، إلخ...).

- تستخدم خزانات المياه العذبة والمخصصة لاستخدامات أخرى من أجل إغراق القلب في حالة وقوع حادث،

- تستخدم وسائل إطفاء الحرائق في حاملة الطائرات من أجل تبريد مكان المفاعل على المدى الطويل في حالة وقوع حادث،

- يستثمر المرآب في حاملة الطائرات كصالة لتفريغ وإعادة تحميل الوقود.

يدار كل من بنية المفاعل وتشغيله وطريقة استثماره بالتكامل والتكيّف مع السفينة. والجوانب الأكثر وضوحاً في حالة الغواصات رغم عدم تفردها في ذلك، تخص كبر حجم المنظومة وكتلتها.

وبصورة عامة، تمثل بنية السفينة متطلباً هاماً يجب أن يؤخذ بالحسبان من أجل المفاعل والذي يؤدي غالباً إلى الوضعيات التالية:

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

- ميلان سطح السفينة: تمايل وترجح،
- تسارع الصدمات (حالة ألسفن كاسحات الجليد على سبيل المثال)،
- البيئة البحرية الساحجة corrosive،
- تحديات الطبيعة المتنوعة (انفجار الأسلحة والصواريخ)،

قابلية المناورة

لابد أن تتحرك السفينة وتناور وبالسرعة الكافية، كي تتجنب العقبات أو النجاة من أي تهديد. علماً بأن رتب المقادير هي التالية: من 10% إلى 100% من القدرة في 30 ثانية إلى دقيقة واحدة.

ففي حالة سفن كاسحات الجليد، تتمحور المناورة الضاغطة في الصعود على الجليد وتحطيمه بتأثير أوزانها، مستخدمة في ذلك صدر السفينة المائل بدرجة كبيرة والمعزز، وبعد ذلك الرجوع إلى الخلف والتقدم ثانية وهي عملية تكابد منها بصورة خاصة السفينة وبصورة عامة وخاصة المفاعل. أما في حالة حاملة الطائرات شارل دوغول، فإن مناورات إطلاق الطائرات تقود هي أيضاً إلى اضطراب شديد للمنشآت يتوجب على المفاعل تلبية كل هذه الاستثارات الموقتة للحمولة بصورة ناجعة ومؤكدة.

الجاهزية

يمكن أن يشكل فقدان الدفع حدثاً خطيراً جداً بالنسبة للغواصة. وإذا ما ترافق حدث كهذا مع صعوبة جدية أخرى، فإن ذلك ربما يؤدي إلى غرق السفينة. وفي حالة حاملات الطائرات، فإن استعادة الطائرات تتطلب وبالضرورة عملية الدفع.

وبشكل عام نسعى كي لا يؤدي عطب مفاجيء وحيد يؤثر على المفاعل وعلى تحويل الطاقة، إلى فقدان كامل للدفع.

ومن بين عدد كبير من الأحداث التي ينبغي أخذها بالحسبان يمكن ذكر الأحداث التالية التي تعدّ نموذجية وكبيرة جداً:

- الأعطاب المفاجئة للضخ الأولي والتي يجب ألا تؤدي إلى توقف كامل للمفاعل، وإنما فقط إلى إنقاص السير السريع الذي يتمتع بالأولوية.
- الانحرافات الناجمة عن توقف طارىء يحدث فجأة بالبحر، وهو محتمل في كل لحظة نتيجة لتوقف المفاعل، أي بصورة خاصة في لحظة "قمة الكزينون pic-xénon".

مظاهر الأمان

تبدي مظاهر الأمان اختلافات هامة عن تلك المتعلقة بالمفاعل المولّد للكهرباء:

- الاستطاعة التصميمية لمفاعل الدفع في السفن أصغر وبصورة ملموسة. وفيما يتعلق بالنشاط الإشعاعي لنواتج الانشطار، فإن النسبة تتراوح بين 60 إلى 120 (أي بمعامل من 20 إلى 30 بالنسبة للاستطاعة، وبمعامل من 3 إلى 4 بالنسبة لمعدلات الاستخدام، وفي الواقع لايصل الدفع في السفن إلى استطاعته الكاملة إلا نادراً جداً).
- لدى الاقتراب من التجمعات السكانية، يتوجب إيقاف مفاعل الدفع في السفن أو السير باستطاعة ضعيفة*. وفي بعض الحالات، من الممكن إبعاد المفاعل بكل تأنّ عند الضرورة. أما في البحر فإن العواقب لن تؤثر بشكل مباشر إلا على الطاقم وعلى البيئة البحرية. وهذا المفهوم المختلف يقود إلى اقتراح حلول مختلفة من أجل السيطرة والتحكّم بالحوادث الجسيمة مثل:
- يجب ضمان أمان المنشآت باستخدام الوسائل الوحيدة للسفينة خلال مدة من الزمن كافية لوصول النجدة (عموماً فإن مدة خمسة عشر يوماً مقبولة). أما في حالة حاملات الطائرات فإن الأمر أكثر مرونة، فوجود مهبط يمكن أن يسمح باستلام تجهيزات غير متوقعة أو حتى الأشخاص المختصين بالنجدة.

وفي حالة وجود السفينة على رصيف الميناء، فإنه يمكن توقع نجدة إضافية للمنشآت المحمولة.

- تطرح مسألة الأمان، كمطلب للجاهزية، بشكل مغاير عما هو عليه الحال في النماذج الأخرى من المفاعلات. والهام هنا هو أمان المنظومة كاملة، أي المفاعل والسفينة أيضاً وليس فقط تلك المتعلقة بالمفاعل النووي. وتمثل مسألة إيجاد أفضل علاقة بين الجاهزية والأمان، مشكلة من المشاكل الأكثر صعوبة في إيجاد حل لها على صعيد تصميم المفاعل.

ومن بين عدد كبير من التسويات الواجب حلّها نذكر فيما يلي التسويات التالية:

- الحاجة إلى تعريف حالة الانكفاء في المفاعل، متيحاً بذلك التشغيل باستطاعة مختزلة، في حالة عدم التأكد من جاهزية مفاجئة لتجهيز من تجهيزات الأمان، بانتظار إصلاحه وإعادته إلى حالته الطبيعية، أو العودة إلى الميناء فيما إذا كان الإصلاح متعذراً في البحر،
- إعطاء الخيار - أو عدم إعطائه - للطاقم من أجل كبح بعض تأثيرات الأمان خلال الحالات العملياتية، أو السيطرة على أخطار بحرية استثنائية،
- تعريف حل خاص لبديل، يتيح للسفينة متابعة مهمتها بسرعة مختزلة وذلك في حال وجود شذوذ يصيب آلية عمل ماصّات التحكم الخاصة بإعادة تفاعل القلب،

الاستثمار: القيادة والصيانة

القيادة

يكلف بالقيادة عدد قليل من الأشخاص، حيث أنه لايمكن مادياً استبدالهم أو زيادة عددهم على المدى القصير، في الحالات الضرورية. نموذجياً، إن كل عامل تشغيل معني بقيادة المفاعل. وكما هو مدروس أثناء فترة التدريب فإن القيادة يجب أن تكون بالنسبة للطاقم سهلةونسبياً بدهية. إن حجم غرف القيادة هو أصغر، وبصورة عامة تختلف ظروف القيادة كثيراً عن قيادة المفاعل على اليابسة.

الصيانة والإصلاح

يتم التحكّم بصيانة مفاعل الدفع في السفن من خلال صيانة السفينة والتي تتطلب دورة إصلاح ولوازمها. وخير مثال متعلق بهذا المطلب،

* تتغير استطاعة المفاعل وبصورة ملموسة ك/أس 2.8 من سرعة السفينة.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

مشكلة مدة الإبقاء على حياة قلب المفاعل وتوفر الوسائل الضرورية من أجل تفريغ وإعادة تحميل عناصر الوقود النووي. بُنيت منشآت ميناء الإصلاح إعتماداً على مفاهيم قديمة، وعليه من غير الممكن إنجاز عمليات معالجة عناصر الوقود المشعّ، ويجب أن يؤخذ هذا بالحسبان وأن يتم التكيف معه.

تتطلب عملية إعادة تحميل الوقود من السفينة مدة توقف عن التشغيل طويلة نسبياً، ومن الضروري أن تكون هذه العملية قليلة التكرار مع التأكيد على أهمية إنجازها بالسرعة الممكنة والمناسبة. وعليه تضافرت الجهود من أجل إطالة فترة حياة قلب المفاعل.

إن ضيق حجرة المفاعل يجعل من الصعب إيجاد حل لمشاكل صيانة التجهيزات الصغيرة الموجودة أساساً في حجرة المفاعل، ولهذا السبب ينبغي إنجاز تحليل شامل للمشاكل المتعلقة بإمكانية الوصول إلى هذه التجهيزات، وبقابلية تفكيكها قبل التمكن من تصديق الإعداد المختار لمنشآت المفاعل.

وبالعودة إلى الخبرة المتراكمة عبر أربعين عاماً من وجود الدفع النووي يمكن أن نجزم بأن مشاكل الاستثمار (سهولة القيادة، سهولة الإصلاح، جاهزية البرنامج الزمني الوسطية) هي التي تحدّد نجاح أو فشل أي تصميم قبل الاهتمامات الأخرى بعبارات الأداء أو بشيء من هذا القبيل.

اختيار نمط تشغيل المفاعل: الأسباب الأساسية لاختيار نمط تشغيل المفاعل بالماء المضغوط

إن أول مشكلة واجهت مصمّم المفاعل تاريخياً كانت اختيار نمط التشغيل. والمقصود بذلك، الاختيار الأساسي الذي فَقَدَ بالتأكيد إلى حدٍّ كبير حداثته بعد التبني الشبه شامل لنمط الماء المضغوط، ولكن من المناسب عدم تضييع التبرير، فيما لو توافرت الرغبة للتحكّم بالتصميم وتطويره في اتجاه مناسب بدلالة تطور متطلبات الزبون النهائي. وعليه، يمكن وباختصار عرض المزايا التي يُقدمها نمط الماء المضغوط بالمقارنة مع الأنماط الأخرى المطروحة.

الدورة الترموديناميكية المرافقة لنمط الماء المضغوط

المصدر البارد في الدورة هو البحر حيث تتغير درجة حرارته (عملياً) من 4 إلى 20°C، 12°C وسطياً أي نحو 285 كلفن. والمصدر الساخن في هذه الدورة هو الدارة الأولية حيث لاتتجاوز درجة الحرارة في نمط الماء المضغوط 325°C إلا نادراً أي بحدود 600 كلفن★.

يبلغ مردود كارنو Carnot للمنظومة حده الأقصى عند مستوى ضعيف نسبياً ولايمكن أن نأمل بزيادته:

$$(1-Tf/Tc) = 1- (285\ K\ /600\ K) = 52.5\%$$

وبافتراض أن المصدر الساخن للدورة في نمط آخر يمكن أن يصل إلى قيمة أعلى 1000 كلفن وقد تكون أكثر من ذلك:

$$(1-Tf/Tc) = 1-(285\ K/1000K) = 71.5\%$$

أي ما يعادل ربحاً في الاستطاعة الميكانيكية بمقدار 40% يتحسّن مردود كارنو بشكل ملموس عند استطاعة حرارية معطاة وهذا شيء هام.

- وبالمقابل إذا كان الأمر يتعلق بتطبيق الدفع في السفن، فإن المردود الحراري الأقل لن يكون، حقيقةً، أمراً مزعجاً. وبالفعل:

- بما أن الطاقة الأولية "الناجمة عن انشطارات اليورانيوم 5 (U5)" لاتستخدم كما ينبغي، فهي ليست ذات أهمية تطبيقية إذ أن طاقة قلب المفاعل هي أكبر في كل الأحوال بكثير من الحاجة الدقيقة لمدى اكتفاء السفينة. نرى هنا أن إيصال المنظومة إلى الدرجة المثلى يختلف اختلافاً واضحاً عن حالة المفاعل المولّد للكهرباء.

- إن المقارنة المطلوبة لاتتوقف فقط على نسبة الاستطاعات ميكانيكية/حرارية، وإنما لا بدّ أن تؤخذ بالحسبان العناصر والحجم وكذلك التكلفة. يمثل تحديد المردود الحراري في الواقع الصعوبة الحقيقية الوحيدة لنمط مفاعلات الماء المضغوط بالمقارنة مع أنماط المفاعلات الأخرى الممكنة.

باستثناء ذلك يُظهر هذا النمط تفوقاً وغلبة على أنماط المفاعلات الأخرى وعلى كل المستويات.

مرونة التشغيل

في مفاعل الماء المضغوط، يتمتع الماء بمعامل تمدد مرتفع نسبياً في جوار ظروف التشغيل، كما أنه، في الوقت نفسه، يلعب دور المبرد والمهدىء للنترونات السريعة الصادرة عن الانشطارات. وعليه فإن اختيار شكل هندسي تحت معتدل سيسمح بالحصول على مفاعل مستقر ذاتياً لدى تشغيله إزاء تبدل في درجة حرارة الماء. عملياً وبمعايرة صحيحة، من جهة لنسبة تهدئة القلب (نسبة عدد ذرات المهدىء إلى عدد الذرات المنشطرة) من أجل تنظيم معامل التهدئة، ومن جهة ثانية اعتيان الوقود من أجل معايرة دوبلر Doppler التكاملي، يمكن الحصول على مفعول استقرارية ذاتية بصورة مرضية جداً لايترجم فيه الانتقال من الاستطاعة الكلية إلى التوقف إلا بارتفاع درجة حرارة المهدىء بضع درجات مئوية (بحدود عشر درجات).

هذه الخاصية الأساسية في مفاعل الماء المضغوط، مهمة بصورة خاصة في حالة تطبيق الدفع في السفن بسبب التغيرات الهامة والسريعة في السير التي ينبغي أن يخضع لها وهذه مزية معتبرة لنمط مفاعل الماء المضغوط تشكّل الأصل لعدد كبير من التبسيطات للمنشأة.

البساطة

لعل تلك هي الورقة الرابحة الرئيسة لهذا النمط من المفاعلات حيث التصميم بسيط لا يضاهى:

- فالمواد الأساسية المكونة للمرجل معروفة جيداً، ولاتشكّل من الناحيتين الفيزيائية والكيميائية أية مخاطر في الظروف العادية أو لدى الاستخدام (ماء، زركونيوم، أكسيد اليورانيوم، فولاذ، رصاص،...) حالما تضبط مشاكل تآكل الدارات وتغليف الوقود بالماء، لا تبقى إلا المشاكل المرتبطة بإنتاج الهدروجين إما كما هو معتاد أي بالتحلل الإشعاعي radiolyse أو في حالة حادث مثار بالتفاعل Zr/H_2O في درجة حرارة عالية★★.

★ تقع حرجية الماء عند 374°C /221 بار. إن مكيف الضغط ذا الطور البخاري الذي يشكل فراشاً لتكييف الضغط ووعاءً للانفلات وهو مستوحى من التصاميم الحالية، لايستطيع تحمل ضغط ودرجة حرارة منخفضين 360°C /187 بار كحدّ أعظمي) علاوة على ذلك يُحافظ على فرق كافٍ في تكييف الضغط نسبة إلى الدارة الأولية، من أجل تجنب غليان موضعي للماء (عملياً 30 ثانية كحدّ أدنى).

★★ بمقارنة بسيطة، وبتحليل حالة غواصة مزودة بمفاعل يبرد بالصوديوم السائل، فإن أي تسرب إلى مبادل صوديوم - ماء، يمكن أن يؤدي إلى أبعاد كارثية. هذا من غير الحديث عن حالة الغواصة الجانحة والمرمية على الشاطىء بانتظار النجدة، ومعلوم أن ذلك يترافق مع اندفاع ماء البحر إلى حجيرة المفاعل.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

- الماء هو مبرّد ومهدّىء للقلب في آن واحد، كما أنه سائل عمل ثانوي، بمعنى أن التسرب إلى المبادلات لن يكون له بالمرتبة الأولى سوى عواقب مخففة.

- يمكن إنتاج الماء بسهولة، وبالكميات المطلوبة على ظهر السفينة.

- إن البنية العامة للمفاعل هي أيضاً بسيطة جداً، حيث أن عدد المنشآت الملحقة والخدمية وتعقيداتها محدودة. توجد بالطبع عناصر تعقيد تنجم بالأساس عن النقاط التالية:

- وجود حاوية (حجرة) المفاعل تحت ضغط شديد.

- منظومة تكييف الضغط ليست بسيطة إذ ينبغي أن تمتص تغيرات كبيرة في حجم الماء الأولي الجاري.

- منظومة التحكّم بقلب المفاعل معقدة كفاية.

الوقاية الإشعاعية (وبالتالي في الواقع كتلة المنظومة)

إن جوانب الوقاية في الدفع النووي في السفن هي بالطبع الراجحة لأن أية وقاية غير كافية تؤدي إلى خطر وضع السفينة خارج الخدمة. وعلى العكس، فإن المبالغة في ذلك ستنعكس سلباً على مقايسة وتصميم كتلة الغواصة.

تتفاقم المشكلة في الغواصة:

- بالمدة الطويلة للمهمة الدورية التي تقوم بها الغواصة والتي يبقى الطاقم أثناءها محصوراً فيها،

- بصغر حجم الغواصة

- بحصر الهواء في السفينة، حيث لايمكن تجديده بسهولة إلا في حالة عوم الغواصة،

- بالحاجة إلى تأمين ممر طولاني، يُسلك في مختلف الظروف،

- بالمنفعة التي تمثلها إمكانية الولوج عند الضرورة إلى حجرة المفاعل عند السير باستطاعة صغيرة (عند الغطس، لايحب بحارة الغواصة الحجيرات المنيعة)،

- بضرورة التمكن من دخول حجرة المفاعل، بصورة مناسبة، فور رسوّ الغواصة على الرصيف،

- إزاء هذه المشاكل، يُقدّم المفاعل بالماء المضغوط بعض المزايا الجوهرية:

- عند السير باستطاعة عالية في البحر

  - في مفاعل مهدأ حرارياً تكون إصدارات النترونات ذات الطاقة العالية خارج الحوض محدودة بطبيعة الحال. كما أن الحاجة إلى حماية الحوض من التدفق السريع، تدفع المصمّم إلى أخذ الاحتياطات بوضع درع فولاذي سميك مع سماكة كبيرة من الماء تحيط بقلب المفاعل،

  - وعند عبور القلب، فإن التشعيع النتروني للأكسجين، سيحرض على تشكّل الآزوت -16، وهو مصدر لأشعة غاما بطاقة عالية جداً. لكن عمر النصف للآزوت -16 قصير (7 ثوان)، وعليه فإن بالإمكان، بدون إرباك البنية العامة للمنظومة، ترتيب مخرج من القلب كخط تأخير، يحدث تفككاً جزئياً للآزوت -16 في داخل الحوض نفسه وخلف سماكة كبيرة من الفولاذ،

- عند رسو الغواصة على الرصيف أو في حوض السفن، وبعد توقف مفاعل الماء المضغوط، خلال زمن قصير جداً (خمس دقائق على الأكثر)، تختفي الإشعاعات الأساسية القادمة من المفاعل وتبقى فقط الإشعاعات الضعيفة نسبياً لنواتج التآكل والمعلقة في الدارة الأولية، ومن الممكن الاقتراب من المنشآت دون خطر. ويمثل ما سبق، ميزة هامة، بالمقارنة مع المنظومات الأخرى*.

سهولة القيادة والصيانة

بفضل خاصية الضبط الذاتي وبساطته، يعتبر المفاعل بالماء المضغوط بسيطاً جداً فيما يخص القيادة والإصلاح، وأمر كهذا يعتبر عنصراً حاسماً. وبالفعل، على المدى الطويل، من المؤكد أن تصميماً سهلاً للإصلاح ولكن بكفاءات قد لاتكون الأفضل يتغلب على منظومة ذات أداء جيد لكنها غير مريحة للإصلاح.

الأمان

يتلاءم مجال الأمان بصعوبة مع التطورات المشابهة، وكمثال على ذلك، فإن المقارنات الاقتصادية لامعنى لها في هذا المجال.

وكل نمط من المفاعلات له مزاياه وسيئاته ففي حالة المفاعل بالماء المضغوط، تتجسد العقبة الأساسية بوجود أطواق تحت ضغط عالٍ جداً تحوي سائلاً ذا طاقة عالية. وبما أن عدداً لابأس به من المفاعلات المولّدة للكهرباء من النموذج نفسه لذلك ينبغي تعزيز التفكير بمسألة الأمان.

الأنماط الأخرى المرتقبة من المفاعلات

ملاحظات أولية حول تغيير نمط المفاعل

في الوضع الحالي لتطور الدفع النووي البحري في السفن، تطرح مسألة تغيير نمط المفاعل بمفاهيم جديدة عن تلك التي كانت في الأصل. في الواقع:

- باستثناءات قليلة، فرض المفاعل بالماء المضغوط نفسه، وهو يملك هامشاً جيداً لإنجاز تطوير محتمل حول كثير من النقاط،

- إن التعليل الوحيد لتبني نمط آخر غير نمط الماء المضغوط يمكن أن يأتي من طلب زيادة كبيرة للكفاءات المتعلقة بالنسبة استطاعة/كتلة أو استطاعة /حجم،

تمّ القيام ببعض المحاولات، في البدء من قبل الأمريكيين وحديثاً من قبل الروس، لتكوين رؤية حول الاهتمام الكامن بالأنماط المستمرة في فرنسة، ومهما يكن من أمر، لا تبرر الاحتياجات المتوقعة للبحرية الوطنية، التي يمكن تخمينها، تغييراً في النمط. ويفترض من أجل تغيير كهذا، رصد الوسائل المالية والتي ستكون أكبر وبكثير من الميزانيات الحالية أو المتوقعة للبحرية.

* على سبيل المثال، وبالمقارنة مع نمط مفاعلات الصوديوم، فإن الأمر يتطلب انتظار عدة أيام وأحياناً أسبوع كامل من أجل إنجاز العمليات نفسها.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

تجارب استثمار أنماط المفاعلات (حسب ما نعرف عن ذلك)

في الولايات المتحدة الأمريكية

تمّ تزويد سي وولف SEAWOLF والمطوّر بالتنافس مع NAUTILUS، بمفاعل يبرد بالصوديوم السائل (وهذا يعني تنافس تقانتين من أجل فرص النجاح). أبحر سي وولف مباشرة بعد نوتيلوس ولكن على ما يبدو ظهرت مشاكل لدى تشغيل المسخنات الفائقة surchauffeurs البخارية. إضافة إلى ذلك، تمّ الكشف عن العديد من المصاعب في الصيانة. وبعد النجاح الذي حققه نوتيلوس، تمّ التخلي عن نمط مفاعل سي وولف وأُعيد تصميمه ليزوّد فيما بعد بمفاعل الماء المضغوط.

في فرنسة (للذكرى)

نُوقش فشل مشروع المفاعل باليورانيوم الطبيعي والماء الثقيل.

في روسية

شغّل الروس بنجاح أسطولاً مؤلفاً من سبع غواصات من النموذج ALPHA وبكفاءات مدهشة. وبالتعلم وبلا شك من خيبة سي وولف وبحثاً عن السبق في الأداء، زوّدت هذه الغواصات بمفاعلات فوق حرارية reacteurs epithermique ومبرّدة بالتصلّد الحرج eutectique للخليط بزموت/رصاص.

سمح استخدام المعدن السائل، حيث الكفاءات المتعلقة بالتبادل الحراري ممتازة، بإنتاج بخار بحرارة عالية جداً، من دون الحاجة إلى طوق أولي تحت ضغط عالٍ. يمتلك التصلّد الحرج للخليط بزموت/رصاص مقارنة مع المعادن السائلة الأخرى المزايا التالية:

- لايتفاعل كيميائياً بقوة مع الماء والهواء (فقط تشكل بسيط من أكاسيد الرصاص والبزموت)،
- مقارنة بالرصاص الذي تعدّ درجة حرارة انصهاره عالية كفاية (327.5°C) يتحول هذا الخليط إلى سائل عند 125°C فقط، مما يسهل كثيراً استثمار المنظومة،
- عملياً، لاينشط الرصاص تحت تأثير الإشعاع، وبما أن البزموت متولّد من البولونيوم والذي هو مصدر لألفا، فإن ذلك لايطرح مشكلة وقاية خاصة وأن عمر نصفه قصير نسبياً (138 يوماً). وإذا أخذنا في الحسبان الكفاءات الرائعة لهذه الغواصات أثناء الغطس وحجمها الصغير فإن هذه الغواصات بالتأكيد هي الأكثر أداءً على الإطلاق. ومع ذلك، ظهر العديد من الصعوبات، خاصة عندما يتعلق الأمر بالإصلاح*، وعلى مايبدو فإن هذه الغواصات غير مستثمرة حالياً، بصورة فعّالة كما كانت منذ عدة سنوات.

ما هي أنماط المفاعلات على المدى الطويل؟

أنماط مفاعلات المعادن السائلة

أشار الروس ومن خلال غواصات ألفا ALPHA إلى الطريق بالنسبة إلى هذا النمط من المفاعلات. وفي كل الأحوال يبدو أن المعادن السائلة الأخرى التي تتفاعل بقوة مع الهواء يصعب جداً استخدامها في السفن.

نمط المفاعلات بالغاز

سواء بالنسبة للمفاعلات المولّدة للكهرباء أو بالنسبة للدفع النووي البحري في السفن، فإن أنماط المفاعلات العاملة بالغاز، لم تُسجّل التطور المتوخى نظرياً، وهذا هو واقع الحال ومنذ سنوات بالنسبة لأنماط المفاعلات بالحرارة العالية HTR. ولكن يمكن التفكير بأن الأمر لن يبقى على حاله لأن:

- الغاز بطبيعته أكثر استقراراً، وخامل كيميائياً بالمقارنة مع السائل**،
- التوصل إلى درجات حرارة عالية ليس مشكلة في الواقع.
- توجد إمكانية لدورة مباشرة عندما يتم تحسين وضع وقود كتيم تماماً.

عُرض العديد من المشاريع التي تستخدم أنماط المفاعلات بالغاز، وكمثال على ذلك، مشروع نيروس NEREUS حيث يتشارك المفاعل مع كريات مبرّدة بالهليوم وعنفة غازية. وبصورة أولية،وبالطبع من دون المقدرة على تأكيد ذلك، تبدو أنماط المفاعلات بالغاز أكثر بساطة وأكثر منالاً بالنسبة للدفع النووي في السفن بالمقارنة مع أنماط مفاعلات المعادن السائلة.

نمط مفاعلات الماء المغلي

ذُكر أحياناً أن نمط مفاعلات الماء المغلي ذات الدورة المباشرة لا يبدو تكيفه مع الدفع النووي في السفن جيداً للوهلة الأولى***، كما أنه لايتمتع بمزايا راجحة على صعيد المردود الحراري.

خيارات التصميم الكلي: بحلقات متماسكة ومتكاملة

تمهيد

يطرح نمط مفاعلات الماء المضغوط المختار على المهندس المصمّم مشكلة مهمة على صعيد البنية العامة للمنظومة. يتضمن مفاعل الماء المضغوط المخصص للدفع النووي في السفن من الناحية الكلاسيكية، ما يلي:

- حوض يحتوي على قلب المفاعل،
- منظومة تشغيل ماصّات التحكّم بتفاعلية القلب،
- مكيف ضغط، يمكن أن يعمل بالبخار أو بالغاز (من الممكن في هذه الأثناء العمل على تحويل المفاعل إلى مفاعل من النموذج المزوّد بمكيف ضغط ذاتي، دون الحاجة إلى مكيف الضغط الحالي،

---

* من الأفضل لدى الاستثمار المحافظة على التصلّد الحرج Bi/Pb، وهذا يتطلب تبعية هامة لدى العودة إلى رصيف الغواصات بسبب توقع تشكل الهلام بصورة مباغتة (صيانة حرجة للمفاعل ؟؟ أو تسخين مساعد)

** الهليوم على سبيل المثال، والذي يعتبر وبامتياز غاز التصريف الحراري، فهو خامل بصورة كاملة مع أغلب المعادن.

*** يمكن التخوف من عدم استقرار نتروني في مستوى قلب المفاعل، بسبب التسارعات الناجمة عن حركات السطح أو الصدمات. كما أن سلبية معامل الخلاء ستعقد تنظيم المنظومة (مفاعل - عنفات)، آخذين بعين الاعتبار التغيرات الكبيرة في المظهر المراد.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

- مبادل أو عدة مبادلات / مولّدات بخار أو حرارة تصدر من قلب المفاعل، والمحولة إلى دارة ثانوية، عموماً، عن طريق تبخير الماء،
- مضخة أو عموماً عدة مضخات أولية،
- بنية تثبيت مزودة بحافة داعمة،
- مجموعة من دروع الوقاية الإشعاعية،
- حجيرة توضع فيها مجموعة الدارة الأولية وتحت الضغط، مشكلة بذلك طوق الحصر،
- مجمعة الدارات الملحقة والخدمية،
- منظومة القيادة والتحكّم من بعد،

يتطلب تعريف البنية العامة للمنظومة، الحصول على ترتيب عام لمجموعة العناصر السابقة كما يتوجب أمثلة هذا الترتيب من أجل غايات متوقعة. فعلى سبيل المثال، غالباً ما يختلف هذا الترتيب عند تجهيز غواصة عن ما هو مطلوب من أجل سفينة كاسحة جليد.

التصاميم الهندسية الثلاثة

اقترح فيما مضى من التصاميم الهندسية الممكنة والخاصة بمفاعل الدفع النووي في السفن، كما أنجز بعض منها. وبصورة اصطلاحية نسبياً، يمكن تصنيف هذه التصاميم الهندسية المختلفة في ثلاث فصائل، ومن المهم النظر جيداً لما تقدّمه كل فصيلة من مزايا وما تمثله من عقبات، وبالتالي تقديم التقييم المعتمد في تبني هذه الفصيلة أو تلك من أجل التطبيق، وكذلك العدد الكبير جداً من العوامل التي يجب أن تؤخذ بالحسبان ومن المستحيل هنا عرضها (ومن بين العوامل الأخرى توجد بالطبع التقانة الأساسية التي تمّ تطويرها سابقاً).

التصاميم الهندسية بحلقات

في هذه التصاميم الهندسية، تكون القدرات الأساسية مستقلة ميكانيكياً، ومثبتة بقوة على البنية الداعمة. وترابط فيما بينها بوساطة أنابيب مرنة (وبالتالي رفيعة نسبياً)، تمتص التمددات وتدعم أيضاً المضخات الأولية.

يرتبط مكيف الضغط ذو السعة المستقلة مع حلقة ساخنة (فيما إذا كان تكييف الضغط على البخار).

إن آليات تشغيل ماصّات التحكّم بتفاعلية قلب المفاعل، مترابطة، عموماً، مع غطاء الحوض. علماً بأن أغلب القوى البحرية بدأت بهذه البنية لأنها تقلّل من مخاطر التصميم ولأن كلاً من المكونات الأساسية جُعل بحيث يكون مستقلاً عن الآخرين هذا من جهة، من جهة ثانية، ذُكر العديد من مساوىء البنية الحلقية ومن بينها:

- الحجم الكبير،
- مشكلة الوقاية الإشعاعية للمهمة التي تعود خاصة إلى الآزوت 16،
- خطر كامن بانقطاع الحلقات الأولية، حيث المقطع كبير، كما أن اللحامات المقاومة تنجز في الموقع ذاته بظروف عمل غير مريحة مقارنةً مع الورشة،
- مقاومة هدروليكية عالية للدارة وهذا عائد إلى السرعة الكبيرة لجريان السائل في الحلقات.

التصاميم الهندسية المندمجة

في هذه التصاميم الهندسية المندمجة، تلغى الحلقات، الأمر الذي يؤدي إلى تناقص معتبر في وزن منظومة الوقاية الإشعاعية، طالما أن إشعاع غاما للآزوت -16 لايصدر إلا في نقطة مركزية، واقعة خلف جدران الفولاذ السميكة جداً.

هناك أيضاً ارتباطات متحدة المركز قوية تربط ما بين الحوض ومولّدات البخار. وطالما أن الحوض مثبت، فيتوجب على الدعامة السماح بالانزياحات الناجمة عن التمدّدات.

يمكن أن تُفرز المضخات على شكل "قرن"، على الحوض أو تحت مولّدات البخار ذات الأنابيب المصنعة على شكل U، ويمكن توقع غرزها أيضاً على غطاء الحوض أو على غطاء الـ GV. يرتبط مكيف الضغط ذو السعة المستقلة بالجزء الساخن من الحوض (إذا كان تكييف الضغط بالبخار).

درس وأُنجز العديد من نماذج كهذه وخير مثال على ذلك كاسحات الجليد الروسية بدءاً من السفينة Arctika. أما في فرنسة، فيمكن الإشارة إلى الدراسات المنجزة حول حاملات الحوامات PH75 والتي كان من المفترض أن تزوّد بمفاعل وحيد من هذه الفصيلة، وتتابعت هذه الدراسات في مناسبتين متتاليتين بعد أن طلب الكنديون الاستشارة حول كاسحات الجليد ذات الدفع النووي.

التصاميم الهندسية المتكاملة

في هذه التصاميم الهندسية المتكاملة، يتجمع الحوض ومولّد البخار في مجموعة واحدة تسمى "المرجل الكتلي". يمكن غرز المضخات الأولية على شكل قرن (كما هو حال Otto Hahn) أو مباشرة على الحوض (كما هو حال البرنامج الياباني المثير MRX).

كما يمكن وضع أجهزة تشغيل ماصّات التحكّم بتفاعلية القلب، تبعاً لنموذج البخار المعتمد، على غطاء الحوض أو وضعها على المحيط الخارجي للحوض (وهو التصميم المتخذ في فرنسة حالياً). يرتبط مكيف الضغط ذو السعة السمتقلة مع المرجل الكتلي الساخن (إذا كان تكييف الضغط بالبخار).

وبالمقابل، تنسجم البنية المتكاملة بصورة جيدة مع تصميم المفاعل المكيف ضغطياً بصورة ذاتية، حيث يحتفظ بسرير بسيط من البخار عند حرارة ساخنة في الجزء العلوي من الدارة.

إن البنية المتكاملة:

- تحصر تطوير المنظومة وبالتالي تقلص من وزن منظومة الوقاية،
- تفضل التشغيل بالجريان الطبيعي،

يمكن إنجاز المرجل الكتلي وبصورة كاملة في الورشة، ومن ثم نقلها إلى الموقع من أجل التركيب النهائي.

وبالمقابل، يفهم جيداً وجوب إنجاز هذه المنظومة على الوجه الأمثل وبصورة شاملة، حيث أن تصميم كل مكوّن منها متماسك مباشرة مع أبعاد المكوّنات الأخرى. وهذا هو واقع الحال، وبصورة خاصة، بالنسبة للقلب ولمنظومة التحكّم به، حيث أن المفهوم هنا غير مستقل عن مولّد

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

البخار، وهذا يستوجب تكرارية العملية من أجل إنجاز المنظومة على الوجه الأمثل.

دُرس أو أُنجز العديد من هذه المفاعلات:

- مفاعل أوتوهان OTTO HAHN الألماني،
- مفاعل موتسو MUTSU
- مفاعل أوهيو OHIO الأمريكي

في فرنسة، وبعد عدد لابأس به من دراسات المقارنة وبعد عدد على الأقل مساوٍ من التردّدات، تمّ التوصل إلى اعتماد التصميم المتكامل من أجل غواصة بوزن صغير، وبصورة أولية، فإن هذه البنية ستقاد باتجاه المشاريع المستقبلية. وعلى الرغم من محدودية حرية التصرف المستنتجة من التصميم العام المجمد حالياً، هناك رغبة معززة للاستفادة وبالحدود القصوى من الابتكارات، من المرتبة الثانية، كذلك المتابعة لتحقيق تقليص تكلفة الحيازة. ومن الممكن الإشارة إلى الدراسات المنجزة لصالح اليابانيين من خلال المعاهدة الموقعة بين فرنسة واليابان بمنح الترخيص. ويُشكل كل من المفاعلين MRX و MITI، نموذجين واعدين لهذه الفصيلة من المفاعلات.

الأمان

يتم الحصول على تحسين موثوقية وأمان منظومة معقدة من خلال:

- تبسيط في تصميم المنظومة الفرعية،
- إمكانية المناورة،
- إسهابات وتنوع التصاميم،
- البحث عن الأمان الفعلي أو السلبي أو الاثنين معاً،
- في حالة تعذّر ذلك، يؤخذ بالحسبان عجز المنظومات الفعّالة عن معالجة (تناول) الحوادث،
- مراقبة جاهزية المنظومات الفعّالة لمعالجة الحوادث (لا يمكن التحدث هنا عن عجز وحيد إلا إذا أمكن افتراض، وفي كل لحظة، الجاهزية التامة للمنظومات الفعالة لمعالجة الحوادث).
- قدرة المنظومات للاختبار (أثناء التشغيل) أو (وبصورة أفضل) للاختبار الذاتي
- إلغاء الطرائق المشتركة (عزل واستقلال منظومات الأمان، تنوع في تصميم المنظومات).

النكبات والحوادث

من غير المناسب التكلم عن النكبات avatars، إلا إذا كانت طبعاً بأعداد كبيرة تستلزم استخلاص العبر وعدم ارتكاب الحماقة نفسها بفارق زمني 5 أو 10 أو 15 سنة. وبالمقابل، من غير الممكن إقفال هذا المقال من دون تناول الحوادث الأكثر وقعاً على تطور الدفع النووي.. تذكرنا هذه الحوادث بالاحتياطات والإجراءات المتوجبة، إذ أن الغواصة ما هي إلا منظومة محفوفة بالمخاطر، كما أن التقانة النووية، تقانة غير متسامحة.

في الولايات المتحدة

فقدت غواصتان ذواتا دفع نووي:

- ففي عام 1963، فقدت الغواصة النووية الهجومية ثريشر Theresher، أثناء التجريب، بعد تسرب المياه، الذي أدى بدوره إلى تلويث اللوحات الكهربائية. وعليه أُنجز تطوير هام لدارات التبريد التي تستخدم مياه البحر على ظهر هذا النمط من الغواصات عوضاً عن دارات تستخدم المياه العذبة بضغط منخفض ، وكذلك عن نوعية الانجاز التي شككت بأمرها لجنة التحقيق التي أعقبت الحادث.
- وفي عام 1968، اختفت الغواصة النووية الهجومية سكوربيون Scorpion، في المحيط الأطلنطي بالقرب من جزر آسور ولم يتوضح، وبصورة مؤكدة، سبب فقد الغواصة، لكن مؤشرات مختلفة دعت إلى التفكير بحدوث انفجار فجائي لنسيفة Torpille في أنبوب الانطلاق.

في الاتحاد السوفييتي السابق

انتشر خبر فقدان ثلاث غواصات:

- في عام 1968، غرقت الغواصة K129، المزوّدة بالأسلحة النووية في المحيط الهادىء بالقرب من جزيرة غويام Guam. وفي عام 1974، تمّ انتشالها (جزئياً؟؟) من قبل سفينة غلومار تشالنجر Glomar Challenger الأمريكية،
- في عام 1986، حدث انفجار في أحد أنابيب الإطلاق في الغواصة K219، واستطاعت الغواصة العوم على السطح، وتمكنت أغلبية الطاقم من النجاة واستطاعت سفينة أمريكية إنقاذهم وبعد زمن قليل، غرقت الغواصة الجانحة،
- وفي عام 1988، شب حريق على الغواصة K278، وامتد إلى كل أنحاء الغواصة، وتمكنت الغواصة من العوم على السطح مما سمح لثمانية من رجالها بالخروج منها قبل الغرق، حيث تمّ إنقاذ اثنين منهم فقط من قبل النرويجيين.

أُعلن عن العديد من الحرائق على سفن مختلفة، من دون أن يؤدي ذلك إلى فقدانها، مع التنويه إلى أن العشرات من البحارة قد فقدوا حياتهم من جراء ذلك، علاوة على ذلك، فقط سجل العديد من الحوادث ذات الطبيعة النووية، مؤدياً ذلك إلى أضرار في قلب المفاعل:

- ثلاثة حوادث حرجة على الأقل، وكان أحدها بمناسبة إعادة تحميل الوقود،
- خللان في تبريد المفاعل لدى الإبحار بالاستطاعة الكاملة مؤدياً ذلك إلى تلف كبير في الوقود،
- انقطاعان على الأقل، في الأقنية الأولية مؤدياً ذلك إلى نزوح الماء إلى القلب وإتلافه جزئياً.

لم يعلن عن إصلاح أية سفينة من تلك السفن، رغم امتلاك الروس لعدد كبير منها.

في فرنسة

في عام 1994، وبينما كانت الغواصة النووية الهجومية إمرود Emeraude تبحر على أعماق كبيرة جداً، سبّب دخول كمية صغيرة من مياه البحر إلى دارة تبريد المكثفات، سلسلة من الأحداث، أدت إلى اجتياح البخار لحجيرة العنفات - المنوبات وهذا أدى إلى غرق عشرة من الأشخاص الذين كانوا موجودين في هذه الحجيرة التي تكون شاغرة بصورة عامة.■

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الطاقة النووية الفضائية الروسية ومنظومات الدفع الحراري النووي*

نيكولاي ن. بونوماريف ستينيو
نائب رئيس معهد كورتشاتوف التابع لمركز الأبحاث الروسي - موسكو - روسيا
فكتور م. تاليزن
عالم رائد في معهد المفاعلات النووية - معهد كورتشاتوف التابع لمركز الأبحاث الروسي - موسكو - روسيا
فينامين أ. يوسف
نائب مدير قسم منظومات طاقة الدرجات العالية من الحرارة - معهد المفاعلات النووية
- معهد كورتشاتوف التابع لمركز الأبحاث الروسي - موسكو - روسيا

ملخص

إن إمكانيات نجاح استخدام مولّدات كهرحرارية نووية ومفاعلات نووية في الفضاء ستتحسن مع تزايد متطلبات الدفع والطاقة.

الكلمات المفتاحية: منظومة الطاقة النووية الفضائية، محول ترميوني، منظومة توباز، عنصر وقودي ترميوني، منظومة إينيزي، الدفع الحراري النووي، منظومة طاقة/دفع.

لقد مضى أربعون عاماً على الاستخدام العملي للطاقة النووية في البعثات الفضائية، والذي بدأت به الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي السابق. فمنظومات الطاقة النووية التي تستخدم مولّدات كهرحرارية نظائرية مشعة radioisotope thermoelectric generators (RTGs) ومفاعلات نووية وجدت مكاناً مناسباً ومحدداً لها في البرامج الفضائية، إضافة إلى مصادر الطاقة الفضائية التقليدية، وستتحسن إمكانيات نجاح تطبيقاتها المستقبلية مع تزايد متطلبات الطاقة في البعثات الفضائية وظهور الطلب على تطبيقات الدفع.

بين عامي 1961 و 1988 استخدمت الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي السابق قرابة 30 مولداً كهرحرارياً نووياً في البعثات الفضائية، واستُخدِمت بنجاح 31 منظومة كهرحرارية نووية فضائية من الطراز الروسي BUK في مركبة فضائية من أجل المراقبات الرادارية البحرية؛ وتمّ اختبار منظومة كهرحرارية نووية فضائية أمريكية SNAP-10A، على المركبة الفضائية التجريبية Snapshot في عام 1965؛ وفي عام 1987، اجتازت منظومتان سوفييتيتان ترميونيتان فضائيتان TOPAZ 1 بنجاح الاختبارات على المركبتين الفضائيتين كوسموس 1818 و 1867.

جرى تنفيذ مجموعة معقّدة وموسّعة من أنشطة البحث والتطوير في الدفع الحراري النووي (NTP) بالولايات المتحدة وروسيا، بما فيها اختبارات النماذج الأولية للمفاعلات ووحدات الدفع.

إن العمل على منظومات الطاقة النووية الفضائية (NPSs) والدفع الحراري النووي الذي تمّ في الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي يوفّر قاعدة لتطوير استخدام الطاقة النووية في الفضاء مستقبلاً. وإمكانيات النجاح في هذا الأمر تترافق مع تأسيس قاعدة تقانية في أوائل عام 2000، يتبعها بناء مجمّعات طاقة/ دفع كبيرة قادرة على نقل ضعفي أو ثلاثة أضعاف كتل الحمولة الصافية - بالمقارنة مع المعزّزات المدارية الدافعة الكيميائية التقليدية - من مدارات قريبة من الأرض آمنة إشعاعياً (مدار مرجعي أو أساسي ≤ 800 km) إلى مدارات مطلوبة عالية الطاقة (الدفع) (مدارت متزامنة مع الأرض ومدارات بين كوكبية)، وقادرة على تزويد الأجهزة المحدَّدة الأهداف على متن المركبة بالطاقة الكهربائية بما يتراوح بين 50 و100 كيلو واط بل وأكثر من ذلك على مدى فترة طويلة (تصل إلى 10 سنوات).

والقيد الرئيس في هذه الأنشطة هو الإذعان لمتطلبات ضمان السلامة النووية والإشعاعية في منظومات الطاقة النووية الفضائية من أجل سكان الكرة الأرضية. وفي الشروط الفضائية، إن الحل الجذري لمشكلة السلامة النووية يتمثل بوضع المركبة الفضائية التي تحمل منظومات NPS التشغيلية في مدارات تخزين آمنة نووياً، حيث تتجاوز فيها الحياة البالستية للمركبة الفضائية بشكل ملحوظ الزمن الذي يستغرقه النشاط الإشعاعي المتراكم ليتفكك بالكامل.

يعرض هذا المقال الجوانب التاريخية لبناء منظومات NPS الفضائية (ROMASHKA, BUK, TOPOL, ENISEY) ومنظومات NTP في روسية، ويصف ملامحها التصميمية وبارامتراتها الأساسية، ويناقش إمكانيات نجاح بناء منظومات طاقة/دفع نووية مستقبلية تعتمد على الأساس الذي قدمته. وقد نوقشت قضايا التعاون الدولي عند تطوير مثل هذه المنظومات المستقبلية. استُمِدت المعلومات المستخدَمة من المراجع المدرَجة في نهاية هذا المقال.

تقانة NPS

إن إمكانيات استخدام منظومات NPS لمفاعل في الفضاء تتحدد من خلال مزاياها فيما يتعلق بمصادر الطاقة الأخرى والمصادر التقليدية الشمسية الكهرضوئية. وتشمل:

* نشر هذا المقال في مجلة *Nuclear News*, December 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

- الاستقلال من البعد عن الشمس والتوجيه فيما يتعلق بالشمس.
- التراصّ.
- بارامترات أفضل من حيث الكتلة والحجم لدى استخدامها على مركبة فضائية بدون ملاحين وتبدأ بسوية طاقة قدرها عدة عشرات من الكيلوواط.
- القدرة على رفع سوية الطاقة قسرياً بمقدار ضعف أو ثلاثة أضعاف (أي القدرة على زيادة الطاقة، خلال وقت محدَّد، إلى ضعف أو ثلاثة أضعاف سوية الطاقة الوسطية المصمَّمة من أجل التشغيل الطويل الأمد)، مع الكتلة النسبية لمنظومات NPS التي تختلف تقريباً باختلاف الجذر التربيعي لمعدَّل سويات الطاقة.
- مقاومة الأحزمة الإشعاعية الأرضية (مثل حزام فان آلين).
- الاستخدام الممكن بواسطة دافعات كهربائية لتوليد دفع بنبض نَوْعي عالٍ جداً. وقد يسمح بناء منظومات دفع/ طاقة على هذا الأساس بوضع كتل حمولة صافية في مدارات مطلوبة عالية الطاقة تعادل ضعف أو ثلاثة أضعاف الحمولة التي تضعها في مثل هذه المدارات معزِّزات مدارية كيميائية دفوعة تقليدية، في حين يتم تزويد الأجهزة ذات الأهداف المحدَّدة على متن المركبة بطاقة كهربائية تتراوح بين 50 و100 كيلوواط (وأكثر من ذلك) خلال فترة طويلة (تتراوح بين 7 و10 سنوات).

في المستقبل يمكن استخدام الخبرة المتراكمة عند تطوير منظومات NPS الفضائية والدافعات الكهربائية ومنظومات NTP، في البعثات الفضائية مثل منظومات الاتصالات الأرضية، والمراقبة الرادارية الشاملة للطقس على مدار الساعة (بما فيها الاتصال مع الأجسام المتحركة)، وتطبيقات الدفاع والأمن الوطني، إلخ. وعلى المدى الطويل، ستعمل منظومات NPS الفضائية ومنظومات الدفع/ الطاقة النووية، التي تبلغ سوية الطاقة الكهربائية فيها عدة مئات من الكيلوواط، على تسهيل عمل البعثات الفضائية، مثل منشآت التوليد والمراقبة البيئية الأرضية، وتزويد البعثات إلى القمر والمريخ وغيرها بمصدر للطاقة.

استعراض تاريخي

في بداية الستينيات من القرن الماضي، بدأ العمل على التحويل المباشر للطاقة الحرارية، التي يولِّدها مفاعل نووي، إلى طاقة كهربائية من أجل التطبيقات الفضائية بواسطة محولات كهرحرارية ومحولات ترميونية thermionic converters، وبوشر به في منظمات تابعة لوزارة بناء الآلة المتوسطة (MMMB) في الاتحاد السوفييتي السابق (انظر الجدول 1 للأسماء السابقة والحالية لمنظمات الإنتاج والأبحاث النووية الفضائية السوفييتية/ الروسية). وقد أثار هذا العمل الاهتمام لأن طريقة تحويل الطاقة من حرارية إلى كهربائية تبسّط بشكل ملحوظ تصميم منظومة الطاقة،

الجدول 1- منظمات البحث النووي الفضائي والإنتاج السوفييتية/الروسية.

الاسم عند زمن الوصف (بالكامل وبالمختصر)	الاسم الشائع (بالكامل وبالمختصر)	الموقع
Ministry of Medium Machine Building (MMMB)	Russian Federation Ministry for Atomic Energy (Minatom)	Moscow, Russia
Institute of Atomic Energy (IAE)	Russian Research Center Kurchatov Institute (RRC KI)	Moscow, Russia
Sukhumi Institute of Physics and Engineering (SIPE)	Same	Sukhumi, Georgia
Podolsk Research and Technology Institute (PNTI)	Scientific and Industrial Association Lutch (SIA Lutch)	Podolsk, Russia
Kharkov Institute of Physics and Engineering (KIPE)	Same	Kharkov, Ukraine
Institute of Physics and Power Engineering (IPPE).	Russian Research Center Institute of Physics and Power Engineering (RRC IPPE)	Obninsk, Russia
V.P. Glushko Experimental Design Bureau	Scientific and Production Association Energomash (NPO Energomash)	Moscow, Russia
M. M. Bondariuk Experimental Design Bureau (OKB)	Disbanded	Moscow, Russia
Research Institute of Current Sources (VNIIT)	Scientific and Production Enterprise Kvant (SPE Kvant)	Moscow, Russia
Scientific Production Amalgamation Red Star (SPA Red Star)	State Enterprise Krasnaya Zvezda (SE Krasnaya Zvezda)	Moscow, Russia
Central Design Bureau of Machine Building (CDBMB)	Same	St. Petersburg, Russia
Design Bureau of Applied Mechanics (DBAM)	Same	Krasnoyarsk, Russia
Research Institute of Instrument Engineering (NIIP)	Same	Lytkarino, Russia
Dvigatel State Works	Same	Tallinn, Estonia
Closed Joint Stock Company Inertek	Same	Moscow, Russia
Research Institute #1 (NII-1)	Keldysh Research Center	Moscow, Russia
Research and Design Institute of Power Engineering (NIKIET)	Same	Moscow, Russia
Chemical Automation Design Bureau (CADB)	Same	Voronezh, Russia

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وتزيل المراحل المتوسطة في تحويلها، وتسمح ببناء منظومة طاقة ذات حجم وكتلة أقل وبسوية طاقة تتراوح بين بضعة كيلوواطات وعدة مئات من الكيلوواط.

وخلال ذلك الوقت، طُوِّرت سبيكة كهرحرارية ترتكز على مادة نصف ناقلة من سليكون الجرمانيوم العالية درجة الحرارة، حيث تصل درجة التشغيل إلى 1000 °C، وتمَّ بناء وحدات تحويل كهرحرارية تجريبية. وفي الوقت ذاته بدأت بحوث المحوّل الترميوني.

وقد تصاعدت وتيرة العمل بناءً على المعلومات المستقاة من المنشورات العلمية في الولايات المتحدة حول بدء العمل في تطوير مفاعلات فضائية تعتمد على محوّلات كهرحرارية مثل SNAP-10 و SNAP-10A.

واستناداً إلى الاقتراحات التي قدَّمها معهد الطاقة الذرّية (IAE)، أصدرت الحكومة في عام 1961 قراراً يقضي ببناء واختبار منظومة طاقة لمفاعل فضائي صغير يعتمد على التحويل المباشر للطاقة من حرارية إلى كهربائية، يدعى المفاعل – المحوّل ROMASHKA.

تمَّ تصميم مفاعل ROMASHKA وتصنيعه في IAE المذكور آنفاً بالتعاون مع معهد سوكهومي Sukhumi للفيزياء والهندسة (SIPE)، ومعهد أبحاث بودولسك للتقانة (PNITI)، ومعهد خاركوف للفيزياء والهندسة (KIPE).

وبحلول شهر آب من عام 1964، كان مفاعل ROMASHKA جاهزاً لاختبارات الطاقة المستمرة في منشأة R التي بُنيتْ خصّيصى لهذا الغرض في IAE. وبدأ هذا المفاعل العمل في 14 آب عام 1964. وتمَّ تشغيله بصورة مستمرة مدة 15 000 ساعة تقريباً، وأنتج حوالي 6100 كيلوواط ساعة من الطاقة الكهربائية.

في الوقت ذاته تقريباً، بدأ العمل على تطوير منظومة BUK الكهرحرارية النووية الفضائية، التي تمَّ بناؤها في مكان قريب من مفاعل سريع ومحوّل ترميوني خارج قلب المفاعل، في معهد الفيزياء وهندسة الطاقة (IPPE)،ومكتب M.M.Bondariuk للتصميم التجريبي، ومعهد SIPE، ومعهد أبحاث الموارد الحالية (VNIIT). واستمر هذا العمل فيما بعد في SPA Red Star (اندماج الإنتاج العلمي) واستُكمل بدورة كاملة من الاختبارات الأساسية. ومع مطلع السبعينيات من القرن الماضي، أُنجز تشغيل منظومة BUK على المركبة الفضائية المتسلسلة Cosmos في مدارات أرضية منخفضة على ارتفاعات تقارب 300 كم، وبين عامي 1970 و 1988، أُطلق إلى الفضاء حوالي 31 منظومةً من منظومات NPS كانت قد صُمِّمت من أجل المراقبة البحرية الرادارية. وبالتزامن مع اختبار أول منظومات الطاقة النووية الكهرحرارية، ROMASHKA و BUK، بدأت الجهود في روسية بتطوير منظومات NPS الفضائية المعتمدة على محولات قدرة ترمويونية داخل قلب المفاعل.

كان SPA Red Star، بالتعاون مع معهد IPPE، يقوم بتطوير تصميم منظومة NPS الفضائية الترميونية بعناصر وقودية ترميونية متعددة الخلايا (TFE) – وهي منظومة TOPAZ NPS. وكان فريق مكتب التصميم المركزي لبناء الآلات (CDBMB)، IAE، PNITI وSIPE يطوِّر تصميم منظومة NPS الترميونية بعناصر وقودية ترميونية ذات خلية واحدة (منظومة الطاقة النووية ENISEY، المعروفة في الخارج باسم TOPAZ 2).

تمَّ بناء ثلاثة نماذج أولية لمفاعل – محوّل ترميوني TFE، وخضعت لأول مرة في العالم لاختبارات الطاقة بين عامي 1970 و 1973. وفي عام 1987، تمَّ اختبار وحدتين تجريبيتين من TOPAZ NPS أثناء الطيران كجزء من المركبة الفضائية التجريبية Plasma - A (Cosmos 1818 وCosmos 1867) بعمر زمني قدره 142 يوماً أثناء الاختبار الأول و 342 يوماً خلال الاختبار الثاني.

خضع تطوير منظومة ENISEY (TOPAZ 2) إلى دورة كاملة من الاختبارات الأساسية، وتتضمن ستة اختبارات نووية أُكِّدت – اعتماداً على نتائج فحص ما قبل الاختبار وتحليل المركبات الحرجة – أن العمر الزمني يبلغ حوالي 1.5 سنة، الذي يمكن أن يمتد إلى ثلاث سنوات أو أكثر. كما تمَّ تصنيع وحدتي منظومة ENISEY شاملتين من أجل اختبارات الطيران، وبُنيت عدة وحدات تجريبية لتقييم الدمج مع المركبة الفضائية. مع ذلك، ونظراً لقلة التمويل، لم يتم اختبار منظومة ENISEY أثناء الطيران إطلاقاً. واستُخدمت فيما بعد الوحدات التجريبية المخصصة للمركبات اللافضائية من أجل العمل المشترك مع الولايات المتحدة بإشراف برنامج TOPAZ الدولي.

وهكذا، اكتملت المرحلة الأولى من إنشاء منظومات نووية فضائية روسية. ونظراً لقلة تمويل البرامج الفضائية، تحوَّلت أنشطة NPS فيما بعد إلى الأبحاث الهادفة إلى بناء قاعدة تقانية وتطوير مركبات NPS الفضائية المستقلة من أجل البعثات الفضائية في القرن الحادي والعشرين.

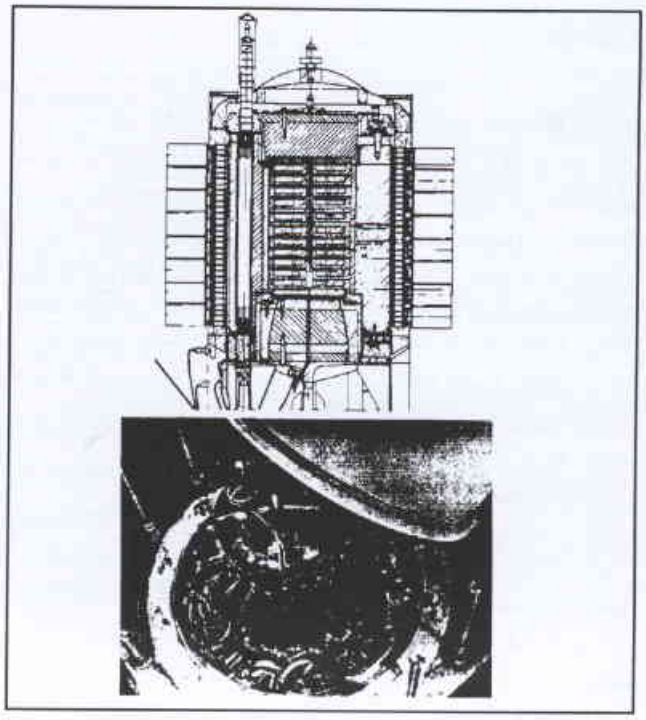
المفاعل–المحوّل ROMASHKA [1, 2]

يبيّن الشكل 1 مشهداً عاماً للمنظومة. ومفاعل ROMASHKA النووي هو منظومة نترونية تعمل على النترونات السريعة. تُنقل الحرارة المنبعثة من قلب المفاعل شُعّياً إلى العاكس، ومن السطح الجانبي للعاكس إلى المحوّل نصف الناقل المرتب محورياً والمجاور للعاكس.

يمثل قلب المفاعل كُدْساً من 11 عنصراً وقودياً، يتألف كل واحد منها من الغلاف الغرافيتي مع غطاء، وصفائح منفصلة مصدرة للحرارة، وقرص مركزي من ثنائي كربيد اليورانيوم بنسبة 90% المغنى باليورانيوم–235 (انظر الشكل 2). يبلغ الوزن الكلي لليورانيوم–235 في قلب المفاعل 49 كغ.

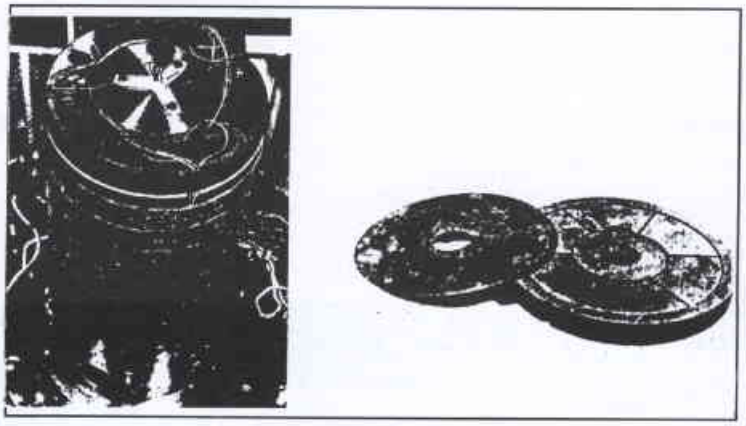
يُحاط قلب المفاعل بعاكس شعاعي من البريليوم الأحادي. تتصل صفائح الغرافيت، التي تحول دون تفاعل البريليوم مع مادة المحوّل وتخفف من تبخّره، مع السطح الخارجي المؤلف من 24 وجهاً للعاكس الشعاعي المجاور للمحوّل نصف الناقل بمساعدة بَرَاغٍ من البريليوم .

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy



الشكل 1- منظر عام لمنظومة ROMASHKA.

تُصنع العاكسات الطرفية في المفاعل من معدن البِريليوم أيضاً. وللتقليل من فَقْد الحرارة، فإن العزل الحراري العالي درجة الحرارة الذي يعتمد على رغوة غرافيتية ونسيج مغرفت متعدد الطبقات يستخدم عند أطراف المفاعل. إن مجموعة المواد المنتقاة من أجل المفاعل تُزود القلب،



الشكل 2- المفاعل وعنصر الوقود في منظومة ROMASHKA.

من أجل تشغيله، بحرارة تصل درجتها إلى 1900 °C في الجزء المركزي من المفاعل، وبما يتراوح بين 1000 °C و 1100 في السطح الخارجي من العاكس.

تضم منظومة مراقبة المفاعل أربعة قضبان متوضعة في عاكس البِريليوم الشعاعي والعاكس السفلي. ومن أجل التحكم الآلي بالمفاعل أثناء التشغيل، يجهَّز قضيب تحكم آلي من البِريليوم ومن أكسيد البِريليوم في طبقة VG -98، ويشغّل بمساعدة أداة تدوير مؤازرة. ويمكن التحكم بالمفاعل يدوياً بتحريك قضيب التحكم اليدوي (MC) الماص للنترونات والعاكس لها بآن واحد، ويتم تعويض درجة حرارة المفاعل بتحريك العاكس السفلي.

وهنالك قضيبان للسلامة مماثلان في التصميم لقضيب التحكم اليدوي وللعاكس السفلي، يزوَّد بهما المفاعل من أجل إغلاقه في حالات الطوارىء.

وبالنسبة للمولِّد الكهرحراري، تستخدم منظومة ROMASHKA محولاً يعتمد على درجة الحرارة القصوى للسبائك نصف الناقلة الحالية - سبيكة سليكون-الجرمانيوم (85% من السليكون، و15% من الجرمانيوم).

يتم تركيب المحوّل داخل وعاء المفاعل الفولاذي المضغوط. وتنطلق الحرارة غير المفيدة من المحوّل عن طريق 192 مروحة شعاعية، ولتحسين طاقة الإصدار في الطيف تحت الأحمر، يُزوَّد السطح الإصداري للمراوح بطبقة مينا مقاومة للحرارة تؤمّن طاقة إصدار ≥ 0.9.

ويبيّن الجدول 2 الخصائص الأساسية للمفاعل-المحوّل ROMASHKA. وأثناء اختباره، اندمج لأول مرة بدافعة بلازما نبضية.

منظومة BUK NPS [3]

يبيّن الشكل 3 مشهداً عاماً لمنظومة BUK NPS. تستخدم هذه المنظومة مفاعلاً نووياً سريعاً صغير الحجم ذا قلب يحتوي على 37 قضيب وقود. وتستخدم كوقود سبيكة المولِبدنيوم - اليورانيوم العالية الانحناء (حيث تصل نسبة اليورانيوم المغنى إلى 90% في اليورانيوم - 235).

وتصل حمولة اليورانيوم - 235 إلى حوالي 30 كغ. تتوضع قضبان التحكم التي تتحرك بالطول في عاكس البِريليوم الجانبي. وهنالك منظومة تبريد من المعدن السائل ذات دارتين تُستخدم كمبرِّد، مع سبيكة تصلّد حرج من الصوديوم والبوتاسيوم المستخدمة كمبرِّد يَسخن مبرِّد دارة التبريد الرئيسة في المفاعل النووي إلى حوالي 973 كلفن ويوصل بالمولِّد الكهرحراري، (TEG) الذي يأخذ غلافه الخارجي شكل الأسطوانة. يوضع المولِّد الكهرحراري تحت المشِعّ مباشرة وخلف الدرع الواقي من الإشعاع، وتغلق التجاويف الداخلية في المولِّد بإحكام وتملأ بغاز خامل.

يطرح مبرِّد الدارة الثانوية الحرارة المتراكمة إلى المشِعّ، مع درجة حرارة تبريد قصوى في مدخل المشِع تكون سويتها 623 كلفن. وللمولِّد الكهرحراري قطاعان مستقلان: قطاع رئيس لحمل الحمولة على متن المركبة الفضائية، وقطاع ثانوي لتزويد المضخة الكهرطيسية من النموذج التوصيلي بالطاقة بحيث تضخ التبريد عبر دارتي NPS. يستخدم TEG خليتين كهرحراريتين على مرحلتين، حيث تستند المرحلة الأولى على سبيكة سليكون - جرمانيوم، وتقتصر الطاقة الحرارية للمفاعل على سوية قدرها 100 كيلوواط تقريباً، وتبلغ الطاقة الكهربائية القصوى لمنظومة NPS حوالي 3 كيلوواط.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

الجدول 2- المميزات الرئيسة للمفاعل المحول ROMASHKA.

قطر القلب (عبر تجميعات الوقود)	241 mm
ارتفاع القلب (عبر تجميعات الوقود)	351 mm
القطر الداخلي للعاكس الشعّي	266 mm
نصف القطر الخارجي للعاكس الشعّي (عبر الصفائح الغرافيتية)	483 mm
ارتفاع العاكس الشعّي	553 mm
ثخانة العاكس العلوي	125 mm
ثخانة العاكس السفلي	180 mm
تحميل مادة انشطارية بدلالة اليورانيوم 235	49 kg
وزن المفاعل	265 kg
وزن المحول الكهرحراري مع الغطاء والمشعاع	185 kg
وزن المفاعل - المحوّل (بدون السوّاقات)	450 kg
العمر الزمني للمفاعل - المحوّل	15 000 h
الطاقة الحرارية الفعّالة للمفاعل - المحوّل (بصرف النظر عن انتشار الحرارة في الأطراف)	28.2 kW
الطاقة الكهربائية للمفاعل - المحوّل في أطراف الحمولة (بداية حياته)	460-475 W

وخلال تشغيل منظومة BUK، وصل عمرها الزمني إلى 4400 ساعة. وقد لوحظ بعض التدني في البارامترات الكهربائية للمولّد الكهرحراري أثناء الاختبارات الأساسية والتشغيل في الفضاء. وخلال 4400 ساعة، تناقص مردود التحويل بشكل وسطي إلى 0.9 من قيمته في بداية عمره التشغيلي.

تؤمّن السلامة النووية لمنظومة الطاقة النووية BUK منظومتان تقومان على مبادىء مختلفة في التشغيل. إذ تُبنى المنظومة الرئيسة في المركبة الفضائية وتتضمن إدخال وحدة الطاقة النووية (NPU) في مدار نبذ طويل الأمد - وهو مدار دائري تقريباً بارتفاع يصل إلى أكثر من 850 كم. وستكون مدة المنظومة في المدار كافية لتفكك نواتج الانشطار في المفاعل إلى سوية النشاط الإشعاعي الطبيعي.

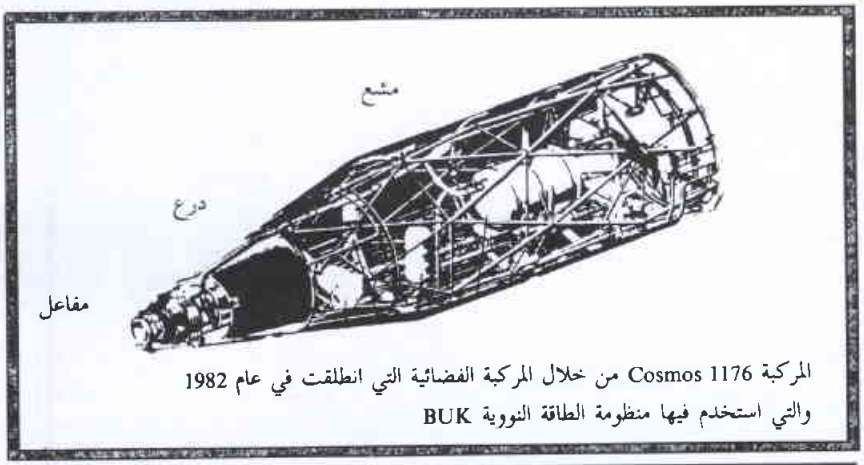
تقع منظومة الطرح في الوحدة الإنشائية للمركبة الفضائية، التي ترتبط مباشرة وبشكل آلي مع وحدة الطاقة النووية، وتنفصل عن حجرة الأدوات في المركبة الفضائية في مدار تشغيلي منخفض. تشمل منظومة الطرح منظومة دفع مستقل مع منظومات تحكم ومصدر طاقة كهربائية مستقل.

والمنظومة الثانية، وهي منظومة احتياطية، تحقق تبدداً تحريكياً هوائياً لمركّب الوقود مع نواتج الانشطار والمواد الأخرى ذات النشاط المحرّض في الطبقات العليا من الغلاف الجوي المحيط بالأرض في حال تعطّلت المنظومة الأساسية. تعتمد المنظومة على إدخال مجمّع الوقود الناتج من المفاعل إما في المدار التشغيلي أو لدى عودة أي جسم يحتوي المفاعل. إن عمليات التسخين بالتحريك الهوائي، والاضطراب الحراري، والإذابة والتبخير، والأكسدة،...إلخ، التي تحدث خلال عودة المركبة الفضائية تضمن تبدّد الوقود إلى جسيمات لها من الحجم بحيث أن ترسّبها على سطح الأرض لا يسبب زيادة في تعرّض الناس والبيئة للإشعاع فوق السوية التي تسمح بها توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع. تتألف المنظومة الاحتياطية من نبائط تحكم ومشغّل تعتمد على التشويه، والتعطيل فيما بعد، لا سيما للعناصر المرنة والمصممة تحت تأثير الغازات التي تنتجها مدخرة الضغط المشحونة المسحوق.

ومنظومة السلامة الاحتياطية اندمجت في منظومة الطاقة النووية BUK أثناء تشغيلها، بعد أن أدى تعطّل منظومة الطرح في المركبة الفضائية Cosmos -954 إلى انتشار السقط الذرّي من الأجزاء المشعّة للبنى المحطّمة أثناء العودة في الأجزاء الشمالية من كندا عام 1978، وكانت كتلة وحدة المفاعل في منظومة الطاقة النووية BUK 900 كغ تقريباً، وطاقتها الكهربائية النوعية 2.5 واط/ كغ تقريباً.

منظومة الطاقة النووية TOPAZ [3, 4, 5]

يوضّح الشكل 4 مظهر منظومة TOPAZ NPS. تتألف هذه المنظومة من مفاعل-محوّل

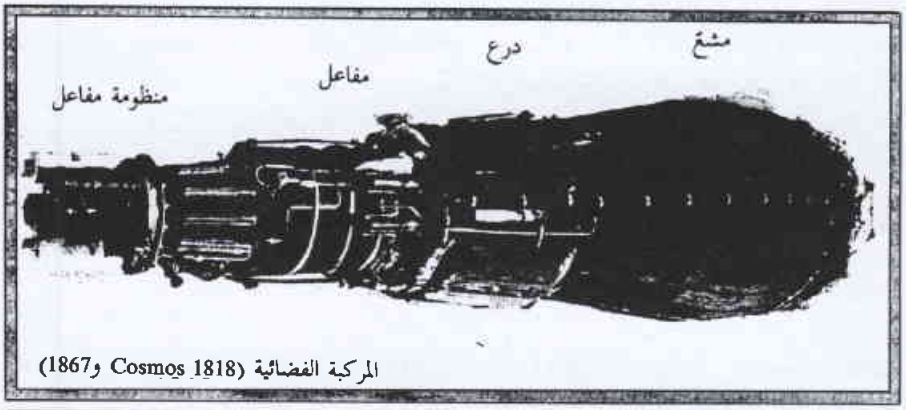


المركبة Cosmos 1176 من خلال المركبة الفضائية التي انطلقت في عام 1982 والتي استخدم فيها منظومة الطاقة النووية BUK

الطاقة الكهربائية	3 kW
الطاقة الحرارية	100 kW
كتلة تحميل اليورانيوم - 235	30 kg
الكتلة	930 kg

الشكل 3- منظر عام لمنظومة BUK.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy



المركبة الفضائية (Cosmos 1818 و1867)

الطاقة الكهربائية	5 kW
الطاقة الحرارية	150 kW
كتلة تحميل اليورانيوم – 235	11.5 kg
الكتلة	980 kg

الشكل 4– منظر عام لمنظومة الطاقة النووية TOPAZ.

ترميوني مع منظومة إمداد بخار السيزيوم؛ سوّاقات تحكم (دافعات تحكم)، وتدريع من الإشعاع، ومشعاع، وإطار توضع كلها على التتابع.

وقد تمّ بناء ثلاثة نماذج لمفاعل محوّل – ترميوني بعناصر وقودية حرارية متعددة الخلايا وخضعت لأول مرة في العالم لاختبارات الطاقة بين عامي 1970 و 1973. واستخدم أول نموذجين مصدّرات لسبيكة موليبدينوم VM-1، وفي النموذج الثالث يمتلك المصدّر طبقة إضافية تعتمد على أكسيد اللانتانوم.

لقد أكدت اختبارات الطاقة التي أُجريت على النماذج أن الأزواج الإلكترونية المنتقاة كانت تقدّم مردود تحول حراري غير كافٍ بشكل واضح من أجل الأغراض العملية، وأنه كان من الضروري التحوّل إلى مصدّرات أحادية البلّورة. كما تبيّن ضرورة تحسين التقانة وطرائق الفحص عند تصنيع خطوط الأنابيب المصنوعة من المعدن السائل والسيزيوم.

وهذا ما قاد إلى تطوير واختبار داخل المفاعل للمصدّر الأحادي البلّورة TFEs، والناجم عن تصنيع النموذج الرابع من TCR بـ TFEs المصدّر الأحادي البلورة.

تمّ تجريب هذا النموذج لمدة 5000 ساعة وتوقفت الاختبارات في مفاعل TCR لكونه قادراً على التشغيل الإضافي بالأداء ذاته. وبقيت الخصائص الكهربائية لـ TCR مستقرة خلال دورة الاختبارات، حيث يصل مردود قسم التشغيل إلى 7%.

سمحت النتائج التي حُصِل عليها من اختبار هذا النموذج بالبدء في بناء منظومة TOPAZ NPS من أجل المركبة الفضائية التجريبية Plasma-A.

يتألف قلب TCR من 79 عنصراً وقودياً ترميونياً وأربعة أقراص مهدئة من هدريد الزركونيوم. تتوضع هذه العناصر وقنوات التبريد في فتحات القرص المهدّىء وتشكل منظومة من خمسة صفوف متمركزة، وهنالك خمسة عناصر وقودية كهرحرارية خماسية الخلية مع كدّاس مجمّع ثلاثي الطبقة، وغاز انشطاري تنفثه مجمّعات المصدّر غير المحكمة إلى الفرجة بين إلكترودية (IEG). ويبلغ قطر مجمّع المصدّر وغلافه الخارجي 10 مم و14.6 مم على التوالي.

إن العناصر الوقودية الترميونية ترتبط كهربائياً بحيث تشكّل قسم التشغيل (62 عنصراً وقودياً ترميونياً) وقسم الضخ (17 عنصراً وقودياً ترميونياً). والغاية من قسم الضخ الذي ترتبط فيه TFEs على التوازي هي تزويد المضخة الكهرطيسية من النموذج التوصيلي لمنظومة إزالة الحرارة في NPU بالطاقة. وتكون TFEs في القسم مترابطة عند الطرفين بواسطة بخار السيزيوم.

تكون الطاقة الكهربائية عند أطراف قسم التشغيل حوالي 6 كيلو فولط مع فولطية تبلغ 32 فولط تقريباً. وتكون سعة تيار قسم الضخ حوالي 1200 أمبير مع فولطية قدرها حوالي 1.1 فولط. وقبل أن يصل المفاعل – المحوّل إلى سوية الطاقة الكهربائية المتوسطة، تتم تغذية المضخّة الكهرطيسية من وحدة التشغيل بواسطة بطارية تخزين عالية التيار، تقع خلف الدرع الواقي من الإشعاع.

يتم إنجاز وظائف ضبط الطاقة الحرارية، وتعويض التفاعلية، والإغلاق الطارىء بواسطة 12 أسطوانة دورانية من البِريليوم مع قطاعات مصفّحة من كربيد البورون. تتوضع الأسطوانات في العاكس الجانبي وتنقسم إلى أربع مجموعات تضم كل واحدة منها ثلاث أسطوانات، وتتحكم بكل مجموعة أداة التدوير الخاصة بها.

تستخدم منظومة الطاقة النووية TOPAZ منظومة إمداد بخار السيزيوم التي تضخ البخار عبر TFE IEG بمعدّل تدفق قدره 10 g في اليوم تقريباً. ويتم امتصاص السيزيوم الذي يمر عبر IEG بواسطة مصيدة قوامها الغرافيت المحلَّل حرارياً، والذي لا يُستخدم بعد ذلك في المنظومة، مع شوائب غير كثيفة بسبب طرحها في الفضاء.

تستخدم منظومة TOPAZ NPS تدريعاً إشعاعياً أحادي المركب من هدريد الليثيوم المحصور في حاوية مختومة بشكلٍ محكم، ذات أجزاء داخلية حاملة للحمولة.

إن منظومة الحرارة الأحادية الدارة مع مبرّد الصوديوم – البوتاسيوم تشمل مشعاعاً له سعة حاملة – للحمولة، وهي عضو بنيوي في وحدة الطاقة النووية. وتبلغ مساحة منطقة السطح المصدّر للمشعاع حوالي 7 $م^2$، مما يضمن نبذ 170 كيلوواط على الأقل من الطاقة الحرارية عند درجة حرارة المبرّد في مدخل المشعاع التي تصل إلى 880 كلفن.

تضمن منظومة التحكم الآلي (ACS) عودة NPS إلى سوية معدل الطاقة الحرارية والكهربائية، وصيانة تيار قسم التشغيل والحفاظ على درجة حرارة التبريد عند سوية محددة، وعلى فولطية قدرها 28 فولط في خطوط

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

إمدادات الطاقة للمعدات على متن المركبة، وإغلاق TCR حين ظهور إشارات التحكم في المركبة الفضائية.

تبلغ كتلة TOPAZ NPS، المتضمنة NPU ومنظومة التحكم الآلي ACS والتزويد بكابلات حوالي 1200 كغ، ويبلغ عمرها التشغيلي 4400 ساعة، ويصل طول وحدة الطاقة النووية إلى 4.7 م وقطرها الأعظمي 1.3 م.

تمّ إجراء اختبارين آخرين للطاقة في NPS بالتوافق مع ACS خلال الفترة بين عامي 1982 و 1984 في النمط الآلي للتحضير من أجل اختبارات الطيران. وتمّت أولى هذه الاختبارات على منظومة الطاقة النووية ذات العناصر الوقودية الترميونية باستخدام مجمّعات المصدِّر من الموليبدينوم الأحادي البلورة مع غلاف من التنغستين الأحادي البلورة، ويشتمل الاختبار الثاني على عناصر وقودية ترميونية باستخدام مجمّعات مصدِّرة للموليبدينوم الأحادي البلورة، وتمّ اختبار أولى الوحدات لمدة 4500 ساعة وثانيها لمدة 7000 ساعة تقريباً.

تشير الاختبارات إلى تردي مردود المحوّل، الذي كان حوالي 5.5% بالنسبة لقطاع التشغيل في بداية عمره، وتناقص بما لا يتجاوز 20% من القيمة الأولية خلال 4500 ساعة. وقد وجد أيضاً أن أكثر من 80% من تغير العمر في المفاعل المحوّل الكهرحراري يمكن أن يُعزى إلى تسرب الهدروجين من القلب، حيث يزداد معدّل التسرب بشكل ملحوظ بعد 3000 ساعة من التشغيل. والسبب هو أن صيانة نفوذية الماء المنخفضة في الأغلفة الوقائية على الأقراص المهدئة خلال عمرها لم تُستخدم في TCR بسبب العمر القصير. وفي هذه الحالة، يتحول جزء من الهدروجين المتسرّب إلى تجويف IEG.

وتعزز نتائج اختبار هاتين الوحدتين بشكل كامل صحة خوارزميات التحكم في إقلاع وتشغيل النماذج، إضافة إلى الانسجام بين بارامترات الخرج في NPS، ومنظوماته الفرعية ومكوناته، والقيم المطلوبة (الطاقة الكهربائية لقطاع التشغيل ليست أقل من 5.6 كيلوواط) للعمر الزمني المحدَّد الذي يبلغ 4400 ساعة.

في عام 1987 - 1988 جرى للمرة الأولى اختبار طيران وحدتين في TOPAZ NPS على المركبة الفضائية Plasma - A (Cosmos - 1818 و1867). واستخدم المفاعل - المحوّل في الوحدة الأولى منهما عناصر وقودية ترميونية بمجمّعات مصدِّرة للموليبدينوم الأحادي البلورة، في حين استخدم في الوحدة الثانية TFEs بأغلفة من التنغستين الأحادي البلورة. وأدخلت المركبة الفضائية في مدار دائري على ارتفاع يزيد على 800 كم. ولم يكن العمر البالستي للمدار التشغيلي أقل من 350 سنة، الذي يعدّ كافياً لتفكك نواتج الانشطار إلى السوية الآمنة.

جرى تشغيل منظومة الطاقة النووية المستخدمة مع المركبة الفضائية (Cosmos-1818) لمدة 142 يوماً، ومع المركبة الفضائية (Cosmos-1867) لمدة 342 يوماً، وفي كلتا الحالتين، ينتهي تشغيل NPS عندما يتم نفاذ مخزون السيزيوم في مولّد بخار السيزيوم، بحسب الخطة الموضوعة. وتمّ إنجاز برنامج الاختبار بشكل كامل لكلتا الوحدتين.

لقد أكّدت نتائج اختبار الطيران أن بارامترات خرج NPS ونمط العمليات الرئيسة في الظروف الأرضية تتفق مع تلك في الظروف الفضائية، وشهدَتْ على التشغيل المستقر للمفاعل - المحوّل ومنظوماته الداعمة في ظروف الطيران الفضائية ووجود دافعات بلازما تشغيلية.

منظومة الطاقة النووية إينيزي ENISEY (توباز TOPAZ 2) NPS [3,6-8]

في عام 1969 عُهد إلى مكتب تصميم كرازنويارسك للميكانيك التطبيقي (DBAM) ببناء مركبة فضائية كي تؤمن بثاً تلفزيونياً مباشراً للمناطق النائية من الاتحاد السوفييتي. كانت المنظمات الواقعة ضمن بناء وزارة الماكينات المتوسطة (MMMB) مكلّفة بتطوير منظومة طاقة لهذه المركبة الفضائية، حيث عُيّن مكتب التصميم المركزي لبناء الماكينات (CDBMB) كمصمّم رئيس لمنظومة الطاقة، ومعهد كورتشاتوف للطاقة الذرّية (KIAE - أُضيف اسم إيغور كورتشاتوف، وهو أول مدير لمعهد الطاقة الذرّية IAE، إلى اسم هذا المعهد بعد موته) كمشرف علمي، ومعهد البحوث "Lutch" التابع لـ SIA (لوتش الاتحاد العلمي والصناعي) كمطوّر للتقانة ومصمّم لعناصر الوقود الترميوني TFEs ومكوّنات القلب، و SIPE (معهد سوخومي للفيزياء والهندسة) كمطوّر لمنظومات التحكّم الآلي.

إن منظومة الطاقة النووية NPS الفضائية إينيزي، المبنية على منظومة ترميونية لتحويل الحرارة التي ينتجها المفاعل النووي إلى كهرباء، اقترحها المطورون كمنظومة طاقة نووية. يبيّن الشكل 5 منظراً عاماً لوحدة مفاعل منظومة الطاقة النووية إينيزي ENISEY NPS.

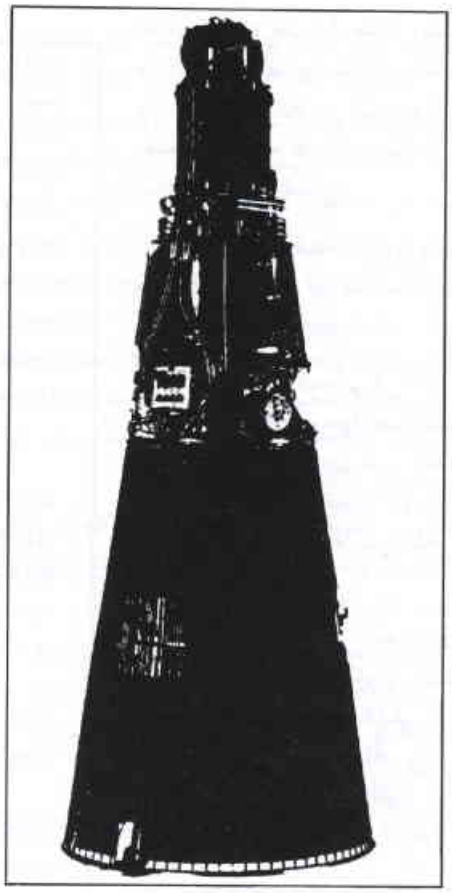
عُبئت كل المعدّات ضمن وحدة واحدة أُطلق عليها اسم وحدة "المفاعل" أو "الرأس"، واتخذت شكل مخروط مقطوع. يقع المفاعل في أعلاه، ويقع التدريع الواقي من الإشعاع تحت المفاعل مباشرة، وتُرتّب كل المعدّات الباقية في "ظل" التدريع.

تَستَخْدم NPS الفضائية إينيزي تصميم محوّل ترميوني وحيد الخلية TIC.

إن الوصول الحرّ إلى جوف كاتود عنصر الوقود الترميوني TFE وحيد الخلية حيث وُضع الوقود النووي سمح بأداء اختبار حراري كامل لكل من عناصر الوقود الترميوني، والمفاعل وNPS الفضائية في مرحلة التطوير، باستخدام سخانات كهربائية ذات سوية قدرة ملائمة موضوعة داخل جوف الكاتود. وتسمح تقنية مماثلة بأداء اختبارات تصحيح القدرة الكهربائية بالكامل والحصول على مميزات خرج للمنظومة، عند صنع NPS الفضائية.

إن هذه الخصوصية التي يتمتع بها TFE كانت مفيدة أيضاً من حيث ضمان السلامة النووية والإشعاعية للمنظومة عند مراحل تطوير وتشغيل NPS الفضائية على الأرض، إذ أنها تسمح باختيار الزمن الأكثر ملاءمة لتحميل الوقود النووي في المفاعل، وإنجاز معظم الفحوصات اللازمة قبيل تحميل الوقود.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy



الشكل 5– منظر عام لمنظومة الطاقة النووية إينيزي ENISEY.

يحتوي الجدول 3 الميّزات التقانية الأساسية لـ NPS الفضائية إينيزي كما يبيّن الشكل 6 مخطط تصميم المفاعل.

إن جملة وحدات المهدّىء هدريد الزركونيوم ووحدات العاكس الطرفي من البريليوم موضوعة داخل غمد أسطواني للمفاعل. لوحدات المهدّىء والعاكس فتحات تشكل قنوات لعناصر الوقود الترميوني TFEs. توصل صفائح الأنابيب بواسطة أزواج من أنابيب محورية ملحومة مع الصفائح. تفصل الأنابيب الخارجية الجوف المبرّد عن جوف المهدّىء، وتحتوي الأنابيب الداخلية على عناصر الوقود الترميوني. يصنع المهدّىء من هدريد الزركونيوم من المرتبة النووية nuclear-grade zirconium hydride. يبلغ محتوى الهدروجين في مادة مبنية على هدريد الزركونيوم 2.06% مضروبة في الكتلة.

تُحل مشكلة احتجاز الهدروجين في المهدّىء من خلال تطبيقات كُسوات واقية على بُنى مكونات المهدّىء الهدريدية والمعدن المحيط. يمر المبرّد عبر الفسحة الكائنة بين الأنابيب.

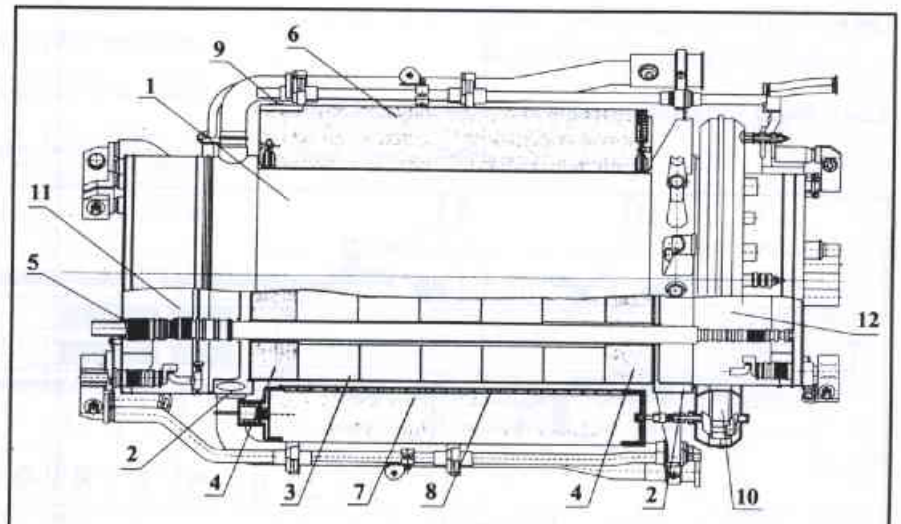
تُدخل TFEs داخل الأنبوب مع ملء الفسحة بالهليوم أثناء صنع المفاعل. ويضمن هذا انتقالاً مستقراً للحرارة من مجمّع الـ TFE إلى المبرّد.

تُشدّ الـ TFEs إلى صفيحة الأنابيب الخارجية من مُتشعّب المبرّد العلوي. يبيّن الشكل 7 تصميم عنصر الوقود الترميوني (TFE)

إن اختيار مواد الباعث وجودة تحضير السطح العامل الذي يؤثر على أداء TFE يأتي في الدرجة الأولى من الأهمية. وفي هذه الحالة يستخدم موليبدينوم أحادي البلّورة يكسوة من التنغستين – 184 كمادة للباعث والموليبدينوم كمادة للمجمع. يجمع التيار عند طرفي TFE خارج قلب المفاعل. تعزل إلكترودات TFE عزلاً كهربائياً عن بعضها البعض وتشكّل وعاء المفاعل بمساعدات سدادات محكمة معدنية خزفية موضوعة عند الجزئين الطرفيين من الإلكترودات.

عندما يشرع المفاعل بالعمل وتُحمّى وحدة المفاعل، تملأ الفرجة الكائنة بين الإلكترودات ببخار السيزيوم عند ضغط محدّد.

يمثل الوقود النووي كريات من ثنائي أُكسيد اليورانيوم مُغنى حتى 96% باليورانيوم U-235. يوجد في الكريات فتحات مركزية قطر كل منها 8 mm للمجموعة المركزية المكونة من سبعة عناصر وقود ترميونية، وبقطر 4.5 mm للبقية الباقية من TFEs التي تؤمن بروفيلاً لكثافة القدرة على امتداد نصف قطر القلب. توضع كريات العاكس الطرفي المصنوعة من أكسيد البريليوم على جانبي الوقود داخل الباعث. تمسك بالكريات نبائط خاصة وتبقيها في مواضعها وتمنع خروج الغبار السام عند القيام بالتشغيل الأرضي لـ NPS الفضائية، في حين يكون غاز الانشطار طليقاً للخروج إلى الفضاء.



1– وعاء المفاعل
2– مجمّع (موزّع) المبرّد
3– قوالب المعدّل
4– العاكس الطرفي
5– عنصر الوقود الترميوني TFE
6– عاكس شعّي مُقْحَم
7– قضبان التحكم
8– قنوات ماصة للنترونات
9– مؤشرات
10– مُسنّة الدوران
11– حجرة الهليوم الأعلى
12– حجرة الهليوم للنترونات الأدنى

الشكل 6– تصميم مفاعل لمنظومة الطاقة النووية الفضائية إينيزي.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الجدول 3- الخصائص التقنية الأساسية لمنظومة الطاقة النووية الفضائية إنيزي ENISEY.

القدرة الكهربائية العظمى عند طرفي وحدة المفاعل التي يزوّد بها المستهلك	5.5 kW
نوع التيار	مستمر
الفولطية (التوتر)	27 V
درجة حرارة المبرّد القصوى عند منفذ المفاعل	550°C
درجة حرارة الباعث القصوى	1650°C
الاستطاعة الحرارية للمفاعل	ليس أعلى من 135 kW
زمن الحياة (العمر) المعزّز بالاختبارات النووية	1.5 سنة
كتلة وحدة المفاعل	1000 kg
أبعاد وحدة المفاعل الطول	3900 mm
القطر الأعظمي	1400 mm
وضع الإشعاع على امتداد مستو قطره 1.5 m	
على بُعد 6.5m من مركز القلب	
تدفق النترونات ذات الطاقة >0.1 MeV	$5 \bullet 10^{12} n/cm^2$
جرعة التعرض لإشعاع غاما	$5 \bullet 10^5 R$
قطر القلب	260 mm
ارتفاع القلب	375 mm
عدد عناصر الوقود الترميوني في القلب	37
عدد عناصر الوقود الدورانية في العاكس الجانبي	12
تحميل اليورانيوم -235 في القلب	25 kg
عامل تضاعف النترونات الفعّال	$1.005\ K_{eff}$
(عناصر التحكم في الخارج، حالة باردة)	
تأثير درجة حرارة على التفاعلية الكلية	$0.012\Delta K/K$
قيمة 12 عنصر تحكّم	$0.055\Delta K/K$
نسبة الذورة إلى كثافة القدرة الوسطية	
على امتداد نصف قطر القلب	$1.1\ K_r$
على امتداد ارتفاع القلب	$1.26\ K_z$
زمن الحياة (العمر) المضمون باحتياطي التفاعلية	3

تجمّع TFEs في جزأين: جزء العمل المؤلف من 34 عنصر وقود ترميوني موصولة على التسلسل، وجزء الضخ المؤلف من ثلاثة عناصر وقود ترميوني موصولة على التوازي (التفرع). يوضع العاكس الشُّعّي - المؤلف من 12 قضيباً أسطوانياً (طبلة) متحركاً من البريليوم تحيط بها طبقات رقيقة من الفولاذ و 12 مُقْحَمة ثابتة من البريليوم بين الطبلات مضغوطة بإحكام على وعاء المفاعل بين مشعّبيّ المبرّد الخارجي والسفلي.

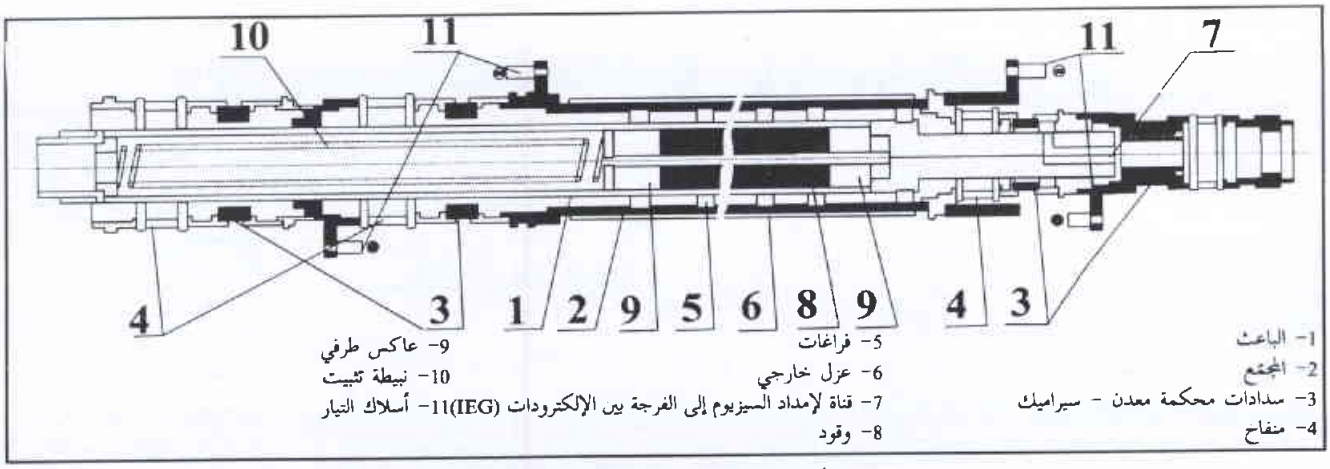
إن سطح المقحمات مؤنود (مكسو بطبقة من أكسيد الألمنيوم بطريقة التحليل الكهربائي) لمنع تشكّل غبار البريليوم.

تدور طبلات التحكّم في المحامل المنزلقة. وتُضغط المُقْحَمات، ومعها أيضاً الطبلات، على وعاء المفاعل بعصابتين من المعدن. هاتان العصابتان مجهزتان بقفلين كهربائيين يمكّنان من وضع العصابتين والعاكس الشعّي في حالة التركيب.

عندما يزوّد قفلا العصابتين بالقدرة الكهربائية، فإنهما ينفتحان ويتسببان في إضعاف (انهيار) العاكس الشعّي بسرعة تحت تأثير دافعات نابضية مهيّأة بين مُقْحَمات العاكس ووعاء المفاعل. يُعدّ انهيار العاكس أحد معايير السلامة في حال وقوع الحوادث.

توضع العناصر الماصّة من كربيد البور والتي تعطي ثلث محيط الطبلة من أخاديد ممتدة على كامل ارتفاع طبلات التحكّم تتفكك الطبلات 12 إلى مجموعتين: تسع طبلات تحكّم وثلاث طبلات أمان. ومن خلال الاقتران، توصّل قضبان التحكّم إلى آلية الدوران، وتوصل قضبان الأمان إلى سوّاقاتها الخاصة بها.

تمثّل آلية الدوران جهاز توزيع وتنقل عزم الدوران من السواقة الواحدة إلى قضبان التحكّم التسعة.



الشكل 7- تصميم عنصر الوقود الترميوني TFE.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تتولى منظومة تبريد المفاعل إزالة الحرارة من المفاعل وطرح الحرارة غير المستعملة إلى الخارج. تتألف المنظومة من المشعّ ومضخة التوزيع (الدوران)، والضاغط، ومصيدة الأكسيد، والسخانات الكهربائية التي تقوم بالتحمية، وشبكة الأنابيب والمحسّات لدرجة الحرارة المحمولة عند مواقع مختلفة على مشاعب المشع وخطوط الأنابيب. تُستخدم سبيكة ذات تصلّد حرج eutectic من الصوديوم والبوتاسيوم كمبرّد، ويُستخدم الفولاذ الذي لايصدأ كمادة بنيوية في دارة التبريد. تستخدم مضخة نقل هدروديناميكية مغنطيسية تعمل بالتيار المستمر DCMHD (magnetohydrodynamic) لضخ المبرّد في منظومة الطاقة النووية NPS. تستخدم NPS الفضائية مولّداً لبخار السيزيوم من نوع الفتيل a wick-type cesium vapor generator الذي يُسخّن من دارة المبرّد في كل مراحل التشغيل ولايتطلب مصدر طاقة.

يؤمن التدريع حماية مركبة الفضاء من الإشعاع ويقلّل تدفقات الإشعاعات النترونية وإشعاعات غاما. وفي الوقت نفسه فإن التدريع يعمل كجزء من البنية التي تحمل الحمولة في وحدة المفاعل.

يُصمَّم التدريع كغلاف من الفولاذ مملوء بمادة هدروجينية، هي هدريد الليثيوم. يوجد شكلان لتصميم التدريع: أحدهما له أطراف جدارية رقيقة thin-walled ends، والآخر له أطراف ثخنها عدة سنتيمترات من أجل تأمين حماية أفضل من إشعاع غاما.

أُعدّت منظومة التحكّم الآلي لمنظومة الطاقة النووية الفضائية NBS ACS كي تؤمّن تشغيل المنظومة في النمط المطلوب. تُنجز منظومة التحكّم الآلي الوظائف الأساسية التالية:

- تعطي الانطلاق لـ NPS وتوصلها إلى سوية القدرة المقدّرة.
- المحافظة على سوية القدرة المقدّرة.
- المحافظة على توتر خرج منظومة التحكّم الآلي ACS.
- وضع بطارية التخزين في حالة الوصل on قبيل أن تتحقق طلبات الطاقة الداخلية لـ NPS.
- شحن وتفريغ ثم إعادة شحن بطارية التخزين أثناء تشغيل NPS.
- مراقبة لوسطاء NPS من بُعد أثناء الإعداد الأرضي، وإدخال المدار والتشغيل في المدار.
- ضمان السلامة النووية والإشعاعية عند معالجة مفاعل محمّل بوقود نووي.
- تقديم وسائل لاختبارات وظيفية لـ NPS أثناء إعدادها على الأرض.

تشمل منظومة التحكّم الآلي ACS المنظومات الفرعية الوظيفية التالية: إصدار الأوامر وإجراء القياسات عن بُعد، والضبط الآلي، ومصدر الطاقة الكهربائية.

لإنجاز الفحوصات الوظيفية لـ ACS، طورت معدّات الفحص وأنشئت. تسمح هذه المعدّات بعمل محاكاة لشروط تشغيل NPS وفحص NPS من أجل المميزات التقنية. نظراً لكون منظومة التحكّم الآلي ACS محاكية لمنظومة تحكّم على ظهر المركبة، فإن معدّات الفحص فيها تمكّن من القيام باختبارات الطاقة النووية على الأرض لمنظومة الطاقة النووية NPS المنضمّة إلى منظومة التحكّم الآلي ACS. تستخدم معدّات الفحص لفحص كل مكوّنات NPS من أجل تصحيح ارتباطها، ولفحص منطق التشغيل، أنماط سوية طاقة البدء والطاقة المقدّرة، نوعية توتر الخرج، والمعلومات التي اكتسبها القياس من بُعد.

تُصمَّم سواقة التحكّم الآلي من أجل دوران طبلات التحكّم في المفاعل من وضعها الابتدائي وبأي زاوية بين 0 و 180 درجة. يتم التحكّم بالسواقة من منظومة التحكّم الآلي ACS. تملأ السواقة بالأرغون ثم تغلق بإحكام. وهي فعّالة في شروط الخلاء العالي ودرجة الحرارة العالية وتدفقات الإشعاع المرتفعة.

لضمان حماية حرارية لدارة المعدن السائل في وحدة المفاعل عند موضع الإطلاق وساق الإدخال في المدار، يستخدم غطاء حراري، يتألف من ثلاثة أجزاء زاوية وجزء سفلي. تُقدّم نبائط من أجل التصدع وانفصال الأجزاء الزاوية عن وحدة المفاعل. وبمجرد إنجاز عمل الوقاية الحرارية كما هو مطلوب فإن الغطاء الحراري يسقط بأمر تصدره منظومة التحكّم الآلي ACS.

وبموجب متطلبات تصميم NPS الفضائية العامة السارية المفعول في بلدنا فإن منظومة إينيزي خضعت لدورة كاملة من الاختبارات الأرضية، بما فيها الاختبار الشامل المسخّن كهربائياً لدى منشآت CDBMB، واختبارات نقل وديناميكية للحمولات المؤثرة أثناء عملية النقل أو إدخال المركبة الفضائية إلى المدار، واختبارات التبريد في الآزوت السائل في حجرات قرّية cryogenic، وكمرحلة ختامية للاختبارات-اختبارات الطاقة النووية - عند منشأة R لمعهد كورتشاتوف للطاقة الذرّية KIAE (وحدات Ya-23, Eh-31, Ya-81, Eh-38) وعند منشأة T لمعهد بحوث هندسة التجهيزات (NIIP) (الوحدتان Ya-24, Eh-82).

لقد صُنع حوالي 30 وحدة تجريبية من NPS الفضائية إينيزي لدى معامل Dvigatel State Works من أجل هذه الاختبارات. خضعت ستة منها إلى اختبارات طاقة نووية لدى منشآت R و T النووية لكل من KIAE و NIIP على التوالي.

وهكذا، خلال عام 1988 مرّت منظومة إينيزى عبر دورة كاملة من الاختبارات الأرضية كما هو مطلوب قبيل اختبارات الطيران على مركبة فضائية، وشرحت مطاوعة وسطائها لمتطلبات التصميم وعمر حياة 1.5 سنة مع المقدرة على الامتداد إلى ثلاث سنوات على الأقل.

في عام 1988 أوقف العمل في تطوير المركبة الفضائية لدى DBAM وانقطع تمويل العمل على NPS الفضائية إينيزي تبعاً لذلك. لقد وُجد الحل لاستمرارية العمل على شكل مساهمة دولية مع الولايات المتحدة.

وفي نيسان من عام 1988، جرت مفاوضات مع ممثلين للمنتجات العلمية الدولية (ISP) من San Jose، كاليف في الـ KIAE [إن منظمة الناجحين التابعة للمنتجات العلمية الدولية (ISP) كانت مؤسسة طاقة فضائية، Space Power Inc.، والتي كانت نفسها مكتسبة في تموز عام 2000 من قبل Pratt & Whitney العاملين في دفع الفضاء - Ed.] تناولت المفاوضات إمكانية التعاون واستخدام احتياطي NPS الفضائية المتوفرة في روسيا كمنظومات طاقة شمسية بديلة من أجل تطبيقات مدنية

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وتجارية وعلمية. عبّرت ISP عن اهتمامها بالمشاركة واقترحت، كمرحلة أولى، لتحضّر معاً وبالمشاركة وتنجز اختبارات إيضاحية لوحدات NPS الفضائية إينيزي (توباز TOPAZ 2) المصنّعة بدون وقود نووي في منشآت اختبار مسخّنة بالكهرباء.

بدأ برنامج العمل المشترك مع الولايات المتحدة (المسمى برنامج توباز) بصورة رسمية في عام 1997، عندما استوردت الولايات المتحدة منظومتي إينيزى (اللتين سميتا فيما بعد بـ توباز 2) بدون وقود، بموجب عقد بين شركة كلوزد جوينت ستوك INTERTEK و ISP من أجل اختبارات أرضية للتسخين بالكهرباء، على شرط عدم تعريتها وتفكيكها والعودة إلى روسيا بعد الاختبارات. أُعدّ البرنامج من أجل اختبارات أرضية للوحدات التجريبية للمنظومة في منشآت مسخنة بالكهرباء، وتسليم أربع منظومات توباز 2 أخرى لتحضير اختبارات الطيران باستخدام مركبة الفضاء NEPSTP، وبناء منظومة الطاقة النووية الفضائية للولايات المتحدة مع جعل منظومة التحويل حرارة إلى كهرباء الترميونية القائمة على الخبرة والتقانات مُتاحة من العلماء الروس. خلال عامي 1993 و 1996، وبعد انتهاء برنامج الفضاء SP-100 في الولايات المتحدة، كان برنامج توباز المسعى الوحيد الذي يتضمن منظومة الطاقة النووية NPS الفضائية الترميونية الذي استمر في تلك البلاد.

صادقت حكومة روسيا الفدرالية على البرنامج. ولقد كان بؤرة الاهتمام المستمر لحكومة الولايات المتحدة وجماعة العلماء والمهندسين، وقد راجع تطوره هيئات مسؤولة في الولايات المتحدة.

وصلت المرحلة الأولى من برنامج توباز ذروتها في اختبارات الطاقة لوحدتين تجريبيتين NPS فضائيتين (هما V-71 و Ya-21U) واختبارات لعناصر الوقود الترميوني أحادية الخلية التي أُنجزت في 1993-1992 من قِبَل فريق من الاختصاصيين من روسيا والولايات المتحدة، وبريطانيا العظمى وفرنسا. أُجريت الاختبارات لدى منشآت اختبار مسخنة كهربائياً بنيت حديثاً في جامعة نيومكسيكو في ألبوكورك، N.M. لقد أكدت الاختبارات مطاوعة في أداء المنظومة مع وسطاء التصميم. إن الاختبارات الناجحة للمنظومتين V-71 و Ya-21U وعناصر الوقود الترميوني جعلت الاختصاصيين من الولايات المتحدة يبدؤون العمل في تصميم مركبة الفضاء التجريبية NEPSTP بـ NPS الفضائية توباز 2 والدافعات الكهربائية لأنواع مختلفة من أجل تحويل مركبات فضائية من مدار آمن من الإشعاع (مدار مرجعي على ارتفاع 800 km، بزاوية انحراف مداري تبلغ 28.5 درجة بصورة اتفاقية (عرضية)) إلى مدار ساكن بالنسبة للأرض geostationary orbit (مدار دائري على ارتفاع 36000 km)، للبدء بتصميم NPS الفضائية الترميونية SPACE-R ذات سوية القدرة الكهربائية 40 kW باستخدام تقانة توباز 2.

للقيام بهذا العمل استقدمت إلى الولايات المتحدة أربع وحدات تجريبية أخرى من منظومات توباز 2 في آذار من عام 1994 بموجب عقد مع ISP. اثنتان منها (الوحدتان Eh-41 و Eh-42) كانتا مخصصتين لعمل التطوير الأرضي على التكامل مع مركبة الفضاء، والوحدتان الأخريان (الوحدتان Eh-43 Eh-44) كانتا للاستخدام في اختبارات الطيران على مركبة الفضاء NEPSTP. لم تُستكمَل هذه النشاطات في الولايات المتحدة، لأن حكومة الولايات المتحدة وضعت حداً لها.

ورغم أن برنامج توباز لم ينجز كاملاً، فإنه يمثل مثالاً متميزاً للتعاون بين روسيا والولايات المتحدة. وقد ساهم تطبيقه في اكتساب معرفة تقنية متقدمة جديدة، والتغلب على حواجز من التوتر بين بلداننا، وحل مسائل تهتم بتنظيم العمل المشترك للاختصاصيين الأمريكيين والروس (مثل حاجز اللغة، إلخ).

إن تلك الطاقة النووية الفضائية المبنية على الاقتناع ستجد استخداماً وجيهاً في بعثات الفضاء المختلفة في المستقبل ويمكن بناء تلك الـ NPSs الفضائية حول تقانة عالية فقط، نحن نعتقد أنها ضرورية للعمل كي يستمر قُدماً في خلق قاعدة التقانة، مما يجعل كل شيء جاهزاً لبناء مثل هذه الـ NPSs كما هو مطلوب في أوائل القرن الحادي والعشرين. لذا فإننا نقترح أن يستمر العمل التعاوني مع الولايات المتحدة في برنامج متجدّد لبناء قاعدة تعاونية لمنظومات الطاقة النووية NPS الفضائية في القرن الحادي والعشرين.

الدفع الحراري النووي [9, 10]

إن الميزة الأساسية التي تمتاز بها وحدات الدفع الحراري النووي nuclear thermal propulsion (NTP) على المحركات الصاروخية ذات الدّفوع السائل liquid-propellant rocket engines هي في مقدرتها على استعمال وسط عمل بمكوّن وحيد ذي وزن جزيئي أصغري يسمح بدفعات نوعية عظمى مع بقاء كل العوامل الأخرى متساوية. وهكذا، فإن الدفعة النوعية الناتجة بواسطة NTP، عند استخدام الهدروجين، يمكن أن تكون أكبر من ضعف الدفعة النوعية التي تعطيها محركات صاروخية كيميائية. ونظراً للدفعة الذاتية الأعلى، يمكن للدفع النووي أن ينجز بعثة الفضاء ذاتها بكتلة دفوعة أقل إذا قورن بالمحرك الكيميائي.

في الخمسينيات من القرن الماضي، شرعت مجموعات مستقلة من الاختصاصيين في الاتحاد السوفييتي ببحثٍ مبتكر أدى إلى فكرة خلق NTP. تضافرت جهود الأفرقة وحظيت نشاطاتهم بوضع رسمي في صيف عام 1958، بعد أن أصدرت الحكومة قراراً بذلك. عُين معهد الأبحاث KIAE (ألِكْسندروف A.P.Aleksandrov) #1 (NII-1) (V.M. Ievlev) و IPPE (لايونسكي A.I.Leipunsky) كمشرفين علميين لجهود تطوير NTP، كما عين مكتب التصميم التجريبي لِـ بونداريوك M.M. Bondariuk كمصمم NTP.

إن المفهوم المسيطر للإيديولوجية الوطنية لبناء المفاعل NTP كان قائماً على مبدأ اللاتجانس heterogeneity والمبدأ المرافق للنمطية المركزية، وليس كمفهوم المفاعل المتجانس الذي أقرّ في برنامج الولايات المتحدة.

تكوّنت الأسباب الرئيسة التي تحكم هذا الخيار من مزيّات أساسية لمفهوم القلب اللامتجانس لانجدها في القلب المتجانس مثل:

- يمكن في الواقع إستعادة عملية تسخين الوسط الشغّال في المفاعل كلية في الخلية الواحدة للقلب، وهذا مايجعلها أكثر بساطة بكثير وأرخص عند مقارنتها مع المفاعل المتجانس، لتطوير تقانة وإنجاز اختبارات المكوّنات الرئيسة للقلب - تجميع الوقود (FA).
- ازدياد قائمة المواد التي يمكن أن تُستخدم من أجل العناصر البنيوية بشكلٍ كبير.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

- تخفيض جزء من العناصر البنيوية المعرّضة لدرجات حرارة عالية (فوق 2000 كلفن).
- يمكن اختيار واحد أو عدد من تجمعات الوقود في مفاعلات البحث العالية الدرجة من الوثوقية، والتي لايمكن مقارنتها من حيث الأمان عند اختبار كامل مفاعل بُني لأول مرة. وهذا ما يسمح، في الوقت نفسه، باستخدام مرافق اختبار المفاعل المتوفرة.
- يسمح فصل المهدّىء عن الوقود بأخذ متطلبات المهدّىء فقط بعين الاعتبار عند اختيار مواده.
- تسهيل حل المشاكل الفيزيائية (بسبب تغير في تركيز الوقود مثلاً). والجانب المائي الحراري للقلب، مما يسمح بتخفيض تغيرات درجة الحرارة إلى الحدّ الأدنى وزيادة درجة حرارة الوسط الشغّال إلى الحدّ الأعلى.

يأخذ التصميم النمطي بعين الاعتبار تقديم قلب المفاعل الكامل القياس كمنظومة من القنوات، التي من خلالها يكون الوسط الشغّال متوضعاً في داخل الوحدة الإنشائية، ويُسمح ضبط أو تعديل المكوّنات لتعيين توزيع سرعة جريان الوسط الشغّال.

هنالك مبدأ آخر له حق الأولية في تطوير العمل وفي تعريف مفاعل الدفع الحراري النووي (NTP) وهو أنه يجب على التطوير التجريبي للمفاعل أن يتم من أجل مكونات كل على حدة (تجميع الوقود، مهدّىء، عاكس، وعاء، .... إلخ) بما فيها صحة الوثوقية المطلوبة، وأن المفاعل ككل يجب أن يخضع فقط لاختبار الضغط أو لاختبارات واقعة تحت برنامج مُصغَّر لتحديد التأثير المتبادل لمكوّنات المفاعل التي تم اختبارها على انفراد بعضها على بعض. قُصِد بهذا الهدف تخفيض كافة تكاليف اختبارات المفاعل إلى أقصى حدّ، كما هو الحال في التصميم النمطي.

أدّت التوفيرات في كلفة تطوير المفاعل NTP إلى اعتباره مبدأً له حق الأولوية في الاستراتيجية الإجمالية لتطوير وبناء المفاعل.

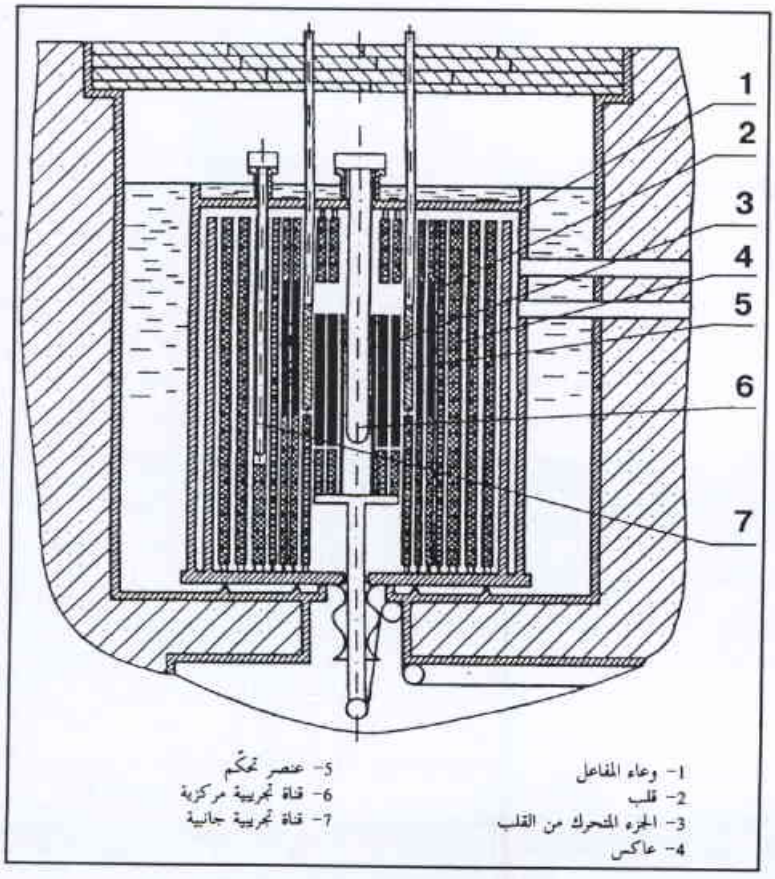
لقد أخذت عملية بناء وحدة الـ NTP في الواقع زمناً طويلاً. لم يكن من المحتمل التنبؤ مقدماً بأبعاد وبارامترات وحدة NTP محدّدة، وبالتالي المفاعل. ولهذا فإن استنباط القرارات الأساسية حول تنميط كتل البناء الأساسية - والتي يمكن أن تستعمل مستقبلاً في بناء مفاعل له أي سوية قدرة وأي حجم - يمثل أكثر الطرائق الفعّالة من ناحية الكلفة في تحقيق المشروع الذي من الممكن تعديله بسهولة وفق أي تغير في الشروط الملازمة لتطبيق معين أو خاص.

تختلف مفاعلات NTP بصورة أساسية عن الأنواع الأخرى من المفاعلات، إن متطلبها الرئيس هو في الحدّ الأدنى الممكن من الأبعاد والكتلة. وهذا مايجعلها ضرورية لأن تملك كثافات قدرة عالية في وحدة الحجم للقلب (بدرجة من المقدار أعلى من أي مفاعلات أخرى). يتحدّد اختيار مواد البناء بضرورة تحقيق الحدّ الأقصى من درجات حرارة الوسط الشغّال في المفاعل بغية تأمين نوعية عالية لوحدة الدفع. تعمل مفاعلات NTP على سويات قدرة عالية (عدة ملايين من الكيلوواط) وتدفقات نترونات حرارية عالية (حوالي 10^{15} n/cm^2 s). يجري الانتقال من سوية قدرة ما إلى سوية قدرة أخرى، بما فيها الانتقال من سوية فيزيائية (أقل سوية قدرة يمكن التحكّم بها أو ضبطها) إلى السوية المقدّرة بسرعة (أجزاء الثانية).

يُحدّد هذا الاختلاف الأساسي بين مفاعلات NTP والأنواع الأخرى من المفاعلات الحاجة الملحّة للتحريات التجريبية - أولها ما يتصل بتطوير تجمعات الوقود والمكوّنات الأساسية المسؤولة عن قدرات المفاعل. إن تجهيزات المفاعل التجريبية المتوفرة لاتسمح بإنجاز هذه التحريات. لا تقدم التدفقات النترونية المنخفضة وعملية الحالة المستقرة للمفاعلات الموجودة الشروط المطلوبة للاختبار.

ومن أجل ذلك، فإن التجهيزات الموظّفة من أجل عمل البحث والتطوير على مفاعلات NTP لاتتضمن فقط تجهيزات الاختبار الحالية التي تستخدم عند تطوير مفاعلات قدرة أخرى. لقد تمّ بناء وتشغيل تجهيزات خاصة، والأهم من ذلك، فقد بُنيت ثلاث منشآت اختبار مفاعل لمراعاة وضع موضع التجربة مكوّنات في شروط مطابقة لشروط مفاعلات NTP الحقيقية.

أُجريت اختبارات المفاعل الدينامية لعناصر تجميع الوقود في المفاعل النابض الغرافيتي العالي التدفق IGR (الشكل 8) الذي شيدته KIAR ومعهد البحوث والتصميم لهندسة القدرة NIKIET لدراسة سلوك المواد



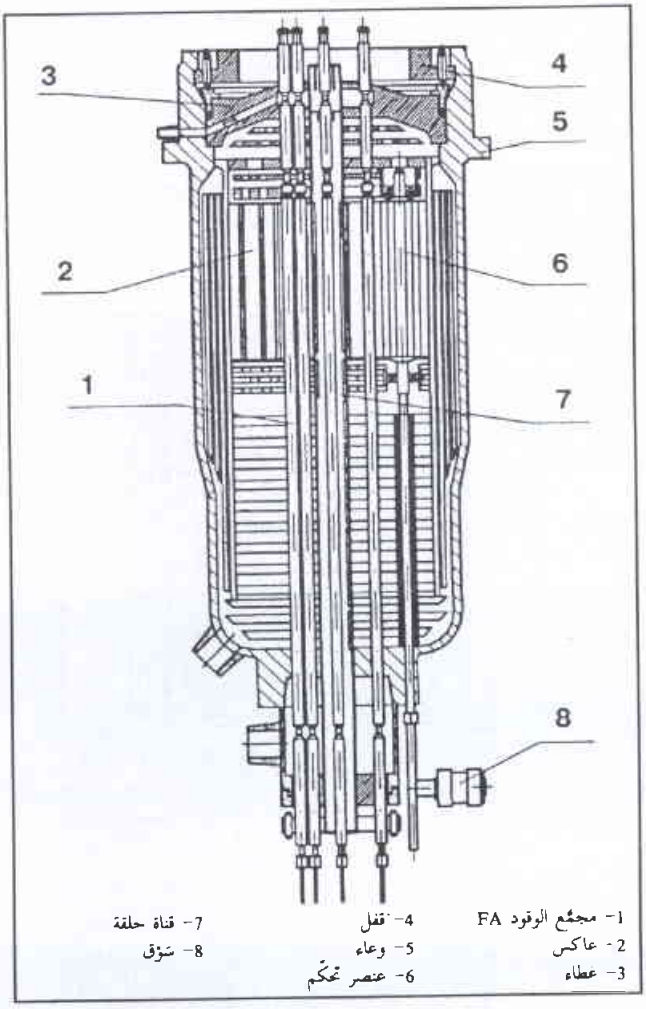
الشكل 8- مخطط مفاعل IGR.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

والبُنى عند الانتقاليات السريعة في العمليات العادية وفي الحالات المفاجئة. يتكون قلب المفاعل من كتل غرافيت مشرّبة باليورانيوم ويتكوّن العاكس من كتل غرافيت نقية. لاتوجد هنالك أجزاء معدنية في القلب أو العاكس. وبسبب كبر كتلة الغرافيت فإن احتمال ارتفاع درجة الحرارة الحقيقية للمهدّىء (إلى حوالي 1000 كلفن) أثناء النبضة، وصغر المقطع العرضي لأسر النترون الحراري للغرافيت، فإن ارتفاع التدفق الكلي للنترونات (4×10^{16} n/cm^2) يكون مضموناً. وحتى يومنا هذا، فإن المفاعل IGR يبقى المفاعل النابض الذي يملك أعلى تدفق كلي للنترونات في العالم.

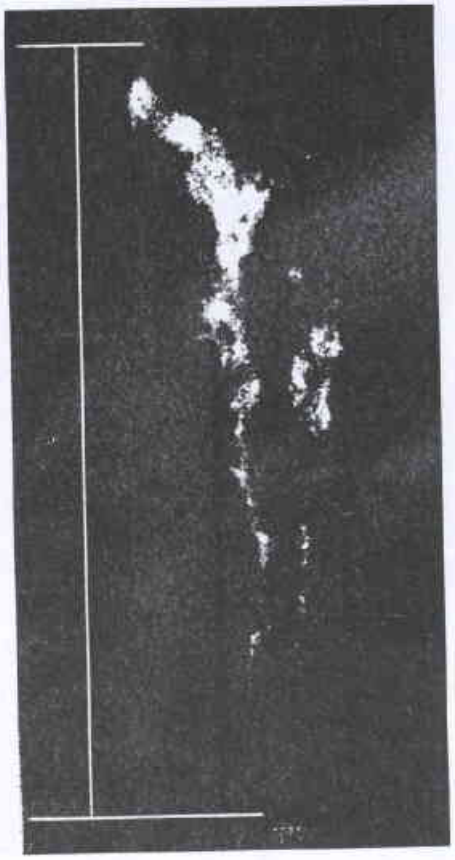
تتغير مدة بقاء النبضة من أجزاء من الثانية إلى مئات من الثواني. يبلغ قطر قناة التجريب المركزيّة 290 mm مما يسمح بإجراء اختبارات الدارة المغلقة لتجميعات وقود لمفاعل الدفع الحراري النووي NTP ولعينات كبيرة أخرى.

أُجريت على نطاق واسع اختبارات عمر تجميعات الوقود لمفاعلات NTP المختلفة سويات القدرة في مفاعل IVG-1 (الشكلان 9 و 10) الذي بنته KIAE و NIKIET و PNITI. صنع قلب المفاعل من



1- مجمّع الوقود FA
2- عاكس
3- عطاء
4- قفل
5- وعاء
6- عنصر تحكّم
7- قناة حلقة
8- سَوْق

الشكل 9- مخطط مفاعل IVG-1.



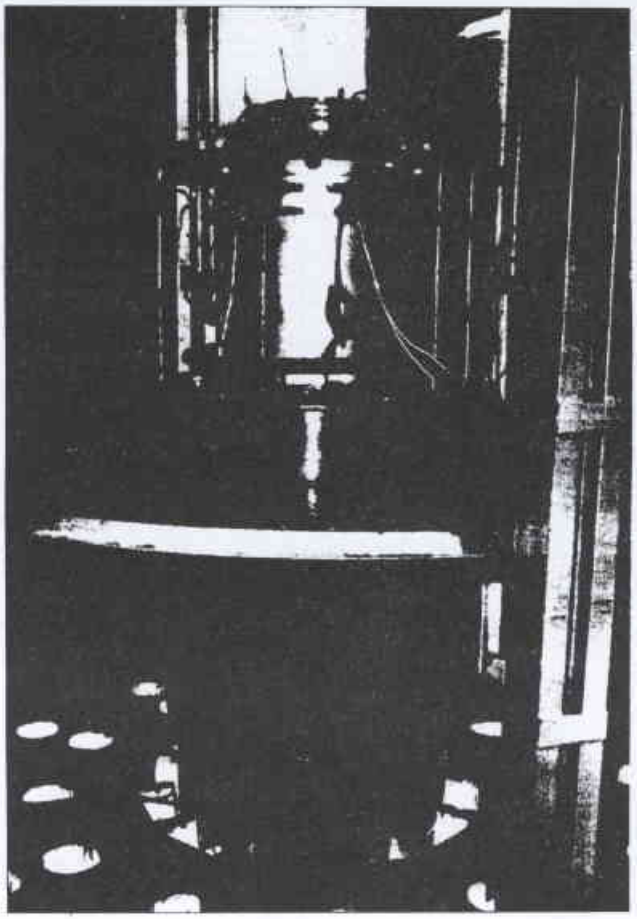
الشكل 10- إقلاع المفاعل التجريبي IVG-1. قدرة حرارية 225 MW. ودرجة حرارة الهدروجين حوالي 3000 كلفن.

تجميعات وقود مفاعلات NTP التي طورت، وكانت بارامترات التشغيل للمفاعل أثناء الاختبارات مطابقة لتلك التي تمت في مفاعل NTP. تتوضع قناة حلقية قطرها 164 mm في الجزء المركزي من القلب، يمكن للقناة أن تتسع لشظايا المفاعل NTP، بما فيها 1 إلى 7 تجميعات وقود. يسمح استعمال عنصر البريليوم حول القناة الحلقية أن تنتج دفعة تدفق نتروني أعلى بمرتين من معدّل التدفق عند القلب. وقد مكّن هذا التشكيل للقلب أن ينجز مجموعة اختبارات (30 تجميع وقود) واختبارات دارة لتجميع الوقود في سويات درجات حرارة وبارامترات قدرة مختلفة.

بَنى مكتب تصميم الأتمتة الكيميائية CADB و NIITP و IPPE وPNITI أصغر نموذج أولي تطويري لمفاعل NTP ومفاعل IGRIT (الشكل 11) الذي تتكون اختلافاته عن وحدة الطيران من منظومة تبريد للمفاعل بغازي الهدروجين والنتروجين، ومن فوهة قصيرة ومن تدريع إضافي ضد الإشعاع ومن إجراءات أمان.

تعتبر أقسام التسخين، المؤلفة من قضبان وقود ملتوية الشريط والتي تشبه مثقباً قطره 2 mm، قلبَ تجميع الوقود في جميع مفاعلات NTP التي تمّ تطويرها. لقد وجد أن هذا الشكل هو الأمثل للتحليل البارامتري. تسمح المقدرة على بناء قلب ذي قضبان وقود صغيرة الحجم بتحقيق توزيع اليورانيوم على حجم القلب.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل 11– المفاعل IRGIT في منشأة اختبار مركز كلديش.

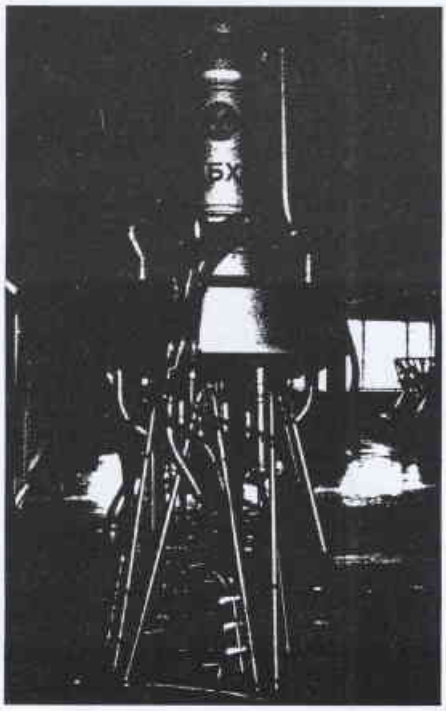
تستخدم المواد الخزفية كالكربيد ومركبات نتريد الكربون كمواد أساسية في جميع مكوّنات تجميع الوقود: مواد الوقود، العزل الحراري، البُنى الحاملة للأثقال والفوهات. سمحت الاختلافات في التركيب والبُنى والحالة الفيزيائية للخزفيات المختارة بالحصول على مجال واسع من الخواص التي تناسب المتطلبات الافتراضية لجميع مكوّنات الدفع الحراري النووي العالي الدرجة. قام أساس التطوير على المفهوم التالي: إن التدرك الجزئي المتوقع لمركبات القلب الخزفية، بما في ذلك قصور الهشاشة، مسموح به في مسار عملية القلب – ولكن بشرط أن يحتفظ المكوّن بوظيفته. لقد بُرهن على ملاءمة وكفاءة هذا المفهوم بسلسلة من اختبارات كهربائية – حرارية – وديناميكية غاز ومفاعل.

تتطلب مرحلة الانتهاء من تطوير تجميع الوقود اختبارات على مفاعلات IGR و IVG-1 و IGRIT. في الاختبارات الدينامية في مفاعل IGR، وصلت كثافة القدرة للعناصر التي جرى اختبارها إلى 30 كيلوواط/سم^3، وكانت درجة حرارة الهدروجين 3100 كلفن، وسرعة التسخين من 350 إلى 1000 K/s. أُعيد اختبار كثير من العيّنات بمدة زمنية لدورة واحدة تتراوح بين 5 إلى 100 ثانية. استخدم المفاعل IVG-1 لإنجاز اختبار عمر حوالي 300 FAs مع تعديلات تزيد عن العشرة. وصلت كثافة القدرة لعناصر الوقود إلى 20 كيلوواط /سم^3. كانت درجة حرارة الهدروجين 3100 كلفن، وكانت سرعة التسخين 150 كلفن/ثانية وكان الزمن الكلي لاختبار عدة عناصر وقود 4000 ثانية (الشكل 8). أما في المفاعل IRGIT فقد تمّ التوصل إلى سوية قدرة تبلغ 90 ميغاواط ودرجة حرارة هدروجين تبلغ 3000 كلفن.

وهكذا فإن تجميعات الوقود في مفاعل NTP عانت أو مرّت بجميع مراحل الاختبارات الأساسية. وقد تمّ أيضاً إجراء اختبارات كاملة على مكوّنات أخرى في المفاعل NTP في منشآت الاختبار ومفاعلات البحوث.

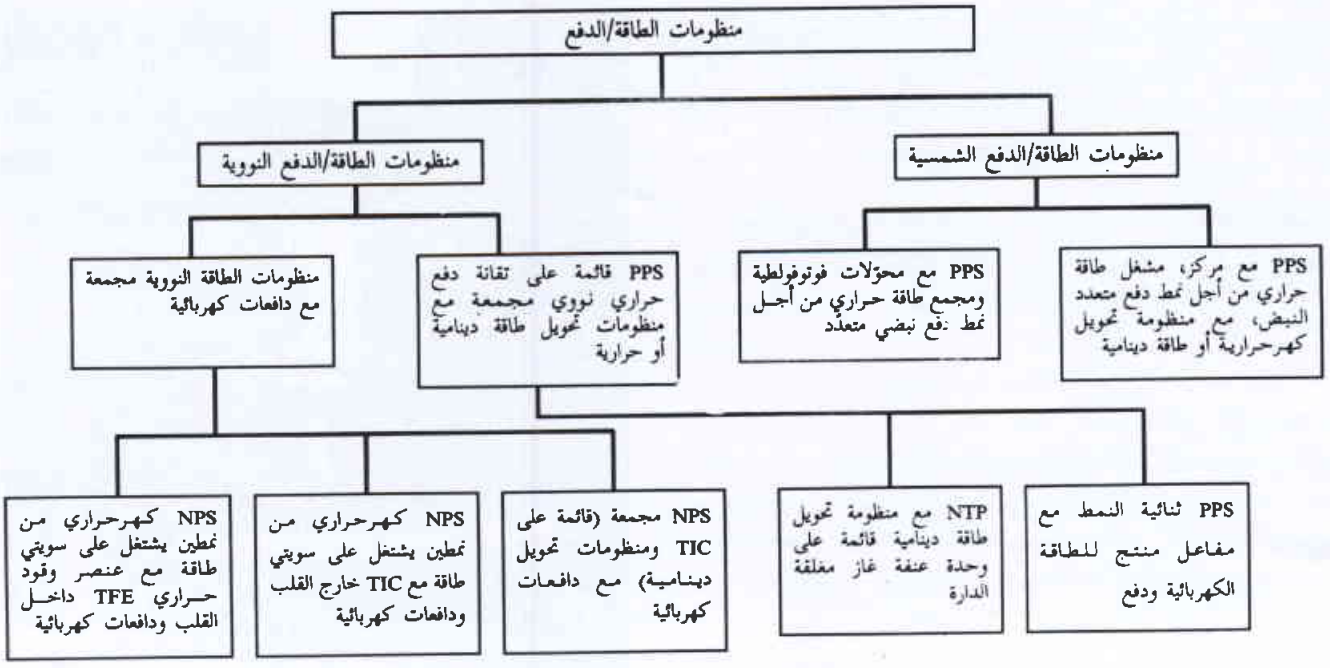
بُني محرك "بارد" من أجل إجراء تحريات شاملة على تركيب ومكوّنات الـ NTP (إلى جانب المفاعل) وعملياته، وذلك باستعمال دافع حقيقي ذي سرعة جريان كتلة حقيقية وضغط ودرجة حرارة. أُنجز أكثر من 250 اختباراً على المحرك البارد على منضدة اختبار الهدروجين السائل. وقد تمّ التوصل إلى زمن جريان تجميعات ضخ مسيّرة بالعنفات في هذه الاختبارات بلغ مقداره ثلاثة أضعاف الـ 3600 ثانية المطلوبة في NTP. ولمحاكاة تسخين الهدروجين المقدّم لعنفات تجميعات الضخ المسيّرة بالعنفات استعملت وحدة تبادل حراري تستخدم الطاقة الكيميائية المتحررة من مولّدات الغاز عند احتراق الهدروجين بالأكسجين.

لقد سهل البحث والتطوير تصميماً ناجحاً لـ NTP دفعه 40-t (مكتب تصميم الأتمتة الكيميائية، NIITP، KAIE) وكذلك لمنظومات NTP أخرى (الشكل 12). وكذلك سهلت أيضاً اقتراح وتثبيت عددٍ من مفاهيم منظومات الدفع الطاقي النووي الكائنة حول تقانة NTP والتي يمكنها، مع الدفع، إنتاج قدرة كهربائية على سوية قدرة تبلغ MW.



الشكل 12– نموذج بالحجم الطبيعي لمنظومة دفع حراري نووي.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



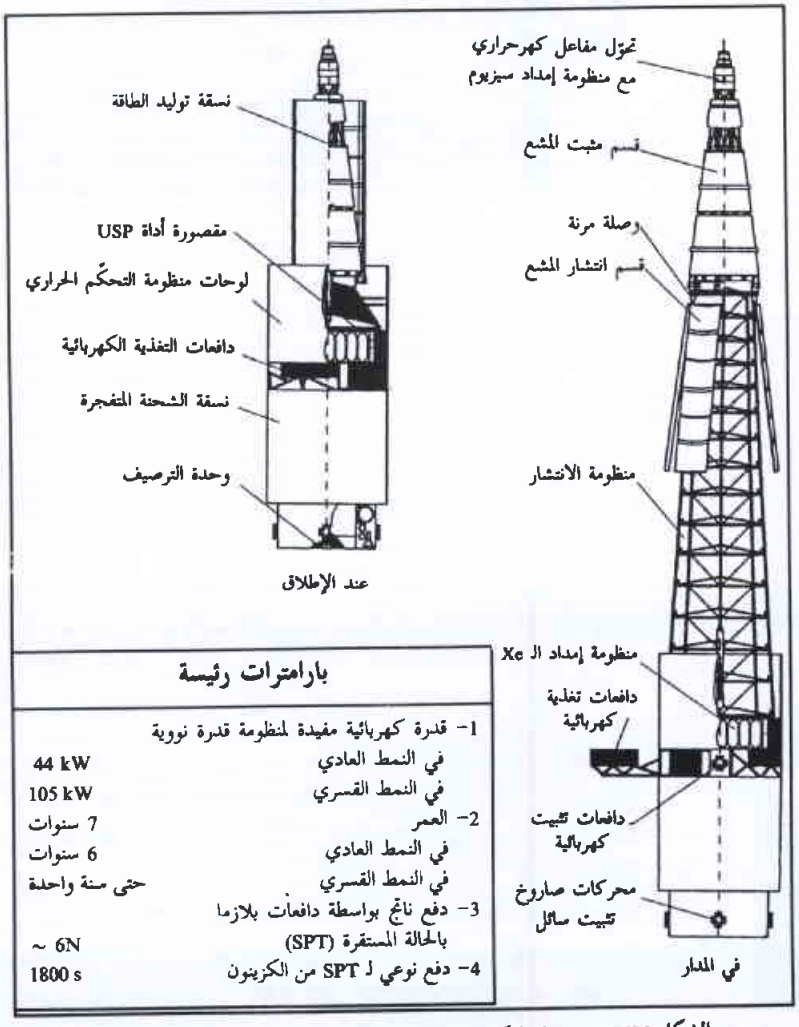
الشكل 13– تصنيف منظومات الطاقة/الدفع.

منظومات الطاقة/الدفع [3, 11-13]

تثبت دراسات التصميم والبحث التي أُنجزت في السنوات الأخيرة أن استخدام منظومات الطاقة/الدفع النووي (NPPSs) في مختلف التصاميم التي توفر الطاقة الكهربائية والدفع لمركبات الفضاء، هو استخدام واعد بشكل خاص لمختلف المهمات الفضائية. والأمر الأكثر فائدة وكفاءة هو استخدام NPPSs كجزء من مركبات طاقة ونقل (TPM) من أجل إقحام المركبة الفضائية في مدارات تشغيل، بما في ذلك مدارات ثابتة بالنسبة للأرض ومدارات بين كوكبية. وتقدّم الطاقة إلى منظومات في الفضاء أثناء القيام بمهمتها. يصف الشكل 13 تصنيف تصميمات منظومة الطاقة/الدفع الممكنة. وتبيّن الأشكال من 14 حتى 18 بعض مفاهيم تصميم منظومة الطاقة/الدفع التي درست حتى الآن.

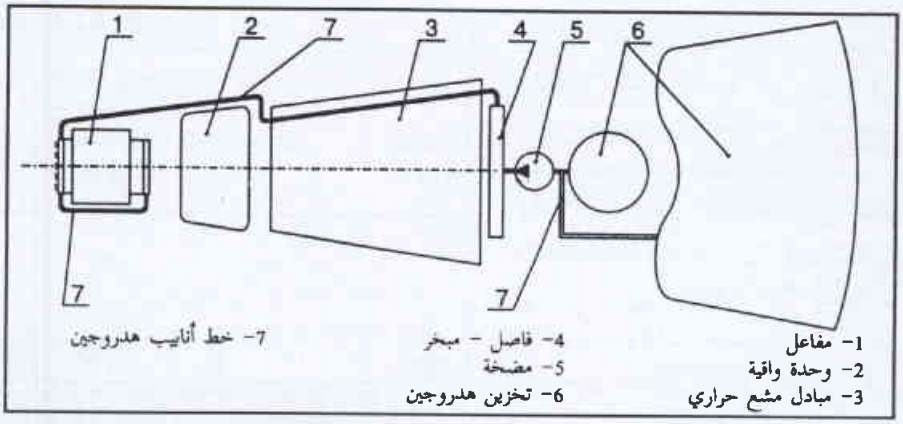
يمكن إنجاز منظومات الطاقة/الدفع باستخدام كل من الطاقة النووية والطاقة الشمسية. وكأحد الخيارات – يمكنهم إشراك تقانات منظومة الـ TOPAZ القائمة على: (1) عناصر وقود ترميوني في القلب، (2) محوّلات ترميونية خارج القلب، أو (3) منظومات تحويل مشتركة مع أكثر تقانات الدافعات الكهربائية كفاءة – كدافع الكزينون، ودافعات البلازما المستقرة التي لها دفع نوعي يبلغ حوالي 1800 ثانية أو دافعات أيونية.

إنّ تصميم منظومة الطاقة/الدفع هذه هو الأكثر نضوجاً من حيث تطبيقاته، ويضمن وضع أكبر الكتل



الشكل 14– رصيف فضاءكوني (USP) مع منظومة طاقة نووية بنمطين ترميونيين.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

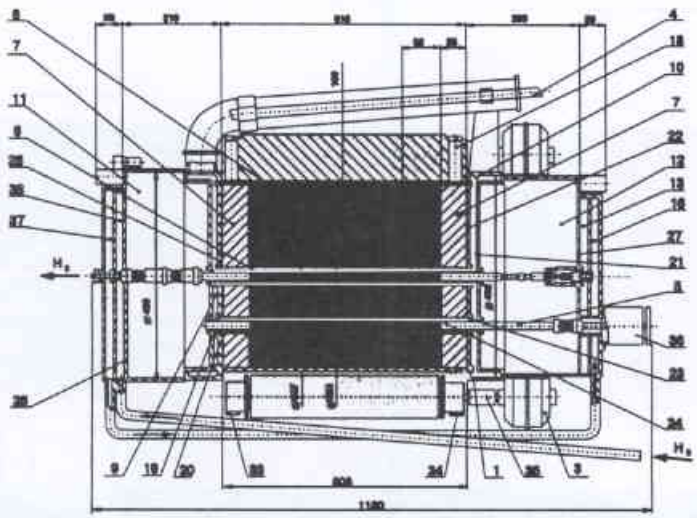


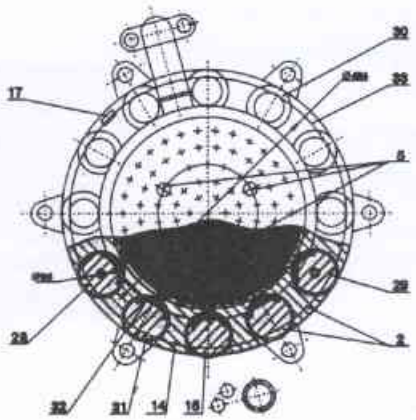
الشكل 15- مخطط منظومة ثنائية النمط.

حمولة في مدارات عالية الطاقة يراد الوصول إليها، مثل المدارات الثابتة بالنسبة للأرض والمدارات البين كوكبية. وأما العائق لهذا التصميم فهو الوقت الطويل (يصل إلى ستة أشهر) الذي يستغرقه لوضع الحمولة في المدار الثابت بالنسبة للأرض حتى عند إجبار منظومة الطاقة فيما يتعلق بسوية الطاقة الكهربائية (حوالي 2.5 مرة). يمكن تحقيق وضع حمولات في مدار ثابت بالنسبة للأرض في زمن أقل (من 10 ساعات إلى حوالي الشهر) بواسطة منظومات الطاقة/الدفع القائمة على الدفع الحراري النووي الهدروجيني ومنظومات التحويل الدينامية المغلقة الدارة، أو بمفاعلات ثنائية النمط حيث يولد المفاعل الطاقة الكهربائية بواسطة محولات ترميونية وينتج دفعاً بمساعدة الهدروجين المنفوخ خلال القلب.

بارامترات منظومة الطاقة/الدفع الثنائية الشكل

قدرة كهربائية مفيدة		نبضة دفع كلية	$7.2 \cdot 10^7$ N·s
في نمط توليد القدرة	20 kW	نبضة خاصة	770 s
في نمط الدفع	⩾ 5kW	كتلة NPPS (بدون H_2، صهاريج، أنابيب)	2640 kg
الدفع	80 N	كتلة المفاعل	600 kg



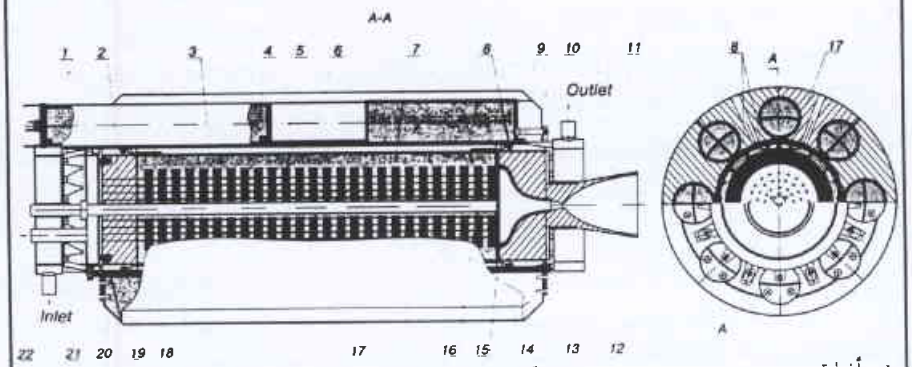


1- وعاء
2- عاكس شعاعي مع برميل
3- آلية تدوير براميل منظمة دوارة
4- قضيب نقل خارجي وعناصر الترابط البيني
5- سمّ (قضيب أمان)
6- كتل مهدّئة
7- كتل عاكس نهائي
8- عنصر وقود حراري
9- غرفة تبريد عليا
10- غرفة تبريد سفلى
11- غرفة هليوم عليا
12- غرفة هليوم سفلي
13- غرفة سيزيوم (موزّع)
14- مقحمة عاكس شعاعي
15- برميل تحكم
16- موزّع مدخل هدروجين سفلي
17- قفل كهربائي
18- عناصر نابض
19- صفيحة أنبوبية
20- صفيحة أنبوبية
21- صفيحة أنبوبية
22- صفيحة أنبوبية
23- ماسورة
24- ماسورة
25- تغذية مهدّئة (غرفة)
26- غطاء غرفة الهليوم العليا
27- غطاء غرفة الهليوم السفلى
28- برميل تحكم (فردي)
29- برميل تحكم قيادي من نوع البراميل الخمسة
30- تحكم قيادي من نوع البراميل الستة
31- قضيب برميل تحكم
32- صفيحة
33- شريط تثبيت علوي
34- شريط تثبيت سفلي
35- مزدوجة عمود
36- آلية تحريك قضبان الأمان
37- مجمع مخرج الهدروجين العلوي
38- مجمع مدخل الهدروجين العلوي

الشكل 16- تصميم مفاعل من النوع TOPAZ الثنائي النمط.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

بارامترات منظومة الطاقة/الدفع النووية ثنائية النمط NPPS			
قدرة كهربائية مفيدة		النبض النوعي	770 s
في نمط توليد القدرة	20 kW	كتلة NPPS	
في نمط الدفع	⩾ 5 kW	خط أنابيب، صهاريج بدون H_2	2750 kg
دفع	80 N	كتلة المفاعل	1100 kg
نبض الدفع الكلي	$7.2 \cdot 10^7$ Ns		



1- أغطية
2- عواكس نهاية
3- وعاء
4- قضيب
5- عنصر وقود
6- TIC
7- دفع
8- قضيب وصل
9- عواكس نهاية
10- موزعات تبريد
11- فوهة دفع
12- مقحم
13- أغطية
14- عزل حراري
15- موزّع هدروجين
16- عنصر امتصاص قضيب الأمان
17- كتلة عاكس جانبية
18- قرص
19- نابض
20- حلقة
21- موزّع هدروجين
22- موزّعات تبريد

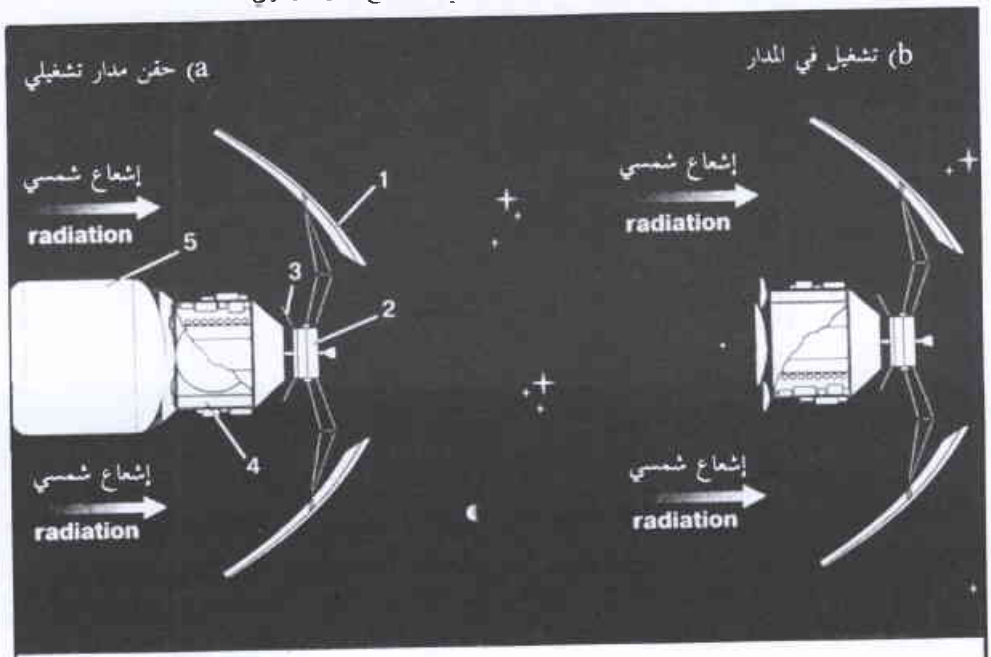
بيّنت التجربة المكتسبة من تطوير منظومات الفضاء النووية أنها مفيدة في تطوير منظومات الطاقة/الدفع الشمسية. تضمن منظومات الطاقة/الدفع الشمسية [13] تجمّع الطاقة الحرارية في مجمّع بواسطة مركّزات شمسية أو مسخّن كهربائي مزود بالطاقة من بطاريات كهرضوئية، وتوليد متعدد النبض بنفخ الهدروجين خلال مجمّع حراري. في منظومة الطاقة/الدفع ذات المركّزات الشمسية يتم إنتاج الطاقة الكهربائية من أجل التجهيزات المحمولة بمساعدة محوّلات كهربائية متوضعة على سطح مجمع حراري أو منظومة تحويل دينامية مغلقة الدارة.

يمكن أثناء تطوير منظومات الطاقة/الدفع الشمسية استخدام تقانات NTP من أجل المجمع الحراري، واستخدام تقانات محوّل ترميوني من أجل إنتاج الطاقة الكهربائية.

يفضّل من أجل البعثات المطلوب منها حقن مداري سريع (وبخاصة في حالة بعثات بشرية بين كوكبية) استخدام NPPS القائم على NTP بمحوّل طاقة دينامي، واستخدام NPPS القائم على NTP بمحوّل دفع كهربائي من أجل نقل الحمولة.

يؤمّن استخدام الدافعات الكهربائية والـ NTP في مرحلة الاطلاق توفيراً مهماً إذ يسمح باستخدام قاذفات متوسطة بدلاً من قاذفات ثقيلة أو بوضع كتل حمولتها أكبر بمرتين أو ثلاث مرّات في مدارات أعلى. وهكذا على سبيل المثال، من أجل مركبة إطلاق أريان بمنظومة قدرة شمسية تبلغ 20 كيلوواط، فإن كتلة المركبة الفضائية المقدّمة للمدار الثابت بالنسبة للأرض تتزايد من 4.1-5.3 t إلى 13.4 t عند استخدام مصدر طاقة نووية، مع زمن دفع

الشكل 17- مخطط تصميم مفاعل من النوع ROMASHKA الثنائي النمط مع محوّل ترميوني TIC.



1- مركّزات
2- منتقي منظومة دفع / محوّل
3- درع حراري
4- نمط تحميل مركّز شمسي
5- صهريج هدروجين

الشكل 18- مركّز شمسي يستخدم منظومة ترميونية شمسية ثنائية النمط.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

لايزيد عن ستة أشهر. ولكن إذا استخدم NPPS مع وحدة NTP التي تعطي دفعاً من 100 N إلى 7000 N، فإن زمن دفع المركبة الفضائية سينخفض إلى عدة أيام.

وجهة نظر

إن العمل على بناء منظومات فضائية خاصة باستخدام الطاقة النووية قد توقف منذ عام 1990. لقد تحوّلت نشاطات الطاقة النووية الفضائية من سوية البحوث مرجئة بذلك، في الوقت الحاضر، العمل الآخر المتعلق بالسبق على بناء مفاعلات فضائية. (لقد طورت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة منظومة طاقة بنظير مشع متقدمة، وكذلك تقوم بوضع خطة تقييم تقانة انشطار خاصة الهدف (مفاعلات فضائية).

في الوقت الحاضر لا تُستخدم التقانات المتقدمة الفضائية فقط لمجرد أن البشر غير مستعدين لاستخدامها. وستجد الطاقة النووية الفضائية، في المستقبل، تطبيقات قيّمة في مختلف بعثات الفضاء التي تتطلب قدرات عالية. وسيزداد تدفق بيانات المركبات الفضائية إلى حدٍ كبير. إن المركبات الفضائية ذات منظومة الطاقة النووية (NPSs) العالية القدرة إلى حد كاف، والموضوعة في المدارات الثابتة بالنسبة للأرض، ستجعل من الممكن التعامل مع تدفق هذه البيانات.

ستصبح التقانات العالية أيضاً محطَّ التطوير، ولأسباب عدّة سيكون من غير الممكن تطبيق بعض العمليات بالشروط الموجودة على الأرض. يمكن في الفضاء إنتاج مواد عالية النقاوة جداً وبلّورات أحادية ومواد لاعضوية.

تكتسب مسائل الانتقال في الفضاء القريب أهمية متزايدة أيضاً. فيمكن في المدى البعيد أن تدعو الضرورة لتزويد الأرض بالطاقة من الفضاء بواسطة الأمواج المكروية أو نقل الطاقة الليزرية لتزويد المساحات المتعذر الوصول إليها في كوكبنا بالطاقة الكهربائية.

هنالك أيضاً بحوث يجب ذكرها. من الواضح أن البشر لن يقيّدوا أنفسهم بالأرض أو الفضاء القريب منها. وسيكونون توّاقين للذهاب إلى المريخ والمشتري والكواكب الأخرى. كما سيستمر استكشاف الفضاء الخارجي، ويتطلب هذا إنفاق طاقة مهمة، وكذلك يتطلب الحاجة إلى NTP و NPSs.

من الضروري البدء بالتحضير لهذه التوقعات منذ الآن، حيث يتطلب السيطرة على العديد من هذه التقانات على نطاق واسع عدة عقود. يجب تأسيس النقاط المرجعية بشكل جيد، ويجب متابعة تطورات التقانات الأساسية بصورة منتظمة.

تتضمن التقانات الأساسية منظومات تحويلات الطاقة من أجل الحصول على سويات طاقة عالية ومنظومات رفض الحرارة، وتصنيع المواد المطلوبة.... إلخ. ويمكن استخدام كثير من هذه الأشياء لأغراض أخرى، فمثلاً يمكن تطبيق المحوّلات الترميونية التي تمّ تطويرها في محوّلات الطاقة الشمسية، كما ذكرنا سابقاً، بما فيها المنظومات الشمسية الثنائية النمط.

إن تطوير NPSs الفضائية فعّالية معقّدة ومكلفة، وللقيام بذلك بنجاح نحتاج إلى تعاون دولي. يمكن بناء هذا التعاون حول أساس التقانة الشاملة من أجل تطوير وحدات NPSs و NTP التي تمت في الولايات المتحدة وروسيا في السنوات الماضية، وحول الخبرة في التعاون وفق برنامج TOPAZ الدولي.

المراجع REFERENCES

[1] M. D. Millionshikov, I. G. Gverdtsiteli, V. I. Merkin, N. N. Ponomarev-Stepnoi, N. E. Kukharkin, V. A. Usov et al., "ROMASHKA High-temperature Converter-Reactor," Poper No.873, The 3rd International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1964.

[2] I. G. Gverdtsiteli, N. E. Kukharkin, N. N. Ponomarev-Stepnoi, V. A. Usov, "Main Results of 15.000 hour Tests of the ROMASHKA High-temperature Converter-Reactor," The 4th U.S. Energy Conversion Conference Washington D. C., 1969.

[3] G. M. Griaznov, E. E. Zhabotinsky, A. V. Zrodnikov et al., "Space Nuclear Power Systems with Direct Energy Conversion," Materials prepared by "Red Star" State Enterprise for the Encyclopedic Collection on Nuclear Engineering, 1999 (being published).

[4] G. M. Griaznov, E. E. Zhabotinsky, A. V. Zrodnikov et al., "Space NPS Thermionic Converter-reactors," Atomic Energy Journal, v.66 issue 6, 1989.

[5] I. P. Bogush, G. M. Griaznov, E. E. Zhabotinsky et al., "Main Goals and Results of Flight Tests of the NPS under the TOPAZ Program," Atomic Energy Journal, v.70, issue 4, 1990.

[6] V. P. Nikitin, B. G. Ogloblin, A. N. Luppov et al., "Prospects for Development of Thermionic Space NPS on the Basis of Existing Single-Cell TFEs," Collection of Abstracts, Conference "Nuclear Power in Space", Obninsk, 1990.

[7] N. N. Ponomarev-Stepnoi, V. A. Usov et al., "Space Nuclear Power System Based on Thermionic Reactor with Single-Cell TFEs," Proceedings of the 10th Symposium on Space Nuclear Power and Propulsion, Part 3, 1993.

[8] TOPAZ International Program, Booz, Allen & Hamilton, Inc., 1995.

[9] I. V. Kurchatov, S. M. Feinberg, N. A. Dollezhal et al., "IGR Pulsed Graphite Reactor," Proceedings of 3rd International Conference on the Use of Atomic Energy

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

for Peaceful Purposes, New York, v.7: Research and Test Reactors, Paper P/322a, pp.461-470, 1965.

[10] N. N. Ponomarev-Stepnoi, V. M. Talyzin et al., Domestic NTP Development Efforts," Atomic Energy Journal, v.86, issue 4, P.296, 1999.

[11] N. N. Ponomarev-Stepnoi, and V. A. Usov, "Conceptual Design of the Bimodal Nuclear Power System Based on the Romashka Type Reactor with the Thermionic Energy Conversion System," The 12th Symposium on Space Nuclear Power and Propulsion, Albuquerque, N.M., 1995.

[12] N. N. Ponomarev-Stepnoi, V. A. Usov et al.,"Conceptual Design of the Bimodal Nuclear Power and Propulsion System Based on the 'Topaz-2' Reactor with the Modernized Single-Cell TFE," The 12th Symposium on Space Nuclear Power and Propulsion, Albuquerque, N.M., 1995.

[13] A. S. Koroteev, "New Concept of Solar Power/Propulsion Systems," Keldysh Research Center, Aerospace Courier Journal, No.4, 1999.■

☆ ★ ☆

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

أخبار علميّة

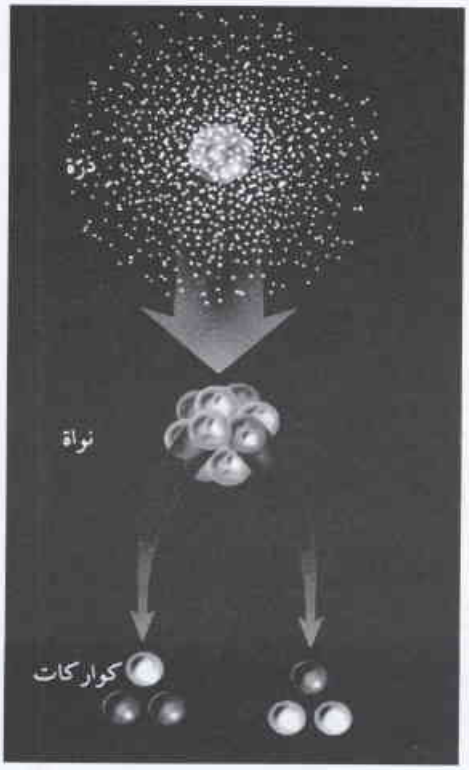
1- الكواركات*

ابتكرت الكواركات قبل اكتشافها تجريبياً، مثلما يبتكر طلاب المدارس الثانوية دعاباتهم. إذ اشتق اسمها، الذي لا يعني شيئاً على الإطلاق، من قصيدة لجيمس جويس James Joyce. وعلى غرار ذلك كانت خاصياتها "الغرابة، الجمال أو اللون". ومع ذلك، وكي لا نسيء الفهم في هذا الأمر، فإنّ هذه الجسيمات موجودة بالفعل وتكون قسماً كبيراً من المادة التي تحيط بنا، في أصغر مقياس معروف في الوقت الحاضر.

من اخترع الكواركات؟

الكواركات اختراع جماعي مثل المكتشفات العلمية المتعدّدة، غير أنّ الفيزيائي الأمريكي موراي جلمان M. Gell-Mann هو الذي اقترح هذا الاسم لأول مرة عندما كان في معهد التقانة في كاليفورنية. وبالإضافة إلى ذلك يبدو أنّه فكر في البداية باللفظ كورك Quork قبل أن يكتشف في قصيدة لجيمس جويس بيت الشعر الغامض نسبياً "Three Quarks for Master Mark". ولكن فيما عدا القيود الشعرية استجاب ابتكار "الكواركات" بصورة خاصة إلى احتياجات الفيزيائيين إلى تصنيف الأشياء (في هذه الحالة : الجسيمات particules) وتوحيد النظريات.

في الثلاثينيات كان وصف الجسيمات الأولية بسيطاً، فقد صنّف الجسيمان: البروتون والنترون كهدرونين hadrons (gr.hadros=fort) لأنهما حساسان للتآثر القوي وهو أحد التآثرات الأربعة الأساسية التي نعرفها في الطبيعة (أما التآثرات الثلاثة الأخرى فهي التآثر الكهرطيسي والتآثر الضعيف faible والثقالة). وكان الجسيمان الآخران: الإلكترون والنترينو neutrino، الذي يرافقه، غير الحساسين إلى هذا التآثر يشكلان فصيلة اللبتونات leptons. وكان يضاف إليهما الفوتون photon " جسيم الضوء" وهو جسيم غير مادي عديم الكتلة. أصبح موقع الفوتون أكثر وضوحاً في الأربعينيات عندما قاد إدخال الميكانيك الكمومي في الكهرطيسية إلى تحسين نظرية علم التحريك الكهربائي الكمومي (المعروفة بالإنكليزية بالمصطلح QED): وعند ذلك فهمنا أنّ الفوتون كان حامل التآثر الكهرطيسي. ومع ذلك بدأ الجدول بالتعقيد إلى حد كبير بحلول العام 1947. فقد اكتشف الفيزيائيون في الواقع هدرونات جديدة، في الأشعة الكونية أولاً، وبعد ذلك في مسرّعات الجزيئات. وبالإضافة إلى ذلك فإنّ هذه الجسيمات لا تتفكك بحسب الطرائق المعروفة من أجل الجسيمات المعرّضة إلى التآثر القوي. لقد جاءت إحدى محاولات التفسير في الخمسينيات مع ابتكار خاصية جديدة للهدرونات حملت اسم "الغرابة étrangeté". يمثل عدد الغرابة nombre d'étrangeté، الذي هو مقدار مماثل تقريباً للشحنة الكهربائية، الخاصية الغريبة جداً لأنها تكون محفوظة فقط في بعض التفاعلات (ويتحكم بهذه التفاعلات التآثر القوي). وقد أُعطي إلى الجسيمات الحاملة لهذا العدد من الغرابة اسم الجسيمات "الغريبة étranges".



المادة الذرية على شكل علب تغلف بعضها بعضاً كما تغلف الدمى الروسية نفسها: فالذرّة مكوّنة من نواة محاطة بسحابة من الإلكترونات. والنواة نفسها تحوي بروتونات ونترونات وهي تجمعات لجسيمات تحت عنصرية وهي الكواركات: كواركان من النمط u وكوارك واحد من النمط d من أجل البروتون وكواركان من النمط d وكوارك واحد من النمط u من أجل النترون.

تنامت فصيلة الهدرونات إلى درجة أصبح تصنيفها من الأولويات. ففي عام 1961 اقترح موراي جلمان حلاً مبنياً على النظرية الرياضية للزمر [نظرية الزمر هي فرع من النظرية العامة للمجموعات في الرياضيات، سواءً كانت مجموعات أعداد أو مقادير هندسية أو تحويلات مجردة (انسحابات، دورانات)، التي، هي بدقة، المجموعات المستعملة في الفيزياء]. ففي الميكانيك الكمومي وصفت التفاعلات بين الجسيمات في الواقع بالمصفوفة التي تمتلك خاصيات التناظر نفسها كالتي تمتلكها الزمر الرياضياتية. وباستعمال تقنية تفكيك الزمر إلى زمر ثانوية أكثر بساطة وغير قابلة للاختزال (التي تلعب الدور الذي تلعبه الأعداد الأولية من أجل تقسيم الأعداد الصحيحة)، يمكننا إذاً مطابقة فصائل الجسيمات المختلفة مع هذه الزمر الثانوية غير القابلة للاختزال، والتي يتيح اتحادها إعادة بناء كل الزمر الأخرى. وهي مثل "لبنات التناظر briques de symétrie التي دعاها جلمان الكواركات.

سمحت هذه الفكرة ليس فقط بوضع التصنيف الصحيح لكل الهدرونات المعروفة وإنّما توقعت بالإضافة إلى ذلك وجوب وجود جسيم عدد غرابته يساوي 3. واكتشاف الجسيم أوميغا

* نشر هذا الخبر في مجلة *La Rcherche*, No. 340, March 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

Ω الذي عدد غرابته 3 في العام 1963 هو أول تأكيد تجريبي على نظرية جلمان . ولكنّ الكواركات حتى هذه المرحلة لم تكن إلاّ أشياء رياضياتية.

من اكتشف الكواركات؟

في مجال مختلف من الأبحاث بنى فيزيائيو جامعة ستانفورد في بداية الستينيات مسرّعاً جديداً ذا طاقة عالية عرف بمسرّع "سلاك SLAC" (Stanford linear accelerator). خُطّط لهذا المسرّع الذي يبلغ طوله ثلاثة كيلومترات أن يُستخدم في التحرّي عن البروتون لأن التجارب السابقة أشارت إلى أنّ قدّ هذا الأخير كان قابلاً للقياس، وهذا ما كان يعدّ الأقل إشكالاً من أجل جسيم عنصري (كان لابد لحجمه غير المعدوم أن يُملأ بشيء أبسط منه أيضاً). وكان قد اقترح كل من هنري كندل H. Kendall وجيروم فرايدمان J. Friedmann وروبرت تايلر R. Tylor تبئير الإلكترونات، التي ربما تمتلك الطاقة الضرورية لتعمل كأكبر مجهر إلكتروني في العالم، على أهداف من الهدروجين (أو من الدوتريوم من أجل تحليل النترون). ولقد كانت نتائج هذه التجارب واضحة تماماً: ففي داخل البروتون ومثله في ذلك النترون، اكتشفت ثلاث "حبات قاسية grains durs" صغيرة دعيت بعد وقت قصير "البارتونات partons" (لأنها كانت تشكل قطعاً من البروتونات والنترونات، parts باللغة الإنكليزية). ولقد مضت عدة سنوات أيضاً قبل أن تُعرف بكواركات جلمان.

ما هي خاصيات الكواركات؟

في مخطط جلمان يشكّل كل من البروتون والنترون جزءاً من الهدرونات "اللاغرية non étranges وكل واحد منهما تمّ بناؤه بمساعدة ثلاثة كواركات. ومع ذلك رفض جلمان اعتبار كواركاته كجسيمات وخاصة لأن شحنتها الكهربائية هي كسر من وحدة الشحنة المحمولة بالإلكترون والبروتون (مع إشارات مختلفة): وهذا كان يبدو مستحيلاً في ذلك الوقت. ومع ذلك ومن وجهة نظر توفيقية بسيطة، يعاد في الوقت الحاضر تشكيل كل الهدرونات اللاغرية بالاستعانة بنمطين من الكواركات يُدعَيان: كوارك فوق up (u) وكوارك تحت down (d)، حيث تكون الشحنات الكهربائية على التوالي 2/3 و 1/3-. وعليه، تكون التراكيب، من أجل البروتون كواركين "فوق" وكوارك "تحت"، ومن أجل النترون كواركين "تحت" وكوارك "فوق". أمّا الجسيمات الغريبة نفسها فتحوي كلّها نمطاً ثالثاً من الكواركات يدعى غريب s ويحمل شحنة الغرابة 1 (حيث شحنته الكهربائية 1/3-).

أمّا الجسيم Ω فيطرح مشكلة، إذ تفسر كل خاصياته وكأنه مكوّن من ثلاثة كواركات s، ولكن اتحاد مثل هذه الجسيمات المتماثلة بصورة مطلقة محظور بمبدأ استبعاد باولي exclusion de Pauli*. ولقد كان من الواجب إذاً أن نفترض وجود خاصية غير معروفة وغير مرئية من الخارج تتيح للطبيعة التمييز بين هذه الجسيمات. وهذا النوع الجديد من الشحنة يقبل ليس فقط وجود حالتين كالشحنة الكهربائية (موجب وسالب) بل ثلاث حالات. وفرض التشابه مع الألوان الأساسية الثلاثة نفسه بسرعة كبيرة (الأزرق + الأحمر + الأصفر = الأبيض = الصفر) ومن هنا أتت تسمية "شحنة اللون charge de couleur" ولا يعني ذلك إلا مجرّد تشابه. والتآثر القوي، الذي يفكّك بعض الهدرونات ويربط الكواركات داخل البروتون يفسّر بتآثر هذه الشحنات اللونية. ونظرية التآثر القوي هذه، التي ابتكرت عام 1973، هي التحريك اللوني الكمومي QCD.

كم يوجد من الكواركات؟

في نهاية الستينيات تمّت ملاحظة ثلاثة أنماط من الكواركات أي ثلاث "نكهات saveurs" d, u و s. أقرّ الفيزيائيون لمدة طويلة وبصورة تدريجية أنّ اثنين منها هما البارتونات partons، أي جسيمات حقيقية تخضع للتآثرات. وتكون الكواركات حساسة إلى أنماط مختلفة من القوى: للتآثر الكهرطيسي وللتآثر القوي وبالطبع ولكنها حساسة أيضاً إلى قوة ثالثة نشعر بها على سلّم الجسيمات وهي التآثر الضعيف faible** وعلى طراز الإلكترودينامك الكمومي، حيث ينتقل التآثر بالفوتون، بنى النظريون، بعد جهود دامت أكثر من ثلاثين سنة، نظرية كمومية للتآثر الضعيف. يقوم الفوتون هنا بدور ثلاثية triplet تدعى (W^-, W^+, Z^0). لقد كانت النتيجة الأكثر أهمية في هذه النظرية أنّ هاتين القوتين: القوة الكهرطيسية والقوة الضعيفة لم تكونا إلاّ مظهرين لتآثر أساسي واحد: التآثر الكهرضعيف electrofaible. وكانت الطريقة الوحيدة لجعل هذه النظرية تتوافق بصورة دقيقة مع المراقبات هي فرض وجود كوارك رابع ثقيل إلى حد تصعب رؤيته مباشرة ولكنّ وجوده منع حصول بعض التفاعلات. وكان اليقين بأن لدينا نظرية جيدة للتآثر الضعيف كبيراً لدرجة أنّ هذا الافتراض لكوارك جديد بدهي: إذا كان أثقل سنلاحظه فيما بعد في المسرّع القادم. وفي الواقع اكتشف عام 1974 ودعي بدعابة باسم كوارك فاتن "أو سحري" charme c (بمعنى السحر sorcellerie). وهذا الكوارك c حلّ بأعجوبة كل التناقضات بين النظرية والتجارب. ويتضمّن وجود كوارك إضافي وجود جسيمات جديدة هي تراكيب من كل أنماط الكواركات فيما بينها. وفي الأعوام اللاحقة تم بالفعل الكشف عن جميع "الجسيمات الفاتنة particules charmées" المحتملة دون استثناء.

وهناك نجاح باهر آخر أحرزته النظرية هو حصول توافق عميق بين اللبتونات والكواركات. فاللبتونات هي الآن أربعة، لأنّ الميون muon (الذي يمت بالقرابة إلى الإلكترون) والنترينو الذي يرافقه اكتشفا على التوالي عام 1936 وعام 1962. وكانت الكواركات الأربعة مجتمعة مثنى مثنى مثل اللبتونات الأربعة. وعلى هذا نميّز أول فصيلة من الجسيمات الأولية (العنصرية) بالفعل مؤلفة من: الإلكترون والنترينو المرافق له بالإضافة إلى الكواركين u وd. أمّا في الفصيلة الثانية فيُصنّف فيها الميون والنترينو المرافق له والكواركان s و c. ولأول مرة منذ العام 1932 يوجد في حوزتنا جدول واضح للجسيمات الأولية (مشابه لجدول مندلييف بالنسبة إلى العناصر الكيميائية) مع، علاوة على ذلك، نظرية ممتازة لتآثراتها.

* ينص مبدأ استبعاد باولي على أنه لا يمكن وجود جسيمين متماثلين وبسبين من مضاعفات فردية للنصف في الحالة الكمومية نفسها. وينتج عنه آثار تدافع تفسّر بنية كل الذرات والجزيئات وبالتالي كل الكيمياء).

** يبرز التآثر الضعيف في كل عمليات التفكّك حيث تتدخّل النترينوات neutrinos، فمثلاً عند تفكك النترون إلى بروتون ونترينو يتفكّك في الواقع كوارك d إلى كوارك u بالتآثر الضعيف.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

تتوزّع الجسيمات، التي تكوّن المادة العادية، في مجموعتين: الكواركات، التي تخضع للتأثر القوي، واللبتونات. وهذه الأخيرة تكون مقرونة: أي أنّ اللبتون المشحون لا يظهر أو لا يختفي إلاّ بوجود النترينو الخاص به. ويفرض توحيد التأثرين الكهرضعيف والقوي وجود زوجين من الكواركات لكل زوجين من اللبتونات.

لقد بشّر اكتشاف لبتون جديد عام 1975، وهو "التاو tau "، بحدوث تطورات جديدة. فإذا كان الجدول الأولي الذي يجمع اللبتونات والكواركات صحيحاً يجب أن نتوقّع كواركات جديدة. ومرة أخرى ثبتت أيضاً صحة هذا التكهّن. فقد نجح في عام 1977 وبعد ذلك في عام 1995 ليون ليدرمان L. Ledermann من مختبر فرميلاب في شيكاغو باستخدام وسائل تزداد ضخامة، في إظهار أولاً كوارك قاع b bottom وفيما بعد في إظهار الكوارك الأخير في القائمة وهو كوارك ذروة (top (t، في مسرّع تفاترون Tevatron الذي بُني خصيصاً له. وهكذا أصبح الجدول الأوّلي من جديد متناظراً يحتوي حالياً على ثلاث فصائل أي ستة كواركات من أجل ستة لبتونات.

هل انتهت القائمة؟ في البداية أعطى مسرّع المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات (سيرن CERN) الجواب الجزئي التالي: يوجد فقط ثلاثة أنماط من النترينوات الخفيفة. وبعد ذلك أضاف المتخصصون في علم الفلك جواباً أكثر دقة إذ ذكروا أنّ نتائج مراقبات المستعرات الفائقة supernovae وقياس غزارة الدوتريوم في الكون يثبت أنّه لا يوجد إلاّ ثلاثة نترينوات ولا شيء غيرها. ويتيح التوافق الأكيد بين اللبتونات والكواركات إذاً التأكيد على أنّه لا يوجد في كوننا إلاّ ستة أنماط من الكواركات. والبحث جار بفعالية لمعرفة أصل هذا العدد...

أين نجد الكواركات؟

إنّنا نعرف إذاً، بالإضافة إلى الكواركين u و d الموجودين في البروتون والنترون والكوارك s الذي ظهر أولاً في الجسيمات الكونية، ثلاثة كواركات ثقيلة التي لم تظهر لنا إلاّ في مسرّعات الفيزيائيين. فهل يمكن أن نجدها في أمكنة أخرى؟ والجواب على ذلك يكون بنعم، إذ أنّ الكواركات موجودة في كل مكان. وحتى نكون أكثر دقة، فإنّ الكواركات موجودة بصورة خاصة في الخلاء. فالخلاء الكمومي هو في الواقع موضوع فيزيائي حقيقي يحوي كمونياً كل الحقول وكل الجسيمات الممكنة في هذا الكون وتكون تأرجحاتها (تقلباتها) المستمرّة قابلة للقياس. والمسرّعات لا تشكّل إلاّ أدوات تتيح تركيز كمية عالية من الطاقة في حجم صغير، فهي إذاً تثير تقلبات كافية لتجسيد شفع من الجسيم والجسيم المضاد (مثلاً إلكترون - بوزيترون) غير مستقر في معظم الأحيان. ففي حالة الكوارك السادس كانت الطاقة الضرورية لاستخلاصه من الخلاء عالية جداً. ويمكن أن نحسب أنّ كتلة هذا الكوارك باستخدام العلاقة $E=mc^2$ مساوية إلى كتلة ذرة الرصاص.

كيف تتفاعل الكواركات فيما بينها؟

تحقّق الفيزيائيون، منذ الملاحظات الأولى ممّا كان ما يزال معروفاً بالبارتونات، من أنّ هذه الأخيرة تتنقل بصورة حرة تقريباً في البروتون أو في النترون. فهل يمكننا تحطيم البروتون لاستخلاص الكواركات منه؟ للأسف يزداد التآثر بين الكواركات عندما نحاول فصلها بعضها عن بعض تقريباً مثلما تزداد مقاومة النابض كلّما ازداد الشد الذي نطبقه عليه.

توضّح نظرية تآثرات شحنة اللون، أي نظرية التحريك اللوني الكمومي QCD، أنّ الكواركات تتفاعل فيما بينها بتبادل جسيمات تدعى الغلوونات gluons (وهذه الأخيرة تماثل الفوتون في التآثر الكهرطيسي). وهذه النظرية تمنع أيضاً ظهور الكوارك "عارياً nu": أي أنّ الكوارك لا يمكن أن يكون منفصلاً لوحده وإذا حاولنا قسره على ذلك يحيط نفسه بعشرات من الجسيمات التي يأخذها مباشرة من الخلاء الكمومي. يجب أن يكون هنالك على الأقل شفع مؤلف من كوارك - كوارك مضاد، غير أنّ دينامية الظواهر تولّد تأرجحات تعاقبية ينجم عنها خلق أشفاع أخرى من الكواركات. ومنذ الملاحظات الأولى التي تمت في السبعينيات في تجارب المصادم سبير SPEAR (Stanford Positron-Electron Asymmetric Rings) في ستانفورد و ديزي DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) في هامبورغ، فإنّ تصادمات الجسيمات في طاقة عالية جداً أدت إلى سيول من الجسيمات مجتمعة في عناقيد متراصة ومقذوفة على شكل مخاريط. وحتى في الحالات الأبسط فإن هذا يعطي على الأقل باقتين مقذوفتين ظهراً لظهر. وهذه الباقات التي دعيت "نفاثات jets" (مثل الطائرات) هي إعراب عن كواركين مقذوفين من الخلاء واللذين يفرّان بسرعة كبيرة. وتعدّ النفّاثات البرهان المرئي الأكثر إثارة على وجود الكواركات وديناميتها.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ولقد اكتشفت أيضاً أحداث ذات ثلاث نفّاثات: والنفاثة الثالثة هي تجسيد للغلوون الذي لا يمكن ملاحظته منعزلاً لوحده على الإطلاق.

هل توجد الكواركات منذ الأزل؟

أصبحت نظرية بداية الكون (الانفجار الأعظم Big Bang) أكثر دقة بالتدريج بفضل اتفاق بين المتخصصين في فيزياء الفلك وفيزياء الجسيمات، ويمكن أن نعتبر أنّ الانفجار الأعظم يتيح الفرصة هكذا لإجراء اختبارات تجريبية! وفي الواقع لم يكن الكون البدائي يحوي إلاّ جسيمات منفردة وهذا ما يوافق تجربة المسرّع مع مرحلة محدّدة من هذا السيناريو، ومع عصر يتوغّل في القدم كلّما كانت درجة الحرارة (وبالطبع الطاقة) أعلى. ففي شريط للأحداث نعود فيه إلى بداية الكون، تزداد كثافة طاقة الكون إلى حدّ تتحطم معه الجزيئات وبعدها الذرّات وأخيراً النوى. وبعد هذه الحدود وعندما يصبح عمر كوننا مكروثانية نحسب أنّ درجة حرارته تكون متوافقة مع مرحلة من المادة تكون فيها الكواركات والغلوونات حرة قد تخلصّت من أسرها وموجودة في النهاية بحالة منعزلة لوحدها. ويجري البحث بكل نشاط عن هذه البلازما plasma من الكواركات والغلوونات في المختبر. وقد أعلن عن ملاحظتها (ربما كان ذلك بشيء من التسرّع؟) من قبل أفرقة الأبحاث في سيرن في ربيع العام 2000.

وفيما بعد تولّى هذا الأمر المسرّع "ريك RHIC" الذي دشن في ربيع العام 2000 في بروكهافن في الولايات المتحدة من أجل محاولة إعادة خلق، في المختبر، هذه اللحظة الموغلة في القدم حيث تكون الكواركات والغلوونات حرّة. ماذا يحدث للكواركات بعد هذه الطاقات؟ تتكهّن هذه النظرية أنّ كل التأثرات تندمج في تأثر واحد وأنّ اللبتونات والكواركات تندمج أيضاً في نوع وحيد من جسيم أوّلي (عنصري).

هل الكواركات هي حقاً أوّلية؟

حاول بعض النظريين وضع إطار رياضياتي تكون فيه الكواركات تحت مكونات sous-constituents غير أنّ هذه المحاولات بقيت ثانوية. تركّزت جهود الفيزيائيين في الحقيقة على توحيد تام لكل القوى والنظريات الأكثر طموحاً تتصدّى لبنية الزمكان espace - temps نفسه. وهكذا تعمل نظرية الأوتار الفائقة théorie des supercordes (التي تتيح تضمين الثقالة في التأثرات الأخرى أي في المخطط العام schéma général) في الخلاءات ذات العدد الكبير من الأبعاد حيث تكون "الجسيمات particules" الأوّلية أوتاراً كمومية (طولها حوالي 10^{-30} m) تتطور في أنابيب الزمكان ذات الطوبولوجيا المرهفة.

والجسيمات التي نلاحظها كاللبتونات أو الكواركات ما هي إلاّ ظواهر لأنماط مختلفة لاهتزاز هذه الأوتار. و"نظريات كل شيء هذه مجردة إلى أقصى الحدود بعيدة كل البعد عن إمكانية اختبارها في المختبر، ولكن بعد مرور أكثر من مئة عام على اكتشاف الإلكترون، فإنّها تعطي إشارات جيدة عن طموحات الفيزيائيين من أجل القرن الجديد الذي ابتدأ للتو.■

2- تعليم المغانط حيلاً جديدة*

أُعلن، لأول مرة، عن طريقة للتحكم بالمغنطيسية في أنصاف النواقل باستخدام حقل كهربائي خارجي. يمكن لهذه النتيجة التي طال انتظارها أن تؤدي إلى أنواع جديدة من نبائط خزن المعلومات.

إن تقانة المعلومات متأصلة في أنصاف النواقل، كالسليكون، وفي المواد ذات المغنطيسية الحديدية كالحديد. ومعالجة المعلومات وحوسبتها قائمة على ترانزستورات أنصاف النواقل وداراتها المتكاملة، وتُخزّن المعلومات مغنطيسياً على سوّاقات صلبة ذات كثافة عالية. كما أن استخدام الاتصالات الضوئية ذات السرعة العالية سيبدأ وينتهي بليزرات أنصاف النواقل والكواشف الضوئية.

إن مجال "السبينترونيات " spintronics الصاعد يهدف إلى ضم نبائط المغانط الحديدية ferromagnets مع أنصاف النواقل، لصنع نبائط إلكترونية تستخدم "سبين" الإلكترونات وفق مفهوم ميكانيك الكم، إضافة إلى شحنتها [1]. ومن الأهداف المراد تحقيقها دمج خزن المعلومات مع معالجة المعلومات، لكن الهدف الأكبر هو تطوير وظيفة جديدة ليست موجودة بصورة منفصلة في مادة ذات مغنطيسية حديدية أو في نصف ناقل. ولهذه الغاية فإن الباحثين يسعون لإيجاد "سلوك طارىء" في بنى تضم مواد ذات مغنطيسية حديدية ونصف ناقل، يكون فيها الكل أكثر من مجموع الأجزاء المكونة له.

قدّم أوهنو Ohno وآخرون [2] مثالاً مدهشاً عن مثل هذا السلوك. فقد بيّنوا أن الطور المغنطيسي لنصف ناقل ذي مغنطيسية حديدية يمكن التحكم به باستخدام حقل كهربائي. وفي الواقع، صنع أوهنو وآخرون "مبدّلاً " switch كهربائياً يمكن مغنطيساً دائماً أن ينقلب بين حالة الوصل on وحالة الفصل off عكوسياً باستخدام تقنيات إلكترونية عيارية. إن سلوكاً كهذا لم يُر إطلاقاً من قبل في مغنطيس حديدي. وهو يعمل لأنه يمكن تغيير تركيز "حاملات الشحنة" في نصف الناقل (الإلكترونات ذات الشحنة السالبة والثقوب ذات الشحنة الموجبة) بواسطة حقول كهربائية.

إن المادة المستخدمة في هذه الدراسة هي سبيكة من نصف ناقل ذي مغنطيسية حديدية تُعرف باسم زرنيخيد الإنديوم والمنغنيز (In,Mn)As [3-5]. التركيز النموذجي للمنغنيز أقل من 10 %، وإن ذرّات Mn تحل محل بعض ذرّات الـ In على شبيكة InAs. تقوم ذرّات Mn بدور مزدوج في تعيين خواص المادة: أولاً، لكل ذرّة Mn عزم ثنائي قطب مغنطيسي (قطب شمالي وقطب جنوبي)، لذا فإنها تعمل كمغنطيس صغير دائم. ثانياً، إن ذرّات Mn هي "آخذات للإلكترونات" فهي تزيل الإلكترونات من المادة ومن ثم تولّد ثقوباً، وهذه الثقوب تمثل "غياب" الإلكترونات،

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 21/28 December 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

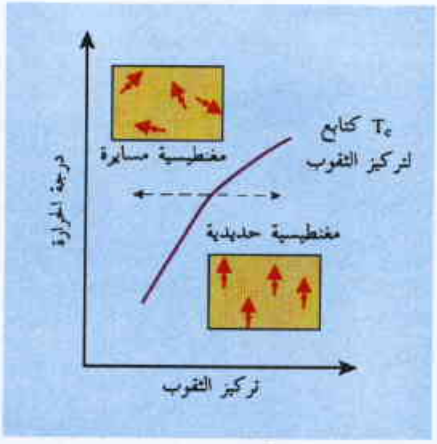
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

فهي بذلك تتصرف كجسيمات ذات شحنة موجبة. وهذا يماثل اعتبار فقاعة تحت الماء بمثابة "غياب" للماء وتتصرف كجسم ذي كتلة سالبة (صعود فقاعات تحت الماء).

إذا تحاذت كل العزوم المغنطيسية لذرّات Mn، فإنها تضاف إلى بعضها لتشكل ثنائي قطب مغنطيسي جهري (كما هو الحال في قضيب مغنطيسي دائم) والمادة هي في طور المغنطيسية الحديدية. وإذا توجهت العزوم المغنطيسية بصورة عشوائية، فإن شدة ثنائي القطب المغنطيسي الكلية تكون معدومة، وتكون المادة في طور المغنطيسية المسايرة. في الشروط الاعتيادية. تصبح المادة ذات مغنطيسية حديدية عندما تُبرّد إلى ما تحت درجة حرارة الترتيب الحرجة (T_C)، والتي هي 30 K تقريباً من أجل (In,Mn)As.

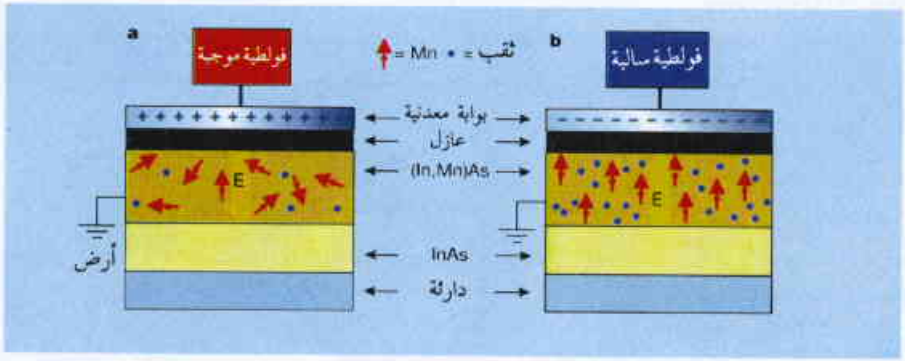
إن ما يجعل العزوم المغنطيسية لـ Mn تتحاذى غير معروف تماماً. ولكن يسود الاعتقاد بأن وجود الثقوب يعدّ حاسماً بالنسبة للعملية. وخلافاً لذرّات Mn التي تبقى مثبتة في المكان، تستطيع الثقوب أن تتحرك خلال المادة وتلعب دور الوسطاء، قارنة سلوك ذرّات Mn المنفصلة مكانياً. ومن الناحية التجريبية، فإن هذه الفكرة تدعمها ملاحظة أن قيمة T_C تتغير في الحقيقة مع تركيز الثقوب [6] (انظر الشكل 1). وبالفعل، بتسليط الضوء على أنصاف النواقل (In,Mn)As والسبائك المغنطيسية القريبة منها – ومن ثم تغيير تركيز حاملات الشحنة – نستطيع أيضاً أن نُحدِث تغيرات في المغنطة [8,7]. إذا أمكن أن نتحكّم بتركيز الثقوب في زمن حقيقي باستخدام حقل كهربائي؛ سنكون عندئذ قادرين على أن نسيّر (ندفع) المنظومة بصورة عكوسية من طور المغنطيسية الحديدية (عزوم Mn متحاذية) إلى طور المغنطيسية المسايرة (عزوم Mn موجهة عشوائياً)، والعكس بالعكس. ولحسم الموضوع نقول: من أجل تطبيقات عملية، ستحدث هذه التغيّرات في التمغنط عند درجة حرارة ثابتة (الخط المنقّط في الشكل 1).

في العمل الذي قام به أوهنو وآخرون [2]، غيّروا تركيز الثقوب لفلم رقيق من (In,Mn)As بوضعه في المنطقة الفعّالة لترانزستور أثر الحقل (FET). تمّ تشكيل بنية FET المبيّنة في الشكل 2 بإنماء طبقة رقيقة من (In,Mn)As على طبقة دارئة (واقية) منتهية بـ InAs، يتبعها ترسيب طبقة عازلة بعد ذلك ثم إلكترود "بوابة" معدني. إذا طبّقنا فولطية موجبة على البوابة (الشكل 2a)، تتشكل حقول كهربائية تدفع الثقوب المشحونة إيجابياً (لأن الشحنات المتشابهة تتدافع). إن تركيز الثقوب المخفّض في الطبقة (In,Mn)As يجعل المنظومة ذات مغنطيسية مسايرة. أما إذا طبّقنا فولطية سالبة على البوابة (الشكل 2b) تتشكل حقول كهربائية تجذب الثقوب الموجبة الشحنة (لأن الشحنات المتعاكسة تتجاذب). وهذا يزيد من تركيز الثقوب ويجعل المنظومة ذات مغنطيسية حديدية. هكذا، وبمجرد تطبيق فولطية على إلكترود البوابة، يمكن قلب المغنطيس عكوسياً إلى حالة الوصل on (مغنطيسية حديدية ذات عزم ثنائي قطب مغنطيسي) والفصل off (مغنطيسية مسايرة ذات عزم مغنطيسي معدوم).



الشكل 1– سلوك نصف ناقل مغنطيسي كتابع لدرجة الحرارة وتركيز الثقوب (الثقوب شحنات موجبة). إن توجيه عزوم ثنائيات الأقطاب المغنطيسية لذرّات المنغنيز (أسهم حمراء) في مادة زرنيخيد الإنديوم منغنيز (صناديق رمادية) يمكن تعديلها بتغيّر في درجة الحرارة – وبالتحديد باجتياز درجة الحرارة الحرجة T_C، لكن السلوك المغنطيسي لنصف الناقل يمكن تعديله أيضاً بتغيير تركيز الثقوب (الخط المنقط مع أسهم). وبهذه الطريقة يسيّر أوهنو وآخرون منظومتهم بدءاً من طور المغنطيسية الحديدية (عزوم المنغنيز المتحاذية) إلى طور المغنطيسية المسايرة (عزوم المنغنيز المتوجهة عشوائياً)، وإلى الخلف، في حين تبقى المادة عند درجة حرارة ثابتة.

إن الفكرة وراء نبيطة أوهنو وآخرين في غاية الروعة، وهي تفترض طرح السؤال التالي: "لماذا لم يفكر أحد بهذا من قبل؟" لقد حصل هذا بالفعل، وكانت هناك محاولات عديدة فاشلة كانت تسعى لإنشاء مثل هذه النبائط. وقد ثبُت، على سبيل المثال، أن تغيّر تركيز حاملات الشحنة في المعادن (ومعظم المغانط الحديدية هي معدنية) أمر في غاية الصعوبة. وإضافة إلى ذلك لم يتحقق أي نجاح في نبائط تستخدم زرنيخيد الغاليوم والمنغنيز (Ga,Mn)As- التي لها درجة T_C تصل إلى 110 K - بسبب تركيز حاملات الشحنة الذاتي العالي فيها [5]. إن معظم المواد نصف الناقلة تتصدّع تحت تأثير الحقول الكهربائية العالية، مما يحدّ من المدى الذي يستطيع أن يبلغه المرء في التحكّم والسيطرة على تركيز الحاملات في ترانزستور أثر الحقل FET. وفي مسعى لتقليل كثافة الثقوب، جُعِلت طبقات نصف الناقل ذي المغنطيسية الحديدية أرقّ، لكن المغنطيسية الحديدية في (Ga,Mn)As



الشكل 2– مبدّلة مغنطيسية متحكّم بها كهربائياً. النبيطة التي صممها أوهنو وآخرون [2] لها طبقة من زرنيخيد الإنديوم والمنغنيز (In,Mn)As، وهي مادة مُقحمة في ترانزستور أثر الحقل. a) تطبيق فولطية موجبة على إلكترود "بوابة" معدنية يخلق حقولاً كهربائية (سهم برتقالي) تدفع الثقوب (دوائر زرقاء)، جاعلاً العزوم المغنطيسية لـ Mn (أسهم حمراء) تتوجه عشوائياً. b) تطبيق فولطية سالبة على إلكترود البوابة يخلق حقولاً كهربائية تجذب الثقوب، جاعلاً العزوم المغنطيسية لـ Mn تتحاذى.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تختفي دون ثخانة تقارب 5 nm. ولكي يتحاشى أوهنو وآخرون هذه الصعوبات استخدموا مادة مختلفة (In,Mn)As.

إن هذا السلوك المنبثق حديثاً واعد جداً، لكن لا تتوقع أن ترى هذه القاطعة (المبدّلة) switch المغنطيسية على مكتبك قريباً. تُرى الآثار عند درجات حرارة منخفضة (حوالي 25 K) وعند تطبيق فولطيات كبيرة (125± volts). توجد تحدّيات كثيرة يجب التغلب عليها قبل أن يستخدم هذا الأثر في نبيطة قابلة للتطبيق تجارياً. ورغم ذلك، فإن هذه التجربة تُعدّ "برهاناً ذا مفهوم" من أجل الفكرة التي مفادها أن الخواص المغنطيسية لأنصاف النواقل ذات المغنطيسية الحديدية يمكن التحكّم بها باستخدام تقنيات إلكترونية قياسية. إن هذه النتائج، مع اكتشاف طرق جديدة للتحكّم بالسبين الإلكتروني - كخلق أزمنة حياة أطول للسبين في أنصاف النواقل [9]، وحقن سبينات من أنصاف نواقل مغنطيسية [10] - قد مهّدت السبيل لسبينترونيات تطبيقية.

المراجع

REFERENCES

[1] Prinz, G. A. Science 282, 1660-1663 (1998).

[2] Ohno, H. et al. Nature 408, 944-946 (2000).

[3] Ohno, H., Munekata, H., Penney, T., von Molnar, S.& Chang, L. L. Phys. Rev. Lett. 68, 2664-2667 (1992).

[4] Munekata, H., Zaslavsky, A., Fumagalli, P.& Gambino, R. J. Appl. Phys. Lett.63, 2929-2931 (1993).

[5] Ohno, H. Science 281, 951-956 (1998).

[6] Matsukura, F., Ohno, H., Shen, A.& Sugawara, Y. Phys. Rev. B 57, R2037 (1998).

[7] Koshihara, S. et al. Phys. Rev. Lett. 78, 4617-4620 (1997).

[8] Wojtowicz, T., Kolesnik, S., Miotkowski, I. & Furdyna, J. K. Phys. Rev. Lett. 70, 2317-2320 (1993).

[9] Kikkawa, J. M. & Awschalom, D. D. Physics Today 52,33-39 (1999).

[10] Ball, P. Nature 404, 918-920 (2000).■

3- الليزر الذي يُخفّض درجة الحرارة*

من المتوقع أن تقوم حزمة شديدة من الليزر بقطع أو حرق أو تدمير أي شيء يعترضها، ولكن عند اختيار طول الموجة المناسب والهدف المادي المناسب فإن ضوء الليزر يمكن أن يقوم بعملية تبريد.

يبدو استخدام ضوء الليزر في تبريد جسم صلب مخالفاً للبديهة، لأنه من المفهوم عموماً أن الليزرات تحرق. فالأسلحة المطاورة من الخيال العلمي والليزرات المستخدمة في قطع المعادن تسخّن أهدافها إلى درجة حرارة حرجة أو أحياناً قاتلة. إلاّ أن ضوء الليزر الآن يُستخدم في المختبر بصورة روتينية لتبريد الغازات المميعة أو الأبخرة. ويمكن في بعض الحالات أن يتم تبريد الذرّات أو الأيونات إلى درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق مشكّلة حالة من المادة يُطلق عليها اسم كُثافة بوز - آينشتاين Bose-Einstein Condensate [1]. وبالمقابل، فإن تقنيات تبريد الأجسام الصلبة بواسطة الضوء انتشرت ببطء أكبر بكثير. ادّعى هويت Hoyt وزملاؤه في مجلة Physical Review Letters [2] أنهم بردوا عينة من الزجاج الصلب بكفاءة عالية مثيرة للدهشة، باستخدام ضوء الليزر تحت الأحمر. وهذا هو النوع الثاني فقط من الأجسام الصلبة الذي جرى تبريده بواسطة الليزر.

عندما تمتص الذرّة الطاقة من حزمة الضوء تتولّد حالة مثارة، حيث يرتقي إلكترون من حالة طاقة دنيا إلى حالة طاقة عليا. تُستخدم هذه الطاقة الإضافية، في التركيب الضوئي مثلاً، لتحويل ثنائي أكسيد الكربون والماء إلى كاربوهيدرات وأكسجين. يمكن استعمال بعض التفاعلات الكيميائية أيضاً في تسخير هذه الطاقة (الكيمياء الضوئية)، ولكن يتم تحريرها غالباً إما على شكل ضوء (تألق) أو بعد تحويلها إلى طاقة حرارية (حرارة). وعندما يكون منبع الضوء ليزراً شديداً، فإن هذا التحول إلى حرارة هو الذي يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة بسرعة في العيّنة. فإذا كان الهدف جسماً صلباً قابلاً للالتهاب فإنه يحترق، وإذا كان سائلاً فإنه يغلي.

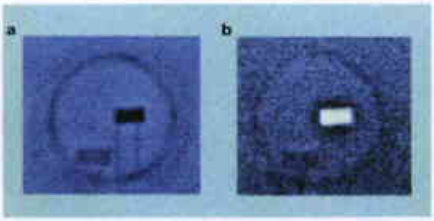
وكبديل عن ذلك، يمكن للتألق أن يتجنب طريق توليد زيادة في الطاقة الحرارية، وبذلك يخفض من تسخين العيّنة. ولتخفيض هذا التسخين إلى الحد الأدنى يجب أن تكون نسبة التألق إلى توليد الحرارة، وهو ما يُعرف بمردود التألق الضوئي الكمومي، أقرب ما يمكن إلى النسبة 100 %. ليس هذا، على أية حال، هو نهاية القصة حقاً. فغالباً تسلك هذا السلوك جميع المواد التي تتألق عند الطاقة التي تكون أقل من الطاقة التي امتصتها - يقال إنه حصل لإصدار الضوء "انزياح ستوك stoke" إلى طاقة أدنى، وبالتالي أصبحت موجته أطول. يمكن ملاحظة هذا التأثير باستخدام ضوء فوق بنفسجي لتشعيع محلول من ماء مقوى يحوي جزيء كينين. يصدر المحلول تحت هذه الشروط ضوءاً فيروزياً جميلاً. يعود سبب الاختلاف الضئيل في الطاقة بين الضوء الممتص والضوء الصادر إلى عملية استرخاء حراري، التي تولّد كمية ضئيلة من الحرارة. وهكذا حتى لو كانت المادة التي تتألق 99 % من الوقت فإنها ستبقى تسخن عندما تُنار.

إن مفتاحية توليد الأثر التبريدي هي عملية تُعرف بـ "تألق مضاد - ستوك". وتتم هذه العملية عندما تصدر المادة ضوءاً بطاقة أعلى من الطاقة التي استُعملت لإثارتها، لأنها أثارت ذرّات أو أيونات تملك في الحالة الأساسية كمية قليلة زائدة من الطاقة الحرارية. ويُشار إلى هذه الذرّات أو الأيونات بالنوع الحار أو النشط. استعمل هويت وزملاؤه [2] في تجربتهم زجاج فلوريد معدن ثقيل يطلق عليه اسم ZBLANP مُطَعَّم بأيونات توليوم كنوع (ZrF_4-BaF_2-LaF_3-AlF_3-NaF-PbF_2)

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 409, 1 February 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

نشيط. فعندما تمتص الأيونات ضوءاً فإنها لا تحتجز أية معلومات عن حالتها المثارة الأصلية، وهكذا تستطيع أن تتألق حتى إلى طاقة أعلى تاركة الأيونات بطاقة حرارية أقل من الطاقة التي بدأوا فيها. يؤدي تكرار هذه العملية إلى إزاحة الطاقة الحرارية من المنظومة، أي إلى تخفيض درجة الحرارة (الشكل 1). هنالك حاجة إلى الليزر لتأمين ضوء شديد له طول موجة مناسب من أجل التبريد، وهنالك أيضاً حاجة إلى المادة المناسبة لتحقيق تألق ضوء مضاد-ستوك كفاءته قريبة من % 100. وقد أفاد هويت وزملاؤه أن مردود التألق الضوئي الكمومي في منظومتهم النوعية وصل إلى % 99.



الشكل 1– تبريد جسم صلب بالضوء. صور حرارية لزجاج ZBLANP مطعم بالتوليوم مسجل من قبل هويت وزملائه [2]. المساحات اللامعة تبين التبريد، والمساحات الغامقة تبين التسخين. a)- يسخن الليزر العيّنة بصورة طبيعية. b)- العيّنة مبرّدة بحزمة ليزر عند طول الموجة الصحيح (هنالك تسخين متبقٍ من حجرة العيّنة المجاورة ومن العيّنة المرجعية في الزاوية اليسرى السفلية).

لوحظ التبريد المحرَّض بالليزر أول الأمر في عينة من الزجاج نفسه ZBLANP، ولكنه مُطَعم بأيون مختلف من اللانتانيدات وهو الإتربيوم [3]. كان الزجاج المطعم بالإتربيوم، في تجارب لاحقة، مبرّداً ليزرياً إلى الدرجة C° 65 تحت درجة حرارة الغرفة، ولكن باستخدام التوليوم كنوع نشط أزاح هويت وزملاؤه [2] طول موجة ضوء الليزر من منطقة تحت الأحمر القريب من الطيف الكهرطيسي إلى منطقة تحت الأحمر المتوسط، وبذلك ضاعف الكفاءة الذاتية لعملية التبريد. وبطول الموجة هذه، برّدوا عيّنة من الزجاج المطعم بالتوليوم إلى C° 1.2 تحت درجة حرارة الغرفة بـ 40 ملّي واط من ضوء الليزر، وهذا يقابل كفاءة تبريد تبلغ C° 30- لكل واط من قدرة الليزر الممتص. كما لوحظ سابقاً تبريد الليزر للمفلور، وهو أصباغ جزيئية مذابة في محلول مائع [6, 5]، رغم إزاحة طول موجة الليزر في الاتجاه المعاكس من منطقة تحت الأحمر إلى منطقة الضوء المرئي. وهكذا يلاحظ تبريد الليزر حالياً في الأطوار الغازية والسائلة والصلبة.

إن التبريد بالتألق مضاد – ستوك عملية تلقائية من الناحية الترموديناميكية. فالقانون الثاني في الترموديناميك يخبرنا أنه بانخفاض درجة حرارة المنظومة فإن الأنتروبية (عدم الانتظام) للمحيط يجب أن تزداد بمقدار أكبر. يمكن إيجاد هذه الزيادة للأنتروبية في التألق الصادر الذي يحصل في جميع اتجاهات المكان وعلى طيف واسع من الأطوال الموجية، مخالفاً بذلك حزمة الليزر. لقد حلّ لاندو Landau هذا الأمر منذ عام 1946 متبعاً الاقتراح البدئي في التبريد الضوئي لبرنغشايم Pringsheim عام 1929. ورغم أن التحقق التجريبي لهذه الأفكار قد أخذ وقتاً طويلاً، فمن غير المحتمل أن إدخال هذه الفكرة إلى السوق سيأخذ وقتاً طويلاً كهذا.

في الواقع، إن إمكانية تصنيع نبيطة تبريد بالحالة الصلبة وضوئية بشكل كامل قد ذكرتها سابقاً شركة Ball Aerospace and Technologies (كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية) وشركة Metrolaser (كاليفورنية، الولايات المتحدة الأمريكية). تطور كلتا الشركتين مجمدات ضوئية أساسها تألق ضوئي مضاد – ستوك. لا يوجد في هذه النبائط أجزاء متحركة ولا صوت لها، مما يوضح جاذبيتها لأن تستعمل في الفضاء وفي تطبيقات الإلكترونيات الضوئية. تطور Metrolaser أصباغاً مفلورة كوسط تبريد نشط، في حين تستخدم Aerospace منظومة ZBLANP المطعمة بالإتربيوم. الزجاجيات المطعمة باللانتانيدات متاحة مسبقاً كألياف ضوئية، ولهذا تقدّم مصدراً من المواد العالية النوعية لتطوير المجمدات الضوئية. ولن يطول الزمن قبل أن يقوم الزجاج المطعم بالتوليوم بجذب اهتمام تجاري مماثل.

المراجع REFERENCES

[1] Anderson, M. H. et al. Science 269, 198-201 (1995).

[2] Hoyt, C. W., Sheik-Bahae, M., Epstein, R. I., Edwards, B. C.& Anderson, J. E. Phys. Rev. Lett. 85, 3600-3603 (2000).

[3] Epstein, R. I., Buchwald, M. I., Edwards, B. C., Gosnell, T. R. & Mungan, C. E. Nature 377, 500-503 (1995).

[4] Gosnell, T. R. Opt. Lett. 24, 1041-1043 (1999).

[5] Zander, C. & Drexhage, K. H. in Advances in Photochemistry Vol 20 (eds Neckers, D. C., Volman, D. H. & Von Bünau, G.) 59-78 (Wiley, New York, 1995).

[6] Clark, J. L. & Rumbles, G. Phys. Rev. Lett. 76, 2037-2040 (1996).■

4– هل تغادر البروتونات النواة على شكل أزواج؟★

اكتشف الفيزيائيون النوويون الذين يتحرّون عن الحدود النهائية للاستقرار النووي ظواهر غريبة في النوى المستقرة نسبياً لا تدرك بسهولة. ومن أمثلة ذلك العدد الحقيقي للنظائر الناقصة النترونات التي تضمحل من حالتها الأساسية بسبب إصدار بروتون مفرد [1]. وعلى أية حال، لوحظ مثل هذا النشاط الإشعاعي للبروتون فقط في النوى التي تحوي عدداً فردياً من البروتونات Z. أما في النوى حيث Z عدد زوجي، فإن البروتونات تتزاوج منتجة ربطاً نووياً معزّزاً. ونتيجة لذلك يصبح إصدار بروتون وحيد ممنوعاً طاقياً أو مكبوتاً إلى حدٍ كبير. ولكن يتّضح أنه من الممكن لمسار اضمحلال زوجي أكثر غرابة أن يكون مناسباً في هذه الحالات.

في عام 1960 تنبأ فيتالي غولدنسكي V. Goldansky، النظري النووي الروسي [2]، أن النوى التي تحوي عدداً زوجياً من البروتونات تستطيع أن تضمحل من حالتها الأساسية؛ وذلك بإصدار متواقت

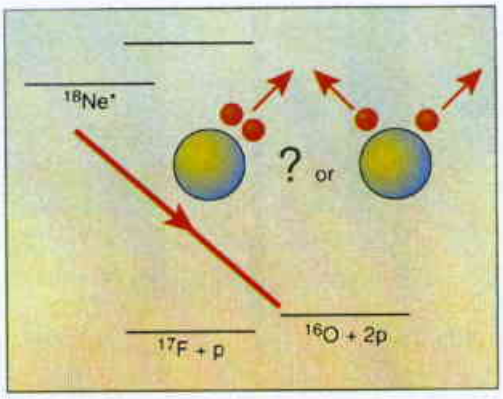
★ نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol. 291, 9 February 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

لبروتونين. لقد بُذلت جهود كبيرة لاستكشاف هذا النمط الغريب من الاضمحلال الأساسي. وتحرّى الفيزيائيون النظريون أيضاً إصدار بروتونين متواقتين من نوى في حالات كمومية مثارة. وحديثاً، نشرت مجلة Physical Review Letters مقالاً عن الإصدار المتواقت لبروتونين من حالة نووية مثارة [3]. وبصورة مشوقة ومكايدة فإن الوصفين النظريَّين الحدّيين لعملية الاضمحلال يصوران المعطيات الحالية بجودة متساوية.

عندما نشر غولدنسكي توقعه كان من المعروف سابقاً أن الحالة الأساسية لـ ^{6}Be كانت غير مستقرة لتضمحل إلى بروتونين وجسيم α (جسيم $^{4}He^{2+}$). على أية حال، فإن النظير ^{6}Be يوجد فقط كحالة قصيرة العمر، وهي حالة التشكيل التي يجب أن يُستدل عليها بملاحظة نواتجها وهي البروتون واضمحلال -α. لم يكن هذا الدليل غير المباشر كافياً لتثبيت آلية الاضمحلال. أنجز فريق في معهد كورتشاتوف بموسكو عام 1989 تجارب سمحت بدراسة الطاقة والتوزعات الزاويّة لنواتج اضمحلال ^{6}Be بشكل مفصَّل تماماً [4]. وعلى أساس هذه الدراسات أدخل الفريق مصطلح "الاضمحلال الديمقراطي" في المعجم النووي. يرمز هذا المصطلح إلى التفتت المتواقت للنواة إلى جسيمات ثلاثة دون المرور خلال المرحلة الوسطية. أثبت المؤلفون أنه يمكن فهم عملية اضمحلال ^{6}Be باعتبار ثلاثة نماذج أساسية متنافسة للاضمحلال: نمط السيكار، وهو الذي تصدر فيه البروتونات من الجانبين المتقابلين لجسيم α (مضاد الارتباط المكاني)، و"نمط الاضمحلال الثنائي البروتون"، وهو الذي تصدر فيه البروتونات من الاتجاه نفسه وتكون مرتبطة مكانياً إلى حد يمكن اعتبار أنها موجودة على شكل عنقود ^{2}He غير مستقر، و"نمط الحوّامة"، وهو الذي تصدر فيه البروتونات وسبيناتها متراصفة - وهي الظاهرة التي لا يُسمح فيها بتأثرات أزواج بروتون - بروتون ولكنها يمكن أن تحدث بشكل كبير بسبب الجسم الثالث (جسيم α). والأكثر حداثة هو الكشفُ عن إصدار بروتونين في اضمحلال الحالة الأساسية لـ ^{12}O التي تشبه ^{6}Be ذات عمر النصف القصير جداً والذي من الصعب ملاحظته مباشرة [5]. وجِدَ أن البروتونين، في هذه الحالة، يكونان متناحيين، ولكن لا يمكن استبعاد آلية الاضمحلال التتابعي وتبقى الطبيعة الحقيقية لآلية الاضمحلال أمراً خاضعاً للنقاش في الأدبيات [6]. يبيّن هذا المختصر الإجمالي معرفتنا الحالية عن الحالة الأساسية وعمليات اضمحلال بروتونين.

كشفت التجارب التي أُجريت في مختبر غانيل GANIL بفرنسة عام 2000 مباشرة وبشكل مثير جداً للدهشة وجود النظير ^{48}Ni [7]. اعتُقِدَ أن هذا النظير هو المرشح الأول لنشاط إشعاعي لبروتونين بسبب التنبؤ بأن حالتهما الأساسية تكون غير مرتبطة طاقياً لإصدار متواقت لبروتونين بل مرتبطة لإصدار بروتون واحد. تفترض الحسابات بصورة



الاضمحلال غير العادي: يمكن لنواة ^{18}Ne المثارة أن تصدر فقط بروتونين متواقتين بسبب عدم وجود مسارات متاحة للمنظومة المتوسطة ^{17}F. على أية حال، ليس من المعروف حتى الوقت الحاضر، فيما إذا كان البروتونان قد جرى إصدارهما على شكل عنقود ^{2}He أم بصورة ديمقراطية (انظر النص).

عامة نموذجاً ثنائياً من ^{48}Ni مكوّناً من لب نووي خامل وبروتونين خارجيين يشكلان عنقود ^{2}He نقطياً. ووفق هذا النموذج فإن العنقود الكمومي ^{2}He يمر في نفق من خلال حاجز طاقة كموني ومن ثم يضمحلّ إلى بروتونين خارج الحاجز. على أية حال، ارتفعت حديثاً اعتراضات نظرية على هذه الطريقة البسيطة لفهم الموضوع [8]. يقترح منحى نظري أكثر تعقيداً مبني على نمط اضمحلال ديمقراطي واضح لثلاثة أجسام لعملية إصدار بروتونين متواقتين أن الاحتمال لإصدار بروتونين ينخفض بشكل جوهري بالمقارنة مع حسابات الإصدار ^{2}He الصرفة، والتي يمكن لحالة ^{48}Ni أن تضمحل بعملية بديلة وهي إصدار β. يجب ملاحظة أن هذا المنحى النظري الأكثر تعقيداً يحسب حساباً أو يراعي المكوّن ^{2}He في عملية الاضمحلال لكونه أحد السيناريوات الممكنة لإصدار غير تتابعي لبروتونين.

وبسبب ندرة المعلومات عن آلية اضمحلال بروتونين في الحالة الأساسية، كان على الفيزيائيين النوويين تحرّي دراسة حالات مثارة للنوى التي يوجد فيها بروتونان غير مرتبطين، ولسوء الحظ، فإن جميع الحالات التي درست حتى الآن كانت تفضل الاضمحلال بإصدار تتابعي للبروتونات. ففي عمل تمّ في مختبر Louvainla-Neuve في بلجيكا، استُعملت الحزمة ^{13}N النشيطة إشعاعياً لقذف ذرّات H وبذلك تُركِّزُ حالة مثارة من ^{14}O. لقد جرى تحديد فرعَي اضمحلال لإصدار بروتونين، إلاّ أن سبيل اضمحلال بإصدار تتابعي كان متاحاً، وهذا هو ما قرّرت النوى فعله بصورة كبيرة [9].

قام الفيزيائيون في مختبر أوك ردج Oak Ridge الوطني بتطوير حزمة مشعة من ^{17}F. واستعملوا هذه الحزمة حالياً في قذف ذرّات من الهدروجين لإنتاج حالات مثارة من بروتونين غير مرتبطين في نواة المركّب المنصهر ^{18}Ne. لا تستطيع هذه الحالات المثارة الاضمحلال بشكل تتابعي لعدم وجود مسارات متاحة في منطقة الطاقة المناسبة لكي تحدث هذه العملية. ومن أجل ذلك فإن ملاحظة فرع اضمحلال بروتونين في هذه المنظومة يجب أن يعزى إلى إصدار بروتونين متواقتين.

أفاد فريق أوك ردج هذا العام أنه رصد مثل هذا الفرع من اضمحلال بروتونين متواقتين [3] من إحدى الحالات المثارة في ^{18}Ne. إن محاكاة مونت كارلو Monte Carlo للطاقة وللتوزيع الزاوي لبروتونين منسجمة إما مع النموذج الثنائي الذي وُصف سابقاً، أو مع عملية اضمحلال ديمقراطي لثلاثة أجسام.

هل هذه الحالة تتم بشكل ديمقراطي أو قسري (يعني مُحكَمة بإصدار ^{2}He)؟ يخطط الباحثون في أوك ردج لحل هذا الغموض باستخدام منظومة كشف أكبر. سيكون مركّب اضمحلال ^{2}He النقي مثار استغراب كبير، ودليلاً على ما هو أكبر من مكوّن عنقودي من ^{2}He في

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تابع الموجة النووي. وإذا كانت هذه هي الحال، فإن المرء بحاجة إلى أن يسأل فيما إذا كان من الممكن ملاحظة هذا الأمر في كثير من الحالات النووية الأخرى غير المرتبطة لبروتونين. وإذا لم يكن الأمر كذلك، فما هو الشيء الخاص بـ ^{18}Ne؟.

المراجع REFERENCES

[1] P. j. Woods, C. N. Davids, Annu. Rev. Nucl. Sci. 47, 541 (1997).

[2] V. I. Goldansky, Nucl. Phys. 19, 482 (1960).

[3] J. Gomez del Campo et al., Phys. Rev. Lett. 86, 43 (2001).

[4] O. V. Bochkarev et al., Nucl. Phys. A505, 215 (1989).

[5] R. Kryger et al., Phys. Rev. Lett. 74,860 (1995).

[6] R. Sherr, H. T. Fortune, Phys. Rev. C 60, 64323 (1999).

[7] B. Blank et al., Phys. Rev. Lett. 84, 1116 (2000).

[8] L. V. Grigorenko et al., Phys. Rev. Lett. 85, 22 (2000).

[9] C. R. Bain et al., Phys. Lett. B373, 35 (1996).

[10] When two nuclei collide, they initially fuse to form a single composite system known as the compound nucleus, which subsequently de-excites, in this case by the emission of two protons.■

5- مادة ذات فعل مزدوج: كهربائي ومغنطيسي*

في السعي من أجل مكونات إلكترونية أصغر، يفكر الكيميائيون بالسلّم الجزيئي. إذا جمعنا جزيئين بسيطين، ينشأ لدينا هجين، أي أنه ناقل يحمل الصفتين: المغنطيسية والكهربائية معاً.

مع اقترابنا من الحدود الفيزيائية القصوى للإلكترونيات المبنية على السليكون التقليدي، نجد أن هناك حاجة واضحة لأنواع جديدة كلياً من المواد تستطيع أن تولّد نبائط أصغر فأصغر، ومن المرشّحين بقوة في هذا المجال الإلكترونيات الجزيئية molecular electronics، التي تستخدم تجمّعات من الجزيئات الفردية لتحاكي بنى تقليدية أكبر كالقاطعات (المبدّلات) switches وأنصاف النواقل. ولكي تكون هذه الجزيئات فعّالة لابد من ضبط كامل لتركيبها وحجمها ووظيفتها.

على مدى الأربعين سنة الماضية تمكّن الباحثون من ابتداع عدد قليل من لبنات البناء الأساسية اللازمة للإلكترونيات الجزيئية، من بينها معادن وأنصاف نواقل ونواقل فائقة ومغانط، إضافة إلى ما يسمى المغانط ذات الجزيء المفرد. وصف كورونادو Coronado وآخرون [1] مادة هجينة تفتح آفاقاً جديدة في الإلكترونيات الجزيئية. فقد خلقوا مادة جزيئية تستطيع أن تسلك، وبآن واحد، سلوك مغنطيس وسلوك ناقل كهربائي. وفي حين أن المغانط الناقلة، كالنيكل والحديد، شائعة بين المعادن والخلائط، فإن هذا أول مثال يُكتب عنه في المواد الجزيئية. ونظراً لأن الخصوصيات الإلكترونية للجزيئات المفردة تختلف عن خصوصيات المعادن الجرمية، فإن مغنطيساً جزيئياً ناقلاً من المحتمل أن يتمتع بخواص غير متوقعة.

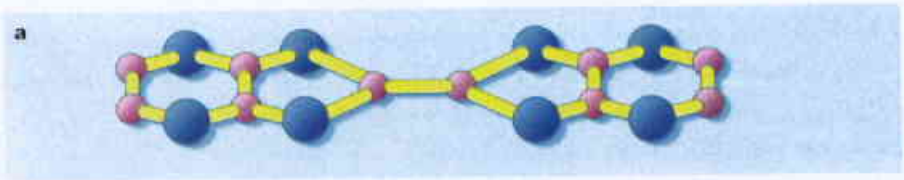
إن المواد التي تقوم خصائصها على جزيئاتها المكونة لها تكون أكثر خصوبة من تلك المواد التي تشتق خصائصها من ذرّاتها المكونة لها. وعلى هذا فإن الخواص الجرمية للجزيئات – سواء كانت ضوئية أو مغنطيسية أو كهربائية – يمكن التحكم بها باستخدام التراكيب التقليدية كتلك التي تستخدم في الصناعة الصيدلانية، وهذا يعني أنها قابلة للتوليف ويمكن أن تكون أكثر استعداداً على التكيّف في الصنع لتستجيب لتغير مطالب التقانة. بضم ناقل عضوي ومعقّد مغنطيسي، أدخل كورونادو وآخرون الآن إمكانية الحصول على مواد ذات وظائف متعددة.

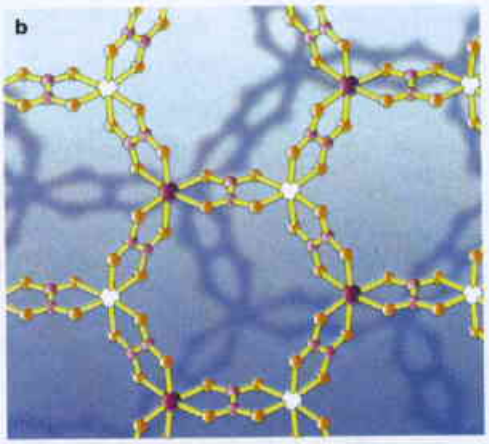
إن مقدرة جزيئات عضوية صغيرة على إظهار ناقلية كهربائية شبيهة بالمعدن تجلّت لأول مرة عام 1965 في ملح ناقل للإلكترونات عُرف بـ TCNQ [2]. بيّنت هذه الدراسات أنه يمكن رؤية ناقلية شبيهة بناقلية المعدن وكذلك خواص ضوئية شبيهة بخواص المعدن في مواد عضوية قابلة للانحلال. قاد هذا العمل إلى تطوير بوليميرات ناقلة كهربائياً–وبخاصة نواقل البلاستيك–والتي مُنح من أجلها ألن ماكديارميد A. MacDiarmid وألن هيجر A. Heeger و هيديكي شيراكاوا H. Shirakawa جائزة نوبل للكيمياء في العام 2000، وفضلاً على البوليميرات الناقلة، اكتُشفت ودُرست أملاح ناقلة للشحنات. ربما يكون الجزيء [TTF][TCNQ]، الذي أدى إلى أولى الأمثلة عن النواقل الفائقة العضوية، هو الجزيء الأكثر شهرة من بين هذه الأملاح. لقد صُنعت نواقل فائقة عضوية عديدة [3] ومعادن عضوية من جزيء ذي صلة يدعى BEDT-TTF (الشكل 1). يستفيد كورونادو وآخرون من خصائص النقل لهذا الجزيء في مادتهم الجديدة.

إن المغنطيسية الحديدية هي التراصف المتوازي لكل العزوم المغنطيسية في مادة، سواء أكانت ذرّية أم جزيئية، والمحرّضة من جراء تطبيق حقل مغنطيسي خارجي ضعيف. وهذا يؤدي إلى تمغنط تلقائي، قد يبقى بعد إزالة الحقل الخارجي – كما هو الحال في المغانط المستخدمة على الأبواب – أو قد يختفي، كما هو الحال في محوّلات التيار الحديثة. أول ما كُتب عن المغنطيسية الحديدية القائمة على الجزيء كان عام 1972 بخصوص مركّب متناسق لكلوريد الحديد [5,4]. وفي عام 1986 اكتُشفت المغنطيسية الحديدية في مادة ذات قاعدة عضوية [6]. أصبحت هذه المواد مغانط حديدية عند درجات حرارة منخفضة جداً (دون 5 K)، وكانت قابلة للانحلال في مذيبات عضوية تقليدية. في عام 1992 فاجأ أوكاوا Okawa والعاملون معه الباحثين عندما أعلنوا عن مركب ثنائي المعدن طبقي layered bimetallic compound يسلك سلوك مغنطيس حديدي

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 23 November 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

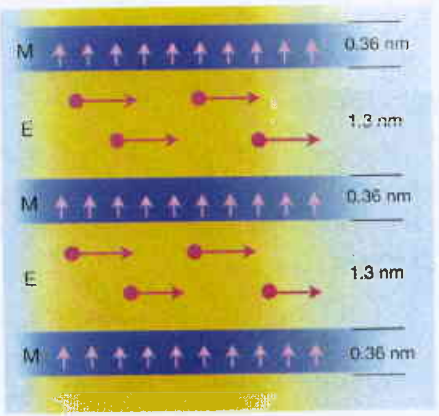




الشكل 1- مكوّنات جزيئية لمادة متعددة الوظائف. a) الجزيء العضوي (bis(ethylenedithio)-tetrathiafulvalene)BEDT-TTF، الذي يستخدم لصنع معادن عضوية وناقل فائقة. ذرّات الكربون باللون القرنفلي، والكبريت باللون الأزرق. b) معقّد ثنائي المعدن حديدي المغنطيسية من المنغنيز (II) tris (oxalato)-chromium (III) - ذرّات المنغنيز باللون الأبيض، والكروم باللون الأرجواني. بتناوب طبقات الجزيئات في (a) و (b) شكّل كورونادو وآخرون [1] مادة هجينة تدعم كلاً من المغنطيسية والنقل.

ثنائي البعد [7]. ورغم أن هذه المغانط غير قابلة للانحلال، فإنها بلّورية وتجتمع مركّباتها الجزيئية ذاتياً في بنية طبقية في محاليل مائية.

شكّل كورونادو وآخرون [1] موادهم مستخدمين تجميعاً ذاتياً مسيطراً عليه من طبقات مفردة متناوبة من مغنطيس حديدي ثنائي المعدن (الشكل 1b) وجزيئات BEDT-TTF. من الممكن تحقيق تحكم دقيق على التجميع لأن طبقات BEDT-TTF مشحونة إيجابياً والطبقات المغنطيسية مشحونة سلبياً. إن الطبقات الأحادية المتناوبة alternating monolayers من BEDT-TTF والمغنطيس الحديدي ذات ثخن قدره 1.3 و 0.36 نانومتر فقط على الترتيب (الشكل 2). وبناءً عليه، فإن الطبقات المغنطيسية ينشأ عنها ترتيب مغنطيسية حديدية جرمية، لكن هذا يبقى مستقلاً عن التيار الجاري في الطبقات العضوية. لم يعثر مؤلفوا هذا المقال على أي دليل يشير إلى تفاعل المنظومتين الفرعيتين: المغنطيسية الحديدية والناقلة بعضهما مع بعض، إلا عندما يطبّق حقل مغنطيسي خارجي بصورة عمودية على الطبقات.



الشكل 2- البنية المتعددة الطبقات ذات الأساس الجزيئي التي شكّلها كورونادو وآخرون [1]، وفيها طبقات ذات مغنطيسية حديدية (M) تتناوب مع طبقات ناقلة تشبه المعدن (E).

إن تركيب المواد الجزيئية التي تستطيع أن تولّد خواص فيزيائية أو كيميائية مهمة تقانياً، أو مجموعة من هذه الخواص، هو الهدف الرئيسي للكيميائيين. تشير نتائج كورونادو وآخرين [1] إلى أن التجميع الذاتي يسمح بصنع المواد ذات الوظائف المتعددة في الوقت الذي تطبّق فيه سيطرة دقيقة على تركيبها وبنيتها على المقياس النانوي. لقد شهدنا في السنوات القليلة الماضية ميلاد "السبينترونيات" - وهي نبائط إلكترونية مبنية على التأثرات التي تحدث بين سبينات الإلكترونات بدلاً من التأثرات بين شحناتها. والمثال الشائع هو ما ندعوه صمّام سبيني spin valve. ويتألف هذا الصمّام من طبقتين ذواتي مغنطيسية حديدية تفصل بينهما طبقة ذات مغنطيسية معاكسة diamagnetic، والتي يمكن أن تكون إما عازلاً أو ناقلاً معدنياً، يبلغ ثخنها بضع طبقات ذرّية. تتواصل الطبقات ذات المغنطيسية الحديدية مع بعضها من خلال آثار العبور النفقي للإلكترونات أو من خلال الإلكترونات المتحركة في الطبقة المعدنية. تشير المادة التي كتبت عنها مجموعة كورونادو إلى أن المواد ذات القاعدة الجزيئية والتي تتمتع بهذه الصفات هي في الأفق. وهذا يمكّن من صنع هذه النبائط بصورة أسهل ويؤدي إلى تخفيض جذري في تكاليف الإنتاج.

تلعب الإلكترونات المتحركة في المغانط الحديدية المعدنية التقليدية دوراً حاسماً في كل من التأثرات المغنطيسية والناقلية. لكن الإلكترونات الناقلة في منظومة كورونادو وآخرين، الموجودة في الطبقة العضوية، لا يبدو أنها تتأثر مع العزوم المغنطيسية للطبقة ذات المغنطيسية الحديدية. هذه الميّزة الفريدة، والتي لا تكون ممكنة إلا بسبب الطبيعة الجزيئية للمنظومة، يمكن أن تتمخض أيضاً عن سلوك فيزيائي غير متوقع. ومن المرغوب فيه كذلك أن نطور مواد جزيئية هجينة يتم فيها تأثر المنظومات الفرعية الناقلة والمغنطيسية بعضها مع بعض - ويمكن بعدئذ استعمال هذه المواد لصنع نبائط إلكترونية تعمل عند السلّم النانوي. من السهل أن نتخيل مواد هجينة أخرى تجمع المغنطيسية مع خواص ضوئية لاخطية، أو تجمع المغنطيسية الحديدية مع الناقلية الفائقة. وستكون هذه الأخيرة مفيدة لتوضيح التفاعل بين الناقلية الفائقة والمغنطيسية، والتي لا تمتزج في العادة، كما هو الحال بالنسبة للزيت والماء.

المراجع REFERENCES

[1] Coronado, E., Galan-Mascaros, J. R., Gomez-Garcia, C. J. & Laukhin, V. Nature 408, 447-449 (2000).

[2] Melby, L. R. Can. J. Chem. 43, 1448-1454 (1965).

[3] Williams, J. M. et al. Science 252, 1501-1508 (1991).

[4] Wickman, H. H. J. Chem. Phys. 56, 976-982 (1972).

[5] DeFotis, G. C., Palacio, F., O'Connors, C. J., Bhatia, S. N. & Carlin, R. L. J. Am. Chem. Soc. 99, 8314-8315 (1977).

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

[6] Miller, J. S. et al. J. Chem. Soc. Chem. Commun. 1026-1028 (1986).

[7] Tamaki, H. et al. J. Am. Chem. Soc. 114, 6974-6975 (1992).■

6- حركة مبادرة دقيقة للجسيمات العنصرية★

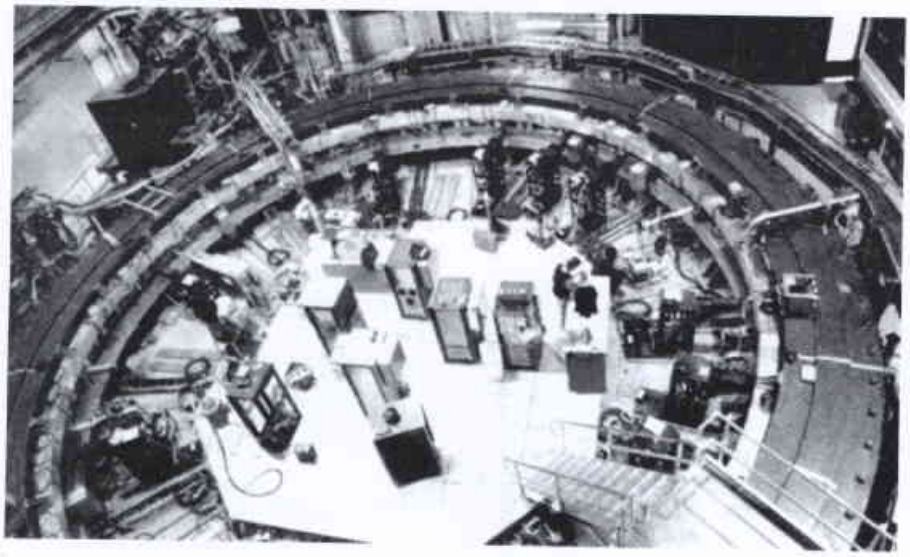
إن أكثر القياسات دقة حتى الآن للأسلوب الذي يتمايل - يبادر - به جسيم أولي في حقل مغنطيسي تثير الفيزيائيين. إذا كان ذلك صحيحاً فإننا مقدمون على عتبة عهد جديد من الاكتشافات المتعلقة بالجسيمات.

في التاسع من شهرشباط من هذا العام، أعلن تجمع كبير من العلماء المتعاونين، يُعرف باسم التجربة E821، في مختبر بروكهافن الوطني، أحدث النتائج من دراستهم لسلوك الجسيمات الأساسية (ولا سيما الميونات) في حقل مغنطيسي [1]. فقياسهم للعزم المغنطيسي للميون الموجب فيه ارتياب uncertainty يزيد قليلاً عن جزء واحد في البليون فقط، وهذا أفضل بثلاث مرات من القيمة الحالية. وعلاوة على ذلك، فإنه ينحرف في نطاق صغير، ولكنه مهم، عن توقع نظرية المادة (التي تُعرف باسم النموذج المعياري أيضاً - وهو وصف غير كاف لدرجة يرثى لها). عند هذا المستوى من الدقة يصبح سلوك الميون حساساً لوجود جسيمات ثقيلة جديدة، كتلك التي يتطلبها التناظر الفائق supersymmetry، وهو تبسيط كبير للنموذج المعياري ولكنه يبقى توسعاً افتراضياً له. ورغم أن نتيجة E821 ليست خالية تماماً من الضعف إلا أنها يمكن أن تكون نظرة سريعة (تلميحاً) في عالم جديد من الظواهر الفيزيائية.

إن قصة العزوم المغنطيسية قصيرة، ولكنها رائعة. فالدليل على أن للإلكترون عزماً مغنطيسياً كان قد أُدرك عام 1925 من قبل طالبين متخرجين هما صاموئيل غودشميت S. Goudsmit وجورج أوهلينبيك G. Uhlenbeck. فمن دراستهما بعناية سويات الطاقة الذرّية (الأطياف) اكتشفا تناقضات مع نظريات سائدة كان يمكن حلّها لو افتُرض أن الإلكترونات كلها تلعب دور قضبان مغانط صغيرة. تُعطى شدة هذه المغانط الأولية بدلالة النسبة الجيرومغنطيسية، gyromagnetic ratio, g، وهي العلاقة بين تمغنط الجسيم ودورانه. إن محور الدوران الذاتي للجسيم، أو السبين، يبادر precesses؛ في حقل مغنطيسي، بالأسلوب نفسه الذي يتمايل به بلبل لعبة عندما يدور. إن تواتر المبادرة التي يقوم بها الجسيم يساوي μB، حيث B مقدار الحقل المغنطيسي و μ العزم المغنطيسي للجسيم الذي يُعطى بـ gsq/mc، حيث m,q,s هي سبين وشحنة وكتلة الجسيم على الترتيب، أما c فهي سرعة الضوء.

تتنبأ الفيزياء التقليدية بـ g=1 من أجل جسيم مشحون دوّام spinning، ولكن غودشميت وأوهلينبيك احتاجا إلى أخذ $g_e \sim 2$ (حيث g_e هي من أجل الإلكترون) وذلك ليجعلا مشاهداتهما منسجمة. في عام 1928 اقترح بول ديراك P. Dirac تعديلاً على معادلة شرودينغر التي تصف السلوك الكمومي للإلكترونات، وذلك ليجعلها متساوقة مع النظرية الخاصة للنسبية. ورغم أنه كان مدفوعاً من اعتبارات بعيدة الصلة، فإن معادلة ديراك تتنبأ بـ g=2 من أجل إلكترونات شبه نقطية بسيطة، مقدِّمة بذلك توافقاً دقيقاً بين التجربة والنظرية التي عاشت عقدين من الزمن. بعدئذٍ، وفي عام 1947، قرّر بولي كارب كوش P. Kusch والمتعاونون معه أن القيمة التجريبية لـ g_e هي في الحقيقة أكبر قليلاً من قيمة ديراك، وبصورة تقريبية $g_e-2=0.00236$.

قدّر النظريون وبسرعة مغزى هذا التناقض. فنظرية ديراك تنطبق على إلكترون مثالي، يوجد معزولاً في فضاء خالٍ. لكن الإلكترونات الحقيقية القابلة للمراقبة محاطة بجسيمات افتراضية تدخل وتخرج فجأة ولبرهة قصيرة من الوجود في "الخلاء" الكمومي. إن الجسيمات الافتراضية، من أحد الوجوه، تركيبات نظرية صرفة،لأنها، وبالتعريف، ذات عمر قصير جداً الأمر الذي يحول دون رؤيتها مباشرة، لكنها بالنسبة للفيزيائيين حقيقية تماماً وذات تأثير مادي ملموس على الجسيمات التي نشاهدها.



الشكل 1- المغنطيس الفائق النقل ذو القطر 14m يستخدم في التجربة E821 لدى المختبر الوطني بروكهافن في لونغ أيسلاند، نيويورك. إنه يزود بحقل مغنطيسي ذي جودة عالية، يتيح للفيزيائيين قياس السلوكية المغنطيسية للميون بدقة لم يسبق لها مثيل.

★ نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 410, 1 March 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

في عام 1948 أجرى جوليان شوينغر J. Schwinger حساباً أشار إلى أن تفاعل الإلكترونات مع فوتونات افتراضية يعدّل عزمها المغنطيسي بطريقة تفسّر نتيجة كوش Kusch بصورة كمّية. أجرى ريتشارد فاينمان R. Feynman الحسابات بطريقة مختلفة عن طريقة كوش وأبسط منها وبحيث يمكن تعميمها. باستخدام هذه التقنيات، والنظرية الحديثة للمادة، يمكن حساب العزوم المغنطيسية بدقة هائلة. وبخصوص هذا العمل نال جائزة نوبل للفيزياء كل من ديراك في عام 1933، وكوش في عام 1955، وفاينمان في عام 1965.

تسري الحسابات ذاتها على الميونات، التي هي جسيمات أولية تشبه الإلكترونات في كل ناحية ما عدا كونها أثقل منها بحوالي 200 مرة. للميونات عمر نصف يبلغ حوالي مكروثانية، لذا فهي لا توجد على الأرض في مادة عادية، رغم أنها تظهر في الأشعة الكونية. وهي أكثر من الإلكترونات ملاءمة للدراسة، لأن العزم المغنطيسي للميونات أكثر حساسية، وبشكل ملحوظ، لآثار الجسيمات الثقيلة. يمكن قياس شدة المغنطيس القضيب للميون g_μ, muon's bar magnet في حقل مغنطيسي عالي الجودة بمراقبة مقدار السرعة التي تبادر بها. لكن الوصول إلى الدقة التي تتمتع بها تجربة بروكهافن يتطلب استخدام المغنطيس الفائق الناقلية الأضخم في العالم (الشكل 1) وقياسات من بلايين الميونات. وتُعدّ التجربة عملاً فذّاً ومدهشاً للأسلوب التجريبي الحديث، رغم كونه رخيصاً نسبياً إذا قورن بمعايير فيزياء الطاقة العالية. تُنقل ميزة النتيجة المأخوذة من E821 بأفضل حال من خلال معادلتها الدقيقة:

$$g_\mu\text{-}2 = 0.0023318319(\pm 0.0000000013)$$

كما عمل النظريون بجدٍّ للوصول إلى هذا المستوى من الدقة. ينبغي أن لا تتضمن حساباتهم آثار الفوتونات الافتراضية فقط، بل آثاراً أكثر تعقيداً أيضاً والتي تنشأ لأن خواص الفوتونات الافتراضية هي نفسها معدَّلة بالتأثرات مع الإلكترونات والميونات ولبتونات تاو والكواركات الفعلية. وزيادة على ذلك، فإن، الآثار الصغيرة للنسخ الفعلية من الجسيمات الأكثر ثقلاً، كبوزونات W و Z، بدأت تلعب دورها. وعندما تؤخذ كل هذه الأمور بالاعتبار، يصبح هناك عدم توفيق بين النظرية والتجربة بما يعادل أربعة أجزاء بالبليون تقريباً. يبلغ التناقض حوالي 2.6 انحرافاً معيارياً - وهو أمر كثير الإيحاءات، لكنه ليس نهائياً بعد.

عندما نقيّم كلاماً غير دقيق عن زعزعة أسس الفيزياء أو تدمير النموذج المعياري، الذي ظهر حديثاً في الصحافة الرائجة، يجب أن لا يغيب عن البال حجم الأثر المُعْلَن. وقد جرت العادة على اعتبار أن النظرية التي يتنبأ تطبيقها الصارم بنتائج التائج التجريبية الدقيقة بدقة تساوي جزءاً في البليون قد تُعدّ صالحة بشكل جيد! والأمر هنا هو كذلك. ولهذا السبب، فإن التفسيرات الأكثر قبولاً لهذا التناقض - باستثناء الخطأ التجريبي أو الحسابي، أو الصدفة الإحصائية - تشمل إضافة على النظرية المقبولة للمادة، بدلاً من تدميرها. وفي الحقيقة، إن التفسير الأبسط هو أنه يوجد بعض الأنواع الجديدة من الجسيمات الافتراضية قد تُركت عن غير قصد خارج الحسابات النظرية، لأن مثيلها في العالم الحقيقي ثقيل جداً وغير مستقر وأفلتت حتى الآن من الكشف في مسرعات الجسيمات.

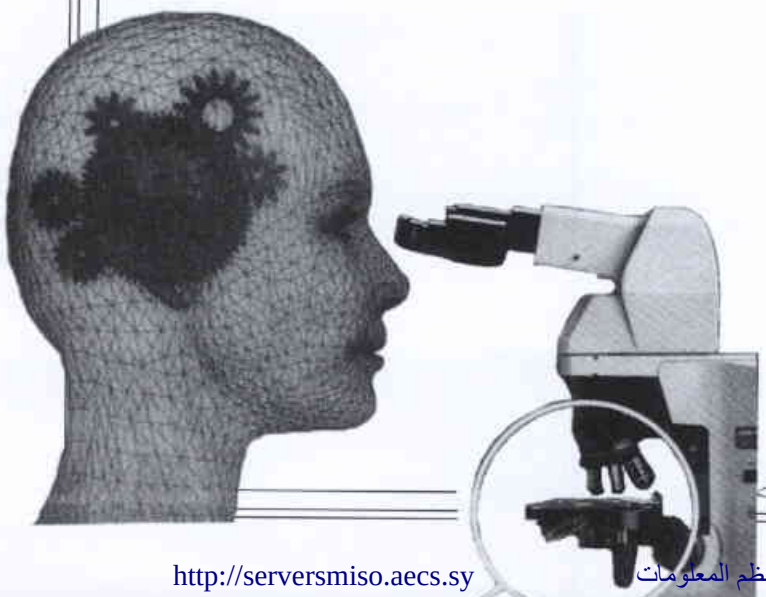
والشيء الجذّاب على وجه الخصوص هو إمكانية أن تكون بعض هذه الجسيمات فائقة التناظر، لأن نماذج أخرى كثيرة من أدلة (براهين) غير مباشرة اقترحت ذلك أيضاً. تتنبأ نظرية التناظر الفائق أن لكل جسيم أساسي في النموذج المعياري قريناً فائقاً أثقل منه - فمثلاً selectron (إلكترونفا) مقابل إلكترون و smuon (ميونفا) مقابل ميون. لو كان التناظر الفائق صحيحاً، فإنه يزوّدنا بوفرة من الجسيمات الافتراضية الجديدة، بكتل أكبر من كتلة البروتون بـ 100-1000 مرة. إن معرفتنا عن النموذج الصحيح للتناظر الفائق قيد الاستعمال - إذا وجد مثل هذا النموذج - محدودة، لذا لا يوجد أي توقّع دقيق محتمل. لكن التناقض E821 الملاحظ يقع بصورة مريحة تماماً في المجال الذي تفضله نماذج التناظر الفائق ذات الطاقة المنخفضة.

إن نتائج E821 المسجّلة مبنية على تحليل معطيات أُخذت عام 1999، أما عيّنة المعطيات المأخوذة من عام 2000، والتي تحتوي أربعة أضعاف عدد الميونات الموجبة، فهي بانتظار التحليل. والآن تؤخذ معطيات مماثلة من أجل الميونات السالبة، والتي ينبغي أن تكون قادرة على تأكيد ما إذا كانت الجسيمات والجسيمات المضادة تسلك سلوكاً تناظرياً. وفي مكان آخر، فإن العمل الجاري حالياً سيضيّق الارتيابات (عدم اليقين) المتبقية في توقعات النموذج المعياري. وسنكون بعد سنة من الآن إما في حالة فرح وابتهاج، أو في حِداد لأن ما سعينا إليه كان سراباً.■

☆ ★ ☆

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ورقات البحوث



تعلّق الطاقة التناظرية النووية بالكثافة في نظرية الحقل الوسطي النسبوي*

د. سامي حداد
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تمت دراسة تعلّق الطاقة التناظرية النووية والطاقة التناظرية القصوى بالكثافة، وذلك في إطار نظرية الحقل الوسطي النسبوي. تُظهر المقارنة بين نتائج النموذج اللاخطي ونتائج النموذج القياسي أهمية الطاقة التناظرية النووية في فهم خواص النوى الغنية بالنترونات.

الكلمات المفتاحية: المادة النووية، الطاقة التناظرية النووية، الطاقة التناظرية القصوى، النموذج اللاخطي، النموذج المعياري.

للطاقة التناظرية النووية تأثير هام على نتائج نظرية الحقل الوسطي النسبوي (RMF) لطاقات ارتباط ولأنصاف الأقطار التربيعية للنوى الغنية بالنترونات [1]. دلّت التجارب على حساسية نسبة النترونات إلى البروتونات في مرحلة ماقبل التوازن في تصادمات النوى الغنية بالنترونات عند طاقات متوسطة تجاه تعلّق الطاقة التناظرية بالكثافة [2].

يفسّر النموذج اللاخطي لنظرية الحقل الوسطي النسبوي خواص النوى المستقرة والنوى البعيدة عن خط استقرار بيتا [3]. في هذا العمل تتم دراسة تعلّق الطاقة التناظرية النووية والطاقة التناظرية القصوى بالكثافة، وذلك في إطار نظرية الحقل الوسطي النسبوي. الطاقة التناظرية النووية a4 عند الكثافة ρ معرّفة بالعلاقة [4]:

$$a_4(\rho) = \frac{1}{2}\frac{\partial^2 e(\rho,\delta)}{\partial \delta^2}\Big|_{\delta=0} \qquad (1)$$

حيث e كثافة الطاقة. عامل اللاتناظر δ معرّف بالعلاقة:

$$\delta = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho_n + \rho_p} \qquad (2)$$

حيث ρ_n كثافة النترون، و ρ_p كثافة البروتون. بالنسبة للمادة النووية $\delta = 0$، وللمادة النترونية $\delta = 1$.

الطاقة التناظرية القصوى S عند الكثافة ρ معرّفة بالعلاقة [2]:

$$S(\rho) = E/A(\rho,\delta=1) - E/A(\rho,\delta=0) \qquad (3)$$

حيث E/A طاقة النكلون الواحد.

تم حساب a4 و S باستخدام النموذج القياسي ومجموعة وسائط الاقتران H1 الواردة في المرجع [5]، وباستخدام النموذج اللاخطي ومجموعتي وسائط الاقتران NL3 الواردة في المرجع [3] و TM1 الواردة في المرجع [6]. يعرض الجدول 1 مجموعات وسائط الاقتران، سوية مع خواص إشباع المادة النووية الناتجة عن استخدامها. يُظهر الجدول 2 نتائج

الجدول 1– مجموعات وسائط الاقتران وخواص إشباع المادة النووية الناتجة عن استخدامها. mi و gi هما كتلة وثابتة اقتران الميزون i حيث $i=\sigma,\omega,\rho$. mN كتلة النكلون. g2، g3، و c3 ثوابت الارتباط اللاخطي. ρ0 كثافة الإشباع. a_v طاقة إشباع النكلون الواحد (الطاقة الحجمية).

	H1	NL3	TM1
$m_N(MeV)$	939	939	938
$m_\sigma(MeV)$	550	508.194	511.198
$m_\omega(MeV)$	783	782.501	783
$m_\rho(MeV)$	770	763	770
g_σ	11.0785	10.217	10.0289
g_ω	13.8056	12.868	12.6139
g_ρ	2.629	4.474	4.6322
$g_2(fm^{-1})$		-10.431	-7.2325
g_3		-28.885	0.6183
c_3			71.3075
$\rho_0(fm^{-3})$	0.148	0.148	0.145
$a_v(MeV)$	-15.75	-16.299	-16.3

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Europhysics Letters*, 48 (5), pp. 505-507, 1 December 1999.

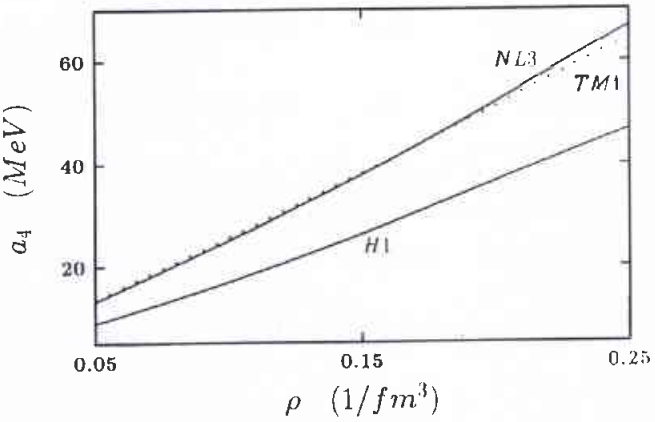
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الجدول 2– نتائج الطاقة التناظرية النووية والطاقة التناظرية القصوى عند كثافة الإشباع النووي بالنسبة لمجموعات وسائط الاقتران الواردة في الجدول 1. نتائج حسابات هارتريه- فوك اللانسبوية مأخوذة من المراجع [2,7].

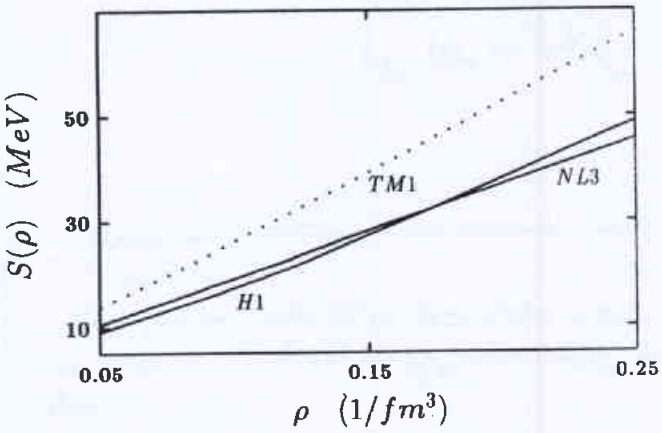
	$a_4(MeV)$	$S(\rho_0)(MeV)$
H1	25.8	26.9
NL3	37.4	27.9
TM1	36.9	37.8
HF		27 - 38

a4 و S عند كثافة الإشباع النووي، و يقارن هذه النتائج مع نتائج حسابات هارتريه - فوك اللانسبوية [7]. تعود أفضل القيم المعيارية للطاقة التناظرية النووية إلى النتائج الحسابية لنماذج مثل NL3، والتي تدل على أن قيمة a4 تبلغ حوالي 37 MeV، بدقة تصل إلى ± 2 MeV.

يُظهر الشكل 1 تعلّق a4 بالكثافة، والشكل 2 تعلّق S بالكثافة. تصف الطاقة التناظرية تغير الطاقة مع ازدياد اللاتناظرية في النهاية الحدّية التي



الشكل 1– تعلّق الطاقة التناظرية بالكثافة بالنسبة لمجموعات وسائط الاقتران الواردة في الجدول 1.



الشكل 2– تعلّق الطاقة التناظرية القصوى بالكثافة بالنسبة لمجموعات وسائط الاقتران الواردة في الجدول 1.

تختفي فيها اللاتناظرية (انظر العلاقة 1). في حين تصف الطاقة التناظرية القصوى التغير ذاته ولكن بالنسبة للقيمة القصوى لعامل اللاتناظر $\delta = 1$. الملفت للانتباه في الشكلين 1 و 2 هو أنه رغم كون الطاقة التناظرية الناتجة عن استخدام NL3 أكبر منها بالنسبة لـ H1، فإنه يمكن مقارنة الطاقة التناظرية القصوى في الحالتين. بالمقارنة مع وصف H1 للنوى الغنية بالنترونات، يؤدي استخدام NL3 إلى قيم أكبر لعامل اللاتناظر في المناطق المرتفعة الكثافة من النواة المنتهية، وقيم أصغر لهذا العامل في المناطق المنخفضة الكثافة. هذا يعني انزياح البروتونات تجاه المنطقة السطحية من النواة، في حين يتوضّع الفائض النتروني في المنطقة المركزية. يؤدي استخدام NL3 إذاً إلى نمو أسرع لأنصاف الأقطار التربيعية للشحنة وللمادة مع ازدياد الغنى النتروني. وهذا ما يفسّر نجاح النموذج NL3 في وصف الكثافة المركزية المنخفضة للنوى الغنية بالنترونات بالمقارنة مع الكثافة المركزية للنوى المستقرة [2].

يمكن مقارنة الطاقة التناظرية الناتجة عن استخدام TM1 و NL3، أما الطاقة التناظرية القصوى فهي أكبر في الحالة TM1. يصف النموذجان وبنجاح خواص النوى المستقرة والقريبة من خط استقرار بيتا. يمكن ملاحظة فرق في وصف النوى القريبة من خط الإصدار النتروني، والتي يصفها النموذج NL3 بنجاح.

تُظهر الدراسة الدور الهام للطاقة التناظرية النووية وللطاقة التناظرية القصوى في تفسير خواص النوى الغنية بالنترونات.

المراجع REFERENCES

[1] K. Sumiyoshi, D. Hirata, H. Toki, and H. Sagawa : Nucl. Phys. A, 552 (1993) 437.

[2] Li. B., Ko. C. M., and Z. Ren : Phys. Rev. Lett. 78 (1997) 1644.

[3] G. A. Lalazissis, J. König, and P. Ring : Phys. Rev. C55 (1997) 540.

[4] H. Huber, F. Weber, and M. K. Weigel : Phys. Rev. C51 (1995) 1790.

[5] D. Von-Eiff and M. K. Weigel : Phys. Rev. C46 (1992) 1797.

[6] Y. Sugahara and H. Toki : Nucl. Phys. A 579 (1994) 557.

[7] M. Farine, J. M. Pearson, and B. Rouben : Nucl. Phys. A304 (1978) 317.■

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

النمذجة الرياضية لليزر CO_2 المستعرض مع ماصّ الإشباع SF_6★

د. محمد سوقية، د. بشار عبد الغني، مصطفى حمادي
قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

لقد تمّ تبني نموذج رياضي يصف عملية الإصدار الدينامي لنمط وحيد الطور لليزر CO_2 المستعرض بوجود ماص الإشباع SF_6، حيث استُخدم نموذج درجات الحرارة الست لوصف الوسط المضخم، في حين استُخدم نموذج أربع سويات طاقية مقترنة لوصف الوسط الماص. يسمح النموذج الرياضي المقترح بدراسة تأثيرات الماص داخل التجويف على مميزات نمط ليزر CO_2 ذي الانفراغ المستعرض، إضافة إلى دراسة تأثير وسطاء الدخل على وسطاء نبضة الخرج الليزري.

يحاكي النموذج عملية تعديل النبضة السلبي passive Q-switch في كلتا حالتي الضغط العالي والضغط المنخفض المطبّقين في الوسط الماص. إضافة إلى ذلك، نوقشت الحلول العددية لجملة معادلات المعدل غير الخطية. تصف هذه الحلول كثافة الفوتونات، الإسكان المعكوس وعملية انتقال الطاقة في الوسطين المضخم والماص.

الكلمات المفتاحية: نمذجة، تعديل النبضة السلبي Q، ليزر ثنائي أكسيد الكربون، ماص الإشباع.

مقدمة

تحتاج التطبيقات الليزرية، التي تتطلب انتشار الأشعة الليزرية في الغلاف الجوي إلى مسافات بعيدة كي تتفاعل مع المادة، إلى نبضات عالية الطاقة مع تطور زمني مميز specific temporal development. في الحقيقة، يمكن الحصول على انقلاب إسكاني أعلى مما هو معتاد فيما إذا تمّ كبح الفعل الليزري الأولي بإبعاد فوتونات الإصدار التلقائي من المجاوب الليزري [1,2].

يمكن تحقيق عملية تعديل النبضة السلبي Q بإدخال ماص الإشباع داخل المجاوب، كما هو موضّح في الشكل 1a. يعود اختفاء إصدارات الشدة المنخفضة إلى حدوث عملية الامتصاص المشبع في الوسط الماص. فعندما يشبع الماص يصبح شفافاً، وبتزايد التضخيم يمكن للفوتونات أن تعبر المجاوب وتنعكس بشكل متتالٍ على المرآة الخلفية. بنتيجة ذلك يتم توليد نبضة، أو عدة نبضات أو قطار من النبضات العملاقة.

تمّ إثبات أن النبضات المعدلة سلبياً تُولَّد بالإشباع السريع لسويات الماص الدورانية المقترنة بالإشعاع. وهذا يعود إلى أن احتراق الفجوة hole burning يتعلق بعمليات انتقال الطاقة في منظومة ليزر - ماص، حيث يمكن تحليل ذلك باستخدام جملة معادلات المعدل التي تصف السلوك الزمني لكثافة الإسكان في منظومة ليزر - ماص. لقد دُرست عملية تعديل النبضة السلبي نظرياً باعتبار نموذج سويتين طاقيتين والنموذج الديناميّ لأربع سويات طاقية [3,4] وكانت النتائج التي تمّ الحصول عليها غير متوافقة مع المعطيات التجريبية وذلك بسبب استخدام نماذج فيزيائية مبسّطة لوصف عملية دينامية الإصدار لليزر CO_2.

اعتُمد في هذا العمل نموذج تيلر - لانداو Teller-Landau لدرجات الحرارة الست الذي يصف العمليات الفيزيائية في الوسط المضخم، واعتُمد أيضاً نموذج دوبريه - بوراك Dupre-Burak [4] باستخدام مفهوم الطاقة لوصف الانتقالات والاسترخاءات في الوسط الماص (مثل SF_6 و CH_3OH).

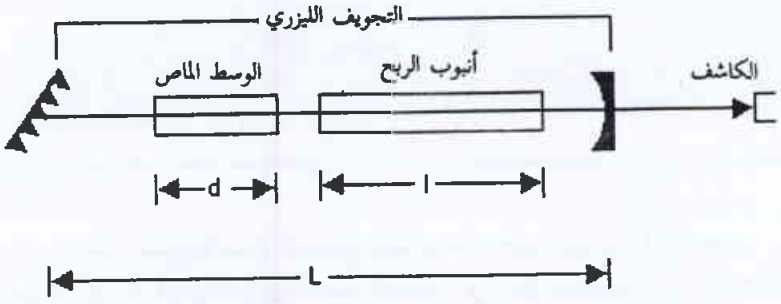
النموذج الرياضي

يُظهر الشكل 1b مخطط السويات الطاقية المختلفة للمزيج الغازي CO_2, N_2, He, CO كوسط مضخم، والسويات الطاقية للغاز SF_6 كماص انتقائي. توصف دينامية الانتقالات بين السويات الطاقية والأنماط الاهتزازية المختلفة لليزر CO_2 في الوسط المضخم بواسطة نموذج درجات الحرارة الست الموضّح بشكل تام في [5,6]. نفترض أنه من أجل الوسط الماص توجد سويتان طاقيتان تجاوبيتان غير متفسخين J_2,J_1 مع كثافتين طاقيتين E_{J_2},E_{J_1}. تكون هاتان السويتان في حالة تجاوب مع نمط الحقل الذي ينتمي إلى العصابتين الاهتزازيتين. وتقترن هاتان السويتان أيضاً مع كل السويات الدورانية الأخرى المتواجدة في ذات العصابات الاهتزازية المحيطة بالسويتين التجاوبيتين مع كثافتي طاقة E_2^*,E_1^*. كما أن تغير كثافتي الطاقة للسويتين التجاوبيتين العائد إلى العمليات غير المترابطة محكوم بمعدّلات الانتقال R_{N_2},R_{N_1}، وبمعدّلات الضخ أو التفكك V_2,V_1 وبالتفكك R_{vib} بين مجموعة السويات الدورانية المحيطة بالسويتين التجاوبيتين (انظر الشكل 1b).

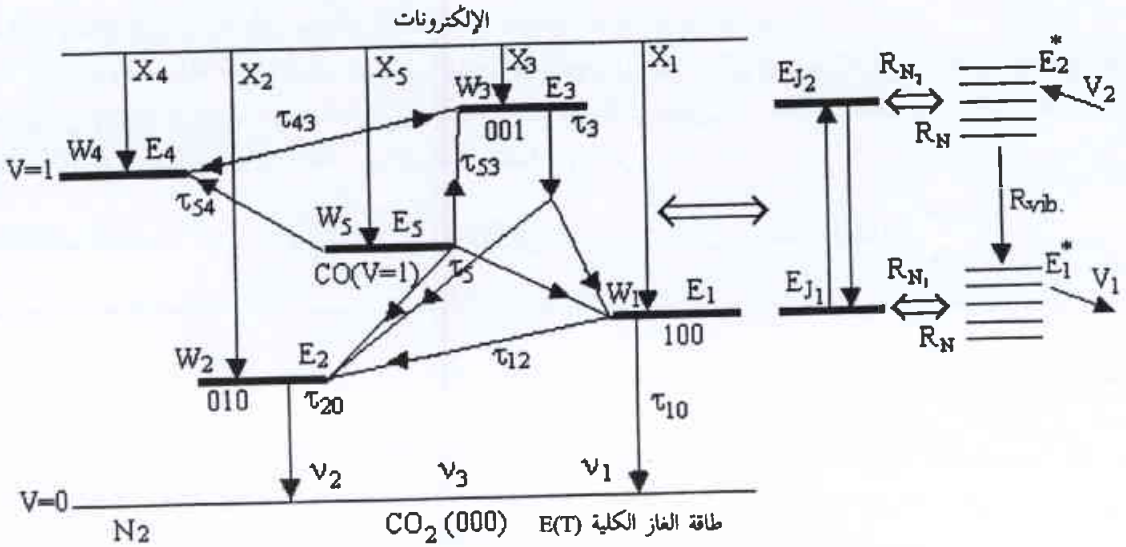
يُعطى التطور الزمني لكثافة الطاقة المختزنة في السويتين الطاقيتين E_{J_2},E_{J_1} بالمعادلتين التاليتين (تكون السويتان التجاوبيتان ومجموعة

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Optics & Laser Technology*, 2000.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل 1a- المخطط التجريبي لدراسة معدّل النبضة السلبي.



الشكل 1b- مخطط الانتقالات بين السويات الطاقية المختلفة في الوسطين المضخم والماص.

السويات الدورانية المقترنة معها في حالة توازن حراري بغياب الإشعاع الليزري $\varphi = 0$ المعين بصورة تقريبية بتابع التوزيع الدوراني نفسه):

$$\frac{dE_{J_1}}{dt} = -A_n\left(\frac{E_{J_1}}{g_1} - m_1\frac{E_{J_2}}{g_2}\right)\frac{c\varphi}{N_{SF_6}} - R_N E_{J_1} + R_{N_1}E_1^* \qquad (1)$$

$$\frac{dE_{J_2}}{dt} = A_n\left(\frac{1}{m_1}\frac{E_{J_1}}{g_1} - \frac{E_{J_2}}{g_2}\right)\frac{c\varphi}{N_{SF_6}} - R_N E_{J_2} + R_{N_1}E_2^* \qquad (2)$$

تصف معادلتا المعدّل السابقتان كلاً من التأثرات المترابطة مع نمط الجوف وعمليات الاسترخاء الدورانية غير المترابطة. يُعطى التطور الزمني لكثافة الطاقة المختزنة في السويات الدورانية E_1^* و E_2^* المقترنة مع السويتين التجاويتين E_{J_1} و E_{J_2} في الحالتين الاهتزازيتين العليا والدنيا بالمعادلتين التاليتين:

$$\frac{dE_1^*}{dt} = R_N E_{J_1} - R_{N_1}E_1^* - V_1(E_1^* - E_1^{*}) + R_{vib}m_1E_2^* \qquad (3)$$

$$\frac{dE_2^*}{dt} = R_N E_{J_2} - R_{N_2}E_2^* - V_2(E_2^* - E_2^{*}) + R_{vib}E_2^* \qquad (4)$$

تُعطى كثافة الطاقة في السويتين التجاويتين والسويات الدورانية الأخرى بالعلاقات التالية [4,5,6]:

$$E_{J_1} = \frac{\beta_1 E_1^* g_1}{Z_v}\exp\left(-\frac{W_6}{kT}\right) = N_{SF_6}W_6N_{J_1}, \qquad E_{J_2} = \frac{\beta_2 E_2^* g_2}{Z_v}\exp\left(-\frac{W_{36}}{kT}\right) = N_{SF_6}W_{36}N_{J_2}$$

$$E_1^* = \frac{N_{SF_6}W_6}{\exp\left(\frac{W_6}{kT}\right)-1} = N_{SF_6}W_6N_1^*, \qquad E_2^* = \frac{N_{SF_6}W_{36}}{\exp\left(\frac{W_{36}}{kT}\right)-1} = N_{SF_6}W_{36}N_2^*$$

$$E_1^* = \frac{N_{SF_6}W_6}{\exp\left(\frac{W_6}{kT_6}\right)-1} = N_{SF_6}W_6N_1^*, \qquad E_2^* = \frac{N_{SF_6}W_{36}}{\exp\left(\frac{W_{36}}{kT_{36}}\right)-1} = N_{SF_6}W_{36}N_2^*$$

تحدد درجات حرارة النمطين الاهتزازيين $(\nu_{36} = \nu_6 + \nu_3\ ,\nu_6)$ في الوسط الماص بالعلاقتين:

$$T_{36} = \frac{W_{36}}{k\ln\left(\frac{\beta_2 E_2^* g_2}{E_{J_2}Z_v}\right)}$$

$$T_6 = \frac{W_6}{k\ln\left(\frac{\beta_1 E_1^* g_1}{E_{J_1}Z_v}\right)} \quad \text{و}$$

حيث $m_1 = W_6/W_{36}$، c سرعة الضوء، φ كثافة عدد الفوتونات، R_N معدّل الاسترخاء الدوراني للوسط الماص، W_6 و W_{36} طاقتا السويتين الدنيا والعليا لجزيئات ماص الإشعاع، E^0_1 و E^0_2 كثافتا الطاقة في حالة التوازن، N_{SF_6} عدد الجزيئات في خلية الامتصاص، Z_v تابع التوزع الاهتزازي، $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ القسم المتفاعل من الجزيئات في الحالة الاهتزازية. تُعطى القيم العددية لوسطاء الوسط الماص بالجدول التالي [3,4]:

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الجدول 1– القيم العددية لوسطاء الوسط الماص.

الوسيط	القيمة العددية	الوسيط	القيمة العددية
A_n	$7.9\ 10^{-13}$ cm^{-1} mole.$^{-1}$	Z_v	3
$R_{N_1}=R_{N_2}$	$7.0\ 10^{2}$ s^{-1}	J	20
$V_1=V_2$	$2.0\ 10^{4}$ s^{-1}	β	1/300
R_{vib}	$2.5\ 10^{4}$ s^{-1}	W_6	363 cm^{-1}
R_N	$2.5\ 10^{6}$ s^{-1}	W_{36}	1328 cm^{-1}

يُعطى التطور الزمني لكثافة الفوتونات بالمعادلة التالية، بأخذ نشر تايلور بعين الاعتبار [4]:

$$\frac{d\varphi}{dt} = [(1-\Gamma)\alpha_m \ell - (1-\Gamma)\alpha_n d - \Gamma]\frac{c}{L}\varphi + SP(J(001)[M_3 + N_{j_2}]\varphi$$

يمكن كتابة المعادلة السابقة بالشكل التالي:

$$\frac{d\varphi}{dt} = [(1-\Gamma)\sigma_{CO_2}\ell(\frac{N_{001}}{g_{22}} - \frac{N_{100}}{g_{11}}) - (1-\Gamma)\sigma_{SF_6} d(\frac{N_{v_{36}}}{g_1} - \frac{N_{v_6}}{g_2})$$
$$- \Gamma]\frac{c}{L}\varphi + SP(J(001)[N_{001}\sigma_{CO_2}\ell + \sigma_{SF_6} d N_{v_{36}}]\varphi \qquad (5)$$

تُعطى شدة واستطاعة نبضة الليزر بعد عملية تعديل النبضة السلبي بالمعادلتين التاليتين:

$$I_v = c\varphi\,(W_{36} - W_6)$$
$$P_{out} = -A.I_v \ln(1-\Gamma)$$

حيث $\alpha_m = A_m(M_3/g_{22} - M_1/g_{11})$, $A_m = 6.2\times10^{-15}$cm^{-1} mol^{-1} معامل التضخيم للوسط المضخم، $\alpha_n = A_n(N_{j_2}/g_2 - N_{j_1}/g_1)$ معامل الامتصاصية للوسط الماص، N_{v_6}, $N_{v_{36}}$, N_{100}, N_{001} كثافتا الإسكان في السويتين الليزريتين العليا والدنيا في الوسطين المضخم والماص على الترتيب، g_{22}, g_{11}, g_2, g_1 الأوزان الإحصائية للسويتين الاهتزازيتين في الوسطين المضخم والماص، N_{j_2}, N_{j_1}, M_1, M_3 إسكان السويتين الليزريتين العليا والدنيا في الوسطين المضخم والماص على الترتيب، $N°_1$, $N°_2$, $N_1{}^*$, $N_2{}^*$ إسكان السويات الدورانية العليا والدنيا المقترنة مع السويتين التجاويتين في حالتي الإثارة والتوازن على الترتيب. A المساحة العاكسة لمرآة خرج التجويف الليزري، $\Gamma = (1-R_{out})$ نفاذية مرآة الخرج، σ_{CO_2}, σ_{SF_6} المقاطع العرضية لامتصاص الفوتونات عند الخط P(20)-10.6 μm المحسوبة من أجل جزيئات CO_2 و SF_6 في السوية الاهتزازية الدنيا، P(26)-9.6 μm في حالة CH_3OH كماص إشباع و $S = (2\lambda^2/\pi A\tau_{sp})(dv/\Delta v)(s^{-1})$ [6,5]. لقد حُسبت القيم المتوسطة للمقاطع العرضية من معامل الامتصاص لجزيئات CO_2 والوسط الماص عند مركز الخط الليزري [8-10].

تُحدّد درجة حرارة الوسط المضخم ($T_V \approx T_R \approx T_{gas}$) كما يلي [10,11]:

$$T_{gas} = 300\,[7.6\,10^6(P_{CO_2} + 0.73P_{N_2} + 0.6P_{He})]^2 / \nu_c^2$$

حيث $\nu_c = \gamma_L \pi c P_{CO_2}(s^{-1})$ (γ_L عرض الخط اللورنتشي و P_{CO_2}, P_{N_2}, P_{He} الضغوط الجزئية للمزيج الغازي

تعطي المعادلتان التاليتان درجة حرارة الوسط الماص [10,9]:

$$T_m = T + \frac{E_a}{2\pi d K_c} Log\,(a/b) \quad : \quad b \le r < a$$

$$T_m = T + \frac{E_a}{\pi d b^2 K_c}[\frac{b^2}{2} Log\,(a/b) - \frac{1}{4}(b^2 - r^2)] \quad : 0 \le r < b$$

حيث أن T هي درجة الحرارة الابتدائية، E_a معدّل الطاقة الممتصة، a و b نصفا قطري الخلية الماصة والحزمة الليزرية على الترتيب. كثافة فوتونات الإشباع في الحالة المستقرة موضّحة في الملحق المرفق في آخر الورقة.

أخيراً، لقد استخدم تقريبان لعملية الضخ هما التابع التجريبي والمعادلة التفاضلية [6]، حيث تعطي العلاقة التالية صيغة التابع التجريبي:

$$N_e(t) = 7.10^{13}[1 - EXP(-t)]EXP(-2t)$$

الحلول العددية لمعادلات المعدّل

يصف نموذج درجات الحرارة الست لمعادلات المعدّل الوسط المضخم (انظر [5,6]) وتصف معادلات المعدّل (1)-(4) الوسط الماص، في حين توصف كثافة الفوتونات بالمعادلة (5). تمثل هذه الجملة من المعادلات المكونة للنموذج المقترح جملة معادلات تفاضلية غير خطية من المرتبة الأولى. أُنجزت الحسابات العددية للنموذج الرياضي باستخدام برنامج مكتوب بلغة "فورتران" على أساس طريقة "رونج – كوتا". أُنجز تكامل المعادلات باستخدام معيار للخطأ قدره $\varepsilon \leqslant 10^{-4}$. يسمح البرنامج بدراسة تأثيرات الماص داخل التجويف على مميزات نمط ليزر CO_2 ذي الانفراغ المستعرض وكذلك دراسة تأثير وسائط دخل الليزر على وسائط نبضة الخرج الليزري. أُنجزت عملية محاكاة الضخ الكهربائي باستخدام تقريبين هما التابع التجريبي والمعادلة التفاضلية [5].

ثوابت معادلات الوسط الماص كافة معطاة في الجدول 1، في حين أُعطيت ثوابت الوسط المضخم في المرجع ([6]، الجدول1). الأبعاد الليزرية المعتمدة للتجويف الليزري والخلية الماصة هي: L = 100 cm, F = 0.7, R_{out} = 0.8, d = 10 cm, A = 0.7 cm^2. لقد تم اختيار القيم الابتدائية لمعادلات المعدّل كما يلي:

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

$$E_i\ (t=0) = W_i N_i \frac{1}{EXP\ (W_i / kT) - 1}$$

$$\varphi\ (t=0) = 10^{-9} \quad (cm^{-3})$$

$$T\ (t=0) = 300\ K$$

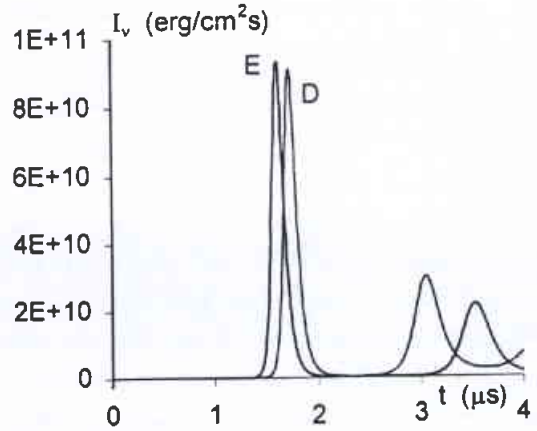
تمّ اعتماد معامل الجزء غير المتفكك من جزيئات ثنائي أكسيد الكربون f=0.2، ونسبة الحقل الكهربائي إلى تركيز الجزيئات E/N=6.54x10^{-16} V cm^2. يقابل هذا شدة قدرها E=16 kV/cm للحقل الكهربائي. كما اعتُمدت سرعة الجرف كتابع للنسبة E/N أو E/P$_{tot}$ في حالة الضغوط العالية [12,6,5]، في حين اعتُمدت سرعة انجراف ثابتة في حالة الضغوط المنخفضة.

مناقشة النتائج

حالة الضغط المنخفض

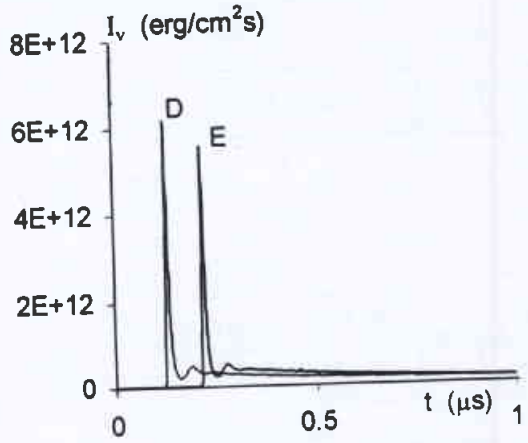
يُظهر الشكلان 2، 3 مقارنة بين شكل نبضة الليزر الأصلية وشكل نبضة الليزر المعدّلة سلبياً بنتيجة تطبيق الضغوط التالية في الوسطين المضخم والماص P_{CO_2}=0.5 Torr, P_{N_2}=0.5 Torr, P_{He}=1 Torr, P$_{tot}$=2 Torr, P_{SF_6}=0.01 Torr في كلتا حالتي الضخ. يُظهر الشكلان 2، 3 والجدول 2 أن عرض النبضة الليزرية المعدّلة سلبياً يكون أصغر بحوالي 20 مرة من عرض نبضة الليزر الأصلية وذلك بالشروط نفسها وفي كلتا حالتي الضخ.

يُظهر الشكل 2 تزايداً حاداً في قمتي الاستطاعة العظمى والشدة، إضافة إلى تناقص حاد في حالة عرض النبضة المعدّلة سلبياً. وتكون قمة الاستطاعة العظمى للنبضة المعدّلة سلبياً أكبر بحوالي 120 مرة بالمقارنة مع حالة النبضة الأساسية، وتزيد الشدة بحوالي 60 مرة عن حالة النبضة الأساسية عند ذات الشروط (في كلتا حالتي الضخ: التابع التجريبي والمعادلة التفاضلية).



الشكل 2– شكل النبضة الأصلية عند ضغط منخفض كلي P$_{tot}$=2 Torr.

يمكن أن تبلغ درجة الحرارة العظمى للسويتين التجاويتين في الوسط الماص 379 K, 1370 K في حالة الضخ باستخدام التابع التجريبي و 379 K, 1344 K في حالة الضخ باستخدام المعادلة التفاضلية. تصل



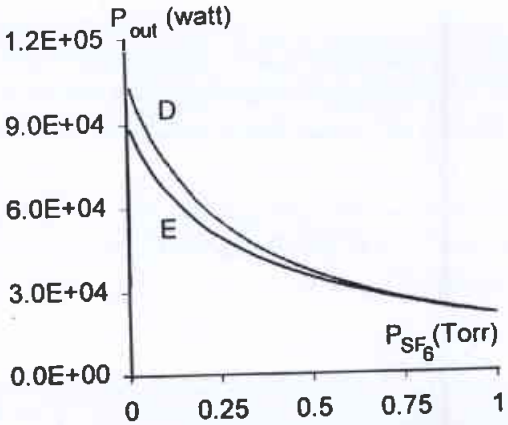
الشكل 3– شكل نبضة التعديل عند ضغط منخفض P$_{tot}$=2 Torr و P_{SF_6}=0.01 Torr.

الجدول 2– وسطاء نبضة الليزر المعدّلة في حالة الضغط المنخفض.

التابع التجريبي (E)	I_v^{max} (erg/cm^{2}s)	P_{out}^{max} (W)	عرض النبضة (ns)
النبضة الأصلية : P_{tot} = 2 Torr	9.38 10^{10}	7.32 10^2	149
النبضة المعدّلة Q : P_{SF_6} = 0.01 Torr	5.65 10^{12}	8.83 10^4	7.7
المعادلة التفاضلية (D)			
النبضة الأصلية : P_{tot} = 2 Torr	9.13 10^{10}	7.13 10^2	147
النبضة المعدّلة Q : P_{SF_6} = 0.01 Torr	6.22 10^{12}	9.71 10^4	6.7

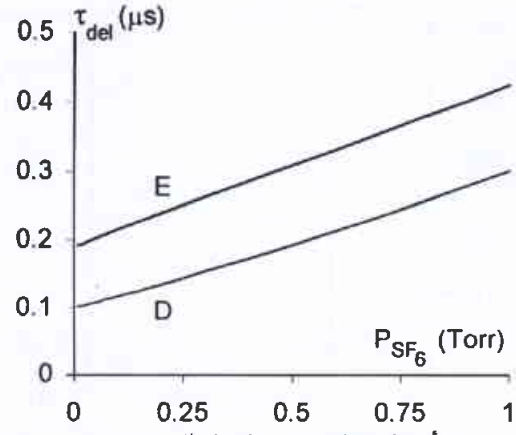
درجة حرارة السويتين التجاويتين إلى درجة التوازن عند استخدام المعادلة التفاضلية لمحاكاة عملية الضخ، في حين لا يكون ذلك صحيحاً في حالة استخدام التابع التجريبي في محاكاة عملية الضخ. قُدّرت درجة حرارة المزيج الغازي للوسط المضخم بحوالي 400 K.

يُظهر الشكلان (5,4) تابعية قمة الاستطاعة العظمى وزمن تأخير النبضة للضغط في الوسط الماص. يُلاحظ من الشكلين السابقين أن تزايد الضغط في الوسط الماص يؤدي إلى تناقص الاستطاعة وتزايد زمن التأخير في كلتا حالتي الضخ. تمّ الحصول على النتائج العددية السابقة عند تواتر وحيد وضغط للماص منخفض جداً. تُظهر هذه النتائج أن التزايد في الضغط يمكن أن يؤدي إلى ضياعات كبيرة، وبالتالي يلزم زمن أكبر لكي يتجاوز الكسب الليزري الضياعات، تؤدي الزيادات في الأزمنة بين



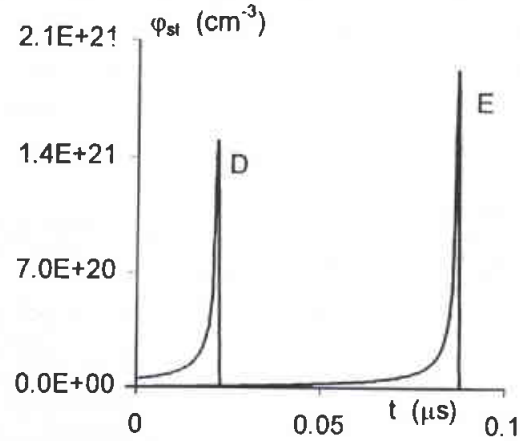
الشكل 4– الاستطاعة العظمى كتابع للضغط في الوسط الماص.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل 5– زمن التأخير كتابع للضغط في الوسط الماص.

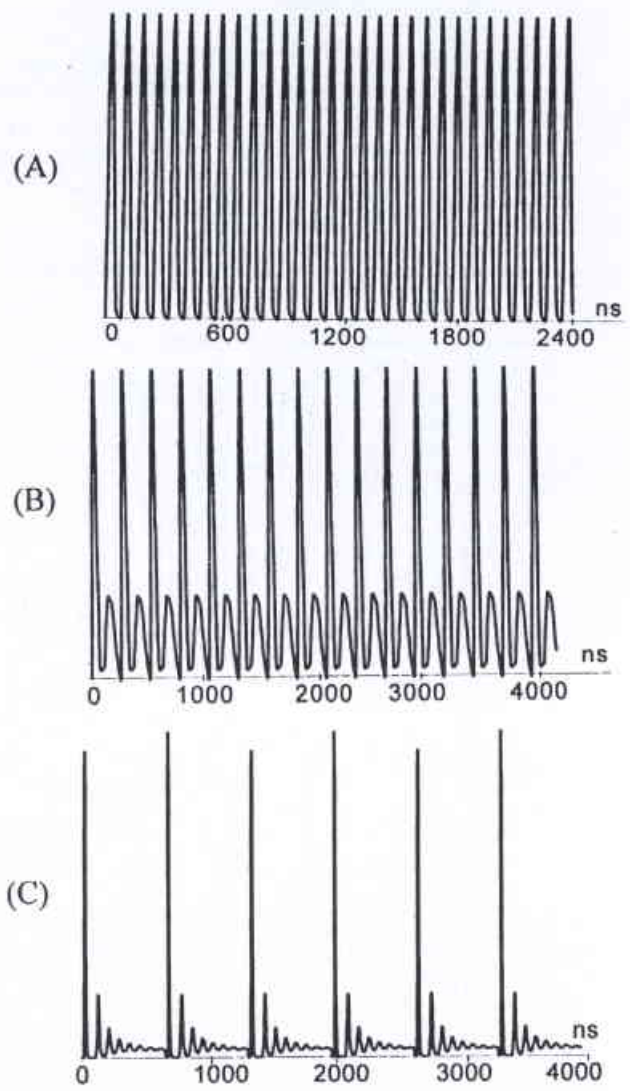
النبضات إلى قيم أعلى في الإسكان المعكوس، وبالتالي إلى قيم أعلى لقمة الاستطاعة العظمى. لذلك تصدر الطاقة المختزنة في النبضة على شكل نبضة ليزرية أقصر. تتناقص قمة الاستطاعة العظمى والدور بين النبضات في حالة الضياعات الأعلى مع زيادة الضغط المطبّق (انظر الشكلين (5,4)). يُعزى الإخماد النهائي للفعل الليزري إلى وجود ضياعات كبيرة جداً تتجاوز الكسب. تتوافق هذه النتائج مع التحليل التجريبي [10,11]. نورد في الشكل 6 تابعية كثافة فوتونات الإشباع للزمن في حالة الاستقرار. تبلغ الكثافة العظمى لفوتونات الإشباع $\varphi_{st}=1.92x10^{21}cm^{-3}$



الشكل 6– تابعية كثافة فوتونات الإشباع للزمن في حالة الضغط المنخفض.

في حالة التابع التجريبي و $\varphi_{st}=1.49x10^{21}\ cm^{-3}$ في حالة المعادلة التفاضلية من أجل الضغوط التالية: $P_{tot}=2$ Torr, $P_{SF_6}=0.01$ Torr. تبقى هذه الكثافات على الأغلب ثابتة من أجل قيم مختلفة للضغط في الوسط الماص ضمن مجال واسع للضغط (0.001-0.1 Torr). تمّ حساب أنظمة إصدار مختلفة لليزر CO_2 المعدّل من أجل ضغوط مختلفة للوسط الماص الانتقائي CH_3OH. يبيّن الشكل 7a أن الخرج الليزري المعدّل يتألف من نبضات منتظمة غير متخامدة ($P_{CH_3OH}=0.2$ Torr) وهذا يتوافق مع النتائج التجريبية المبيّنة في الشكل 8a، (انظر المرجع [8]).

النتائج المحسوبة



الشكل 7– الانتقال من الإصدار المنتظم إلى الإصدار العشوائي المحسوب عند الخط P(26)-9.6 μm وعند الضغط (C) 0.8 Torr (B), 0.4 Torr (A), $P_{CH_3OH}=0.2$ Torr.

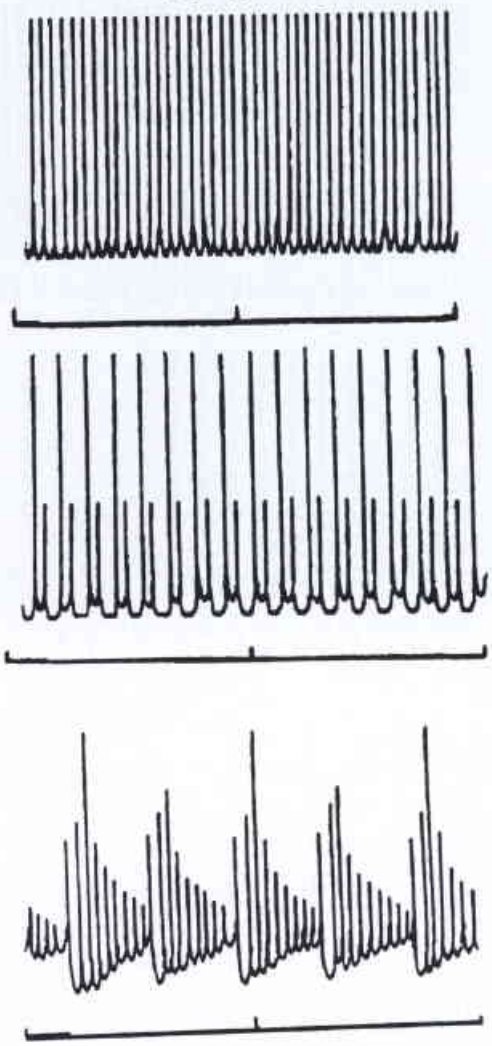
يمكن أيضاً نمذجة أنظمة إصدار مختلفة لليزر CO_2 المعدّل من أجل ضغوط مختلفة في الوسط الماص ($P_{CH_3OH}=0.2$-0.8 Torr) كما هو مبيّن في الشكلين 7b و 7c. تتوافق نتائج الحسابات العددية للنموذج الرياضي المقترح بشكل جيد مع النتائج التجريبية المبيّنة في الشكلين 8b و8c، (انظر المرجع [8]).

حالة الضغط المرتفع

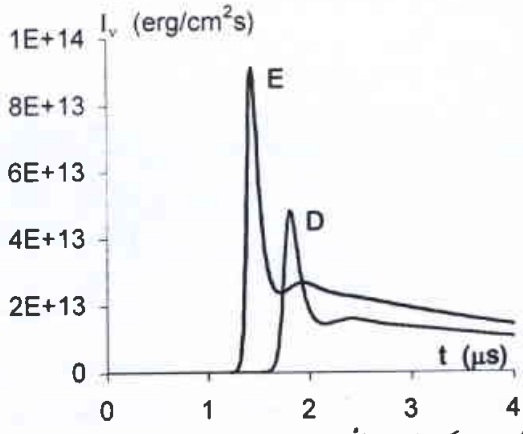
يُظهر الشكلان 9 و 10 مقارنة بين شكل نبضة الليزر الأصلية وشكل نبضة الليزر المعدّلة سلبياً بنتيجة تطبيق الضغوط التالية في الوسطين المضخم والماص: $P_{CO_2}=76$ Torr, $P_{N_2}=76$ Torr, $P_{He}=608$ Torr, في كلتا حالتي الضخ. يُظهر $P_{tot}=760$ Torr, $P_{SF_6}=650$ Torr الشكلان 9، 10 والجدول 3 أن عرض النبضة الليزرية المعدّلة سلبياً يكون أصغر بحوالي 1000-1200 مرة من عرض نبضة الليزر الأصلية، وذلك

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

النتائج التجريبية

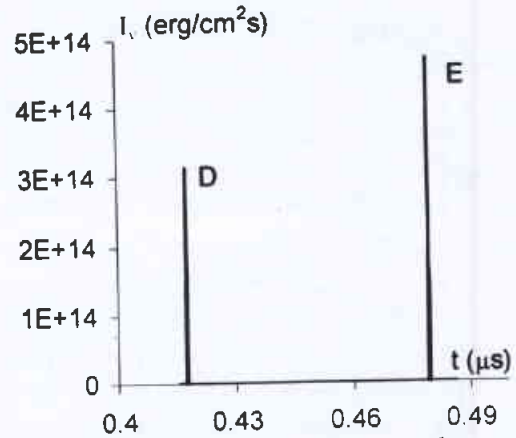


الشكل 8- الانتقال من الإصدار المنتظم إلى الإصدار العشوائي المقيس عند الخط P(26)-9.6 μm وعند الضغط P_{CH_3OH} = 0.2 Torr (A), 0.4 Torr (B), 0.8 Torr (C).



الشكل 9- شكل النبضة الأصلية في حالة الضغط العالي P_{tot} = 760 Torr.

بالشروط نفسها وفي كلتا حالتي الضخ: التابع التجريبي والمعادلة التفاضلية.



الشكل 10- شكل نبضة التعديل في حالة الضغط العالي P_{tot} = 760 Torr و P_{SF_6} = 650 Torr.

الجدول 3- وسطاء نبضة الليزر المعدّلة في حالة الضغط العالي.

التابع التجريبي (E)	I_v^{max} (erg/cm²s)	P_{tot}^{max} (W)	عرض النبضة (ns)
النبضة الأصلية : P_{tot} = 760 Torr	9.14 10^{13}	7.13 10^5	151
Q النبضة المعدّلة : P_{SF_6} = 650 Torr	4.71 10^{14}	7.36 10^6	0.15
(D) المعادلة التفاضلية tion (D)			
النبضة الأصلية : P_{tot} = 760 Torr	4.83 10^{13}	3.77 10^5	207
Q النبضة المعدّلة: P_{SF_6} = 650 Torr	3.17 10^{14}	4.95 10^6	0.17

يبين الشكل 3 تزايداً حاداً في قمة الاستطاعة العظمى والشدة وتناقصاً حاداً بعرض النبضة في حالة النبضة المعدّلة سلبياً. تكون قيمة الاستطاعة العظمى للنبضة المعدلة أكبر بحوالي 10-13 مرة من قيمة الاستطاعة العظمى للنبضة الأصلية، وتكون قيمة الشدة أكبر بحوالي 5-6 مرات من القيمة العظمى للشدة الأساسية عند ذات الشروط (باستخدام كلتا حالتي الضخ: التابع التجريبي والمعادلة التفاضلية).

تبلغ درجة الحرارة في مركز الحزمة الليزرية 510 K تقريباً من أجل a = 2 cm, b = 0.1 cm و E_a = 1 Watt [10,9]. تُعطى درجة الحرارة العظمى للسويتين التجاوبيتين الدنيا والعليا في الجدول التالي:

الجدول 4- درجات الحرارة العظمى للسويتين التجاوبيتين الدنيا والعليا.

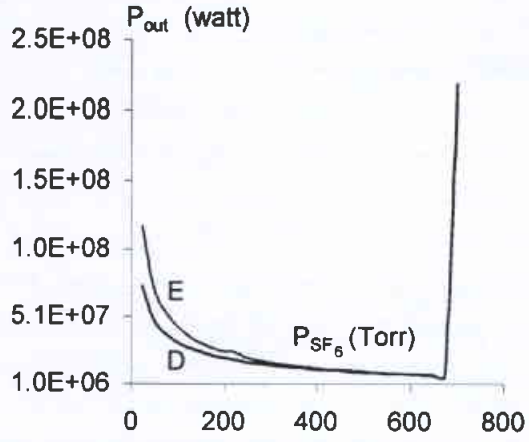
	T_6^{max} (K)	T_{16}^{max} (K)	I_v^{max} (erg/cm²s)	P_{tot}^{max} (W)
التابع التجريبي (E) P_{SF_6}=725 Torr	370	957	3.36 10^{19}	5.25 10^{11}
المعادلة التفاضلية (D) P_{SF_6}=725 Torr	370	963	3.10 10^{19}	4.85 10^{11}

تصل درجات الحرارة العظمى للسويتين التجاوبيتين الدنيا والعليا لماص الإشباع درجة حالة التوازن في حال استخدام كلتا حالتي الضخ.

يبيّن الشكل 11 أيضاً التناقص في قيمة الاستطاعة العظمى لنبضة الخرج عندما يتزايد الضغط وتتزايد الاستطاعة بصورة مفاجئة عند قيمة للضغط مساوية 700 Torr تقريباً في الوسط الماص وفي كلتا حالتي الضخ. يحدث هذا التزايد بتأثير ظاهرة الإثارة الحرارية، وذلك لأن معامل

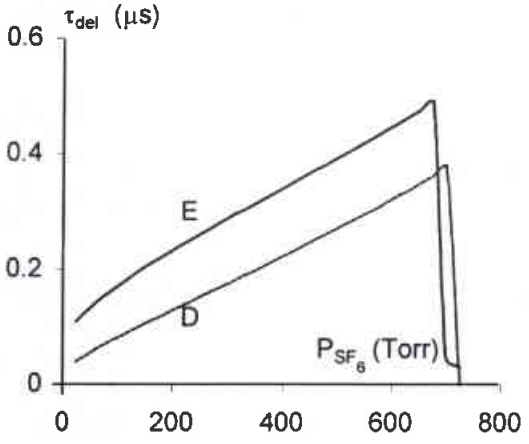
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

امتصاص جزيئات الغاز للوسط الماص يتعلق بـ: درجة الحرارة، الضغط، المزيج الغازي والانتقالات الإشعاعية وغير الإشعاعية ....إلخ [10].

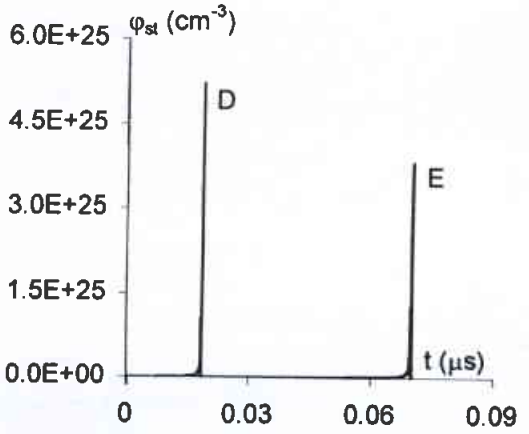


الشكل 11– تابعية الاستطاعة العظمى للضغط في الوسط الماص.

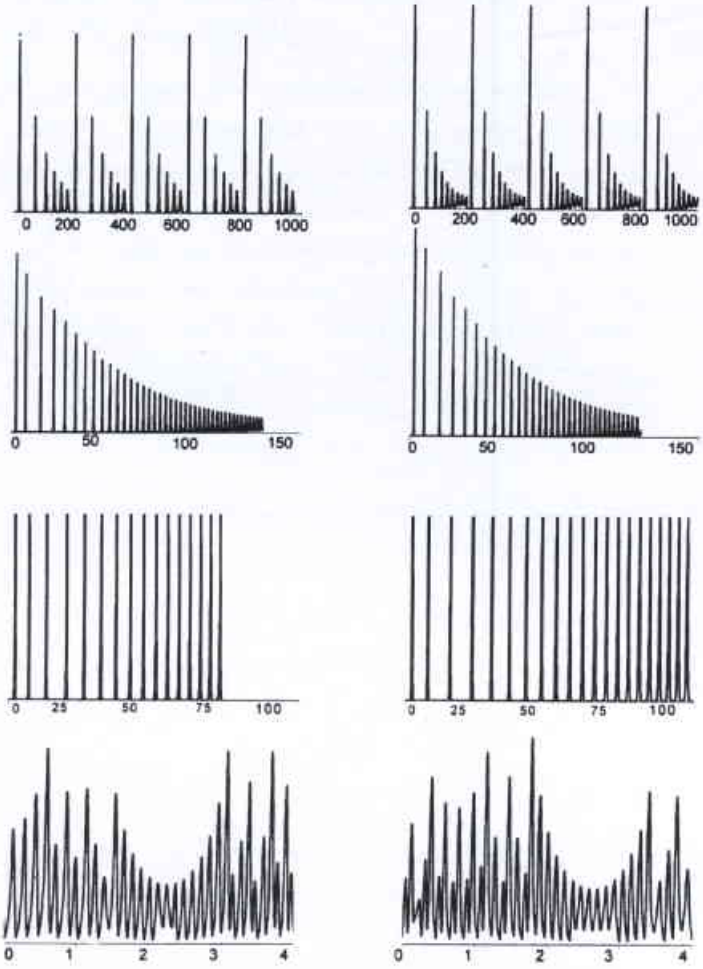
عندما يُشعَّع الغاز الماص بحزمة ليزرية تضخ الجزيئات الموجودة في سويات دورانية محدّدة من السوية الأساسية إلى السويات الدورانية المقابلة في الحالة الاهتزازية المثارة، يسترخي الجزيء الموجود في إحدى الحالات



الشكل 12– تابعية زمن التأخير للضغط في الوسط الماص.



الشكل 13– تابعية كثافة فوتونات الإشباع للزمن في حالة الضغط العالي.



الشكل 14– شكل نبضات التعديل السلبي كتابع للزمن (ns) عند ضغوط مختلفة وبأنظمة إصدار مختلفة للوسط الماص (10,300,500,725 Torr).

المثارة الأعلى إلى الحالة الأساسية بإصدار الإشعاع المحثوث أو التلقائي، أو بالتصادم يتم انتقال الطاقة إلى سوية أخرى (أثر التسخين). وعندما يبدأ حدوث ظاهرة الإثارة يؤدي التناقص في الضغط إلى تناقص مفاجيء في كثافة الفوتونات، في حين تصبح هذه الكثافة ثابتة في حالة غياب أثر الإثارة. يُظهر الشكل 12 أن تناقص ضغط الماص يؤدي إلى تناقص زمن تأخير نبضة الخرج. ويتناقص زمن التأخير بشكل حاد عندما يبلغ ضغط ماص الإشباع Torr 700-760 تقريباً. وتختفي بشكل سريع النبضة الليزرية المعدّلة بتزايد الضغط في الوسط الماص. عموماً، يحدث هذا التناقص في زمن تأخير نبضة الخرج، والتزايد في الشدة (الشدة العالية) والعرض الصغير جداً للنبضة بتأثير ظاهرة الإثارة الحرارية [10,12].

يبيّن الشكل 13 كثافة فوتونات الإشباع في الحالة المستقرة كتابع للزمن. في حالة الضغط العالي، تبلغ الكثافة العظمى لفوتونات الإشباع $\varphi_{st} = 5.22x10^{25}\ cm^{-3}$ و $\varphi_{st} = 3.8x10^{25}\ cm^{-3}$ من أجل التابع التجريبي

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

من أجل المعادلة التفاضلية عند ضغط $P_{SF_6} = 650$ Torr, $P_{tot} = 760$ Torr. تبقى القيم السابقة ثابتة من أجل قيم مختلفة للضغط في الوسط الماص، وذلك حتى يبدأ الفعل العشوائي عند قيم للضغط (690-710 Torr) في كلتا حالتي الضخ (انظر الشكل 14).

يظهر من الشكل 14 أنه بتغير ضغط الماص من 10 Torr إلى 725 Torr يمكن تشغيل الليزر بأنظمة مختلفة (نبضة عملاقة، نبضة منتظمة، ونبضة عشوائية ....). وهذا يعطي توافقاً جيداً مع المعطيات التجريبية والحسابات النظرية [15,14,11,8]. يظهر الشكلان الأخيران فجوات محترقة مجهولة للشدة الليزرية المعدّلة في حالة الضغط العالي. لقد وجد أنه يمكن توسيع ظاهرة عملية التعديل السلبي للحصول على شدات أعلى بزيادة ضغط مادة التعديل بالمعدّل نفسه. وعموماً، لا يكون تأثير الظاهرة الحرارية ملموساً في عملية التعديل السلبي عند الشدّات المنخفضة، في حين يكون تأثيرها كبيراً على عملية التعديل عند الشدّات العالية. نذكر أخيراً أن النتائج العددية للنموذج المستخدم تعطي توافقاً جيداً مع المعطيات التجريبية [11].

خاتمة

لقد طُوِّر في هذا العمل نموذج رياضي بحيث يتنبأ بأنظمة الإصدار المختلفة لنبضة التعديل السلبي لليزر CO_2 مع ماص إشباع. يتألف النموذج المقترح من نموذجين رياضيين: نموذج درجات الحرارة الست الذي يصف الوسط المضخم CO_2, N_2, He, CO، [6, 5] ونموذج السويات الطاقية الأربع المقترنة الذي يصف الوسط الماص. (المعادلات 1-4) يسمح النموذج المقترح بدراسة تأثيرات الماص داخل التجويف (SF_6 أو CH_3OH كماص إشباع انتقائي) وسطاء الدخل على نبضة الخرج الليزري المعدّلة. لقد أُنجزت محاكاة عملية الضخ الكهربائي باستخدام تقريبين: التابع التجريبي والمعادلة التفاضلية. يعطي النموذج المقترح توافقاً جيداً مع المعطيات التجريبية [11,8] في كلتا حالتي الضغط العالي والمنخفض. يمكن تطبيق النموذج المقترح على أي خط إصدار لليزر CO_2 مع وسط ماص ملائم.

الملحق

تصبح المعادلة (5) باستخدام مفهوم الطاقة، وبفرض أن تفسخ السويات المختلفة $2j+1$ للوسطين المضخم والماص متساوية (أي أن $g_{11} = g_{22} = g_1 = g_2 = 1$) على الشكل التالي:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \{(1-\Gamma)\frac{A_m \ell}{N_{CO_2} W_3}(E_3 - m_2 E_1) - (1-\Gamma)\frac{A_n d}{N_{SF_6} W_6}(E_{J_1} - m_1 E_{J_2})$$
$$- \Gamma\}\frac{c}{L}\varphi + S_m \frac{1}{N_{CO_2} W_3} E_3 + S_n \frac{1}{N_{SF_6} W_{36}} E_{J_2} \qquad (I)$$

حيث $m_2 = W_3/W_1$ (W_1, W_3) طاقتا السويتين الليزريتين العليا والدنيا للوسط المضخم) ويمثل الحدان الأخيران الإصدار التلقائي في الوسطين المضخم والماص [8,4,3]. E_3, E_1 كثافتا الطاقة للسويتين الليزريتين العليا والدنيا في الوسط المضخم ($E_i = N_{CO_2} W_i M_i$, $i = 1,2..,5$) [6,5] وS_m, S_n معاملات الإصدار التلقائي للوسطين المضخم والماص.

لنعتبر أن المشتقات في المعادلات (1)-(4) مساوية للصفر، $R_{vib} = 0$, $g_2 = g_1 = 1$ و $R_{N_1} = R_{N_2}$. وبأخذ تابع التوزع نفسه لكلتا السويتين التجاويفيتين ($\xi(-1) = R_N/R_{N_1}$) وبحل المعادلات الناتجة نجد أن [3]:

$$(E_{J_2} - m_1 E_{J_1})_{st} = \frac{R_{N_1} N_{SF_6} V_1}{R_N N_{SF_6} V_1 + 2A_n c \varphi_{st}(R_{N_1} + V_1)}(E_1^\circ - m_1 E_2^\circ) \qquad (II)$$

بتطبيق الشروط السابقة نفسها على المعادلات الخاصة بالوسط المضخم (أي $dE_i/dt = 0$, $i = 1,2,3$ في المعادلات (1)-(3) في [6,5]) يمكن أن نجد:

$$E_3 = \tau_3(T, T_1, T_2)[A_{31} + A_{32} - A_{33}\varphi_{st} + A_{34} + A_{35}] \qquad (III)$$

حيث:

$$A_{31} = N_e(t) N_{CO_2} W_3 f X_3(T) \quad , \quad A_{32} = \frac{E_4 - E_4(T_3)}{\tau_{43}(T)} \quad , \quad A_{33} = c\nu W_3 \Delta NW$$

$$A_{34} = (\frac{W_3}{W_5})\frac{E_5 - E_5(T, T_3)}{\tau_{53}(T, T_3)} \quad , \quad A_{35} = \frac{E_3(T, T_1, T_2)}{\tau_3(T, T_1, T_2)}$$

$$E_1 = \tau_{12}(T_2)[A_{21} - A_{22} + A_{23} + A_{24} - A_{25} + A_{26}] \qquad (IV)$$

$$A_{21} = N_e(t) N_{CO_2} f W_2 X_2(T), \; A_{22} = \frac{E_2 - E_2(T)}{\tau_{20}(T)}, \; A_{23} = (\frac{W_2}{W_5})\frac{E_5 - E_5(T, T_1, T_2)}{\tau_5(T, T_1, T_2)}$$

$$A_{24} = \frac{E_1(T_2)}{\tau_{12}(T_2)}, \; A_{25} = \frac{W_2}{W_3}\frac{E_3(T, T_1, T_2)}{\tau_3(T, T_1, T_2)}, \; A_{26} = \frac{W_2}{W_3}(A_{31} + A_{32} - A_{33}\varphi_{st} + A_{34} + A_{35})$$

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

بتعويض المعادلات (II), (III) و (IV) في المعادلة (I) وباعتبار أن $d\varphi/dt=0$ نجد أن:

$$\varphi_{st} = \varphi_0 = 0$$

$$B_1\varphi_{st}^2 + B_2\varphi_{st} + B_3 = 0 \qquad (V)$$

حيث:

$$B_1 = 2c(1-\Gamma)A_m lA_n(R_{N_1}+V_1)\frac{A_{33}}{W_3 N_{CO_2}}[\frac{W_2}{W_1}\tau_{12}(T_2) - \tau_3(T,T_1,T_2)]$$

$$B_2 = (1-\Gamma)\frac{A_m \ell A_{33}}{W_3 N_{CO_2}}(\frac{W_2}{W_1}(\tau_{12}(T_2) - \tau_3(T,T_1,T_2))R_N N_{SF_6} V_1$$

$$+ 2(1-\Gamma)A_n c(R_{N_1}+V_1)\{\frac{A_m \ell \tau_3(T,T_1,T_2)}{W_3 N_{CO_2}}(A_{31}+A_{32}+A_{34}+A_{35})$$

$$- \frac{A_m \ell \tau_{12}(T_2)}{W_1 N_{CO_2}}[A_{21} - A_{22} + A_{23} + A_{24} - A_{25}$$

$$+ \frac{W_2}{W_3}(A_{31}+A_{32}+A_{34}+A_{35})]\} - 2\Gamma A_n c(R_{N_1}+V_1)$$

$$B_3 = (1-\Gamma)R_N R_{N_1} V_1\{\frac{A_m \ell \tau_3(T,T_1,T_2)}{W_3 N_{CO_2}}(A_{31}+A_{32}+A_{34}+A_{35}) - \frac{A_m \ell}{W_1 N_{CO_2}}\tau_{12}(T_2)$$

$$[A_{21} - A_{22} + A_{23} + A_{24} - A_{25} + \frac{W_2}{W_3}(A_{31}+A_{32}+A_{34}+A_{35})]\}$$

$$-(1-\Gamma)\frac{A_n d}{W_6}R_{N_1}V_1(E_1^* - \frac{W_6}{W_{36}}E_2^*) - \Gamma R_N R_{N_1} V_1$$

بحل المعادلة (V) نجد أن كثافة فوتونات الإشباع في حالة الاستقرار تُعطى كما يلي:

$$\varphi_{st,1,2} = \frac{-B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4B_1B_3}}{2B_1}$$

REFERENCES المراجع

[1] Hofelich-Abate E, and Hofelich F. Time behavior of a laser with a saturable absorber as ϱ- switch. Journal of Applied Physics 1968; 39(10):4823-4827.

[2] Szabo A, Stein RA. Theory of laser giant pulsing by a saturable absorber. Journal of Applied Physics 1965;36(5):1562-1566.

[3] Arimondo E, Casagrande F, and Lugiato P, Glorieux LA. Repetitive passive ϱ- Switching and bistability in laser with saturable absorbers. applied physics B 1983;30:57-77.

[4] Dupré J, Mayer C, Meyer F. Influence des phénoménes de relaxation sur la forme des impulsion fournies par un laser CO_2 déclenché par un absorbent saturable. Revue de Physique Appliquee 1975;10:285-293.

[5] Smith K, and Thomson RM. Computer Modeling of gas laser. New York: Plenum Press, 1978.

[6] Soukieh M, Abdul Ghani B, and Hammadi M. Mathematical modeling of CO_2 TEA laser. Optics & Laser Technology 1998;30:451-457.

[7] Arimondo E, Glorieux P, and Takeshi Oka. Radiofrequency spectroscopy inside a laser cavity 'pure' nuclear quadropole resonance of gaseous CH_3I. Physical Review A 1978;17(4):1375-1391.

[8] Gaiko O.L., Kotomseva LA, Nevedakh V.V., Orlov L.N., Samson A.M. Dynamics of operation of a CO_2 laser with methanol and ethanol vapours as interactive saturable absorbers. Quantum Electronics 1994;24(7):603-607.

[9] Burak I, Steinfeld JI, and Sutton DG. Infrared saturation in sulfur hexafluoride. J Quant Spectrosc Transfer 1968;9:959-980.

[10] Yoram J.Kaufman. Passive ϱ- switching at high intensities and high absorber pressures. Optical Society of America 1967;15(6):1530-1534.

[11] Adam D. Devir and Uri P.Oppenheim. Passive ϱ-switching of a CO_2 laser by CH_3F: an analysis. Optical Society of America 1977;16(10):2757-2763.

[12] Langsam Y, Lee SM and Ronn AM. Vibrational energy transfer in CH_3I. Chemical Physics 1976;14:375-383.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

[13] KIeiman H, Marcus S. CO_2 Laser pulse shaping with saturable absorbers. Journal of Applied Physics 1973;44(4):1646-1648.

[14] Roger A.Dougal, Randy Jones C., Gundersen M., and Nelson L.Y. Longitudinal-mode control of a CO_2 TE laser by means of intracavity absorbers. Applied Optics 1979;18(9):1311-1313.

[15] Ciofini M, and Meucie R. Determination of the effective number of rotational levels affecting the dynamics of CO_2 lasers. IEEE Quantum Electronics 1995;31(5):886-893.■

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

إعادة تنقية وتحديد خواص مزيج الاستخلاص (Isobutyl acetate - Methyl isobutyl ketone) المستخدم في طرائق تحليل قياس الضوء الطيفي (التحليل اللوني)*

د. رفعت المرعي – محمد الحاميش
قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص. ب 6091– دمشق – سورية

ملخص

استُخدمت عملية التقطير المجزأ لإعادة تنقية المزيج (isobutyl acetate - methyl isobutyl ketone) المستخدم في المختبرات التحليلية. طُردت المواد اللا عضوية من المزيج المستخدم بغسله بمحلول 0.5 M Na_2CO_3. كان ناتج عملية التقطير المجزأ في المجال 111-114°C مزيجاً أيزوتروبياً مؤلفاً من 70% خلات الأيزوبوتيل، 20% ميثيل أيزوبوتيل كيتون (MIBK)، و 10% أيزوبوتانول. أظهر التحليل بالكروماتوغرافيا الغازية أن أيزوبوتانول ازداد حوالي 10% على حساب خلات الأيزوبوتيل. وتقترح هذه الدراسة إمكانية تعيين نسبة MIBK في المزيج العضوي بطريقة لونية. كما وجد أن الوظيفة التحليلية للمزيج المنقى أفضل مما هي في المزيج غير المستخدم. وأخيراً، بلغت نسبة الاسترداد بعملية التقطير المستخدمة 93%.

الكلمات المفتاحية: إعادة تنقية، تقطير مجزأ، زمن الاسترخاء، أيزوبوتانول، خلات الأيزوبوتيل، ميثيل أيزوبوتيل كيتون، مزيج الاستخلاص، معالجة أولية

مقدمة

تستخدم المذيبات العضوية في الكيمياء التحليلية في: عمليات الفصل، إغناء التركيز، النقل إلى وسط مختلف والاستخلاص، كوسيلة لتعيين تحليلي [1-2]. عادة يكون مصير الكميات المستخدمة من المذيبات العضوية في المخابر التحليلية إما سكبها في مصارف المياه مسببة أثراً خطيراً على البيئة، ولاسيما على دورة المياه [3] أو تُسترد لتستخدم مرة أخرى. تعتمد عمليات الاسترداد على فصل المواد اللاعضوية إما بالغسل بمحلول قلوي، أو بواسطة التبادل الأيوني ومن ثم إعادة عملية التنقية، ويمكن أن تُنجز عملية التنقية إما بالتقطير المجزأ [4-5]، أو بالتبلور أو بالطرائق الكروماتوغرافية [6-7].

يستخدم ميثيل أيزوبوتيل كيتون وخلات الأيزوبوتيل لأغراض تحليلية بشكل واسع في المخابر التحليلية [8-18]. كما تستخدم مزائج من المذيبات العضوية بغية تحسين انتقائية الاستخلاص [19-20].

كانت الغاية من هذا العمل هي إعادة تنقية وتحديد خواص المزيج (IBA-MIBK) المستخدم في مختبراتنا التحليلية. وقد تحققت غاية العمل من خلال المعالجة الأولية بمحلول كربونات الصوديوم، ثم قُطر بتقنية التقطير المجزأ تحت الضغط الجوي، وبعد ذلك استُخدمت تقنيات FTIR & UV-Vis HPLC & GC لتعيين مكونات ونقاوة المزيج العضوي المنقى.

العمل التجريبي

مصدر المزيج IBA-MIBK المستخدم

استخدم مزيج من (80 IBA-20 MIBK) في التعيين اللوني للفسفور في التربة والعينات الجيولوجية.

المعالجات الأولية والتقطير المجزأ

قُطرت، في البداية مواد نقية من ميثيل أيزوبوتيل كيتون وخلات الأيزوبوتيل ومزيج منهما (الخواص الفيزيائية في الجدول 1). كانت درجات حرارة التقطير هي 115-116°C & 115°C-116°C على التوالي. قُطر المزيج العضوي المستخدم تقطيراً مجزأً بدون معالجة أولية، أو بعد المعالجة إما بـ 0.5 M Na_2CO_3، أو بعد تمريره من خلال عمود مبادل أنيوني (عمود 2 × 25 cm يحتوي المبادل Dowex 1x4 ذو الشكل Cl^- والمغسول بالايتانول).

يُظهر المخطط البياني لتقطير المزيج العضوي المستخدم (الشكل 1) أن التغيرات بدرجة الحرارة في المجال 103-111°C كانت صغيرة جداً (0.8, 0.4, 0.2°C/min)، ثم تُثبّت عند 111°C لمدة 20min ثم تزداد بشكل بطيء وبمعدّل 0.2°C/min في المجال 111-114°C. قُسّمت السوائل المقطّرة إلى ثلاثة أجزاء؛ الجزء الأول في المجال 85-111°C الذي جُفّف بكلور الكالسيوم وقُطّر ثانية، الجزء الثاني عند الدرجة 111°C، والجزء الثالث في المجال 111-114°C، حيث أظهر التحليل بـ GC أن الجزء الثاني والجزء الثالث متشابهان مع بعضهما؛ أي أن التقطير بعد الدرجة 111°C تقطير ايزوتروبي. كما طبقت التقنيات FTIR & UV-Vis. & HPLC & GC لدراسة نواتج تقطير المزائج المستخدمة وغير المستخدمة.

النتائج والمناقشة

مكونات المزيج المقطّر

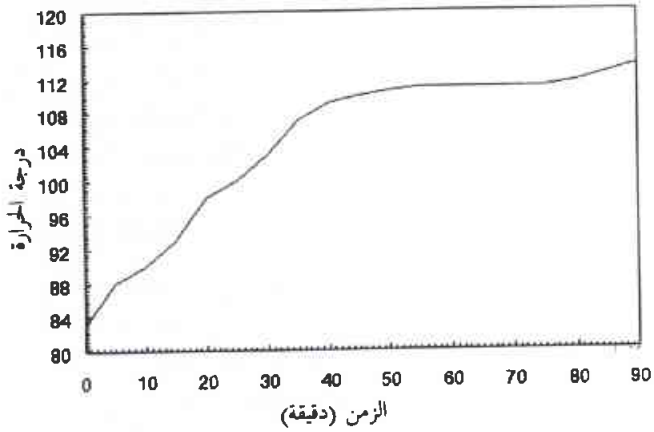
وجد في نواتج تقطير المزيج المستخدم أن النسبة المئوية لأيزوبوتانول قد ازدادت نتيجة حلمهة خلات الأيزوبوتيل أثناء عملية الاستخلاص

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Solvent Extraction Research and Development*, Japan, Vol. 7, Spring, 2000.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الجدول 1- الخواص الفيزيائية لميثيل أيزوبوتيل كيتون وخلات الأيزوبوتيل.

الخواص	ميثيل ايزوبوتيل كيتون (MIBK)	خلات الايزوبوتيل (IBA)
الصيغة	$CH_3COCH_2CH(CH_3)_2$	$CH_3COOCH_2CH(CH_3)_2$
الوزن الجزيئي	100.16	116.2
اللون (مقياس Pt-Co)	10	10
الوزن النوعي عند 20°C (kg/L)	0.80	0.87
الانحلالية عند 20°C (Wt %)		
في الماء	2.0	0.7
الماء في	1.0	1.6
معدل التبخر (n-خلات البوتيل=1)	1.6	1.4
قرينة الانكسار 20°C	1.3958	1.3997
ضغط البخار عند 20°C (mm Hg)	15	12.5
مجال الغليان عند 760 mm Hg (20°C)	114-117	112-119
نقطة التجمد °C	-84	-99



الشكل 1- منحني درجة حرارة التقطير مع الزمن.

بالمذيب [21]، والذي أدى مع وجود الماء إلى تشكيل مزائج أيزوتروبية [22]. حيث أظهرت نتائج التحليل بـ GC أن المزيج الأيزوتروبي مؤلف من 70% خلات الأيزوبوتيل و 20% ميثيل أيزوبوتيل كيتون و 10% أيزوبوتانول.

تأثير المعالجة الأولية على التقطير

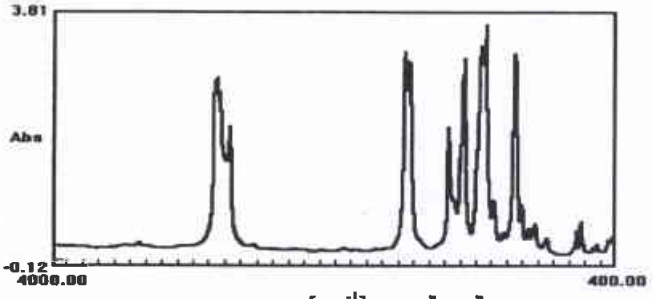
تَبقّى ناتج أسود لزج نتيجة تقطير المزيج المستخدم بدون معالجة أولية، والذي يمكن أن يكون بسبب تفاعلات تكسير المواد العضوية نتيجة وجود المواد اللاعضوية(فسفومولبيدات الأمونيوم) التي تعمل كحفّاز في الكثير من تفاعلات تكسير المواد العضوية. ولكن لم يُلاحظ مثل هذا الناتج عند التقطير بعد المعالجة الأولية إما بكربونات الصوديوم أو بالمبادل الأيوني مما يؤكد ضرورة المعالجة الأولية.

تحديد خواص نواتج التقطير

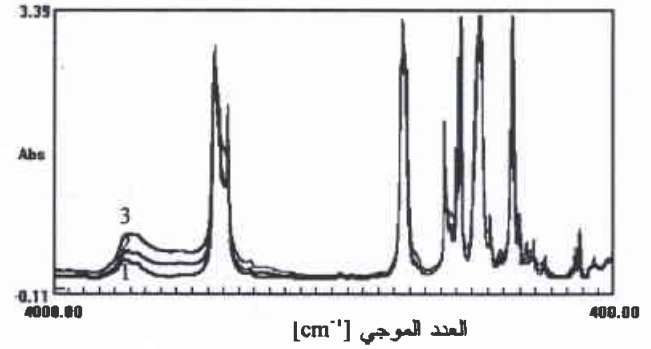
حُلّلت نواتج تقطير المجالين (111-114°C & 85-111°C) للمزيج المستخدم والمزيج غير المستخدم بتقانات FTIR & UV-Vis. & HPLC & GC.

أظهرت أطياف FTIR أن القمة العائدة إلى الزمرة O-H في ناتج تقطير المزيج المستخدم كانت أكبر من تلك العائدة إلى المزيج غير المستخدم، مما يشير إلى أن النسبة المئوية لمذيب حامل للزمرة O-H قد ازدادت نتيجة عملية الاستخلاص بالمذيب، وأن المعالجة القلوية مفضّلة على المعالجة بالمبادل الأيوني (الشكلان 2 & 3) وأما أطياف UV-Vis. للناتج عن تقطير المزيج المستخدم المعالج (111-114°C) بالنسبة لشاهد من (80 IBA-20 MIBK) فقد أظهرت قمة سالبة عند 318 nm، فيما ظهرت القمة نفسها في الناتج للمزيج غير المعالج مع تشويش في المنطقة 200-300 nm (الشكل 4)، والذي يعطي إثباتاً آخر على ضرورة المعالجة الأولية. حُضّرت نسب مختلفة من خلات الأيزوبوتيل وميثيل أيزوبوتيل كيتون(5:5,7:3,9:1 & 3:7 ورُسمت أطيافها بالنسبة لشاهد من (80 IBA-20 MIBK)، ووجدت قمة سالبة أخرى عند 248nm فقط في المزائج ذات نسبة MIBK أقل مما هي في الشاهد، في حين أن القمة 318nm تحولت إلى قمة موجبة فقط في المزائج ذات نسبة MIBK أعلى

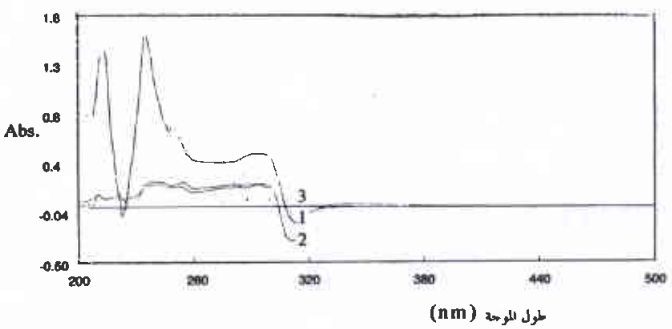
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل 2– طيف FTIR للمزيج المقطر وغير المستخدم.



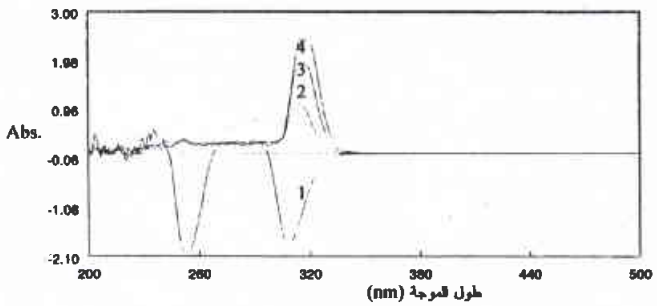
الشكل 3– أطياف FTIR لنواتج التقطير عند المجال 111-114°C: 1– نواتج التقطير بعد المعالجة بـ Na_2CO_3. 2– نواتج التقطير بدون معالجة. 3– نواتج التقطير بعد المعالجة بالمبادل الأيوني.



الشكل 4– أطياف UV-Vis. للأجزاء 111-114°C للمزيج المستخدم بالنسبة لشاهد من المزيج IBA-MIBK (8:2) في الحالات: 1– بعد المعالجة بـ 0.5M Na_2CO_3. 2– بعد المعالجة بـ المبادل الأيوني. 3– بدون معالجة.

مما هي في الشاهد (الشكل 5). وهكذا يمكن استخدام القمة 318nm لتعيين نسبة MIBK في المزائج المجهولة نفسها بطريقة قياس الضوء الطيفي.

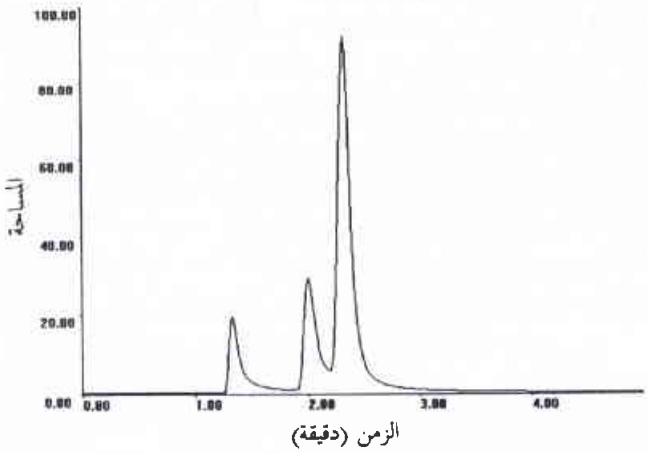
أُنجزت تحاليل مزائج التقطير بـ GC (الجدول 2) باستخدام مكشاف التأين الموصول إلى عمود الفصل (SE-30)، حيث أظهرت النتائج وجود ثلاث إشارات تحليلية (الشكل 6) عند أزمنة استرخاء 1.32 & 2.03, & 2.45 min. القمتان الثانية والثالثة عائدتان إلى IBA & MIBK، وبما أن الأيزوبوتانول هو الكحول المرافق لـ IBA، والحاوي على الزمرة O-H التي ظهرت في أطياف FTIR؛ فقد حُقن بشكل نقي في عمود الـ GC،



الشكل 5– أطياف UV-Vis. للنسب المختلفة من MIBK في المزيج غير المستخدم بالنسبة لشاهد من المزيج IBA-MIBK(8:2) :1- النسبة 9:1 للمزيج IBA-MIBK. 2– النسبة 7:3 للمزيج IBA-MIBK. 3– النسبة 5:5 للمزيج IBA-MIBK. 4– النسبة 3:7 للمزيج IBA-MIBK.

الجدول 2– تحليل نواتج تقطير المزيج المستخدم بتقنية GC.

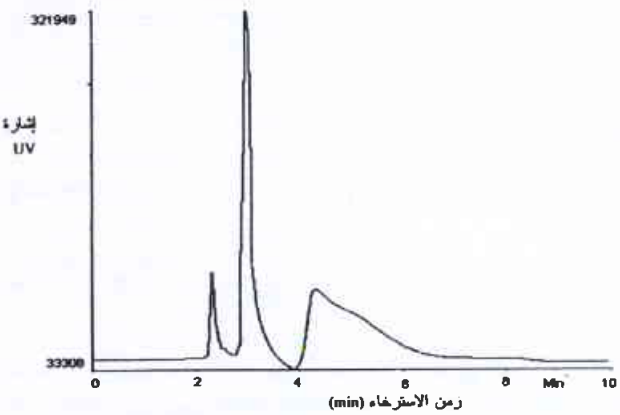
زمن الاسترخاء (min)		1.02	1.32	2.03	2.45	3.00
المادة العضوية		مجهولة	IBA	MIBK	IBL	مجهولة
العينة	نوع المعالجة	(%)				
111°C	بدون معالجة	-	69.96	18.98	10.26	>0.8
111-114°C	بدون معالجة	>0.2	69.48	19.88	9.44	-
111°C	0.5M Na_2CO_3	-	70.56	19.22	10.22	-
111-114°C	0.5M Na_2CO_3	>0.2	70.15	20.14	9.44	-
111°C	المبادل الأيوني	>0.15	70.72	18.51	10.78	>0.3
111-114°C	المبادل الأيوني	>0.3	70.64	19.71	9.65	-
مزيج نقي من (IBA:MIBK, 8:2)		-	78.09	20.93	0.965	-



الشكل 6– طيف GC للجزء 111-114°C من المزيج المستخدم.

وتبيّن أن القمة 1.32 min عائدة له. كما استُخدمت تقنية HPLC مع عمود Silica × APE وكاشف UV، وقد أظهرت النتائج وجود ثلاث

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

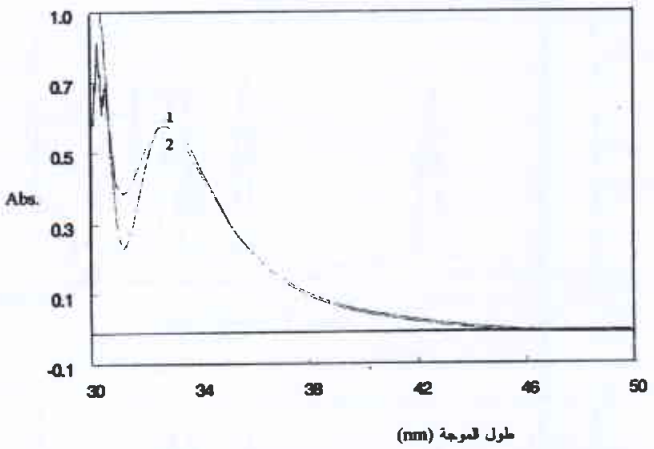


الشكل 7- طيف HPLC للجزء 111-114°C من المزيج المستخدم.

قمم عند 4.23-4.92 min و 2.93-3.00 و 2.31-2.38 عائدة إلى IBL & IBA & MIBK على التوالي (الشكل 7).

الكفاءة التحليلية للمزيج المنقى (IBA-MIBK)

اختُبرت الكفاءة التحليلية للمزيج المنقى باستخلاص معقد فسفومولبيدات الأمونيوم، حيث عقدت مجموعتان من محاليل الفسفور المعياري (20 $\mu g. g^{-1}$) بـ 2 ml من مولبيدات الأمونيوم (2.5 %) بوسط من حمض فوق الكلور، واستخلصت إحدى المجموعتين بـ 10 ml من المزيج المنقى، واستخلصت المجموعة الأخرى بـ 10 ml من المزيج النقي غير المستخدم، ثم رُسمت امتصاصية المعقد المستخلص بمطياف UV-Vis. (الشكل 8). حيث كانت القمة العائدة للمزيج المنقى أوضح من القمة العائدة إلى المزيج النقي غير المستخدم. كما كانت كفاءة وسعة المزيج المنقى مماثلة لكفاءة وسعة المزيج النقي غير المستخدم.



الشكل 8- طيفا معقد فسفومولبيدات: 1- مستخلص بالمزيج المنقى. 2- مستخلص بالمزيج غير المستخدم.

الاستنتاجات

قدّمت هذه الدراسة النقاط التالية: أولاً، إعادة تنقية المذيبات العضوية (IBA-MIBK) المستخدمة في المخابر التحليلية مهمة جداً من وجهة نظر بيئية واقتصادية. ثانياً، ضرورة المعالجة الأولية للمزيج المستخدم بمحلول قلوي قبل التقطير. ثالثاً، كان ناتج التقطير مزيجاً أيزوترويباً مؤلفاً من 70% IBA & 20% MIBK & 10% IBL. رابعاً، نسبة الاسترداد المئوية للمزيج المستخدم 93%. خامساً، ازدياد أيزوبوتانول بحوالي 10% على حساب IBA التي تناقصت بحوالي 12%. حسنت هذه التغيرات الوظيفة التحليلية للناتج المنقى، حيث كانت القمة التحليلية أوضح من قمة المزيج النقي غير المستخدم مع تشابه في كفاءة وسعة الاستخلاص للمزيجين المنقى وغير المستخدم.

المراجع

REFERENCES

[1] H. Freiser, Solvent Extraction in Analytical Chemistry and Separation Science.Inc.: Development in Solvent Extraction, (Eds. Aleygret). Ellis Horwood Limited, Chechester, England, (1988), P. 11.

[2] A. S. Kertes, M. Zangen, and G. Schmuckler, Analytical and Other Application of the Principles of Solvent Extraction, Inc.: Principles and Practices of Solvent Extraction, (Eds. J. Rydberg et. al.), Marcel Dekker, Inc., NY, (1992), p. 511.

[3] G. M.Ritcy, Development of industrial solvent extraction processes. Inc.: Principles and Practices of Solvent Extraction, (Eds. J. Rydberg et. al.) Marcel Dekker, Inc., NY, (1992), p. 449.

[4] P. R. Danesi, Solvent Extraction in the Nuclear Industry, Inc.: Development in Solvent Extraction, (Eds. Aleygret). Ellis Horwood Limited, Chechester, England. (1988), p. 188.

[5] D. Mackay, M. Medir, Industrial Effluent Treatment, Inc.: Handbook of Solvent Extraction, (Eds. Lo et. al.), Jon Wiley & Sons, NY (1982), p. 619.

[6] J. Ulrich, Y. Özoguz, Controlling Directed Crystallization and Sweating, Inc.: Crystallization as a Separation Process, (Eds. Myerson & Joyokura). American Chemical Society,Washington, DC, (1990).

[7] B. Buszewski, R. Lodkowski, J. Trocewicz, J. High Resolut. Chromatogr. Chromatogr. Commun., 10, 527(1958).

[8] J. Paul, Anal. Chimica. Acta, 23, 123(1960).

[9] J. Paul, Mickrochim. Acta, 830(1965).

[10] J. Paul, Mickrochim. Acta, 836(1965).

[11] G. F. Kirkbright, A. M. Smith, T. S. West, The Analyst, 92, 411(1967).

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

[12] T. V. Ramakrishna, J. W. Robinson, P. W. West, Anal. Chim. Acta, 45, 43(1969).

[13] R. Al-Merey Trace Elements Determination In Syrian Phosphate Rocks, Ph. D. Thesis, University of Reading, Reading, GB, (1989).

[14] I. Baranowska, K. Barszczewska, Fresenius J. Anal. Chem., 348, 698(1994).

[15] AK. Chakrabarti, Talanta, 42,1279(1995).

[16] R. M. O'Leary, J. G. Veits, Atomic Spectrometry, 7,4(1986).

[17] J. F. Da Selva, W. Martins, Talanta, 39,1307(1992).

[18] A. D. Arrebola Ramirez, I. M. de la Rosa Gàzquez, F. Moreno, Anal. Letters, 27, 1593(1994).

[19] M. A. Olazabal, L. A. Fernanez, J. M. Madariga, J. Solvent Extraction and Ion Exchange, 9, 735(1991).

[20] M. Kauppinen, K. Smolander, Anal. Chim. Acta., 296, 195(1994).

[21] R. T. Morrison, R. N. Boyd, Organic Chemistry, 4th edition, Allyn and Bacon, Inc., Boston, U.S.A, (1983).

[22] E. W. Flick (Ed.), Industrial Solvent Handbook. Noyes Publications, NJ, USA, (1991).

[23] L. P. Tsyganok, J. Analytical Chemistry, 47, 868(1992).■

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تراكيز البولونيوم -210 والرصاص -210 في الأسماك المستهلكة في سورية*

د. محمد سعيد المصري، سامر ماميش، يوسف بدير، عامر نشواتي
قسم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي، هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرى تعيين تركيز الرصاص -210 والبولونيوم -210 في عضلات 36 نوعاً من الأسماك البحرية وسبعة أنواع من أسماك المياه العذبة، جمعت من الأسواق المحلية السورية. تراوحت التراكيز في الأسماك البحرية بين 0.27 و 27.8 بكريل/كغ من الوزن الطازج وبين 0.05 و 0.38 بكريل/كغ لكل من البولونيوم -210 والرصاص -210 على الترتيب. ومن جهة أخرى، كانت التراكيز في أسماك المياه العذبة منخفضة نسبياً حيث تراوحت بين 0.61 و 3.08 بكريل/كغ من الوزن الطازج للبولونيوم -210 و 0.04 و 0.1 بكريل/كغ من الوزن الطازج للرصاص -210. وتعود هذه الاختلافات في محتوى البولونيوم -210 والرصاص -210 في الأنواع المختلفة للأسماك في المياه العذبة والبحرية إلى الاختلافات في الاستقلاب وأنماط التغذية. على أية حال، لوحظت التراكيز المرتفعة في أسماك الباليدا والسردين التي جمعت من الأسواق المختلفة. هذا وقدرت مستويات الاندخال اليومية الناجمة عن استهلاك الأسماك الحاوية على البولونيوم -210 والرصاص -210 فكانت 6 و 0.24 ملّي بكريل على التالي، وهي أقل بكثير من قيم الاندخال المسجلة في بلدان أخرى. وبالإضافة إلى ذلك، بلغت الجرعة الإشعاعية التجميعية الناتجة عن كلٍ من البولونيوم -210 والرصاص -210 على التالي نحو 5.09 و 2.93 سيفرت لكل إنسان على مدى الحياة، الشيء الذي يدل على انخفاض الجرعة التي يتلقاها السوريون بسبب استهلاك الأسماك بأنواعها.

الكلمات المفتاحية: البولونيوم -210، الرصاص -210، الأسماك البحرية والنهرية، معدل الاندخال اليومي، الجرعة الإشعاعية.

المقدمة

ينتقل البولونيوم -210 والرصاص -210 إلى جسم الإنسان بطريق استنشاق غاز الرادون وبطريق استهلاك الأطعمة والماء. ويعد استهلاك الأطعمة الطريق الأكثر أهمية لدخول هذين النظيرين إلى جسم الإنسان. هذا وبينت الدراسات [3,2,1] أن تراكيز البولونيوم -210 في اللحوم والحليب أقل بكثير من تركيزه في الخضار والحبوب، هذا وتحوي الأحياء البحرية تراكيز مرتفعة نسبياً من البولونيوم -210 الذي يعد المصدر الرئيسي للجرعة الإشعاعية للإنسان (نحو 0.11 ملّي سيفرت سنة$^{-1}$) [5,4]. ولهذا تقوم بلدان عديدة من هيئات عالمية بتعيين تراكيز هذه النكليدات في الطعام البحري وتقدير معدل اندخالها السنوي وبالتالي تقدير الجرعة الإشعاعية الناشئة عن هذا الاندخال [10,9,8,7,6].

وُضِع برنامج مراقبة البيئة والغذاء الأول في هيئة الطاقة الذرية السورية عام 1990. وجرى تقدير التعرضات لإشعاع غاما وقياسات النشاط الإشعاعي في أنماط مختلفة من التربة والغذاء والمنتجات الزراعية من مناطق مختلفة في الوطن [11]. وبدأ تنفيذ برنامج لتعيين النكليدات المشعة الطبيعية في وجبة الغذاء السورية في عام 1996. ويعد تعيين معدلات الاندخال السنوية والجرعات الإشعاعية الناجمة عن استهلاك الغذاء من الأهداف الرئيسية لهذا البرنامج، وكنتيجة لهذا البرنامج حددت معدلات اندخال اليورانيوم عن طريق استهلاك الخضار [12]. وفي العمل الحالي، جرى تقدير مستويات الاندخال السنوية والجرعات الإشعاعية الناشئة عن البولونيوم 210 والرصاص 210 من خلال استهلاك الأسماك.

الطرائق والمواد

حصل على نحو 36 نوعاً من الأسماك البحرية الطازجة من ثلاثة أسواق كبيرة في مدن اللاذقية وطرطوس وبانياس، كما جُمعت سبعة أنواع من الأسماك النهرية من منطقتي اصطياد كبيرتين (الفرات ومزيريب). وتراوح عدد الأسماك المأخوذة لكل عينة ثلاثة للأسماك الطويلة و 15 سمكة للأسماك الصغيرة. وقد جزئت الأسماك إلى عضلات وأجزاء متبقية (الحسك، الحراشف، الرأس، الأحشاء) وأُخضع قسم العضلات وحده للتحاليل من مجموعات تراوحت أوزانها القائمة بين 0.5 و 1 كغ، ومن ثَم جُففت العينات العضلية في الفرن في الدرجة 90 مئوية لفترة 48 ساعة. وجرى تعريض أجزاء منها (10 غ) من كل من العينات المجففة لتحليل كيميائي إشعاعي لتعيين البولونيوم 210 والرصاص 210 [14,13]. أضيفت كميات عيارية (0.2 بكريل) من البولونيوم 208 كمقفي أثر، للعينة التي أجري تهضيمها باستخدام مزيج من الأحماض المعدنية (حمض الآزوت وحمض فوق الكلور) لفترة 24 ساعة. وبعد أن أصبحت شفافة أضيف إليها حمض كلور الماء المركز،

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Journal of Environmental Radioactivity*, 2000.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وأخيراً بُخرت حتى الجفاف تقريباً. حلت العينة بعد ذلك بـ 100 مل من حمض كلور الماء (0.5 مول.ل$^{-1}$) وأضيف إليها حمض الأسكوربيك لإرجاع الحديد الثلاثي. بعد ذلك سخن المحلول كله للدرجة ° 80 مئوية ورُسِّبت أيونات البولونيوم 210 تلقائياً على قرص دوّار من الفضة. جرى تعداد ألفا للبولونيوم 210 والبولونيوم 208 باستخدام مكشاف سليكون الإعاقة السطحي. صححت فعالية البولونيوم 210 من أجل المردود بمقارنة نتيجة قياس فعالية البولونيوم 208 المضاف كمقفي أثر مع الأخذ بعين الاعتبار مقدار التفكك الإشعاعي من فترة جمع العينات. وأعيد الطلي والتعداد بعد ستة أشهر من خزن المحلول لقياس نمو البولونيوم 210 الجديد من الرصاص 210 ولحساب تركيز الرصاص 210 في العينة الأساسية. وجرى حساب محتواها من الرصاص 210 والبولونيوم 210 على أساس الوزن الطازج وكُتبت النتائج أصولاً (قيمة وسطية ± الخطأ العياري) لتحليل مكرر. وقد بلغ حد الكشف الأدنى لهذه الطريقة نحو 0.4 بكريل. كغ$^{-1}$ من الوزن الجاف. ونشير إلى أنه جرى تطبيق إجراءات ضبط الجودة باستخدام عينات عيارية مستوردة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية (انظر نتائج تحليل سمك الفليش في الجدول 1).

النتائج والمناقشة

عرضت النتائج الناجمة عن التحليل الكيميائي الإشعاعي للبولونيوم 210 والرصاص 210 في كافة العينات التي جمعت في الجدولين 2 و 3. وفيما يلي مناقشة كافة النتائج على أساس الوزن الطازج:

تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 في الأنسجة المأكولة في الأسماك البحرية والنهرية

نرى في الجدول 2 تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 في 36 عينة من عضلات الأسماك البحرية، وفيه يتضح أن تراكيز البولونيوم 210 تتراوح بين 0.27 و 27.48 بكريل. كغ$^{-1}$، ويقارب وسطها القيمة 5.0 بكريل. كغ$^{-1}$، كانت بينها أعلى القيم (27.48) في سمك الباليدا. إلا أن هذه القيمة لوحظت في عينة واحدة فقط حيث كان تركيز البولونيوم 210 في سمك الباليدا منخفضاً نسبياً في العينات الأخرى التي جُمعت من المناطق المختلفة. وقد تعود الاختلافات في مستويات النشاط الإشعاعي في الأنواع المختلفة إلى الاختلافات في الاستقلاب وأنماط التغذية. هذا وكانت تراكيز البولونيوم 210 في عينات سمك السردين التي جمعت من الأسواق كافة متقاربة 18.44 و 12.88 و 10.65 بكريل. كغ$^{-1}$ (لعينات

الجدول 1– نتائج تحليل البولونيوم 210 عينة عيارية.

رمز العينة ونوعها	القيمة العيارية (بكريل/كغ وزن جاف)	مجال الثقة (بكريل/كغ وزن جاف)	القيمة المقيسة (بكريل/كغ وزن جاف)
MA-B3\RN أنسجة سمك	*0.31*	0.23-0.33	0.29±0.02

الجدول 2– نتائج تحليل البولونيوم 210 والرصاص 210 في عضلات الأسماك البحرية.

الاسم الشائع	الاسم العلمي	الموقع	^{210}Po (بكريل/ كغ .طازج)	^{210}Pb (بكريل/ كغ .طازج)	^{210}Po\$^{210}$Pb
العصيفري	*Trachinotus sp.*	اللاذقية	9.88 ± 0.19	0.17 ± 0.01	58
البوري	*Mugil auratus*	اللاذقية	1.56 ± 0.03	0.07 ± 0.01	22
الميرلاند	*Merluccius merluccius*	اللاذقية	2.09 ± 0.04	0.05 ± 0.01	42
الباليدا	*Euthynnus alletteratus*	اللاذقية	9.59 ± 0.25	0.12 ± 0.002	80
الأجاج	*Sparus aurata*	اللاذقية	0.27 ± 0.01	0.13 ± 0.04	2
الفريدي	*Pagrus coeruleostictus*	اللاذقية	0.42 ± 0.01	0.07 ± 0.005	6
الشنترب	*Scorpaena scorfa*	اللاذقية	1.83 ± 0.07	0.10 ± 0.005	18
الجربيدة	*Pagellus erythrinus*	اللاذقية	6.59 ± 0.08	0.06 ± 0.04	110
اللقز	*Epinephelus aeneus*	اللاذقية	0.96 ± 0.01	0.08 ± 0.005	12
الزبيدي	*Dentax maroccanus*	اللاذقية	2.08 ± 0.03	0.40 ± 0.005	5
تريخونة	*Caranx rhochus*	اللاذقية	8.70 ± 0.85	0.13 ± 0.06	67
سفرنة	*Sphyraena sp.*	اللاذقية	3.73 ± 0.50	0. 05 ± 0.001	75
سردين	*Sardinella sp.*	اللاذقية	18.44 ± 0.64	0.14 ± 0.005	132
غريبة	*Siganus sp.*	اللاذقية	2.37 ± 0.09	0.09 ± 0.01	26

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

موسى	*Solea sp.*	اللاذقية	4.36 ± 0.17	0.16 ± 0.07	27
العصيفري	*Trachinotus sp.*	بانياس	5.08 ± 0.59	0.18 ± 0.02	28
البوري	*Mugil auratus*	بانياس	1.27 ± 0.15	0.07 ± 0.005	18
الميرلاند	*Merluccius merluccius*	بانياس	1.73 ± 0.10	0.06 ± 0.005	29
الباليدا	*Euthynnus alletteratus*	بانياس	5.86 ± 0.47	0.10 ± 0.04	59
تريخونة	*Caranx rhochus*	بانياس	8.18 ± 0.40	0.06 ± 0.002	136
سفرنة	*Sphyraena sp.*	بانياس	2.70 ± 0.10	0.05 ± 0.001	54
سردين	*Sardinella sp.*	بانياس	12.88 ± 0.79	0.38 ± 0.08	34
عربية	*Siganus sp.*	بانياس	1.71 ± 0.16	0.11 ± 0.02	15
جراوي	*Seriola dumerili*	بانياس	2.87 ± 0.08	0.09 ± 0.005	32
العصيفري	*Trachinotus sp.*	طرطوس	4.53 ± 0.24	0.14 ± 0.005	32
البوري	*Mugil auratus*	طرطوس	3.04 ± 0.24	0.11 ± 0.02	28
الميرلاند	*Merluccius merluccius*	طرطوس	5.55 ± 0.29	0.09 ± 0.03	62
الباليدا	*Euthynnus alletteratus*	طرطوس	27.48 ± 0.66	0.34 ± 0.08	81
الأجاج	*Sparus aurata*	طرطوس	0.62 ± 0.003	0.12 ± 0.01	5
الفريدي	*Pagrus coeruleostictus*	طرطوس	0.97 ± 0.03	0.07 ± 0.005	14
الشنترب	*Scorpaena scorfa*	طرطوس	2.05 ± 0.08	0.06 ± 0.001	34
تريخونة	*Caranx rhochus*	طرطوس	5.46 ± 0.20	0.08 ± 0.01	68
سفرنة	*Sphyraena sp.*	طرطوس	2.30 ± 0.05	0.07 0.005	33
سردين	*Sardinella sp.*	طرطوس	10.65 ± 1.88	0.28 ± 0.07	38
عربية	*Siganus sp.*	طرطوس	1.32 ± 0.01	0.09 ± 0.001	15
فيليه	—	طرطوس	1.72 ± 0.13	0.11 ± 0.02	16

اللاذقية وبانياس وطرطوس على التتالي). على أية حال، تعد تراكيز كل من البولونيوم 210 والرصاص 210 في عضلات الأسماك البحرية على الرغم من وجود بعض المستويات المرتفعة، منخفضة نسبياً بالمقارنة مع القيم المسجلة في دول أخرى مثل أستراليا كما هو مبين في الجدول 4. بالإضافة إلى ذلك، يلاحظ بأن النسبة $^{210}Po/^{210}Pb$ أعلى من الواحد بكثير في كافة العينات المحلّلة مما يدل على أن البولونيوم لا ينجم فقط عن

الجدول 3- نتائج تحليل البولونيوم 210 والرصاص 210 في عضلات أسماك المياه العذبة.

الاسم الشائع	الاسم العلمي	الموقع	^{210}Po (بكريل/ كغ .طازج)	^{210}Pb (بكريل/ كغ .طازج)	$^{210}Po\backslash^{210}Pb$
جري	*Icialurus sp.*	الفرات	0.96 ± 0.01	0.05 ± 0.005	19
كارسين	*Barbus longiceps*	الفرات	3.08 ± 0.10	0.10 ± 0.02	31
كارب	*Cyprinus carpio*	الفرات	0.61± 0.01	0.08 ± 0.02	8
ظاظان	—	الفرات	0.43 ± 0.02	0.04 ± 0.005	11
حنكليس	*Angiulla angiulla*	الفرات	1.03 ± 0,03	0.05 ± 0.001	21
كارب	*Cyprinus carpio*	المزيريب	0.97 ± 0.04	0.07 ± 0.02	14
مشط	*Tilapia sp.*	المزيريب	1.33 ± 0.04	0.07 ± 0.005	19

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تفكك الرصاص 210 وإنما يأتي عند التناول من الوسط المحيط بالأسماك. ونشير إلى أن تراكيز البولونيوم 210 التي قسناها لمياه البحر بمناطق الاصطياد تراوحت بين 4 و 6 ملي بكريل.ل$^{-1}$ [15]. وهذا يتفق مع الدراسات الأخرى [16,5,4].

هذا ويبين الجدول 3 تراكيز البولونيوم 210 في عضلات سبعة أنواع من أسماك المياه العذبة، حيث تراوحت تراكيز البولونيوم 210 بين 0.43 و3.08 بكريل.كغ$^{-1}$ وتراوحت تراكيز الرصاص 210 بين 0.04 و 0.10 بكريل.كغ$^{-1}$ وكانت القيمة الوسطية لكل من التركيزين على التوالي 1.20 بكريل.كغ$^{-1}$ و0.07 بكريل.كغ$^{-1}$. ويلاحظ أن سمك الكارسيا يحتوي على البولونيوم 210 بتركيز أعلى من غيره من بين الأسماك المحللة. على أية حال، يحتوي الجزء المأكول من الأسماك النهرية تراكيز أقل بكثير من الأسماك البحرية. وهذا يتوافق مع الدراسات الأخرى [18,17,5]. أضف إلى ذلك، أن تركيز الرصاص 210 كان مرتفعاً نسبياً في أسماك المياه العذبة حيث وجد بأن النسبة $^{210}Po/^{210}Pb$ منخفضة (كانت أعلى قيمة لها مقاربة 30%) بالمقارنة مع تلك الملاحظة في الأسماك البحرية. هذا ولوحظت قيم أكثر ارتفاعاً في العينات التي جمعت من مياه الأنهار الفرنسية حيث تراوحت تراكيز الرصاص 210 بين 0.9 و 3 بكريل.كغ$^{-1}$ (الجدول 4) [17]. وتعود هذه الاختلافات أيضاً إلى الاستقلاب وأنماط التغذية وربما تعود إلى ارتفاع تراكيز الرصاص 210 في بيئة المياه العذبة أكثر من البولونيوم 210.

معدل الاندخال اليومي من البولونيوم 210 والرصاص 210 بطريق استهلاك الأسماك

يعد استهلاك الشعب السوري للطعام البحري منخفضاً بشكلٍ عام مقارنة باستهلاك الأمم الأخرى مثل اليابانيين. غير أن القاطنين في المدن الساحلية (اللاذقية وبانياس وطرطوس)، يمكن أن يتلقوا جرعات إشعاعية مرتفعة نسبياً ناشئة عن اندخال البولونيوم 210 والرصاص 210 لارتفاع معدلات استهلاك الأسماك. وإن إنتاج سورية للأسماك عموماً صغير نسبياً حيث بلغ مجمل الصيد البحري عام 1996 قرابة 2670 طن وبلغت معدلات الاندخال اليومي للبولونيوم 210 والرصاص 210 من هذه الأسماك عند الشعب السوري البالغ تعداده (15.100.000 نسمة)، المقادير المبينة في الجدول 5. يتضح من الجدول أن معدل اندخال الرصاص 210 (3.16 ملّي بكريل) أعلى بكثير من وسطي معدلات اندخال الرصاص 210 (0.12 ملّي بكريل). هذا وحسبت معدلات الاندخال على أساس عدد البالغين فقط فوجد أنها تقارب 6 ملّي بكريل. ولوحظ ارتفاع

الجدول 4– تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 في عضلات الأسماك من مناطق مختلفة في العالم.

اسم البلد	نوع الصيد	تركيز البولونيوم210 (بكريل/كغ طازجة)	تركيز الرصاص210 (بكريل/كغ طازجة)	المرجع
سوريا	بحري	27.48 – 0.27	0.38 – 0.05	هذا العمل
	نهري	3.08 – 0.61	0.10 – 0.05	هذا العمل
اليابان	بحري	2.6 – 0.6	0.54 – 0.04	[8]
هونغ كونغ	بحري	–	0.047	[9]
البرتغال	بحري	11 – 0.2	–	[16]
استراليا	بحري	44.1 – 0.9	–	[7]
الدانمارك	بحري	0.96 – 0.35	6	[19]
فرنسا	نهري	–	3 – 0.9	[17]
جنوب افريقيا	بحري	–	20.3 – 2.2	[5]
	نهري	0.6	–	[5]
البرازيل	بحري	5.3 – 0.5	–	[20]
أمريكا	بحري	153.3 – 0.4	7 – 0.1	[21]
الهند	بحري	–	0.32 – 0.21	[22]
فنلندا	نهري	0.6	–	[18]
بولونيا	بحري	5 – 0.9	-	[23]

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الجدول 5– معدل الإندخال اليومي للبولونيوم 210 والرصاص 210 من خلال استهلاك عضلات الأسماك.

النظير	الصيد البحري (ملّي بكريل/يوم)	الصيد النهري (ملّي بكريل/يوم)	المجموع (ملّي بكريل/يوم)
^{210}Po	1.7	1.45	2.92
^{210}Pb	0.04	0.08	0.12
^{210}Po	3.50	2.96	6.46
^{210}Pb	0.08	0.16	0.24

معدلات الاندخال بطريق استهلاك الأسماك البحرية بالرغم من ارتفاع كمية الصيد النهري المستهلك في القطر (أكثر من ثلاثة أضعاف الصيد البحري). أضف إلى ذلك أن هذه الاندخالات الكلية بطريق استهلاك الأسماك البحرية والنهرية في سورية صغيرة نسبياً (انظر الجدول 6). ويعزى ذلك لسببين: الأول هو انخفاض تركيز البولونيوم 210 والرصاص 210 في الجزء المأكول من الأسماك، والثاني انخفاض معدل استهلاك الشعب السوري للأسماك مقارنةً باستهلاك اليابانيين أو الشعوب الأخرى في بلدان العالم الأخرى.

بكثير من تلك المحسوبة على أنواع الصيد البحري من البحر المتوسط [6] حيث بلغت 204.99 سيفرت.إنسان$^{-1}$ أما معدلا الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها الشخص البالغ وحده فكانت 682 و 341 نانو سيفرت/سنة لكل من البولونيوم 210 والرصاص 210 على التالي، فتكون القيمة الكلية للجرعتين 1023 نانو سيفرت/سنة. على الرغم من القيمة المنخفضة نسبياً، فإن هذه الجرعة يمكن أن تكون مرتفعةً للقاطنين على الساحل لأن معدل استهلاكهم للأسماك أكبر بكثير من غيرهم من المواطنين.

الجدول 6– معدل إندخال البولونيوم 210 والرصاص 210 من خلال استهلاك عضلات الأسماك في دول مختلفة.

اسم البلد	معدل الاندخال اليومي (ملّي بكريل/يوم)		المرجع
	^{210}Pb	^{210}Po	
سوريا	0.24	6.46	هذا العمل
اليابان	42 – 22	690 – 480	[8]
بولونيا	1.1	42	[10]
	–	27	[23]
أمريكا (جزيرة المارشال)	230	1900	[21]

تقدير الجرعة

يمكن تقدير الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها جسم الإنسان والناشئة عن استهلاك الغذاء البحري بطريقتين [6]. تعتمد الطريقة الأولى على قياس تركيزي البولونيوم 210 والرصاص 210 في مياه البحر ضمن مناطق الاصطياد. أما الثانية فتعتمد على قياس تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 في الجزء المأكول من أنسجة السمكة. عرضت طريقتا الحسابات هذه بوضوح في المرجع [6]. وقد قمنا بتقدير الجرعة الإشعاعية التجميعية الناشئة عن استهلاك الأسماك البحرية والنهرية باستخدام الطريقة الثانية، ووجدنا أن الجرعة التجميعية للبولونيوم 210 صغيرة نسبياً (5.09 سيفرت.إنسان$^{-1}$) وللرصاص 210 (2.93 سيفرت.إنسان$^{-1}$) وهي أقل

الاستنتاج

جرى تعيين البولونيوم 210 في 36 عينة من الأسماك البحرية وفي سبعة أنواع من الأسماك النهرية جمعت من الأسواق السورية المحلية. لوحظت تراكيز مرتفعة في الجزء المأكول من الأسماك البحرية (وخاصة في عينات السردين) مقارنة بالتراكيز في أسماك المياه العذبة. أما معدلات اندخال البولونيوم 210 والرصاص 210 فكانت منخفضة مقارنة بنتائج قياسات أخرى من أنحاء العالم، الأمر الذي يعني عموماً انخفاض الجرعات الإشعاعية من البولونيوم 210 والرصاص 210 للسوريين بطريق استهلاك الأسماك.

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

REFERENCES المراجع

[1] UNSCEAR (1988). Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report on the General Assembly with annexes. United Nations, New York.

[2] Skwarzec, B. and Falkowski, L. (1988). Accumulation of ^{210}Po in Baltic invertebrates, J. Environ. Radioactivity, 8,99-109.

[3] Shakla, V. K., Menon, M. R., Ramachandran, TV, Saether, A. P. and Higorani, M. (1994). Natural and fallout radioactivity in milk and dust samples in Bombay and population dose rate estimates, J. Environ. Radioactivity, 25, 229.

[4] Heyraud, M., Cherry R. D., Oscadleus H. D., Augustyn, C. J., Cherry M. I., and Sealy J. C. (1994). Polonium-210 and lead-210 in edible molluscs from near the crape of Good Hopes, J. Environ. Radioactivity, 24, 253-272.

[5] Cherry, R. D., Heyraud, M. and Rindfuss, R.(1994). Polonium-210 in teleost fish and in marine mammals: interfamily differences and possible association between polonium-210 and red muscle content, J. Environ. Radioactivity, 24, 273-291.

[6] IAEA, International Atomic Energy Agency, Sources of Radioactivity in the Marine Environment and Their Relative Contributions to Overall Dose Assessment from Marine Radioactivity (MARDOS), IAEA-TECDOC-838, October 1995.

[7] Smith, J. and Towler., P. H. (1993). Polonium-210 in cartilaginous fishes (Chondrichthyes) from South Eastern Australia waters, Aust. J. Mar. Fresh. Res., 44, 727-33.

[8] Yamamoto, M., Abe, T.,Kuwabara, J., Komura K. and Takiza, Y. (1994). Polonium-210 and lead-210 in marine organisms: intake levels for Japanese, J. Radioanal. Nucl. Chem., 178, 81-90.

[9] Yu, K.N., Mao, S.Y., Young, E.C.M. and Stokes, M. J. (1997). A study of radioactivity in six types of fish consumed in Hong Kong, Appl. Radiat. Isot., 48,515-519.

[10] Pietrzak-Flis, Z., Chrzanowski, E., and Dembinska S. (1997). Intake of ^{226}Ra, ^{210}Pb with food in Poland. Sci. Total. Environ., 203,157-165.

[11] Othman, I. and Yassine T. (1995). Natural radioactivity in the Syrian environment Sci. Total Environ., 170, 119-124.

[12] Othman, I., Al-Masri, M. S., Mograbi, M. and Skhitta, KH, Uranium levels in some Syrian agricultural products, AECS-PR/RSS 223, June 1998.

[13] Flynn, W. W. (1968). The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. Anal. Chem., 43, 221-227.

[14] Harley, J. H. (1978). Manual of standard procedures, Environmental Measurements Laboratory, Department of Energy, USAEC Report HASL-300, New York.

[15] Othman, I., Yassine, T. and Bhat, I. (1994). Measurements of some radionuclides in the marine coastal environment of Syria, Sci. Total. Environ. 153, 57-60.

[16] Carvalho, F. P. (1988). ^{210}Po in marine organisms: a wide range of natural radiation dose domains. Radiat. Protect. Dosimet. 24,113-117.

[17] Lambrechts, A., Foulquier, L. and Gariner-Laplace, J. (1992). Natural radioactivity in the aquatic component of the French rivers, Radiat. Protect. Dosimet. 45,253-256.

[18] Kauranen, P. and Miettinen, J. K. (1970). Polonium and Radiolead in some aqueous ecosystems in Finland, Paper presented at the Symposium on the Biology and Ecology of Polonium and Radiolead, Sutton, Survey, April 30 to 1 May, 1-18.

[19] Dahlgaard, H. (1996). Polonium-210 in mussels and fish from the Baltic-North Sea estuary. J. Environ. Radioactivity, 32,91-96.

[20] Saito, R. T., Cunha, I. I. T.(1997). Analysis of ^{210}Po in marine samples, J. Radioanal. Nucl. Chem., 220,1, 117-119.

[21] Noshkin, V. E., William, L., Robison, and Wong, K. M. (1994). Concentration of ^{210}Po and ^{210}Pb in the diet at the Marshall Island, Sci. Total. Environ., 155,87-104.

[22] Hameed, P. S., Shaheed, K., and Somasundaram, S. S. N. (1997). Bioaccumulation of ^{210}Pb in the Kaveri river ecosystem, India. J. Environ. Radioactivity, 37, 17-27.

[23] Skwarzec, B. (1997). Polonium, uranium and plutonium in the southern Baltic Sea., Ambio., 26(2), 113-117.■

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تقييم تأثير جرعتين من البروستاغلاندين $F_{2\alpha}$ المشابه، البروسولفين، في توقيت الشياع عند نعاج العواس السوري★

د. معتز زرقاوي
قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

جرى تقييم تأثير جرعتين من البروسولفين، عبارة عن بروستاغلاندين $f_{2\alpha}$ صنعي، في توقيت الشياع عند النعاج المحلية ضمن الموسم التناسلي. قُسمت ثلاثون نعجة من أغنام العواس بالتساوي إلى ثلاث مجموعات (T10، T15، C). حُقنت نعاج المجموعة T10 ونعاج المجموعة T15 في العضل مرتين، وبفاصل زمني مدته 11 يوماً، بـ 10 و 15 مغ لكل مجموعة منهما على التوالي؛ واعتبرت المجموعة الثالثة (C) كشاهد، حيث لم تُعط المركب المذكور. حدث الشياع في نعاج المجموعة T10 بعد ± 42.9 83.3 ساعة، وفي نعاج المجموعة T15 بعد 136.5 ± 109.9 ساعة من إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين. أما بالنسبة لمجموعة الشاهد (C)، فكان حدوث الشياع أكثر اختلافاً وحدث بعد 251.2 ± 130.9 ساعة من إدخال الكباش إليها. وكانت الفروقات في تأثير الجرعتين على زمن حدوث الشياع غير مؤكدة إحصائياً ($P > 0.05$) بين المجموعتين T10، T15، لكنها كانت مؤكدة إحصائياً ($P < 0.05$) بين النعاج المعاملة وغير المعاملة. انخفض متوسط تركيز هرمون البروجسترون بشدة خلال 24 ساعة من إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين، حيث انخفض التركيز من 8.48 نانو مول/ل إلى 0.52 نانو مول/ل في المجموعة T10، ومن 7.95 نانو مول/ل إلى 0.45 نانو مول/ل في المجموعة T15. لم تؤثر أي من المعاملتين على طول فترة الحمل أو على وزن المواليد. يمكن الاستنتاج بإمكانية استخدام مركب البروستاغلاندين الصنعي، البروسولفين، وبجرعتي 10 أو 15 مغ لتوقيت الشياع عند أغنام العواس المحلي ضمن الموسم التناسلي.

الكلمات المفتاحية: بروسولفين، توقيت الشياع، تناسل، أغنام العواس، بروجسترون، مقايسة مناعية إشعاعية.

مقدمة

يُعدّ عرق العواس ذو الإلية من عروق الأغنام المحلية في كل من سورية، لبنان [1]، الأردن [2]، العراق [3]، وجنوب تركيا [4]. ونظراً لأهميته والمزايا التي يتمتع بها كقطيع متميز [5]، فقد أُدخل هذا العرق إلى بلاد عدة في آسيا [6]، وأفريقيا [7]، وأوربا [8] و أستراليا [9] ونيوزيلندا [10].

إن منتجات أغنام العواس (حليب ولحم) مرغوبة ومفضّلة من قبل عدة مستهلكين رغم أسعارها المرتفعة بالمقارنة مع منتجات عروق وأنواع حيوانية أخرى. علاوة على ذلك، تبيَّن أن صوف أغنام العواس ملائم في صناعة السجاد الصوفي، وبما أن المورثة المسؤولة عن ألياف الصوف الملونة في أغنام العواس غير متنحية، فإن معظم الأغنام الحاملة لمورثة الألياف الملونة ستحمل صوفاً ملوناً [11].

قُدِّر عدد أغنام العواس في سورية عام 1998 بنحو 15.5 مليون (بالمقارنة مع نحو 1.1 مليون رأس من الماعز و 1.0 مليون رأس من الأبقار). تُعدّ هذه الحيوانات المصدر الرئيس للمنتجات الحيوانية، بإنتاج لحم أغنام وصل إلى نحو 155 000 طن، وإنتاج حليب بلغ نحو 582 000 طن، وإنتاج صوف بلغ 14954 طن [12].

في سورية، يحدث تلقيح الأغنام بين أشهر حزيران وأيلول [13]، ويبلغ ذروته في شهري تموز وآب [14]، وتلد الأغنام عادة مرة واحدة بالسنة. يبلغ متوسط طول دورة الشبق عند نعاج العواس السوري 17 يوماً (زرقاوي، بيانات غير منشورة)، ويبلغ متوسط طول فترة الحمل 152.0 يوماً [13]. تمتاز أغنام العواس السوري بأداء تناسلي فقير نسبياً وبمعدل توائم يُقدّر بنحو [15] 4% ما لم تخضع إلى انتخاب طويل ومكثف [16].

بسبب تأثيراتها الحالّة والمهدّمة للجسم الأصفر، فإن البروستاغلاندينات $F_2\ \alpha$ ومشابهاتها تستخدم في توقيت الشياع في بكاكير الماشية [17]، والأبقار [18]، وإلى حد أقل في العنزات [19] والنعاج [20]. تُستخدم البروستاغلاندينات أيضاً بفواصل زمنية مختلفة [21] لتحسين الكفاءة الإنتاجية والتناسلية.

إن آلية عمل البروستاغلاندينات في الأغنام غير مفهومة بالكامل. يُنشّط البروستاغلاندين من مصدر خارجي إنتاج البروستاغلاندين في المبيض والرحم، وقد يمثل هذا أحد العوامل في آلية انحلال الجسم الأصفر بفعل البروستاغلاندين ذي المصدر الخارجي [22].

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *NZ Journal of Agricultural Research*, Vol. 43, 2000.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

لا توجد معطيات متوافرة حول استخدام البروستاغلاندينات في توقيت الشياع في أغنام العواس السوري. لذلك، كان الهدف الرئيس من هذه التجربة تقييم تأثير جرعتين من البروستاغلاندين $f_{2\alpha}$ الصنعي (البروسولفين) على توقيت الشياع في أغنام العواس السوري ضمن الموسم التناسلي.

المواد والطرائق

الحيوانات والمعاملة الهرمونية

نُفِّذت هذه التجربة في دائرة الإنتاج الحيواني بمنطقة دير الحجر، التي تبعد نحو 33 كم جنوب شرق مدينة دمشق. وتعد هذه المنطقة من المناطق الجافة بمعدل هطول مطري يبلغ نحو 100 مم بالسنة يحدث معظمه خلال شهري كانون الأول وكانون الثاني.

استُخدم في التجربة ثلاثون نعجة من عرق العواس السوري بوزن بلغ (متوسط ± انحراف معياري) 57.7 ± 7.9 كغ. قُسمت الحيوانات بالتساوي إلى ثلاث مجموعات، T10، T15 و C. أُعطيت نعاج المجموعة T10 والمجموعة T15 حقنتين بالعضل، إما 10 مغ (T10) أو 15 مغ (T15) من مركب البروستاغلاندين الصنعي $f_{2\alpha}$ (Prosolvin, Intervet, Holland) وبفاصل زمني مقداره 11 يوماً (في 8 و 19 تموز 1998، ضمن الموسم التناسلي). لم تتلق النعاج في المجموعة C أي معاملة واعتُبرت كمجموعة شاهد.

مراقبة الشياع والتلقيح

أُدخل ثلاثة كباش خصبة من عرق العواس إلى النعاج كافة مرتين يومياً (من الساعة 8 - 11، ومن الساعة 17 - 20) بعد نحو 18 ساعة من إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين وتُركت معها من أجل كشف الشياع والتلقيح الطبيعي. تمت مراقبة النعاج لتحديد تلك التي وثبت الكباش عليها.

إيواء وتغذية الحيوانات

كانت الحيوانات تقضي أوقاتها داخل الحظائر المخصصة لها ليلاً وكانت تخرج إلى المرعى معظم النهار. قُدِّمت للنعاج داخل الحظيرة، علائق تعتمد على الشعير وتبن القمح إضافة إلى مخلوط الفيتامينات. أما خارج الحظيرة، فكانت النعاج تُترك لترعى فوق المراعي المتوافرة (شعير، أعشاب، مخلّفات القطن). قُدِّم للحيوانات أيضاً ماء الشرب النظيف والأحجار الملحية بشكل حر ad libitum.

عيّنات الدم وتحليل البروجسترون

سُحبت عينات الدم (10 مل) من العرق الوداجي للحيوانات باستخدام أنابيب مفرغة (Becton Dickinson, U. K) عند الساعة العاشرة صباحاً وبشكل يومي لمدة 35 يوماً، وسُحبت عيّنة الدم الأولى قبل 4 أيام من إعطاء الحقنة الأولى من البروسولفين. تمّ الحصول على المصل عن طريق تثفيل العيّنات، وحُفظت عيّنات المصل مجمّدة على درجة حرارة -20 مئوية لحين تحليلها. استخدمت مجموعات تحليل هرمون البروجسترون بالمقايسة المناعية الإشعاعية (RIA) radioimmunoassay. واعتُبر أن تركيز هرمون البروجسترون الذي يساوي أو يزيد عن 3.18 نانو مول / ل مؤشر على وجود جسم أصفر نشيط أو على الحمل، والذي يقل عن 3.18 نانو مول / ل مؤشر على إما سكون تناسلي أو الطور الجريبي أو بداية الطور اللوتيئيني من دورة الشبق [13].

تحليل النتائج

حُلِّلت النتائج بتحليل التباين (ANOVA) على مستوى ثقة مقداره 95% باستخدام البرنامج Statview على منظومة IBM.

النتائج

سلوك الشياع والتلقيح

أبدت النعاج في المجموعة T10 شياعاً بعد 83.3 ± 42.9 ساعة (المدى: 51 - 196 ساعة؛ 3.47 يوم، المدى: 2.13 - 8.17 يوم) وفي المجموعة T15 بعد 136.5 ± 109.9 ساعة (المدى: 51 - 331 ساعة؛ 5.69 يوم، المدى: 2.13- 13.79 يوم) من إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين (جدول 1). في مجموعة الشاهد (C)، كان الشياع أقل تكثيفاً وحدث بعد 251.2 ± 130.9 ساعة (المدى:53 - 408 ساعة؛ 10.47 يوم، المدى: 2.21 - 17.00 يوم) من إدخال الكباش. لم يكن الفرق بين تأثير الجرعتين مؤكداً إحصائياً ($P > 0.05$)، لكنه كان مؤكداً ($P < 0.05$) بين النعاج

الجدول 1– بعض المعايير التناسلية عند نعاج العواس السوري المعاملة بالبروسولفين ضمن الموسم التناسلي. المتوسطات، ضمن السطور، المتبوعة بأحرف مختلفة عبارة عن فروقات مؤكدة إحصائياً ($P < 0.05$).

المعايير	الشاهد (C)	T10	T15
عدد النعاج	10	10	10
متوسط الزمن لحدوث الشياع (ساعة)	a 130.9 ± 251.2	b 42.9 ± 83.3	b 109.9 ± 136.5
عدد النعاج التي أظهرت شياعا"			
خلال 72 ساعة	1	5	3
خلال 96 ساعة	2	8	6
خلال 120 ساعة	3	9	7
طول فترة الحمل (يوم)	c 1.3 ± 150.8	c 1.6 ± 150.3	c 1.2 ± 150.4
وزن المواليد (كغ)	d 0.6 ± 5.0	d 0.7 ± 4.8	d 0.9 ± 4.7

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

المعاملة وغير المعاملة (جدول 1). لُقّحت النعاج في المجموعتين T10 وT15 خلال 7 و 13 يوماً على التوالي، في حين لُقّحت النعاج في المجموعة C خلال 16 يوماً.

طول فترة الحمل، وزن المواليد ونمط الولادة

لم تؤثر المعاملة على طول فترة الحمل التي بلغت بالمتوسط 150.3، 150.4 و 150.8 يوماً (جدول1)، وتراوحت بين 148 - 153، 149 - 152 وبين 148 - 152 يوماً للمجموعات T10، T15 و C على التوالي.

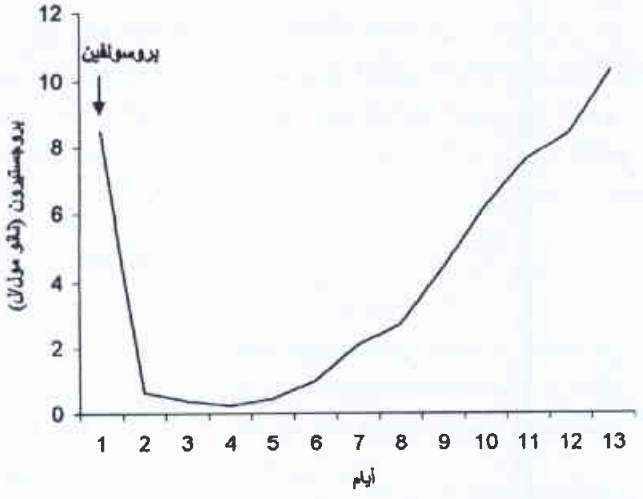
لم تؤثر جرعتا البروسولفين بشكل مؤكد إحصائياً ($P > 0.05$) على وزن الولادة للحملان الذي بلغ بالمتوسط 4.8، 4.7 و 5.0 كغ (جدول 1)، وتراوح بين 3.7 - 5.8، 3.5 - 6.3 و 4.3 - 6.4 كغ للمجموعات T10، T15 و C على التوالي. بلغ معدّل النفوق عند الحملان من الولادة إلى الفطام بعمر 60 يوماً 0%.

قياسات البروجسترون

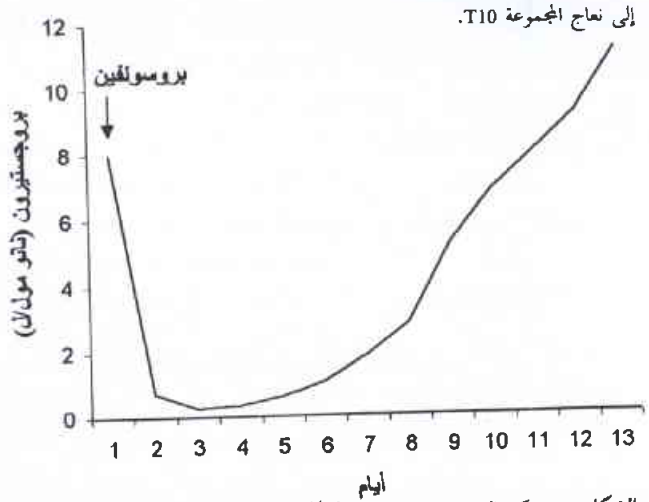
عند إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين، وجدت أجسام صفراء نشيطة في 70% و 50% من مبايض النعاج المعاملة بجرعتي 10 و 15 مغ على التوالي. بلغ متوسط تركيز هرمون البروجسترون عند النعاج التي امتلكت أجساماً صفراء نشيطة 8.48 نانو مول/ل (المدى: 4.39-10.76 نانو مول/ل) و 7.95 نانو مول/ل (المدى: 4.78 - 11.40 نانو مول/ل) للمجموعتين T10 و T15 على التوالي. على أية حال، انخفض التركيزان المذكوران بشدة خلال 24 ساعة إلى متوسط بلغ 0.52 نانو مول/ل (المدى: 0.03 - 0.92 نانو مول/ل) و 0.45 نانو مول /ل (المدى: 0.04-1.03 نانو مول/ل) للمجموعتين T10 و T15 على التوالي. يوضح الشكلان 1 و 2 تراكيز هرمون البروجسترون يومياً ولمدة 13 يوماً في النعاج المعاملة التي امتلكت أجساماً صفراء نشيطة عند إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين.

المناقشة

تُعدّ الأغنام من الحيوانات الهامة في سورية وفي بلدان عديدة أخرى بالمناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. يعد الأداء التناسلي عند أغنام العواس السوري ضعيفاً ويجب دراسته وتحسينه. لذلك، ساعدت الدراسة الحالية في توضيح بعض المعايير التناسلية؛ استمراراً لأعمال سابقة على أغنام العواس السوري [13]، [23]. عندما استُخدمت جرعة مقدارها 7.5 مغ من البروسولفين، أظهرت 46.7% فقط من نعاج العواس السوري المعاملة شياعاً خلال 120 ساعة (زرقاوي، بيانات غير منشورة). في الدراسة الحالية، ارتفعت نسبة النعاج الشائعة إلى 90% و 70% عند استخدام الجرعتين 10 و 15 مغ على التوالي، للمدة نفسها (120 ساعة). تشير النتائج إلى أن 70% و 60% من النعاج المعاملة بـ 10 و 15 مغ من البروسولفين أبدت شياعاً ولقحت بين 51 – 90 ساعة بعد إعطاء الحقنة الثانية، بالمقارنة مع 20% فقط من نعاج مجموعة الشاهد. وهذه مشابهة للنتيجة التي حُصل عليها [24] والتي تخبر عن زيادة عدد النعاج الملقّحة (والتي أُعطيت Lutalyse وهو مشابه آخر للبروستاغلاندين) عن الشاهد بنسبة 53.8% و 44.5% خلال 56 ساعة للنعاج التي أُعطيت جرعة 15 مغ وجرعة 10 مغ من البروستاغلاندين على التوالي. أشار [25] إلى أن



الشكل 1– تركيز البروجسترون (نانو مول / ل) بعد إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين إلى نعاج المجموعة T10.



الشكل 2 – تركيز البروجسترون (نانو مول /ل) بعد إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين إلى نعاج المجموعة T15.

56.1% من نعاج Mytilene x East Friesian المعاملة بجرعة 15 مغ من Lutalyse أبدت شياعاً خلال 48 – 72 ساعة من إعطاء المركّب المذكور.

تُستخدم تراكيز هرمون البروجسترون في الدم بشكل واسع كأداة حيوية في دراسات فيزيولوجيا التناسل عند الحيوان [17]، [26]، [23]. إن تقدير مستوى هرمون البروجسترون بشكل يومي لمدة 35 يوماً، تبدأ قبل 4 أيام من إعطاء الحقنة الأولى وتستمر حتى اليوم 19 من إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين، كان مؤشراً هاماً جداً في تقويم المرحلة التناسلية، والتأثير على الجسم الأصفر، وحدوث الحمل. انخفض تركيز هرمون البروجسترون بشدّة خلال 24 ساعة من إعطاء الحقنة الثانية من البروسولفين في كل النعاج المعاملة التي امتلكت أجسام صفراء نشيطة.. أخبر [27] عن انخفاض حاد في تركيز هرمون البروجسترون خلال 48 ساعة في 5 من أصل 6 نعاج (83.3%) عوملت بجرعة 5 مغ من البروستاغلاندين Lutalyse في منتصف الطور اللوتيئيني من دورة الشبق، والحقنة الثانية بعد 3 ساعات من الحقنة الأولى. وجد [28] انخفاضاً حاداً في تركيز هرمون البروجسترون خلال 24 ساعة في النعاج المعاملة بنحو

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

12 مغ من Lutalyse في اليوم 74 من الحمل. وأخبر أيضاً عن انخفاضات في تراكيز هرمون البروجسترون خلال 24 ساعة [29]، وخلال 72 ساعة [30] من الحقن بالبروستاغلاندين الصنعي للأبقار، وخلال 24 ساعة عند بكاكير الهولشتاين [31]، وخلال 24 ساعة عند العنزات الكوريّة [32].

أُخبر عن أطوال فترة حمل قدرها 152 و 151.7 يوماً من قبل [13] و[33] في نعاج العواس السوري، وعن فترة ومدة 150.7 يوماً من قبل [34] في نعاج العواس بمقدونيا، وهي مشابهة لتلك المستحصل عليها في الدراسة الحالية. وهذا يقترح أن البروسولفين لايؤثر على طول فترة الحمل. وبشكل مشابه، لم تؤثر المعاملة على وزن الولادة للحملان.

بسبب طول الموسم التناسلي نسبياً [13]، يمكن أن تخضع نعاج العواس إلى برامج توقيت الشياع للحصول على 3 ولادات في عامين، وذلك بهدف زيادة دخل المربي من الحليب والحملان.

تشير هذه الدراسة إلى إمكانية استخدام مركّب البروستاغلاندين الصنعي، البروسولفين وبجرعتي 10 أو 15 مغ، لتوقيت الشياع عند أغنام العواس المحلي ضمن الموسم التناسلي.

المراجع REFERENCES

[1] Sleiman, F. T. and Abisaab, S., 1995. Inflluence of environment on respiration, heart rate and body temperature of filial -crosses compared to local Awassi sheep. Small Rum. Res., 16: 49 - 53.

[2] Goddard, I. H. H., 1988. Sheep breeding in Jordan and a proposed Awassi breed improvement progress. In: Increasing Small Ruminant Productivity in Semi Arid Areas. Proceeding of ICARDA, Thomson, E. and Thomson, F. S. (Eds.), Pp 181 - 188, Academic Press.

[3] Hasson, T. M., Al - Jalill, Z. F. and Al - Hakim, M. k., 1992. Induced pregnancy in ewes during lactation period by hormonal treatment. IP A J. Agric. Res., 2: 74 - 82.

[4] Gursoy, O., Kirk, K., Cebec, Z. and Pollot, G. E., 1995. Genetic evaluation of growth performance in Awassi sheep. Cahiers - Options - Mediterraneennes. 11: 193 - 201.

[5] Gueney, O., 1990. Commercial crossbreeding between Ile - de - France, Rambouillet, Chios and local fat - tail Awassi for market lamb production. Small Rumin. Res., 3: 449 - 456.

[6] Akhtar, M., Taher, M., Siddiqui, M. Z. and Muhammad, M. S., 1993. Repeatability of wool yield in Awassi sheep under local conditions of Punjab. Pakistan Vet. J., 13: 188-190.

[7] Demeke, S., Thwaites, C. J. and lemma, S., 1995. Effects of ewe genotype and supplementary feeding on lambing performance of Ethiopian highland sheep. Small Rum. Res., 15: 149 - 153.

[8] Kovacs, P. and Kukovics S., 1993. Initial experiences about the breeding of the imported Awassi sheep in Bakonszeg (Hungary). Proceedings of the 5th International Symposium of Machine Milking of Small Ruminants, Budapest, Hungary. Cheltenham, UK, Asbury Publications Ltd., Pp. 225 - 233.

[9] Kingwell, R. S., Abadi - Ghadim, A. K. and Robinson, A. D., 1995. Introducing Awassi sheep to Australia: an application of farming system models. Agric. Systems, 47: 451 - 471.

[10] Holloway, I. J., Purchas, R. W., Power, M. T. and Thomson, N. A., 1994. A comparison of Awassi - cross and Texel - cross ram lambs. Proceedings of the New Zealand Soc. Anim. Prod., 54: 209 - 213.

[11] Lightfoot, J., 1988. The Awassi fat tail sheep. J. Agric - West.Aust. 28: 107 - 113.

[12] MAAR 1998: Production data. Division of Planning and Statistics, Ministry of Agriculture and Agrarian Reform, Damascus, Syria.

[13] Zarkawi, M., 1997. Monitoring the reproductive performance in Awassi ewes using progesterone radioimmunoassay. in Awassi sheep. Small Rum. Res., 26: 291 - 294.

[14] Tlemat, F., 1996. Encyclopedia of the Arab sheep breeds. ACSAD / AS / P 155.

[15] Thomson, E. F.; Bahhady, F. A. 1988: A note on the effect of live weight at mating on fertility of Awassi ewes in semi - arid north - west Syria. Anim. Prod., 47: 505 - 508.

[16] ACSAD 1996: Annual Technical Report ACSAD / AS / AR25 / 1996. Department of Studies of Animal Wealth, the Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Damascus, Syria.

[17] Zarkawi, M., Galbraith, H. and Hutchinson, J. S. M., 1991. Influence of trenbolone acetate, Zeranol and oestradiol - 17B implantation on growth performance and reproductive function in beef heifers. Anim. Prod., 52: 249 - 253.

[18] Peters, A. R. 1989. Effect of prostaglandin F2 alpha on hormone concentrations in dairy cows after parturition. Vet. Rec., 124: 371 - 373.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

[19] Nuti, L. C., Bretzlaff, K. N., Elmore, R. G., Meyers, S. A., Rugila, J. N., Brinsko, S. P., Blanchard, T. L. and Weston, P. G., 1992. Synchronization of oestrus in dairy goats treated with prostaglandin F at various stages of the oestrous cycle. Ame. J. Vet. Res., 53: 935 - 937.

[20] Godfrey, R. W., Gray, M. L. and Collins, J. R., 1997. A comparison of two methods of oestrous synchronization of hair sheep in the tropics. Anim. Reprod. Sci., 47: 99 - 106.

[21] Tekeli, T., Akosi, M., Semacan, A., Karaca, F. and Ayar, A., 1997. Estrus and pregnancy rates of Konya Merino ewes treated with a double injection of Cloprostenol at different intervals. Archive Anim. Breeding 40: 57 - 60.

[22] Wade, D. E. and Lewis, G. S., 1996. Exogenous prostaglandin F_2 alpha stimulates utero - ovarian release of prostaglandin F_2 alpha. Domestic Anim. Endocrino., 13: 383 - 398.

[23] Zarkawi, M., Al - Merestani, M. R. and Wardeh, M. F., 1999. Induction of synchronized oestrous and early pregnancy diagnosis in Syrian Awassi ewes, outside the breeding season. Small Rum. Res., 33: 99 - 102

[24] Hoppe, K. F. and Slyter, A. L., 1989. Effects of prostaglandin F2 alpha dosage on synchronizing ovine estrus using a modified single injection regimen. Theriogenology, 31: 1191 - 1200.

[25] Tsamis, K. and Poilas, S., 1983. Induction of fertile oestrous in ewes by administration of prostaglandin F2 alpha a month before the beginning of the breeding season. Deltiotis - Ellinikis - Ktiniatrikis - Etaireias. 37: 149 - 153.

[26] Engeland, I. V., Ropstad, E., Andersen, O. and Eik, L. O., 1997. Pregnancy diagnosis in dairy goats using progesterone assay kits and oestrous observation. Anim. Reprod. Sci., 47: 237 - 243.

[27] Light, J. E., Silvia, W. J., and Reid, R. C., 1994. Luteolytic effect of prostaglandin F2 alpha and two metabolites in ewes. J. Anim. Sci., 72: 2718 - 2721.

[28] Campbell, J. W., Hallford, D. M. and Wise, M. E., 1994. Serum progesterone and luteinizing hormone in ewes treated with PGF2 - alpha during mid - gestation and gonadotropin releasing hormone after parturition. Prostaglandins 47: 333 - 344.

[29] Chenault, J. R., Thatcher, W. W., Kahra, P. S., Abraham, R. M. and Wilcox, C. J., 1976. Plasma progesterone, oestradiol and luteinizing hormone following prostaglandin F2 alpha injection. J. Dairy Sci., 59: 1342 - 1346.

[30] Chauhan, F. S., Mgongo, F. O. K., Kessy, M. M. and Gombe, S., 1986. Effect of cloprostenol on progesterone profile and fertility in suboestrous cattle. In: Nuclear and Related Techniques for Improving Productivity of Indigenous Animals in Harsh Environments, IAEA, Pp 91 -95.

[31] Desauliniers, D. M., Guay, P. and Vaillancourt, D., 1990. Estrus induction with prostaglandin $F_{2\alpha}$, Cloprostenol or Fenprostalene during the normal estrous cycle, superovulation and after embryo transfer. Theriogenology 34: 667 - 682.

[32] Park, C. S.; Choe, S. Y.; Lee, H. J.; Lee J. S. 1989: Studies on the technological development of embryo transfer and manipulation in goats. 1: Oestrus induction and synchronization in goats. Korean J. Anim. Sci., 31: 8 - 14.

[33] Kassem, R., 1988: The Awassi sheep project in Syria. In: Thomson, E. F.; Thomson, F. S. ed. Increasing small ruminant productivity in semi - arid areas. Proceedings of ICARDA. Kluwer Academic Publishers. Pp. 155 - 163.

[34] Todorovski, N., 1988. The improved Awassi breed of sheep is wholly acclimatized to the natural conditions of Macedonia - Yugoslavia. In: Proc. 3rd World Congress on Sheep and Beef Cattle Breeding, Vol. 2, Paris, France, Pp 739 - 742.■

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

مقارنة تحليل اليورانيوم في بعض العيّنات الجيولوجية السورية باستخدام ثلاث طرائق تعتمد على مفاعل نووي★

د. يوسف معروف جبيلي
قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

حُلّلت مجموعة من 25 عيّنة جيولوجية سورية مكوّنة من تربة ورواسب وصخور كربوناتية وفسفاتية بقصد تحديد محتواها من اليورانيوم باستخدام ثلاث طرائق تعتمد على المفاعل النووي وهي:

– التحليل بالتنشيط النتروني الآلي (INAA).
– عدّ النترونات المتأخرة (DNC).
– التشعيع السريع القصير الأمد باستخدام منظومة التنشيط النتروني الدوري (CAS)، ولكن لدورة واحدة فقط.

ورغم أن الطرائق الثلاث تتميز بأنها قادرة على تشعيع العيّنات الجيولوجية لتعيين اليورانيوم فيها، إلاّ أن الطريقة الثالثة الأخيرة تُعدّ الأقل استخداماً وشيوعاً، وبالتالي أقلّها تأسيساً في قياس اليورانيوم في الصخور. ولكن بعد أن تمّت مقارنة قيم التحليل بالطرائق الثلاث، وتعيين قيم محتوى اليورانيوم، أظهرت النتائج توافقاً جيداً مع بعضها بحيث يمكن قبول الطريقة الثالثة منها. وقد لُوحظ وجود علاقة خطيّة مؤكّدة ومعاملات ارتباط موجبة وهامة إحصائياً فيما بينها. وبناءً عليه تمّ استنتاج أن الطريقة الثالثة يمكنها أن تقيس اليورانيوم وتحدّده في العيّنات الجيولوجية بشكل موثوق وسريع عندما تتوفر تسهيلاتها في المفاعل، ولاسيما عندما يكون الهدف تعيين محتوى عنصر اليورانيوم فقط وبشكل سريع.

الكلمات المفتاحية: التحليل بالتنشيط النتروني الآلي، عدّ النترونات المتأخرة، منظومة التنشيط الدوري، تعيين اليورانيوم، الخامات.

مقدمة

هنالك عدد كبير من المفاعلات النووية المنتشرة في العالم مجهّزة بمنظومة التشعيع أو التنشيط النتروني الدوري القصير الأمد cyclic activation system (CAS). حيث يتم التحكّم بنقل العيّنات من وإلى مواقع التشعيع في الأنابيب المخصّصة للتشعيع في قلب المفاعل بواسطة الهواء المضغوط والغازات (pneumatic)، مثل مفاعل البحث التابع للكلية الملكية البريطانية، ومفاعل مخبر ريزو الوطني الدانماركي، والمفاعل التابع للجامعة التقنية بدلفت – هولندا، وغيرها. وتمّ استخدام مثل هذه المنظومة (CAS) من أجل تقدير دقة وفوائد القياس السريع لمحتوى اليورانيوم في بعض العيّنات الجيولوجية السورية، وذلك بتحليل 25 عيّنة من الترب والرواسب والصخور الكربوناتية والفسفاتية. وقُورنت نتائج هذه الطريقة بنتائج تمّ الحصول عليها بتحليل العيّنات نفسها باستخدام الطريقتين الأكثر شيوعاً ورسوخاً في قياس وتحديد اليورانيوم وهما:

– التحليل بالتنشيط النتروني الآلي instrumental neutron activation analysis (INAA).

– عدّ النترونات المتأخرة delayed neutron counting (DNC).

كانت النتائج شديدة التوافق بين الطرائق الثلاث. وقد هدف التطبيق الحالي للتحليل بالمنظومة (CAS) إلى الحصول على قياس أو تحديد سريع لنظائر يورانيوم قصيرة نصف العمر التي تنتج من التشعيع القصير الأمد، حيث يعطي اليورانيوم ^{238}U بتفاعل (n,γ) النظير ^{239}U وذلك باستخدام تسهيلات وتجهيزات التشعيع بتدفق نتروني تحت حراري. ويقوم الإجراء المتبع على خطوتين:

– تحضير العيّنات الجيولوجية بحيث نحصل على مسحوق متجانس وناعم جداً.
– تنفيذ تحليل المسحوق بواسطة التنشيط النتروني تحت الحراري باستخدام تجهيزات منظومة (CAS) التابعة لمفاعل الكلية الملكية البريطانية لتعيين محتوى اليورانيوم فقط.

لقد نُشرت تفاصيل تجهيزات المنظومة المستخدمة (CAS) والمطبّقة على مفاعل الإمبيريال كوليج بسلوود بارك – انكلترا من قبل بورهولت ورفاقه [1] ووصفتها باري [2] في مجموعة من المنشورات واستخدمتها [4,3] لتحديد وتعيين اليورانيوم في صخور مرجعية عياريّة تعتمدها هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS. كما استخدم جبيلي وباري [5] تلك المنظومة لتحليل وتعيين اليورانيوم المنحل في المياه الجوفية فقط. في

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Applied Radiation and Isotopes*, 52 (2000) p. 1003-1007.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

حين استخدم العديد من الباحثين الآخرين الطريقتين الأولى والثانية [10,9,8,7,6] وهما: التنشيط النتروني الآلي وعدّ النترونات المتأخرة لتحليل اليورانيوم في العيّنات الجيولوجية والصخور.

طرائق العمل

جرى تحضير العيّنات كافة ضمن شروط النظافة والأمان، بعيداً عن أي مصدر لليورانيوم الخارجي. وتمّ وزن الجزء المناسب من مسحوق كل عيّنة، ووضع في عبوات عيارية من البولي إيتيلين مرقمة ومعلّمة بشكل واضح، وحُفظت تمهيداً للتشعيع. وفي كل حافظة مخصّصة لعددٍ من العيّنات وضعت إحدى العيّنات كمكرر وكذلك مكرر لإحدى العيّنات العيارية، وذلك من أجل تقدير مدى خطأ إحكام ودقة القياسات وبمجموع بلغ خمس عيّنات مجهولة وثلاث عيّنات مرجعية. وتمّ التزود بمجموعة محضرات من العيّنات العيارية الكيميائية لعنصر اليورانيوم بتراكيز محددة وهي 20,10,2,1 جزء من المليون، وجرى تحضيرها آنياً لتبقى طازجة وذلك من المحلول العياري الأصلي بتركيز 1000 جزء من المليون. حيث تمّ تبخير الحجم المناسب من المحلول فوق ورقة ترشيح موضوعة في العبوة العيارية.

تمّ تشعيع العيّنات المجهولة لليورانيوم، والعيّنات الصخرية المرجعية المعتمدة من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS، وهي العيّنات الصخرية G2, NIM-G, AGV-1, GSP-1 إضافة إلى عيّنة تربة عيارية هي Soil-5 من الوكالة الدولية للطاقة الذرّية IAEA. وجرى التنشيط النتروني في المفاعل النووي مارك II في سلوود بارك - المملكة المتحدة، حيث يتم التحكّم بمنظومة التشعيع (CAS) بشكل آلي كلياً، كما هو موصوف [11,12]. ويحصل تشعيع عبوات العيّنات المصنوعة من نوع خاص من البولي إيتيلين وبمقياس (30mmX10mm) بحيث تقدم لعملية التشعيع عبوة واحدة إثر أخرى نحو داخل قلب المفاعل من خلال استعمال أنبوب التشعيع المطلي بطبقة من الكادميوم بسماكة 1mm ليؤمّن التعرض للنترونات تحت الحرارية بدفق نتروني يصل إلى $4.1x10^{10}n\ cm^{-2}\ s^{-1}$. وشُعّت عبوة كل عيّنة لمدة خمس دقائق جرى سحبها بعد ذلك تحت تأثير غاز النتروجين المضغوط ووحدة تحكم بالزمن إلى موقع للتفكك الإشعاعي، حيث تُترك لمدة خمس دقائق أخرى ليتم فيها التفكك. ثم تُنقل إلى موضع التعداد آلياً أيضاً حيث يتم قياس طيف أشعة غاما بواسطة كاشف جرمانيوم منشط بالليثيوم (GeLi) (من إنتاج برنستون لتقانة غاما Princeton Gamma Tech من نموذج LGTC 5) بحجم فعّال يصل إلى $30\ cm^3$ وقدرة فصل أو عزل تبلغ 1.69 keV عند منتصف قمة العرض الكامل للبيك ذي الطاقة 1332 keV مع نسبة بيك/ تبعثر في حدود 27.7 وفعالية تبلغ 4.9%. يُحفظ الكاشف (Geli) في درع رصاصي مغطى بصفيحة من الكادميوم وهو موصول إلى منظومة تحليل من Nuclear Data تُستخدم لقياس وتحليل طيف كل عيّنة. ويتم قياس الذروة (البيك) العائدة إلى النظير U^{239} ذي طاقة غاما 74.7 keV. حيث تُحسب تراكيز اليورانيوم من تطبيق قاعدة أو طريقة نسبة كامل مساحة الذروة (البيك) إلى مثيلتها في العيّنة لليورانيوم المعروفة التركيز.

ويجب الإشارة إلى أن لليورانيوم نسبة كادميوم منخفضة، لذا فإن عملية كشفه تتحسن كثيراً باستخدام التشعيع بالنترونات تحت الحرارية التي تتميز بها مواقع التشعيع في الأنابيب المبطّنة بالكادميوم.

التحليل بالتنشيط النتروني الآلي INAA

في هذه الطريقة، تمّ إتباع إجراءات تشعيع مغايرة تقوم على قاعدة التشعيع الطويل الأمد ليورانيوم العيّنات U^{238}، ليعطي النظير U^{239} حيث يتفكك هذا النظير إلى النظير Np^{239} الذي يتميز نسبياً بعمر نصف أطول من النظير U^{239}. واستخدمت هذه الطريقة التي تتطلب نزع مسحوق العيّنات من عبوات منظومة الـ CAS الأسطوانية، ثم إعادة تعليبها في وحدات للتشعيع هي عبوات أخرى على شكل طبل صغير تناسب طريقة التشعيع الطويل الأمد. وتمّ ذلك بعد الانتظار لفترة عدة أيام لضمان حدوث التفكك الإشعاعي، بحيث يمكن التعامل يدوياً مع العيّنات بأمان كامل. نضع في كل عبوة واحدة من العبوات الصغيرة وزناً يقارب 0.2غ من مسحوق كلٍ من العيّنات الجيولوجية المراد تحليلها مع التأكد من وجود عيّنة مكررة واحدة وكذلك عيّنة واحدة من العيّنات الصخرية العيارية المرجعية USGS. ثم تدخل عادة عشر من تلك العبوات الصغيرة التي على شكل طبل صغير في حاضنة أسطوانية بطول يزيد عن 10 cm وبقطر تقريبي 2 cm بحيث تكون العيّنات العشر محصورة بين عيّنتين من العيّنات العيارية لليورانيوم، توضع عيّنة عيارية في أسفل الحاوية الأسطوانية الكبيرة وأخرى في أعلى الحاوية، وباقي العيّنات محصورة بين العيّنتين العياريتين. يسمح مثل هذا التنظيم بإجراء حساب تصحيح التغير المحتمل في قيمة التدفق النتروني الذي تتلقاه العيّنة أثناء تشعيعها وفقاً لموقعها في الحاضنة الأسطوانية من جهة وفي أنبوب التشعيع من جهة أخرى.

تقدّم طريقة التحليل بالتنشيط النتروني الآلي نظاماً فعّالاً لتحليل العيّنات وقياس أو تعيين عدد من العناصر معاً وليس اليورانيوم فقط، أي تحليل متعدد العناصر، فهي طريقة تُستخدم بشكل شائع وعلى نطاق واسع لتعيين اليورانيوم والعناصر المتعدّدة المرافقة له عند تحليل العيّنات الجيولوجية [16,15,14,13]. وقد جرى تشعيع العيّنات بهذه الطريقة باستخدام أنبوب تشعيع يمر إلى قلب المفاعل ويحقق دفقاً من النترونات الحرارية بمقدار $1.1 \times 10^{12}n\ cm^{-2}\ s^{-1}$ ولمدة خمسة أيام متصلة. يعقبها مدة أسبوع كامل لحدوث التبريد والتفكك الإشعاعي. ثم يجري إثر ذلك قياس طيف أشعة غاما للنظير Np^{239} لكل عيّنة ولمدة ساعة ونصف. وقد استُخدم مبدّل آلي للعيّنات ذو إثني عشر موقعاً ويضم أو يحتوي كاشفاً من الجرمانيوم النقي بسماكة 7 mm، مساحة مقطعه الفعّال تبلغ $300\ mm^2$. أما مقدرة فصل الطاقات فكانت على أساس 290 eV عند خط الطاقة 5.9 keV و545 keV عند الطاقة 122 keV والعرض الأعظمي لمنتصف ذروة خط الطاقة، وقد استُخدمت ذروة النظير Np^{239} عند الطاقة 106.3 keV لتعيين تراكيز اليورانيوم، نظراً لأن هذه الطاقة لذروة النبتونيوم Np^{239} يمكن اعتبارها خالية، أو حرة من أي تداخل هام.

التحليل بطريقة عدّ النترونات المتأخرة DNC

تُعدّ هذه الطريقة لتعيين وقياس اليورانيوم في العيّنات الجيولوجية من أدق الطرائق وأعظمها أهمية. وبناءً عليه فقد استُخدمت على نطاق واسع

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

نظراً لأنها طريقة مصمّمة لتعيين اليورانيوم والثوريوم بشكل انتقائي دقيق [20,19,18,17,16]. وإن قياس الطيف النتروني الصادر مباشرة بعد إخراج العيّنات من المفاعل يسمح بالتعيين المباشر والنوعي الانتقائي لمحتوى اليورانيوم. ويتم تشعيع العيّنات المتاحة في دفق من النترونات الحرارية. أما النظير الذي يتم تنشيطه في هذا النوع من طرائق التحليل وإجراءاتها فهو نظير اليورانيوم القابل للانشطار، أي ^{235}U. وتقتضي الإجراءات وزن جزء من مسحوق كل عيّنة يتراوح بين 11-12 g، إضافة إلى وزن مساحيق العيّنات الصخرية المرجعية العياريّة الدولية أو عيّنات هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS المذكورة أعلاه، وكذلك مساحيق لعيّنات عياريّة محلية وعيّنات عياريّة من اليورانيوم. وبعد تحضير مختلف عبوات تشعيع العيّنات وترقيمها بشكل جيد يُرسل المجموع للتحليل وتعيين محتوى اليورانيوم فيه. ويتم تشعيع العيّنات لمدة دقيقة واحدة (60 ثانية) وبعد 20 ثانية من سحب العيّنات جرى عدّ النترونات المتأخرة ولمدة دقيقة أيضاً باستخدام عدّاد أو كاشف نترونات من نوع BF_3 (ثلاثي فلور البورون). ويُتوقع لهذه الطريقة من طرائق التحليل أن تعطي نتائج دقيقة وخالية من أي تداخلات.

النتائج والمناقشة

يُظهر الجدول 1 نتائج تعيين محتوى اليورانيوم في العيّنات الجيولوجية المجهولة باستخدام طرائق التحليل الثلاث. ويُظهر الجدول 2 قيم محتوى اليورانيوم المحدّد أو

الجدول 1- نتائج تعيين محتوى اليورانيوم بالطرائق الثلاث.

رقم العينة	تنشيط نتروني آلي	تنشيط دوري قصير الأمد	عد النترونات المتأخرة
Sample No.	U.INAA (ppm)	U.CAS (ppm)	U.DNC (ppm)
1	50.4±0.5%	48.0±1.0%	53.6
2	6.4±0.7%	4.2±0.4%	4.2
3	6.6±0.7%	5.9±0.3%	6.3
4	25.4±0.6%	18.8±0.7%	24.3
5	511.0±0.5%	435.0±0.7%	415.0
6	90.0±0.5%	86.0±0.3%	81.0
7	50.0±1.0%	* 34.0±1.0%	41.6
8	192.0±0.7%	*122.0±1.2%	138.0
9	44.0±1.0%	* 30.0±0.6%	37.2
10	1.6±0.1%	1.6±0.3%	1.6
11	7.2±0.7%	6.0±0.3%	6.3
12	6.4±0.6%	4.2±0.2%	4.0
13	7.5±0.5%	6.0±0.2%	6.5
14	11.0±1.0%	8.0±0.5%	7.5
15	8.9±0.7%	8.9 ±0.1%	8.3
16	15.5±0.3%	*13.4±0.3%	16.1
17	16.1±0.6%	15.0±0.4%	15.9
18	7.2±1.5%	5.9±1.2%	6.3
19	9.0±1.2%	8.3±1.0%	8.2
20	11.0±1.6%	10.1±0.4%	10.4
21	1.3±1.0%	2.1±0.6%	1.2
22	25.8±0.7%	21.7±0.6%	21.6
23	1.2±0.4%	1.9±0.6%	1.2
24	11.0±0.7%	9.2±0.7%	10.1
25	8.9±0.2%	8.9 ±0.2%	8.5

• عيّنات أبدت نتائجها بعض التباين

الجدول 2- نتائج تعيين محتوى اليورانيوم في العيّنات المرجعية الدولية في المواد والعيّنات العياريّة مقيسة بالطرائق الثلاث ومقارنتها بقيم آبي (1980) وباري (1984) للعيّنات المرجعية الدولية نفسها.

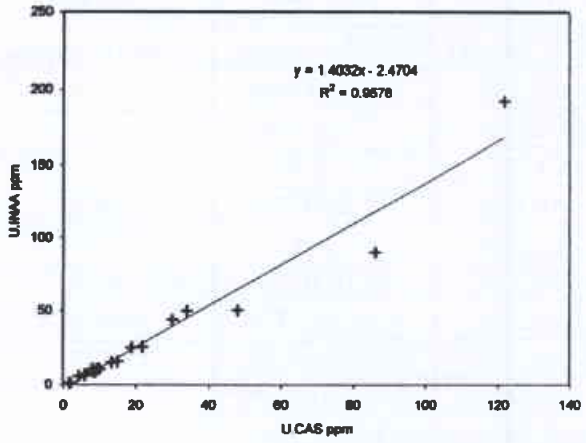
العينات المرجعية الدولية والعيارية	تنشيط نتروني آلي	تنشيط دوري قصير الأمد	عد النترونات المتأخرة	قيم اليورانيوم المستخدمة من قبل آبي (1980)	القيم التي يوصى بها من قبل باري (1984)
International refereces & Standards	INAA (ppm)	CAS (ppm)	DNC (ppm)	Usable values Abby (1980)	Parry's values recommended
G2	2.09 ± 0.2	.2.06 ± 0.2	2.04 ± 0.09	2.1	2.07±0.09
NIM-G	14.22 ± 0.3	14.05 ± 0.6	15.0 ± 0.03	15.0	15.9±0.03
AGV-1	1.98 ± 0.2	1.29 ± 0.12	1.95 ± 0.10	1.95	1.91±0.13
GSP-1	2.3±0.3	2.4±0.5		2.1	2.4±1.0
Soil-5	3.11 ± 0.1	3.09 ± 1	3.2		3.2±0.1
SD1	2.04	1.95	1.98		
SD2	15	14.5	15		
HRM2	8.9	8.8	8.5		

المقاس في المواد المرجعية العياريّة الدولية المختلفة وفي باقي العيّنات العياريّة لليورانيوم [21,22].

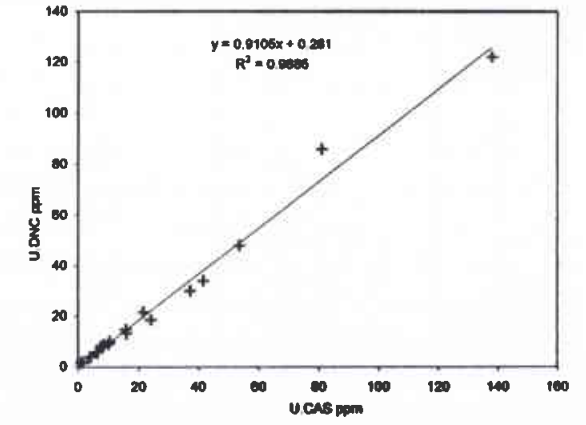
وإذا استثنينا نتائج العيّنات الأربع ذات الأرقام 7,8,9,16 التي أظهرت بعض التباين أو ضعف الإحكام، فإن الوضع العام لنتائج الطرائق الثلاث في تعيين اليورانيوم لدى الغالبية العظمى من العيّنات هو نفسه تقريباً مع تشابه واضح في قيم محتوى اليورانيوم المحدّد بالطرائق الثلاث لاسيما عندما تكون تراكيز اليورانيوم في العيّنات ضمن مجال محتواه في العيّنات المرجعية والعيّنات العياريّة المستخدمة، والذي لايزيد كثيراً عن 45 ppm جزءاً من المليون. أما حدّ كشف اليورانيوم في العيّنات الصخرية فيَصِل عند استخدام منظومة CAS المطبقة في هذا العمل إلى 0.05 ppm جزء من المليون. وقد حُسب هذا الحدّ كعامل يتعلق بزمن القياس، وعدّات الخلفية الطبيعية، وثابت يمثل خطأً العدّ أسفل ذروة بيك اليورانيوم المقاس.

وتُظهر مقارنة النتائج التي تمّ الحصول عليها باستخدام منظومة CAS مع نتائج الطريقتين الأكثر شيوعاً واستخداماً ورسوخاً INAA و DNC وجود علاقة خطية جيدة بينها. ولدى حساب معاملات الارتباط بقصد تدعيم الثقة بهذه المقارنة وجد أن قيم كل المعاملات موجبة وعلى درجة عالية من الأهمية. فقد بلغ معامل الارتباط (r) لنتائج الـ INAA ونتائج منظومة CAS 0.97، في حين كان أعلى من ذلك في حالة نتائج DNC ونتائج CAS، حيث بلغ المعامل r=0.99. وهذا يدل على أن أفضل ارتباط وأعلى معامل كان بين نتائج الطريقة المقترحة لتعيين اليورانيوم باستخدام CAS مع نتائج الطريقة الأكثر دقة وهي DNC، وهذا يؤكد إمكانية استخدام التحليل السريع بمنظومة CAS عندما تتوفر تجهيزات هذه الطريقة في أي مفاعل نووي لتعيين اليورانيوم في العيّنات الجيولوجية.

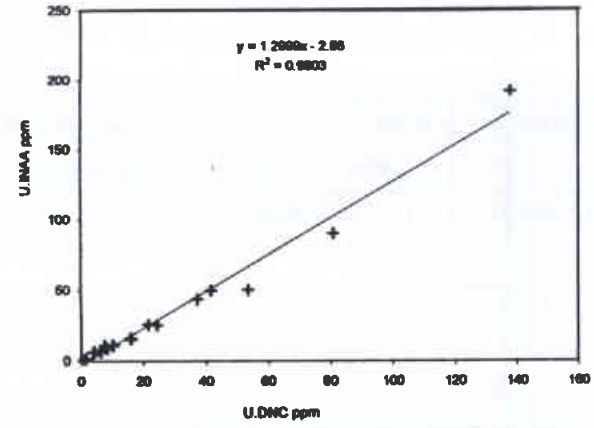
وإن إسقاط المعطيات على شكل مخططات التغاير الثنائي أو مخططات الـ X.Y في الأشكال 3,2,1 مع حساب معادلة خط الانحدار، وقيم R^2 لكل خط، يقدّم دعماً إضافياً لما تمّ التوصل إليه أعلاه. أضف إلى ذلك توفر مؤشر آخر يدل على أن نتائج الطريقتين CAS و DNC تُبدي التوافق والارتباط الأفضل. وقد وجدت سوزان باري [13] أن التشعيع بالنترونات تحت الحرارية هو تقانة مفيدة لخفض وإنقاص النشاط الإشعاعي الناتج من أمية العيّنة الجيولوجية الصخرية Matrix، وأن حساسية النظير ^{239}U أعظم بكثير من حساسية النظير ^{239}Np. وعموماً سيكون استخدام التنشيط بالنترونات تحت الحرارية أكثر ملاءمة وأفضل في حالة قياس النكليدات التي لها مقطع عرضي فعّال يقع في مجال تكامل التجاوب النتروني العالي بالنترونات تحت الحرارية قياساً على مقاطعها العرضية الفعّالة في حال استخدام النترونات الحرارية. كما لاحظنا أن تأثير التدرّع الذاتي بسبب امتصاص التجاوب النتروني من قِبل أمية العيّنات الجيولوجية الصخرية المستخدمة في هذا العمل لايمثل أي مشكلة، لأن العناصر الرئيسة، مثل Ti,K,Na,Mg,Ca,Mn,Fe,Al,Si والفسفور P لاتتمتع بامتصاص هام وفعّال للتجاوب النتروني عند طاقة الخط المستخدمة بطريقة منظومة CAS في تعيين اليورانيوم وهي 74.7 keV. أما باقي العناصر الأثر، ولاسيما العناصر الترابية النادرة REE، فإن تأثيرها يمكن اعتباره مهملاً نظراً لتراكيزها المنخفضة جداً في تلك العيّنات الجيولوجية المستخدمة. وإضافة إلى ذلك فإن المواد المستخدمة تمّ سحقها وطحنها إلى مسحوق ناعم جداً. وقد أفاد ستينز [19] (1971) بأن العيّنات المطحونة إلى مسحوق ناعم ستقلّل وبدرجة واضحة تأثير التدرّع الذاتي. وزيادة على ما تقدّم، لاتحتوي العيّنات على أي عنصر تُبدي نكليداته أية تداخلات ذات



الشكل 1– يُظهر العلاقة بين القيم المقيسة بمنظومة CAS مع تلك المقيسة بالتنشيط النتروني الآلي مع معادلة خط الانحدار (تمّ استثناء عيّنة شاذة واحدة ذات قيمة عالية).



الشكل 2– يُظهر العلاقة بين القيم المقيسة بمنظومة CAS مع تلك المقيسة بطريقة عدّ النترونات المتأخرة مع معادلة خط الانحدار (تمّ استثناء عيّنة شاذة واحدة ذات قيمة عالية).



الشكل 3– يُظهر العلاقة بين القيم المقيسة بالتنشيط النتروني الآلي مع تلك المقيسة بطريقة عدّ النترونات المتأخرة مع معادلة خط الانحدار (تمّ استثناء عيّنة شاذة واحدة ذات قيمة عالية نسبياً).

هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

تجاوب كبير عند خط طاقة غاما 74.7، إذ لم توجد في العيّنات أية عناصر من ذلك القبيل. ومع ذلك فإن التداخلات المحتملة من الأشعة المهبطية (أشعة إكس X-ray) لعنصر الرصاص قد تُحدث ترتيبات تدريج خاصة لم يتم تحرّي أثرها في هذا العمل.

خاتمة وتوصيات

إن مقارنة استخدام الطريقة المقترحة لتعيين وقياس محتوى اليورانيوم في العيّنات الجيولوجية بالطرائق الأخرى الأكثر شيوعاً واستخداماً ورسوخاً تقود إلى الاستنتاجات التالية:

1- لوحظ توافق متقارب جداً بين قيم محتوى اليورانيوم التي تمّ الحصول عليها بتطبيق منظومة CAS مع نتائج طريقة عدّ النترونات المتأخرة التي تُعدّ الأكثر دقة بين الطرائق المقترحة لقياس وتحليل اليورانيوم، مما يشير إلى أن طريقة التعيين باستخدام منظومة CAS هي طريقة موثوقة ومقبولة.

2- هذه الطريقة تشبه بقية الطرائق المعتمدة على مفاعل نووي من حيث كونها غير إتلافية وحسّاسة، ولكنها تتميز بأنها أسرع من غيرها.

3- لاتعاني إجراءات الطريقة كافة أية مشاكل حقيقية من تأثيرات الخلفية الطبيعية أو تأثيرات من الأمية المكونة للعيّنة الصخرية.

4- تدل نتائج قياس وتعيين اليورانيوم في العيّنات المرجعية الدولية والعيّنات العياريّة الأخرى باختلاف أنواعها أن الطريقة المقترحة تُقدّم نتائج دقيقة تماماً. وباستخدام النتائج المعتمدة على قياس خمسة مكرّرات من العيّنات المجهولة وثلاثة مكرّرات من العيّنات العياريّة المرجعية، فإن تقديرات إحكام Presision الطريقة كانت عموماً بخطأ أفضل وأقل من 10% عند حدّ الثقة 95%، وتؤكد ذلك معطيات الجدول 3.

الجدول 3- نتائج تعيين اليورانيوم في خمس عيّنات مكرّرة وثلاث عيّنات عياريّة لتحديد درجة الإحكام ونسب الخطأ فيها والتي كانت أفضل من 10%.

S. №	INAA	CAS	DNC
2	6.4 4.8	4.2 4.1	4.3 4.2
7	39.3 50.0	33.7 40.5	41.8 41.4
18	7.0 7.2	6.0 6.1	6.2 6.4
24	11.3 10.9	9.2 9.1	10.4 6.4
25	8.9 8.9	8.9 8.8	8.4 8.6
Soil-5	3.2 3.07	3.0 3.07	3.3 3.2
SD2	15.7 15.3	15.1 15.8	15.7 15.4
HRM2	9.1 8.7	8.8 8.8	8.9 8.8

التوصيات

بناءً على ماتقدّم يمكن التوصية بأن هذه الطريقة المعتمدة على منظومة CAS يمكن استخدامها عند توفر تجهيزاتها ووسائطها بدلاً من استخدام طريقة التشعيع الطويل الأمد التي يتطلبها التحليل بالتنشيط النتروني الآلي، وذلك عند الحاجة لتحليل عنصر اليورانيوم فقط في العيّنات الجيولوجية، وأن تكون سرعة الحصول على نتائج القياس مطلوبة.

المراجع REFERENCES

[1] Parry, S., 1991: Activation Spectrometry in Chemical Analysis John Wiley & Sons Inc.. 1991, pp243 P. Cm (Chemical analysis: V.119 ISSN 0096-2883) A Wiley interscience publication.

[2] Parry, S., 1982: Epithermal neutron activation analysis of short-lived nuclides in geological material, J. Radional. Chem., 72(1-2) p 195-207.

[3] Parry, S., 1984: Neutron Activation with X-and low energy gamma-ray spectrometry of short-lived radionuclides. In: proceedings of the Fifth International Conference on Nuclear Methods in Environmental and Energy Research, University of Missouri. (CONF-840408, available for NTIS).

[4] Jubeli,Y., and Parry, S., 1986: A Neutron Activation Analysis with U to determine 239 Uranium in groundwater. J.Radioanal. and Nucl. Chem. Articles Vol. 102N: 2(1986) 337-346.

[5] Rosenberg, R. J., Braun, T. and Zsindely. Z., 1991: Reactor neutron activation analysis of geological samples and a comparison with other non-nuclear analytical techniques IAEA-SM-308/81 Vienna, 1991, STI/PUB/841- pp 501-520.

[6] Vasconcellos, M.B.A., Figueirdo, A.MG., Marques. L.S., Saiki, M., Armelin, M.I.A., 1991: Use of neutron activation analysis in the study of compassion of Brazilian geological samples IAEA-SM-308/92 Vienna, 1991, STI/PUB/841 p.p 597-611.

[7] Montero-Cabrera, E. Herrera-Peraza, O. Diaz-Rizo, R and Rodriguez-Garcia, 1991:Neutron activation analysis of rocks from petroleum wells. (IAEA-SM-308/84) Vienna, 1991, STI/PUB/481, p.p 521-528 ISSN 0074-1884.

[8] Van Duong Pham, 1991: Application of Instrumental neutron activation analysis for uranium and thorium content determination in geochemical research in Viet Nam. (IAEA-SM-308/85) Vienna, 1991 STI/PUB/841 p.p547-556.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

[9] Flanagan F.J. 1976: References samples in geology and geochemistry U.S. Geological Survey Bulletin 1582 U.S. printing office Washington.

[10] Potts, P.J., 1993: Laboratory methods of analysis. In: Riddle, C. (Ed.), Analysis of Geological Materials Marcel Dekker Inc. pp 123-220.

[11] Rosenberg, R.J., Pitkanen, N., Sorsa, 1977: An automatic uranium analyzer based on delayed neutron counting J. Radioanal Chem., 37, p.p 169-179.

[12] Abby, S., 1989: Geostand. Nesl., 4 (1980) No.2.

[13] Das H.A., A. Faanhof, van der Sloot H. A., 1989: Radioanalysis in Geochemistry, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.■

☆ ★ ☆

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

التقارير العلمية

حساب معاملات نقطة الانشطار لنواة الكاليفورنيوم–249 بالنترونات الحرارية كتابع للطاقة الحركية لنواتج الانشطار*

د. أسامة الحسنية
قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

حُسبت في هذا العمل معاملات نقطة الانشطار للنواة ^{249}Cf كتابع للطاقة الحركية لشظايا الانشطار (معامل التشوه، قطر العنق، درجة الحرارة الجماعية، الطاقة الحركية، الطاقة الحركية الكلية، المسافة بين مركزي شظيتي الانشطار) حسب الطريقة المقترحة من قبل نايك Naik et. al. انطلاقاً من الاندفاع الزاوي لشظايا الانشطار، الذي تمّ حسابه وفق نموذج مادلاند انطلاقاً من النسب الإيزوميرية المحدَّدة تجريبياً في عمل سابق كتابع للطاقة الحركية لنواتج الانشطار. قورنت قيم الطاقة الحركية المحدَّدة تجريبياً والمحسوبة، فوجد أن هنالك توافقاً مقبولاً بين الطاقة الحركية المحسوبة والمقيسة في المجال الذي تتراوح فيه قيم الجذر التربيعي الوسطي للاندفاع الزاوي (J_{rms}) بين 5ħ و 10ħ، ويزداد الفرق بين قيم الطاقة الحركية المحسوبة والمقيسة خارج هذا المجال، ويعود ذلك إلى عدم دقة النماذج المستخدمة لحساب الاندفاع الزاوي من النسب الإيزوميرية عندما تزداد قيمة النسبة الإيزوميرية عن 0.8 أو تنقص عن 0.2.

الكلمات المفتاحية: انشطار نواة الكاليفورنيوم–249، الطاقة الحركية، طاقة الإثارة، معامل التشوه، قطر العنق، درجة الحرارة الجماعية.

مقدمة

حُدِّدت في العديد من الأعمال النسب الإيزوميرية لبعض نواتج الانشطار بالنترونات الحرارية كتابع للطاقة الحركية لنواتج الانشطار، وتمّ حساب الاندفاع الزاوي لنواتج الانشطار وفق النماذج المقترحة من قِبَل مادلاند Madland [1] وردستام Rudstam [2]. في الفترة الزمنية نفسها اقترح Naik et. al. [3,4,5] طريقة مبنية على نتائج عدة نماذج لحساب التشوهات والتركيبة الفراغية لشظايا الانشطار، وطُبِّقت هذه الطريقة على نواتج انشطار عدد من النوى (^{235}U, ^{233}U, ^{239}Pu) عند وسطي الطاقة الحركية لنواتج الانشطار، لأن النتائج التجريبية التي تمّت الحسابات وفقاً لها من قِبَل هذه المجموعة مبنية على الفصل الكيميائي لنواتج الانشطار. ومن المعروف أن الفصل الكيميائي لا يمكنه أخذ الطاقة الحركية بعين الاعتبار، في حين يمكن فصل وتحديد نواتج الانشطار والنسب الإيزوميرية والاندفاع الزاوي كتابع للطاقة الحركية باستخدام مطيافية الكتلة. قمنا في هذا العمل بحساب التشوهات والتركيبة الفراغية لنواتج انشطار الكاليفورنيوم–249 كتابع للطاقة الحركية لنواتج الانشطار، ومقارنة نتائج حسابات الطاقة الحركية وفق الطريقة المقترحة من قِبَل Naik et. al. بالقيم التجريبية المحدَّدة في عمل سابق [6].

الحسابات النظرية

يعطي راسموسن Rasmusen et. al. [7] العلاقة بين سعة الارتباط binding amplitude (γ) و الجذر التربيعي الوسطي للاندفاع الزاوي root mean square of angular momentum (J_{rms}) على النحو التالي:

$$J_{av} = \sqrt{\frac{\pi}{2}}.Jrms \quad \text{.....(1)}$$

$$J_{av} = \sqrt{\pi}.2\gamma - 0.5 \quad \text{.....(2)}$$

$$\gamma = c / z \quad \text{.....(3)}$$

$$Z = R_\beta\left[1 + \sqrt{5/4\pi}.\beta\right] \quad \text{.....(4)}$$

حيث:

J_{av}: الاندفاع الزاوي الوسطي.

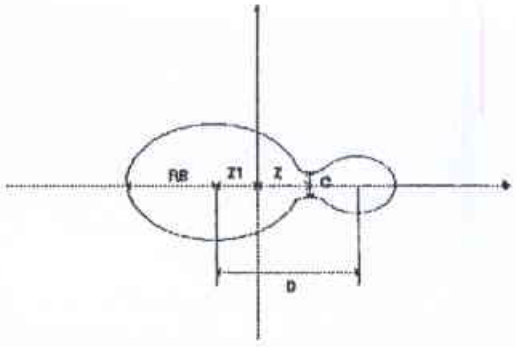
γ: سعة الارتباط.

C: قطر العنق عند نقطة الانشطار.

Z: إحداثيات المحورالرئيسي.

R_β: قطر النواة ذات معامل التشوه β.

β: معامل التشوه.



الشكل 1– تركيبة الانشطار عند نقطة الانشطار.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُنجزت في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وتعطي النظرية الإحصائية للمادة [8] العلاقة بين الجذر التربيعي الوسطي للاندفاع الزاوي J_{rms} ومعامل التشوه β، كما يلي:

$$J_{rms} = (2IT/\hbar)^{1/2} \quad \ldots\ldots(5)$$

حيث:

T: درجة الحرارة الجماعية (collective temperature) عند نقطة الانشطار.

I: عزم العطالة.

ويُعطى عزم العطالة بالعلاقة التالية:

$$I = I_{Rigid} * \left[1 - 0.8\exp\left[\frac{-0.693\frac{A}{8}T}{5}\right]^2\right] \quad \ldots\ldots(6)$$

تمّت خلال هذا العمل برمجة المعادلات اللازمة وحساب الجذر التربيعي الوسطي للاندفاع الزاوي، وذلك بتغيير معامل التشوه ما بين 0.01 وحتى 1.5 بخطوات 0.01 وبتغيير قيمة T ما بين 0.5 MeV و 2.0 MeV بخطوات بقيمة 0.1 MeV، وأُخذت قيم C و T التي تتوافق مع القيمة التجريبية للجذر التربيعي الوسطي للاندفاع الزاوي.

النتائج والمناقشة

يعطي الجدول 1 النسب الإيزوميرية والجذر التربيعي الوسطي للاندفاع الزاوي والطاقة الحركية لنواتج انشطار نواة الكاليفورنيوم-249 بالنترونات الحرارية المحدَّدة في عمل سابق ونتائج عملنا الحالي المتضمنة حساب الطاقة الحركية والطاقة الكلية ومعامل التشوه وقطر عنق النواة والبعد بين مركز شظيتي الانشطار. يمكن توقّع الظواهر التالية عند دراسة النسب الإيزوميرية والاندفاع الزاوي الوسطي كتابع للطاقة الحركية لنواتج الانشطار:

1- تنشأ نواتج الانشطار ذات الطاقة الحركية العالية من تشكيلة صغيرة الحجم غير مشوهة وبالتالي لا تحتوي على اندفاع زاوي كبير لحظة نشوئها، مما يؤدي إلى تكوين الإيزومير ذي السبين المنخفض. ونذكر هنا من الجدول رقم 1 النظير ^{97}Y كمثال على ذلك، حيث يبلغ البعد بين مركز شظيتي الانشطار حسب نتائجنا D=15.11 F فقط، مما يؤدي إلى طاقة حركية عالية وطاقة تهييج منخفضة (الحرارة الداخلية T=0.5 MeV) ويبلغ معامل التشوه في هذه الحالة β=0.01 وتنشأ نواتج الانشطار ذات الطاقة الحركية المتدنية من تشكيلة انشطار مشوهة ذات طاقة إثارة كبيرة واندفاع زاوي كبير وبعد كبير بين مركزي شظيتي الانشطار.

2- لا تخسر نواتج الانشطار ذات الطاقة الحركية العالية وطاقة التهييج المتدنية في طريقها من نقطة الانشطار حتى الوضع النهائي إلاّ القليل من الاندفاع الزاوي، لأنها لا تستطيع إصدار الكثير من النترونات وفوتونات أشعة غاما، مما يؤدي إلى الحفاظ على كامل الاندفاع

الجدول 1- معاملات نقطة انشطار الكاليفورنيوم-249 كتابع للطاقة الحركية لشظايا الانشطار.

D^B [MeV]	T^B [MeV]	C^B [F]	β^B	TKE_{calc}^B [MeV]	KE_{calc}^B [MeV]	J_{rms}^A	Fh^A	KE_{exp}^A [MeV]	النظير
21.16	0.9	1.00	0.33	156.77	94.45	7.75±0.801	0.801±0.073	90	^{97}Y[1/2][7/2]
15.11	0.5	1.40	0.01	218.92	133	4.08±0.12	0.517±0.018	110	
20.24	1.0	0.90	0.36	149	89	7.88±0.87	0.795±0.038	90	^{100}Nb[1][4]
20.24	0.8	1.0	0.10	170	99	5.95±0.46	0.673±0.039	100	
18.64	0.8	1.10	0.79	182	109	8.52±2.16	0.821±0.072	110	
22.79	0.8	0.90	0.01	151.47	72.1	6.84±1.96	0.620±0.153	72	^{130}Sn[0][7]
20.15	0.7	1.00	0.32	168.30	80.11	7.53±0.54	0.700±0.035	82	
18.64	0.7	1.10	0.67	185.13	88.12	8.41±1.84	0.750±0.170	96	
22.42	0.9	0.9	0.99	151.37	73	12.49±2.4	0.630±0.107	72	^{130}Sb[4][8]
18.63	0.6	1.10	0.56	187	86	79.1±2.53	0.462±0.204	82	^{132}Sb[4][8]
18.63	0.6	1.10	0.52	187	86	7.74±1.68	0.447±0.146	87	
18.63	0.6	1.10	0.51	187	86	7.70±1.41	0.442±0.125	92	
25.59	1.1	0.80	0.84	114	62	13.05±1.10	0.722±0.039	77	^{133}Te[1/2][9/2]
22.45	0.9	0.90	0.90	151	71	20.90±3.12	0.880±0.032	82	
18.45	0.66	1.10	0.47	184	84	7.53±1.41	0.427±0.129	72	^{134}I[2][6]
20.44	0.70	1.00	0.39	167	78	7.92±2.90	0.463±0.228	74	
20.44	0.70	1.00	0.58	171	78	8.91±1.68	0.542±0.130	77	
20.23	0.70	1.00	0.70	169	77	9.55±0.27	0.586±0.017	82	
20.23	0.70	1.00	0.61	169	77	9.06±0.54	0.553±0.038	87	
20.23	0.70	1.00	0.59	169	77	8.96±1.46	0.546±0.102	92	
20.44	0.70	1.00	0.85	167	75	10.01±1.26	0.778±0.047	72	^{136}I[2][6]
22.55	1.10	0.80	0.92	136	61	13.95±4.29	0.878±0.114	80	
29.12	1.40	0.70	0.82	117	53	14.89±2.35	0.892±0.030	85	

A: المعاملات المقيسة في عمل سابق [6]، B: المعاملات المحسوبة في هذا العمل.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الزاوي لديها، وإلى نسب إيزوميرية مرتفعة ونذكر هنا النظير ^{130}Sn عند الطاقة الحركية 96 MeV كمثال على ذلك، حيث تبلغ النسبة الإيزوميرية قيمة تساوي 0.75 وهي أعلى منها لدى الطاقات الحركية المنخفضة.

المراجع REFERENCES

[1] D. G. Madland et.al., Nucl. Sci. and Eng. 64, 859 (1979).

[2] G. Rudstam, Report NEA/NSC/Doc (92) 9, 271, OECD (1992).

[3] H. Naik et.al., Z. Phys., A331, 335 (1988).

[4] H. Naik et. al., Nucl. Phys., A587, 273 (1995).

[5] T. Datta et. al., Phys. Rev. C 25, 358 (1982).

[6] O. Alhassanieh Hassanieh, Ph. D. theses, Mainz, Germany (1996).

[7] J. O. Rasmussen et. al., Nucl. Phys. A136, 465 (1969).

[8] J. B. Wilhelmy et. al., Phys. Rev. C5, 2041 (1972).■

دراسة حاسوبية حول الحركية الدورانية في ليزر CO_2 TEA باستخدام الكود PULSAMP★

د. شريف الحوّاط، سلمان محمد

قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تـمَّ تشغيـل واستثمـار الكـود PULSAMP فـي دراسة تضخيم نبضة ليزرية زمنها من مرتبة النانو ثانية من أجل أشكال مختلفة لنبضة الدخل الليزرية (الغاوسي أو المستطيل أو التجريبي) ودراسة تأثير طول المضخم ودرجة الحرارة والضغط ونسب الغازات في المزيج على التضخيم. ويمكن للكود أن يتعامل مع حالة إصدار على خط ليزري واحد أو اثنين أو ثلاثة في عصابة واحدة أو عصابتين (9.6 µm, 10.6 µm).

الكلمات المفتاحية: ليزر CO_2 نبضي مستعرض، حركية دورانية، تضخيم نبضة ليزرية، مفتاح الجودة.

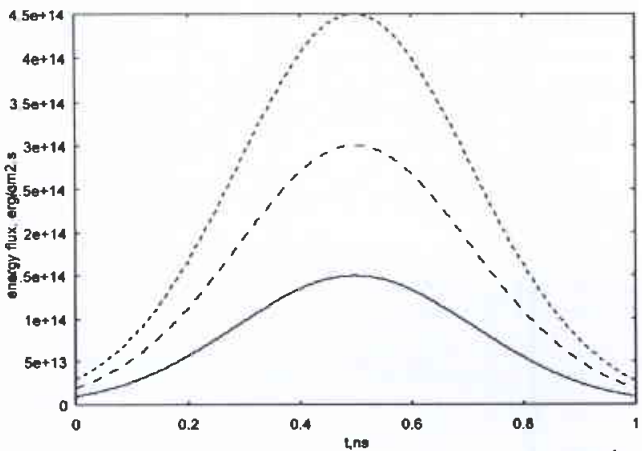
نتائج ومناقشة

جرى تطبيق الكود من أجل حالات عدة لنبضة ليزرية ذات شكل غاوسي، وذلك لتبيان تأثير بعض البارامترات على عملية تضخيم النبضة [1-6]. وهذه البارامترات هي:

أ- نوع الإصدار الليزري المتمثل بطول الموجة أو الرمز الطيفي لخط الإصدار. والخطوط الطيفية المأخوذة في الكود هي: الخط P(22) على طول الموجة 9.57 µm في العصابة 9.6 µm والخطان R(16) وR(18) على طولي الموجتين 10.27 µm و 10.26 µm على التوالي والواقعان في العصابة 10.6 µm.

ونتائج هذه الحالة مبينة في الشكلين 1 و 2، حيث يعرض الشكل 1 منحنيات نبضة الدخل، والشكل 2 منحنيات نبضة الخرج وذلك من أجل:

- الخط R(16) وهو ما يشير إليه المنحني في الأسفل لكلا الشكلين.

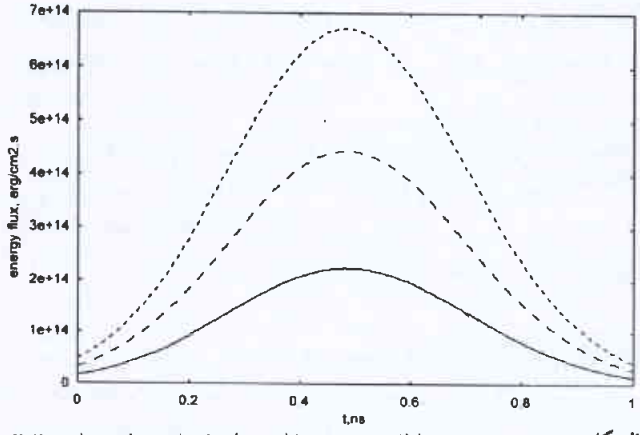


الشكل 1- منحنيات تدفق الطاقة في نبضة الدخل الحاوية على خط وخطين وثلاثة خطوط متدرجة من الأسفل نحو الأعلى على التوالي.

- والخطين R(16), R(18) أو R(16), P(22) معاً، وهو ما يشير إليه المنحني الأوسط في الشكلين أيضاً.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

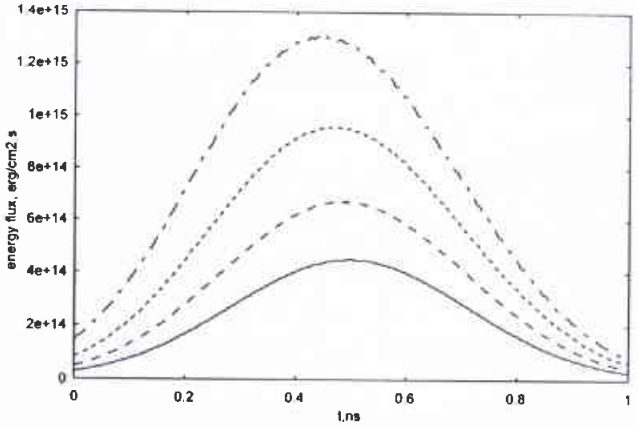


الشكل 2– منحنيات تدفق الطاقة في نبضة الخرج الحاوية على خط وخطين وثلاثة خطوط متدرجة من الأسفل نحو الأعلى على التوالي.

– والخطوط الثلاثة P(22) وR(18) وR(16) في آن معاً، المتمثلة بالمنحني العلوي في الشكلين المذكورين.

ب– تأثير طول وسط التضخيم على نبضة الخرج، حيث أُخذت ثلاثة أطوال للمضخم هي على التوالي:

30 cm, 20cm, 10cm، والنتائج مبينة في الشكل 3، ومنه يتضح تزايد تدفق الطاقة مع طول الوسط.

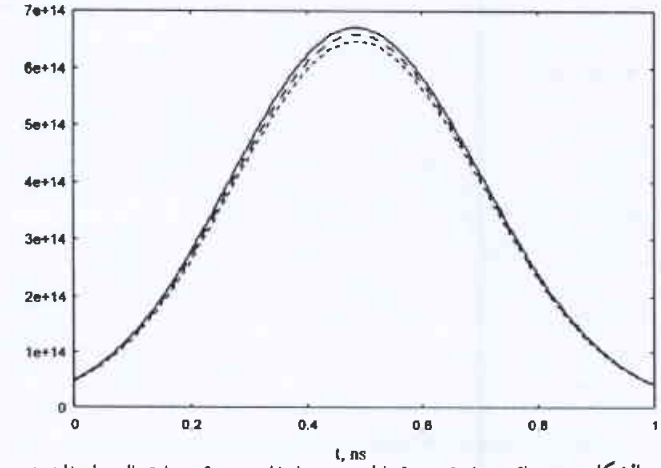


الشكل 3– نبضة الخرج بدلالة طول المضخم حيث المنحنيات الثلاثة العليا تمثل من الأسفل إلى الأعلى نبضة الخرج لثلاثة مضخمات أطوالها 30 cm, 20 cm, 10 cm على التوالي. ويمثل المنحني الأول في الأسفل نبضة الدخل.

جـ– تأثير درجة حرارة الوسط على عملية التضخيم. لقد أُخذت ثلاث درجات حرارة مختلفة هي:

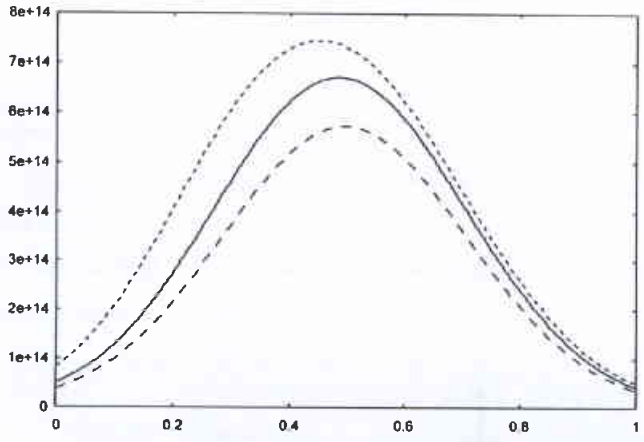
350 K, 325 K, 300 K على التوالي، ولوحظ هبوط في التدفق الطاقي مع ارتفاع درجة حرارة الوسط المضخم، وهذا ما يبيّنه الشكل 4.

د– تأثير ضغط المزيج الغازي على عمل المضخم، حيث دُرس التضخيم من أجل ثلاث قيم للضغط:



الشكل 4– تناقص شدة نبضة الخرج مع ارتفاع درجة حرارة الوسط المضخم، فالمنحنيات من الأعلى نحو الأسفل تقابل درجات الحرارة 350K, 325 K, 300 K على التوالي.

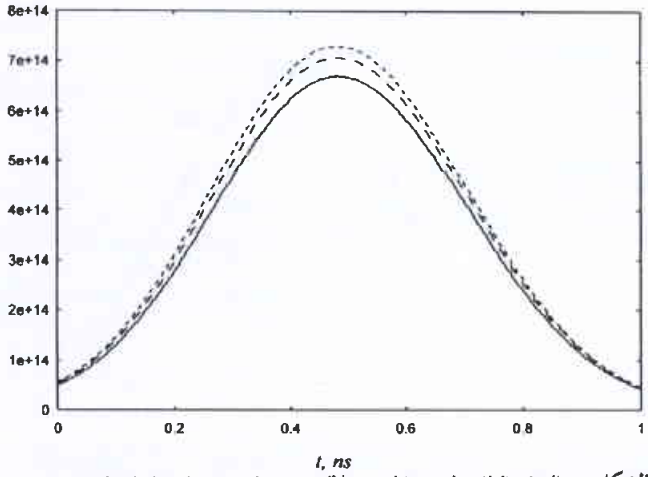
2 atm, 1 atm, 0.5 atm، والنتائج مبيّنة في الشكل 5، حيث يُلاحظ أن تزايد الضغط مترافق بتناقص للتدفق، وهذا يمكن إرجاعه إلى الدور المتعاظم للتصادمات بين جزيئات الوسط مع ارتفاع الضغط، أي ارتفاع كثافة جزيئات الوسط، وتساهم هذه التصادمات في تقليص الزمن اللازم للجزيئات كي تأخذ توزعها البولتزماني، أي إبطال الإسكان المعكوس بين هذه السويات الدورانية داخل السوية الاهتزازية الليزرية.



الشكل 5– التدفق الطاقي لنبضة الخرج بدلالة ضغط الوسط المضخم. فالمنحنيات من الأسفل نحو الأعلى تقابل الضغوط 0.5 atm, 1 atm, 2 atm على التوالي.

هـ– تأثير نسب الغازات في المزيج على التضخيم: أُخذت ثلاث قيم من النسب المتفاوتة ولوحظ تأثير عملية التضخيم بهذه النسب، والنتائج مبيّنة في الشكل 6.

تُبيّن النتائج السابقة أنه يمكن استخدام الكود في تحديد بارامترات مضخم ليزري، بغية الحصول على نبضة ليزرية بمواصفات محدَّدة. كما



الشكل 6- التدفق الطاقي لنبضة الخرج بدلالة نسب المزيج في الوسط الفعّال. المنحنيات الثلاثة تقابل النسب 0.2 :0.6 :0.2 و0.2 :0.6 :0.2 و0.2 :0.8 :0.0 المتدرجة من الأسفل إلى الأعلى على التوالي.

يكتسب الكود أهمية في استخدامه لدى تصميم ليزر $TEA\ CO_2$ ذي مفتاح جودة Q-Switching في الحصول على معامل التضخيم المراد لنبضة هذا الليزر.

وتجدر الإشارة إلى أن هذا الكود صالح من أجل أي خط إصدار ليزري من خطوط ليزر CO_2 المتعدّدة، سواء وقع الخط في العصابة 10.6 µm أو في العصابة 9.6 µm. ويتم ذلك بإدخال بعض الثوابت الخاصة بهذا الخط أو الخطوط في نص البرنامج، ليتم بعدئذ تضخيم النبضة الموافقة لذلك.

يمكن الاستفادة من هذا الكود مستقبلاً في مجال تصنيع ونمذجة عمل مضخم ليزري، الغاية منه تضخيم نبضات ليزر $TEA\ CO_2$ ذي مفتاح جودة Q-Switching، وذلك في حال أمكن العمل على ليزرات CO_2 النبضية المستعرضة بغية الحصول على نبضات ذات طاقة عالية وأزمنة قصيرة من مرتبة النانوثانية.

المراجع REFERENCES

[1] E. A. Ballik,B. K. Garside, and J. Reid, Appl. Phys. Lett. 24, 375 (1974).

[2] K. Smith and R. M. Thomson, "Computer Modeling of Gas Lasers" Plenum Press, New York and London, (1976), Ch.4.

[3] A. R. Davies, K. Smith and R. M. Thomson, "Comput. Phys. Commun.", 10 (1975) 117.

[4] Peter K. Cheo, Handbook of Molecular Lasers, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, (1987), Ch. 1.

[5] R. M. Thomson, K. Smith and A. R. Davies, "comput. Phys. Commun". 11 (1976) 369.

[6] D. J. Biswas, A. K. Nath et al, "Multiline CO_2 Lasers and Their Uses", Bhabha Atomic Research Centre, Bombay 400 085, INDIA. (1989).■

دراسة طيفية لاستقرارية معقد اليورانيوم مع الـ DEHPA ★

د. موسى الإبراهيم، حبيب شليويط

قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

دُرست أطياف اليورانيوم بتراكيز مختلفة في الطور العضوي 0.1M DEHPA/ dodecane بواسطة مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR.

أظهرت أطياف الأشعة تحت الحمراء IR ازدياد مردود اليورانيوم من الطور العضوي عند ازدياد درجة الحرارة وتركيز P_2O_5 في حمض الفسفور المستخدم في التعرية والحاوي على تركيز ثابت من اليورانيوم.

أشارت أطياف الـ IR أيضاً، إلى انخفاض مردود التعرية لدى زيادة نسبة الطور العضوي إلى الطور المائي بدرجات الحرارة المدروسة.

الكلمات المفتاحية: ثنائي (2 - إيتيل هكسيل) حمض الفسفور، دوديكان، مطيافية الأشعة تحت الحمراء، يورانيوم، تعرية.

مقدمة

تُستخدم خافضات التوتر السطحي بشكل فعّال في تكنولوجيا استخلاص الأيونات المعدنية من المحاليل المائية. ويُعدّ ثنائي (2 - إيتيل هكسيل) حمض الفسفور DEHPA أهم خافض توتر سطحي (surfactant)، الذي يستطيع أن يتفاعل إيجابياً مع الأيونات المعدنية الموجبة بواسطة المجموعة الوظيفية (المجموعة الرأسية) P=O، والتي تُسمى الرأس القطبي. دُرست بمطيافية الأشعة تحت الحمراء الأطوار العضوية لمحاليل المستخلص ثنائي (2 - إيتيل هكسيل) حمض الفسفور بوجود اليورانيوم وبعض العناصر المعدنية الأخرى. إن الروابط الامتطاطية المميزة لـ DEHPA هي P=O و O-H والتي يمكن ملاحظتها عند العدد الموجي 1235 cm^{-1} وضمن المجال (2350-2680) cm^{-1} على التوالي. تنزاح الأشكال الامتطاطية نحو الترددات الأدنى عندما يُضاف عنصر

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

معدني مثل اليورانيوم إلى الطور العضوي والذي يؤدي إلى تشكل معقد جديد.

استُخدمت في هذا العمل تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويلات فوريه (FTIR) بهدف إجراء دراسة طيفية لاستقرارية معقد اليورانيوم المتشكل على الرأس القطبي لـ DEHPA في الدوديكان، لتحديد الرابطة P-O-U طيفياً ودراسة استقراريتها إزاء تغيرات درجة الحرارة، تركيز P_2O_5، تركيز اليورانيوم الموجود في الطور العضوي، وتغير حجم الطور العضوي بالنسبة للطور المائي.

نتائج ومناقشة

سُجل طيف الأشعة تحت الحمراء لـ DEHPA النقية ضمن المجال cm^{-1} (400- 3050). تظهر الرابطة الامتطاطية P=O العائدة لـ DEHPA غير الحاوية على اليورانيوم عند العدد الموجي $1235\ cm^{-1}$. تمثل هذه الرابطة الرأس القطبي لـ DEHPA، وهي رابطة أساسية ومهمة؛ إذ أن مختلف ظواهر تعقيد الأيونات المعدنية تتم على هذا الرأس. سُجلت أطياف الأشعة تحت الحمراء قبل إجراء عملية التعرية للطور العضوي (0.1 M DEHPA/ dodecane) الذي احتوى على (2000,1500, 1000) $mg.l^{-1}$ يورانيوم. تشير النتيجة إلى تشكل معقد اليورانيوم مع الـ DEHPA وظهور رابطة امتطاطية لاتناظرية جديدة P-O-U، حيث تنزاح الرابطة الامتطاطية P=O من $1235\ cm^{-1}$ إلى $1200\ cm^{-1}$ عند هذه التراكيز، ونلاحظ أيضاً أن نفوذية الرابطة الامتطاطية اللاتناظرية P-O-U تتناقص بشدة عندما يزداد تركيز اليورانيوم.

تشير النتائج إلى أن تعرية الطور العضوي الحاوي $2000\ mg.L^{-1}$ يورانيوم باستخدام محلول تعرية حاوٍ على تركيز معين من P_2O_5 يؤدي إلى تناقص نفوذية الرابطة الامتطاطية اللاتناظرية المتبقية في الطور العضوي P-O-U عند خفض درجة الحرارة من 50°C إلى 20°C، أي أن استقرارية معقد اليورانيوم مع الـ DEHPA تكون أفضل في درجات الحرارة المنخفضة.

كما بيّنت التجارب انخفاض استقرارية معقد اليورانيوم مع الـ DEHPA في الطور العضوي عند زيادة تركيز P_2O_5 في الطور المائي المستخدم في تعرية الطور العضوي (0.1M DEHPA/ dodecane) الحاوي على $(2000\ mg\ U.l^{-1})$ عند درجة حرارة معينة.

كذلك أظهرت النتائج الطيفية الحاصلة أن الطور العضوي (0.1M DEHPA/dodecane) الحاوي على تراكيز $1500\ mg.l^{-1}$ يورانيوم أو $1000\ mg.l^{-1}$ يورانيوم يؤدي، بعد إجراء عملية التعرية، إلى نتائج مشابهة لما سبق. إلا أن كمية اليورانيوم التي تبقى في الطور العضوي بعد إجراء عملية التعرية بالشروط نفسها تكون أكبر ما يمكن في حالة الجملة التي تحوي أكبر كمية من اليورانيوم وهذا ما تمّ إثباته طيفياً، حيث تكون نفوذية الرابطة P-O-U المتبقية في الطور العضوي أخفض ما يمكن.

دُرس أثر نسب الأطوار على التعرية طيفياً، حيث غُيّر حجم الطور العضوي بالنسبة إلى الطور المائي بهدف دراسة تأثير ذلك على استقرارية معقد اليورانيوم مع الـ DEHPA. تمّ الحصول على نتيجة مفادها أن نفوذية الرابطة الامتطاطية اللاتناظرية P-O-U تتناقص بشدة في حالة الجملة التي تستخدم التعرية بنسبة 4 حجم طور عضوي إلى 1 حجم طور مائي، وهذا يدل على أن كمية كبيرة من اليورانيوم تبقى في الطور العضوي. تشير هذه النتيجة الطيفية إلى أن التعرية تكون أفضل عندما يتم استخدام جملة بنسبة 1 حجم طور عضوي إلى 1 حجم طور مائي. دُرس تغير الامتصاصية للرابطة P-O-U المتبقية في الطور العضوي بدلالة تركيز P_2O_5% من أجل درجة حرارة ثابتة لمحلول التعرية، حيث وجد أنه بدرجة حرارة ثابتة، تنخفض امتصاصية الرابطة P-O-U بشدة عند ارتفاع نسبة P_2O_5% من 5% إلى 15%. يدل هذا الانخفاض الشديد لامتصاصية الرابطة P-O-U إلى أن التعرية تكون أفضل ما يمكن عندما يزداد تركيز P_2O_5 ضمن المجال المذكور من التركيز. دُرس، من ناحية أخرى، تغير الامتصاصية للرابطة P-O-U المتبقية في الطور العضوي بدلالة درجة الحرارة من أجل تركيز ثابت من P_2O_5% لمحلول التعرية. تشير النتيجة إلى أن امتصاصية الرابطة P-O-U تنخفض بشدة عندما ترتفع درجة الحرارة من 20°C إلى 50°C بتركيز ثابت من P_2O_5%، ويدل ذلك على أن التعرية تكون عظمى بدرجة الحرارة المرتفعة نسبياً (50°C). وأخيراً دُرس تغير درجة الحرارة بدلالة تركيز P_2O_5% من أجل امتصاصية ثابتة للرابطة P-O-U المتبقية في الطور العضوي. وتعني قيمة الامتصاصية الثابتة أن كمية اليورانيوم المتبقي في الطور العضوي بعد التعرية تبقى ثابتة ضمن مجال درجة الحرارة وتركيز P_2O_5% المستخدم في هذا العمل.■

مقارنة بعض الصفات الكمّية والنوعية لأصناف الثوم المحلية والمدخلة والسلالات الطافرة*

د. بسام العفدي، د. عماد الدين عرابي، م. زهير الأيوبي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

استُخدمت سلالات طافرة مقاومة لمرض العفن الأبيض (48 سلالة) من صنفي الثوم المحليين الكسواني واليرودي وأصناف محلية أصيلة وأصناف مدخلة منذ زمن (مستوطنة)، إضافة إلى أصناف ثوم مدخلة من عدة مصادر أجنبية ومجموعها 34 صنفاً، في تجربة مقارنة

* تقرير مختصر عن بحث علمي أُنجز في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

لمدة سنتين. هدفت الدراسة إلى توسيع القاعدة الوراثية لنبات الثوم ومقارنة الأصناف المدخلة مع المحلية والسلالات الطافرة في الصفات الكمّية والنوعية. تفوّق عدد من الأصناف المدخلة على الأصناف المحلية ولعدة صفات.

حافظت السلالات الطافرة المنتخبة سابقاً على تفوقها في مقاومة مرض العفن الأبيض في الصنفين الكسواني واليبرودي ولم تتجاوز نسبة النباتات المصابة 2.5% مقارنة مع 7-8% في الشاهد. كما أدى الانتخاب المستمر للرؤوس الكبيرة الحجم إلى تفوق بعض السلالات في إنتاجيتها على الشاهد. بيّنت نتائج تحليل البروتينات وجود تباين كبير بين الأصناف في درجة القرابة.

الكلمات المفتاحية: ثوم، طفرات، عفن أبيض، صدأ، شمرخة.

مقدمة

يُعدّ محصول الثوم من الخضار الهامة في القطر العربي السوري، حيث يدخل في الكثير من الوجبات الغذائية وفي الوصفات الطبية الشعبية، إضافة إلى كونه محصولاً اقتصادياً رئيساً في الزراعات المحلية. وقد بلغ الإنتاج 18 ألف طن عام 1998، إلاّ أن المساحات المزروعة بالثوم بدأت بالتراجع منذ عدة سنوات بسبب انتشار الأمراض التي تتطفل على هذا المحصول مؤدية إلى انخفاضه بشكل كبير جداً كمّاً ونوعاً. وبما أن نبات الثوم لا يتكاثر بالبذور، فإن إمكانية الاستفادة من الانعزالات الوراثية غير واردة. ولذلك لا بد من توسيع القاعدة الوراثية لأصناف الثوم عن طريق إحداث طفرات خضرية في الأصناف، واستنباط وانتخاب السلالات المقاومة والمتحمّلة للإجهادات الحيوية واللاحيوية.

لهذا فقد هدفت هذه الدراسة إلى توسيع القاعدة الوراثية لنبات الثوم بإدخال أصناف جديدة ومقارنتها بالأصناف المحلية والسلالات الطافرة التي تمّ الحصول عليها عبر برنامج تربية الثوم في هيئة الطاقة الذرّية، وانتخاب الأصناف التي تحقق المواصفات المرغوبة من أجل اعتمادها مباشرة أو استخدامها كما برامج التربية اللاحقة باستخدام التقانات الحيوية.

نتائج ومناقشة

استُخدمت سلالات طافرة مقاومة لمرض العفن الأبيض (48 سلالة) من صنفي الثوم المحليين الكسواني واليبرودي (من برنامج تربية الثوم في هيئة الطاقة الذرّية) وأصناف محلية وأصناف مدخلة منذ زمن (مستوطنة)، إضافة إلى أصناف ثوم مدخلة من عدة مصادر أجنبية (الولايات المتحدة وألمانيا وإسبانيا) ومجموعها 34 صنفاً، في تجربة مقارنة لمدة سنتين. هدفت الدراسة إلى توسيع القاعدة الوراثية لنبات الثوم ومقارنة الأصناف المدخلة مع المحلية والسلالات الطافرة في الصفات الكمّية والنوعية.

أظهر هذا البحث أهمية توسيع القاعدة الوراثية للثوم عن طريق إدخال أصناف جديدة تحت الظروف البيئية المحلية. حيث تفوّق العديد من الأصناف المدخلة على الأصناف المحلية والمستوطنة ولعدة صفات. فقد تفوّق الصنف المدخل PI383819 في وزن الرؤوس ونسبة التصافي ومقاومة مرض العفن الأبيض، إلا أنه حصل على علامة متوسطة (5.8) في تقييم المزارعين بسبب ظاهرة تعدد السويقات. كذلك كان الصنف الروماني متفوقاً في صفات التصافي ومقاومة مرضي العفن الأبيض والصدأ، وقريباً من الكسواني في وزن الرؤوس، إلا أنه حصل أيضاً على علامة متوسطة (5.1) في تقييم المزارعين بسبب ظاهرة تعدد السويقات نفسها.

أظهرت النتائج فعالية الانتخاب في السنة السابقة للسلالات المقاومة لمرض العفن الأبيض وذات الحجم الجيد. وقد اعتُمدت بنتيجة الانتخاب في الجيل MV5 (السنة الأولى من تجربة المقارنة) 12 سلالة من كل صنف، وتمّ التخلص من السلالات التي نسبة إصابتها بمرض العفن الأبيض أعلى من 3%. حافظت السلالات الطافرة المنتخبة سابقاً على تفوقها في مقاومة مرض العفن الأبيض في الصنفين الكسواني واليبرودي، ولم تتجاوز نسبة النباتات المصابة 2.5% مقارنة مع 7-8% في الشاهد. كما أدى الانتخاب المستمر للرؤوس الكبيرة الحجم إلى تفوق بعض السلالات في إنتاجيتها على الشاهد.

بيّنت نتائج تحليل البروتينات وجود تباين كبير بين الأصناف في درجة القرابة، ولا سيما الصنف الهنغاري الذي يختلف في شكل الأوراق (عريضة) عن بقية الأصناف، وقد ينتمي إلى نوع آخر غير الـ Allium sativum ولكن من ذات الجنس Allium.

يمكن الاستفادة من بعض الأصناف المدخلة بعد المزيد من التجارب والانتخاب في برامج تربية الثوم التقليدية (تربية الطفرات) والحديثة (الهندسة الوراثية ودمج البروتوبلاست) بهدف تحسين الصفات النوعية والكمّية للثوم.■

المستقبلات الهرمونية الستيروئيدية ودورها في سرطان الثدي*

د. محمد عادل باكير، علي محمد

قسم الطب الإشعاعي - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

المستقبلات الهرمونية الستيروئيدية هي بروتينات داخل الخلايا ترتبط بشكل نوعي بأنواع الهرمونات الستيروئيدية المختلفة بألفة ارتباط

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مكتبية أُنجزت في قسم الطب الإشعاعي - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

عالية وتنقل إشارة الستيروئيد إلى المورثات الحساسة المتوضعة في الكروماتين. أُثبت أن معرفة محتوى الورم من مستقبلات الإستروجين (ER) ومستقبلات البروجسترون (PR) هي مرشد هام لاختيار المعالجة لمرضى سرطان الثدي.

كما وجدت ارتباطات عديدة بين تركيز مستقبلات الإستروجين والعوامل السريرية الأخرى كالعمر والحالة الطمثية والنمط النسيجي ودرجة تمايز الورم.

الكلمات المفتاحية: مستقبِل الإستروجين، مستقبِل البروجسترون، مستقبِل الستيروئيد، سرطان الثدي.

يُعدّ سرطان الثدي من الأورام الشائعة لدى النساء، وقد مكّنت الوسائل الحديثة المستعملة في التقصيات والفحوصات من اكتشاف عدد متزايد من الكتل لم يكن الفحص بالجس قادراً على إدراكها أو التعرّف عليها. رغم تعرّض كل خلايا الجسم للهرمونات الستيروئيدية، لكن العمل الفيزيولوجي لهذه الهرمونات مرتبط بتلك النسج التي تحتوي خلاياها بروتينات ارتباط تدعى المستقبلات. ترتبط هذه البروتينات نوعياً بأنواع الهرمونات الستيروئيدية بألفة ارتباط عالية وتنقل إشارة الستيروئيد إلى المورثات الحساسة المتوضعة في الكروماتين. يعتمد نوع الاستجابة المحدثة فيما بعد على المرحلة التطورية developmental stage وحالة تمايز النسيج الهدف، إضافة إلى عوامل أخرى مختلفة كتكاثر الخلية وموتها والنشاط الإفرازي والحركية الخلوية. والشيء المهم في ذلك يتجلى في ما وجد للهرمونات الستيروئيدية من قدرة تؤثر من خلالها في تلك الخصائص، وكانت سبباً في الكثير من الحالات المرضية وبشكل خاص في إحداث بعض السرطانات في الأنسجة الحساسة للهرمونات الستيروئيدية مثل سرطان الثدي وسرطان الجهاز التناسلي. تمّت الاستفادة من ذلك طبياً بإنتاج عقاقير تُغيّر من التراكيز الخلوية للهرمونات الستيروئيدية أو عملها، واستُخدمت بشكل واسع في معالجة سرطان الثدي وسرطان بطانة الرحم والبروستات وذلك لاحتواء هذه الأورام على مستقبلات هرمونية ستيروئيدية.

وتمّ حديثاً معايرة هذه المستقبلات في العديد من المراكز لتحديد الاستجابة المحتملة للمعالجة الهرمونية. حيث أُثبت أن معرفة محتوى الورم من مستقبلات الإستروجين (ER) مرشد هام لاختيار المعالجة المناسبة لمرضى سرطان الثدي ففي حين تكون فرصة الاستجابة للمعالجة الهرمونية في المرضى ذوي الـ ER السالب قليلة جداً نجد أن 60% من المرضى ذوي الـ ER الموجب يستجيبون لمثل هذه المعالجة. لكن لماذا 40% منها تفشل في الاستجابة؟ إن سبب ذلك غير واضح تماماً لكن من المحتمل أن يكون وراء ذلك تغير التنظيم الهرموني في الخلايا الخبيثة، لذلك فإن مجرد وجود الـ ER هو غير كاف لضمان أن الورم معتمد على الإستروجين. وبما أن تركيب مستقبلات البروجسترون يحدث كنتيجة لفعل الإستروجين في الأنسجة الهدف، فقد افتُرض بأن أورام الثدي الحاوية على مستقبلات الإستروجين والبروجسترون يمكن أن تكون المعتمدة فعلياً على الإستروجين. وبالفعل فقد أُثبت حديثاً أن الأورام الحاوية على الـ ER وPR(74%-80%) هي أكثر تراجعاً بعد المعالجة الهرمونية، لذلك فإن تحديد محتوى الورم من هذه المستقبلات في آن واحد يسمح باختيار أفضل للمرضى. ومن المهم أيضاً أن الأورام الحاوية على تراكيز عالية من الـ ER و/أو الـ PR هي أكثر احتمالاً للاستجابة للمعالجة الهرمونية، لذلك فإن قياس الـ ER والـ PR يجب أن يكون بطرق كمية لا كيفية. وبالاعتماد على خبرات سابقة، تمّ تعيين القيمة الحدّية لتمييز الأورام الموجبة الـ ER عن السالبة الـ ER. فعندما يكون تركيزها أكثر من 10 فيمتومول/ ملغ بروتين السايتوزول يُعدّ الورم موجب الـ ER في حين تُعدّ الأورام سالبة الـ ER إذا احتوت أقل من 3 فيمتومول/ ملغ بروتين السايتوزول، أما الأورام الحاوية بين 3 – 10 فيمتومول/ ملغ بروتين السايتوزول فتُعدّ قيماً حدّية، رغم أن نسبة منها تستجيب للمعالجة الهرمونية، والأكثر شيوعاً استخدام القيمة الحدّية 20 فيمتومول/ ملغ بروتين السايتوزول لتمييز الأورام الموجبة المستقبلات رغم أن هنالك اتفاقاً تاماً على اختيار قيم حدّية مختلفة بحسب الفئات العمرية للمرضى.

وجدت ارتباطات عديدة بين حالة الـ ER والعوامل السريرية الأخرى كالعمر والحالة الطمثية والنمط النسيجي ودرجة تمايز الورم. فعلى سبيل المثال لوحظ في النساء بعد سن اليأس أن الأورام الموجبة الـ ER هي أكثر تكراراً بالمقارنة مع النساء قبل سن اليأس. أما بالنسبة للنمط النسيجي فإن غالبية الكارسينوما الفصية سالبة الـ ER وموجبة الـ PR، وأثبتت دراسات حديثة أن الـ ER والـ PR ترتبط مباشرة بدرجة مرونة النسيج وبشكل عكسي مع درجة الارتشاح اللمفاوي لسرطان الثدي البدئي. كذلك أظهرت الدراسات أن قيم المستقبلات ثابتة بشكل كبير في مراحل الورم المختلفة، وأن حوالي 80% من الأورام البدئية تحتفظ بمستقبلاتها مع تقدّم المرض رغم ملاحظة تغيّر حالة المستقبلات بين الأورام البدئية والأورام الانتقالية في مرضى سرطان الثدي أنفسهم. ومن المحتمل أن يكون المسؤول عن ذلك، ولو بشكل جزئي، المعالجات المختلفة للمرض كالمعالجة الكيميائية والمعالجة الهرمونية ومضادات الهرمونات.

حديثاً تمّت دراسة القيم الإنذارية لحالة الـ ER من قِبَل مجموعات عدة. فقد أثبت بعض الباحثين أن فترة الهجوع في مرضى سرطان الثدي موجبي الـ ER هي أطول بالمقارنة مع المرضى ذوي الـ ER السالب بغض النظر عن العوامل الإنذارية الأخرى كالعُقَد والحالة الطمثية وحجم الورم. أما بالنسبة للعلاقة بين حالة المستقبِل والبقاء على قيد الحياة فهنالك عدة تقارير تثبت بقاء المرضى ذوي الـ ER الموجب على قيد الحياة مدة أطول من المرضى ذوي الـ ER السالب. وبالتالي يمكن القول أن المستقبلات الهرمونية الستيروئيدية هي محور هام في ضبط نمو وتطور الأنسجة الحساسة للهرمونات الستيروئيدية في حالتها الطبيعية والمرضية، وبالتالي يمكن الاستفادة من ذلك في معالجة السرطان.■

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تأثير المعاملات الهرمونية على توقيت الشياع ونسبة التوائم في نعاج العواس السوري ضمن الموسم التناسلي ★

د. معتز زرقاوي
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص. ب 6091- دمشق - سورية

ملخص

قُسّمت ثلاثون نعجة من أغنام العواس بالتساوي إلى ثلاث مجموعات. أُدخلت في مهابل نعاج المجموعة الأولى (T1) ونعاج المجموعة الثانية (T2) إسفنجات مهبلية لمدة 13 يوماً، وأُتبعت نعاج المجموعة T2 بحقنة من هرمون مصل دم الفرس الحامل (PMSG) عند سحب الإسفنجات. واعتُبرت المجموعة الثالثة (C) كمجموعة الشاهد. قُدّرت تراكيز هرمون البروجسترون في أمصال الدم بواسطة المقايسة المناعية الإشعاعية. أبدت النعاج شياعاً خلال 3 أيام (وسطياً 2.04 يوم، المدى: 1.17 – 3.0 يوم)، و4 أيام (وسطياً 2.08 يوم، المدى: 1.04 – 3.93 يوم) من سحب الإسفنجات في المجموعتين T1 و T2، على التوالي. أما بالنسبة لمجموعة الشاهد (C)، فكان حدوث الشياع أقل تكثيفاً وامتد ظهوره مدة 14 يوماً، وحدث بالمتوسط بعد نحو 4.2 يوم (المدى: 1 – 14 يوماً) من إدخال الكباش. لم تؤثر المعاملة على طول فترة الحمل أو على وزن المواليد أو على وزن الفطام. أدى استخدام PMSG إلى زيادة نسبة التوائم من 20% في كل من مجموعتي T1 والشاهد، إلى 50% في مجموعة T2. يمكن الاستنتاج بإمكانية استخدام الإسفنجات المهبلية بنجاح في توقيت الشياع عند نعاج العواس السوري ضمن الموسم التناسلي، وأن استخدام هرمون مصل دم الفرس الحامل عند سحب الإسفنجات يزيد من نسبة التوائم.

الكلمات المفتاحية: نعاج العواس، شياع، توقيت، إسفنجات مهبلية، توائم، بروجسترون، مقايسة مناعية إشعاعية.

مقدمة

تمتاز أغنام العواس بإنتاج جيد من اللحم والحليب والصوف، ويفضّل معظم المستهلكين لحوم العواس عن غيرها من لحوم الأغنام الأخرى، رغم الفرق الكبير في الأسعار، كما تمتاز أغنام العواس بقدرتها على تحمّل السير لمسافات طويلة وفي درجات حرارة مرتفعة بالمقارنة مع غيرها من الأغنام.

تُستخدم طرائق عدة لتوقيت الشياع عند الأغنام، وتُعدّ طريقة المعاملة بالإسفنجات المهبلية المشبعة بالمركبات الصنعية لهرمون البروجسترون intravaginal sponges من أكثر الطرائق انتشاراً.

تهدف هذه الدراسة إلى تقويم تأثير استخدام الإسفنجات المهبلية من نوع MAP، بمفردها أو مع هرمون مصل دم الفرس الحامل، في توقيت الشياع ونسبة التوائم عند أغنام العواس المحلي ضمن الموسم التناسلي، إضافة إلى دراسة بعض المعايير الأخرى ذات الصلة.

نتائج ومناقشة

1- أظهرت النعاج في كلتا المجموعتين T1 و T2 شياعاً بلغ بالمتوسط 2.06 يوم، من سحب الإسفنجات بالمقارنة مع 4.2 يوم بالنسبة لمجموعة الشاهد (C).

2- كان الشياع أكثر تكثيفاً في نعاج المجموعتين T1 و T2، حيث لقحت نعاج المجموعة T1 خلال ثلاثة أيام ونعاج المجموعة T2 خلال أربعة أيام، أما بالنسبة لمجموعة الشاهد (C)، فلقحت النعاج خلال أربعة عشر يوماً من إدخال الكباش إليها.

3- لم تؤثر المعاملة على طول فترة الحمل عند النعاج التي بلغت بالمتوسط 151.1 يوم. وولدت النعاج المعاملة خلال مدة 22 يوماً، مقابل 64 يوماً بالنسبة لمجموعة الشاهد. كما لم تؤثر المعاملة على متوسط وزن المواليد العام.

4- أدت المعاملة التوافقية بالإسفنجات المهبلية وهرمون مصل دم الفرس الحامل إلى زيادة نسبة التوائم من 20% في كلتا مجموعتي T1 والشاهد، إلى 50% في مجموعة T2.

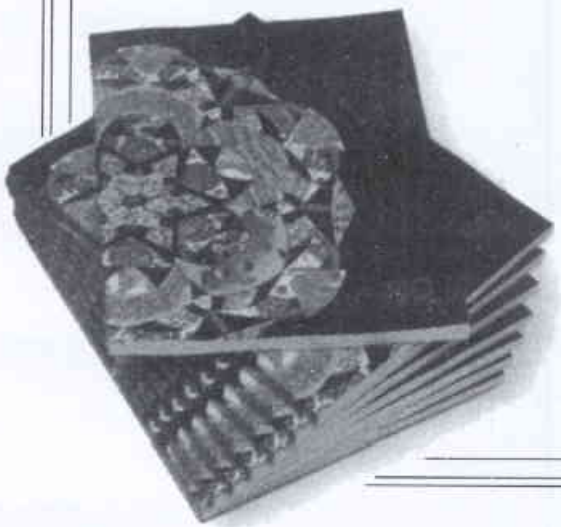
5- بلغ متوسط وزن الفطام للمواليد بعمر 3 أشهر 23.9، 20.5 و22.7 كغ للمجموعات T1، T2، والشاهد على التوالي، ولم تكن الفوارق مؤكدة إحصائياً.■

☆ ★ ☆

★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

كتب حديثة مختارة



1- البلّورات السائلة:

دراسة تجريبية للخواص الفيزيائية والانتقالات الطورية

Liquid Crystals: Experimental Study of Physical Properties and phase Transitions ★

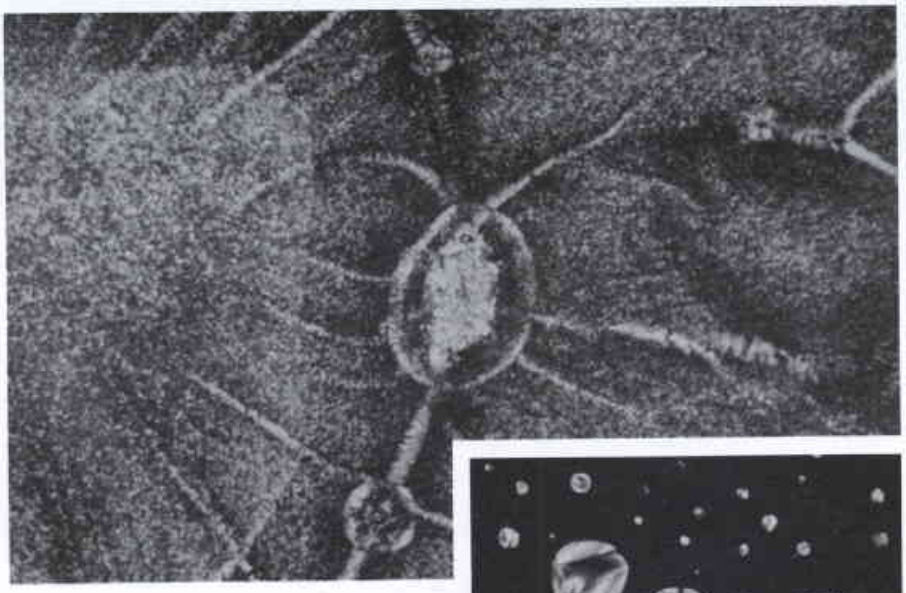
تأليف: س. كومار
عرض وتحليل: ج. لايدون**

تبدأ أية مناقشة لأطوار البلّورات السائلة عادة بوصفها كحالة للمادة تقع بنيتها بشكل متوسط بين مايقارب طور الجسم الصلب البلّوري المنتظم كلياً وحالة السائل غير المنتظم تماماً. إن هذا التعبير مناسب تماماً، ولكنه يحمل في طياته جميع التضمينات الخاطئة: فهو يعني أن جميع صفات هذه الأطوار الوسطى "mesophases" ستكون أيضاً متوسطة. وباعتراف الجميع، يكون هذا الأمر في بعض الحالات صحيحاً، ولكن بشكل عام، ينشأ عن الاتحاد بين الميوعة و الترتيب الجزيئي التلقائي ظواهر فريدة وجديرة بالملاحظة.

لقد أُطلق على أطوار البلّورات السائلة، ولأسباب موضوعية اسم البلّورات "الحسّاسة" الطبيعية. في الحقيقة، إنها فعلاً حسّاسة لكل شيء، فبعضها يتغير لونه مع درجة الحرارة (وهي حسّاسة إلى واحد في المئة من الدرجة)، وأخرى تستجيب للحقول الكهربائية الضعيفة وتتراصف بيسر على سطوح معالَجة، وهي مجموعة من خواص تجعلها مفيدة بشكل فريد لنبائط العارضات. ويشكّل بعضها أطواراً مذبية تستطيع أن تُراصف جزيئات منحلة ذائبة، وتُستخدم هذه الظاهرة في نبائط العارضات وفي الأشكال الجديدة من المطيافية. ومن الممكن أيضاً إنتاج مواد فائقة القوة وعالية الترتيب، وبشكل بارز الكِفلار Kevlar، وذلك بغزل ألياف من مصاهير بوليمر بلّوري سائل (مفضلاً ذلك على سوائل غير منتظمة).

هذه الخصائص الفريدة بالطبع تعبير عن خواص فيزيائية قابلة للقياس، وقد برزت تقنيات قياسها في أدبيات البحوث خلال العشرين سنة الماضية أو حولها بشكل متزايد. إن "الحاجة المحسوسة الطويلة الأمد"، التي حدّدها ساتيندرا كومار S. Kumar، إلى مصدر عام وعملي وضروري لتقنيات البحوث التجريبية وكيفية تطبيقها على البلّورات السائلة شيء كاف حقيقةً، والكتاب الذي وضعه مع هذه الحاجة يلاقي ترحيباً كبيراً.

لقد غطّى كتاب البلّورات السائلة بمقدرةٍ وروعةِ التقنيات الرئيسة المستخدمة في التحري عن البلّورات السائلة - وتتضمن المجهرية الاستقطابية ومقياسية كمية الحرارة الماسحة التفاضلية وانعراج أشعة X والتجاوب المغنطيسي النووي وتبعثر الضوء. وتغطي فصول الخواص



توابع العالم: بلورات سائلة مفحوصة بالضوء (إلى اليمين) والمجهريات الاستقطابية (في الأعلى).

الفيزيائية جميع المواضيع المألوفة - خواص العزل الكهربائي، خواص المغنطيسية المعاكسة الضوئية المرنة واللزجة، المناقلة الحرارية والكهربائية وقياسات الكثافة - بعشرين صفحة لشرائح ملونة تُظهر البنية الضوئية الأساسية. هنالك فصل رائع عن الأفلام المعلّقة بحرية - الأفلام الممتدة عبر ثقب في صفيحة بحيث أنها لاتلامس سطح الجسم الصلب في كلا الجانبين. وينتهي الكتاب بمناقشة عن العلاقة بين البنية الكيميائية والخواص المتوسطة النشأة. وقد عولج

★ By S. Kumar, Cambridge University Press: 2000.

** ج. لايدون: قسم الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الجزيئية - جامعة ليدز - بريطانيا.

- العرض والتحليل: عن مجلة *Nature*, Vol 411, 24 May 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

كل موضوع بمستوى رياضياتي يفهمه المجاز من قسم الفيزياء في الجامعة.

وغالباً ما يكون مزيج الفصول التي كتبها اثنا عشر مؤلفاً مختارة بصورة لامفر منها وتوفيقية بشكل متميز، وفي أماكن عديدة نجد أن المعالجة عميقة وليست واسعة. وجرت مناقشة النقاط المعدّة ليفهمها قليل من الناس بشكل مفصل. فمثلاً نجد أن المؤلفين من جامعة كِنْت Kent في ولاية أوهايو فخورون في توصيفهم للطور الخيطي الثنائي المحور المحيّر، ولم يستطيعوا مقاومة ذكره في المقدمة. ولكن ليس هنالك شيء فعلياً عن الأطوار التبعثرية lyotropic والبلّورات السائلة المتبلمرة أو الدسكوتكس. ومع ذلك، حقّق كومار هدفه بإنتاج مجلد يحوي معلومات عملية بتفصيل تقني معمّق. ويمكن أن يكون هذا الكتاب واحداً من أفضل ما يقتنيه الطالب الذي يشرع في إجراء استقصاءات تجريبية على منظومات متنحية حرارياً أو خيطية أو هدبية.■

2- التبريد والأسر بالليزر ★
Laser Cooling and Trapping

تأليف: هـ. متكالف، ب. فان درشتراتن
عرض وتحليل: د. سكوت فايس ★★

إن المعدّل السريع الذي تمّ فيه ابتكار تقنيات التبريد بالليزر وأسر الذرّة وتطبيق ذلك على مسائل جديدة، في الخمس عشرة سنة الماضية أخاف معظم الراغبين في تأليف كتب مدرسية حول هذا الموضوع، حيث كان الاعتقاد في ذلك الوقت هو أن تأليف أي كتاب بمنظور جيد في هذا المجال يجب أن يسبقه، إلى حد ما، استقرار هذا الحقل من المعرفة. وكنتيجة لذلك، فإن المدخل إلى التبريد والأسر تُرك حتى الآن ليُناقش في الإصدارات الخاصة للمجلات، أو في مقالات المراجعة أو النقد، أو في نصوص المؤتمرات، أو في فصول كتاب خاصة، أو في أطروحات الدكتوراه القليلة. إن إحداث حقل جديد لكثافة بوز – أينشتاين للغازات الذرّية، ومنح جائزة نوبل في الفيزياء لتبريد الليزر، وإدخال تطبيقات واسعة، بما فيها دمج تبريد الليزر ضمن معيار الزمن الأساسي، ووضع خطط تبريد وأسر الذرّات في الفضاء، قد ساهمت جميعها نحو منظور متغير. فالحقل قد تأسس، لماذا، لايوجد كتاب مدرسي؟ (انظر مقال تبريد الذرّات بضوء الليزر – العدد 40 – الصفحة 28).

بالتأكيد هنالك ضرورة لذلك: يجب على الطلاب الجدد في هذا الحقل أن يفهموا أولاً جوهر النظرية الذرّية المتخصصة، ثم يواجهون بالعدد الهائل والمثير من الطرائق التي طُبّقت بها النظرية لتحقيق السيطرة الميكانيكية على الذرات. فمثلاً، إن تقنية دوبلر Doppler في التبريد المعروفة بشكل واسع ليست إلا واحدة من حوالي دزينة من آليات تبريد الليزر المتميزة التي جرى إثباتها. وبشكل مشابه، هنالك أكثر من عشرين من المتغيرات التي تتعلق بأسر الذرّة مغنطيسياً أو ضوئياً أو بحقل كهربائي، وكذلك بعدد مقارن من عناصر الذرّة الضوئية. هنالك عدد وافر من المصادر الأولية للانتقاء منها بدون وجود مرشد أو موجّه. إن تبريد وأسر الليزر لِهال ميتكالف وبيترفان درشتراتن يقدّم لنا هذا المرشد.

ينقسم كتاب التبريد والأسر بالليزر إلى ثلاثة أجزاء. الجزء الأول عبارة عن مقدمة تناقش باختصار الفيزياء العامة الوثيقة الصلة بالتبريد والأسر. إنها تعرض المواضيع الخلفية التي يجب أن يفهمها الطالب عند قراءة مايتعلق بأدبيات التبريد والأسر. وقد وجدتُ ماهو جدير بالملاحظة أنها، إلى جانب كونها متقنة، لاتحوي بشكل أساسي مواضيع غريبة أو دخيلة. وبالرغم مما يغري كثيراً لإعطاء خلفية أكثر هنا وهناك، فإن المقدمة متينة وثابتة على رسالتها. إن معظم مافيها استخدم لمناقشة ذرّات بسويتين، معادلات بلوخ Bloch الضوئية، وتأثرات الضوء – الذرّة. إن المناقشة المختصرة لبنية الذرّة هي بالضبط ما تحتاجه لمعرفة معظم مايتعلق بتبريد الليزر. يتعرض التمهيد المختصر في الترموديناميك فقط إلى المفاهيم التي تخدم في إبراز التبريد والأسر مثل السير العشوائي ومعادلة فوكر – بلانك Fokker - Planck ونظرية ليوفيل Liouville. وبالإجمال، فإن المادة في هذه المقدمة يمكن أن تُجمع بشكل نموذجي من أربعة نصوص على الأقل، ومن الجميل أن نجدها جميعها في مكان واحد. رغم أن المناقشات في الكتاب متميزة وتامة في حد ذاتها، فإن الطلاب عادة بحاجة إلى إكمالها من كتب أكثر تخصصاً. وأعتقد أن تثبيت المراجع في حواشي كل فصل سيقدّم مساعدة هامة للطلاب في استخدام القائمة الواسعة من المراجع.

يناقش الجزءان الآخران التبريد والأسر وتطبيقاتهما. إن هذا الصفيف من التجارب والتقانة له صفة أو ميزة خاصة، حيث أن معظم الظواهر الفيزيائية قابلة للحساب بدقة. فكل شيء ينتهي إلى حقول كهرطيسية تتآثر مع الذرّات، أو ذرّات تتآثر بعضها مع بعض عند طاقة منخفضة. يمكن للأوضاع التجريبية أن تصبح معقدة، ولكن كافة الهاملتونيات معروفة، ويمكن عادة أن تُحلَّ جميع معادلات الحركة.

يقدّم الكتاب الإطار اللازم لفهم هذا المظهر من تبريد الليزر ولكنه لا يُسهب فيه. وبدلاً من ذلك، يختار المؤلفان عادة نماذج بسيطة وتفسيرات تصويرية. في معظم الوقت، تهيم الذرّات الباردة بواسطة الحقول وكأنها كرات صغيرة، أو توابع موجية مثالية مجتازة إمكانيات كتاب مدرسي. وكان هذا هو الأسلوب الصحيح الذي أخذ به المؤلفان. إن هذه النكهة من التوضيح مألوفة في حقل آخذٍ بعين الاعتبار المقدمة الهائلة المدى من التقنيات والتطبيقات. والأكثر أهمية يتجلى في أن الطلاب سيجدون هذا المدخل إلى الفيزياء يفرض نفسه.

★ By H. J. Metcalf and Peter van der Straten Springer - Verlag, New York, 1999.

★★ د. سكوت فايس: جامعة كاليفورنيا - بيركلي.

– العرض والتحليل: عن مجلة *Physics Today*, February 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

سأكون إلى حد ما قلقاً إذا صُوِّر كتاب "تبريد وأسر الليزر" على أنه مراجعة نهائية متضمنة "كل ما تمّ عمله بهذا الشأن في الماضي رغم تأكيداته على عكس ذلك.

ويمكن أن يتخذ هذه النظرة لأنه بالفعل يغطي أرضية بهذا الاتساع، ولكن الكتاب ليس كاملاً. إنه يهمل بعض العمل الوثيق الصلة بالموضوع والذي له أهمية مشابهة. وعلاوة على ذلك، فإن الذكر الصريح لأسماء العلماء والمعاهد في النص شاذ إلى حد ما. ولكن لأجل ما قُصِد منه باستعماله كمرشد للقادمين الجدد إلى حقل التبريد والأسر بالليزر، فإنه يقدّم عملاً رائعاً. إنه مرتب لكي يُسهّل ما هو حديث وضروري لإضافته. وحتى الآن، يحتمل للتطورات التي حدثت منذ أن كُتب نص الكتاب أن تزيد في حجمه إلى النصف. وطبقاً لذلك فإني أتطلّع إلى الطبعة الثانية. لقد وضِع هذا الكتاب بشكل جيد بحيث يتناسب مع تطورات هذا الحقل من المعرفة لعدة سنوات قادمة.■

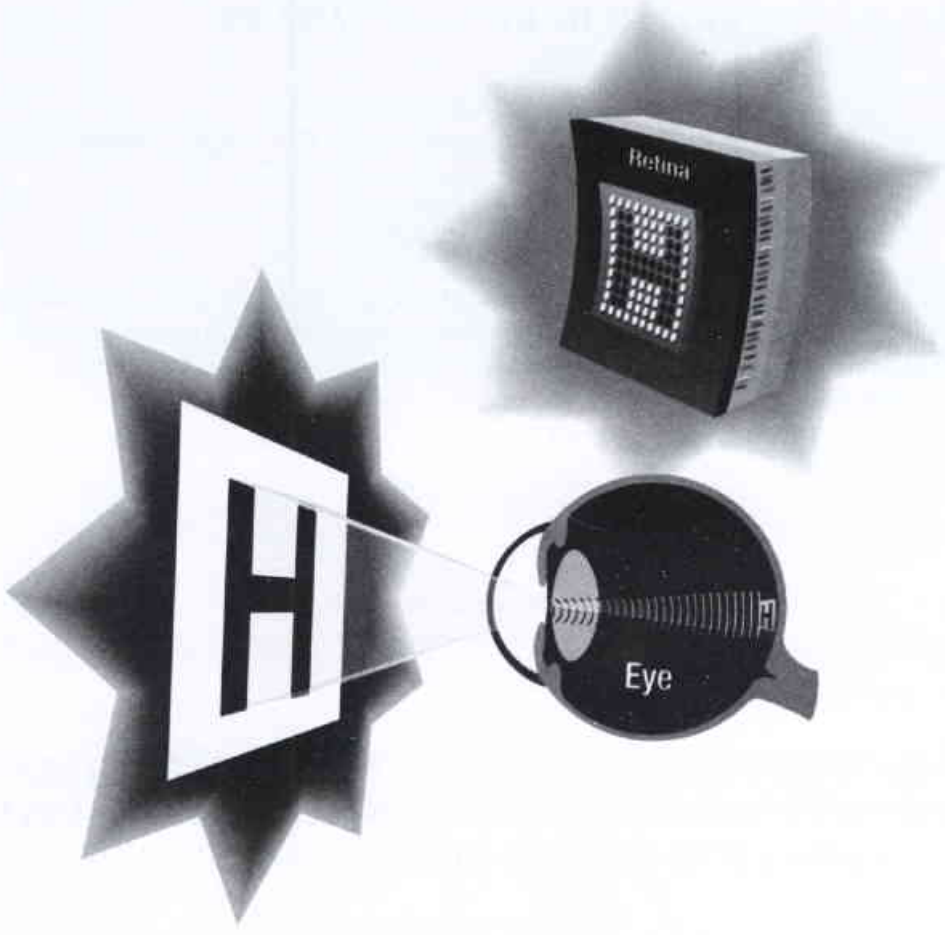
☆ ★ ☆

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

Key Words

Awassi ewes, oestrous, synchronisation, intravaginal sponges, twins, progesterone, radioimmunoassay.

* A short report on a field exploratory experiment achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.



الغلاف الثاني

جذاذة رؤيا مزروعة في خلفية العين يمكنها أن تتيح للأشخاص ذوي نوع معين من العمى تمييز أشكال بسيطة وتجنب العوائق

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

Key Words

garlic, mutants, white rot, rust, bolting

⋆ A short report on scientific research achieved in the Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission of Syria.

THE ROLE OF STEROID HORMONE RECEPTORS (ER, PR) IN BREAST CANCER⋆

M. A. BAKIR, A. MOHAMMAD

Department of Radiation Medicine, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Steroid hormone receptors are intracellular binding proteins, specifically bind the individual classes of steroid hormones with high affinity and transmit the steroid signal to sensitive genes located throughout the chromatin. It is now well established that knowledge of the tumor content of estrogen and progesterone receptors is an important guide to select the appropriate therapy for patients with breast cancer.

Many correlations have been made between ER status and various clinical parameters: age, menopausal status, histological type and grade.

Key Words

estrogen receptor, progesterone receptor, steroid receptor, breast cancer.

⋆ A short report on an office scientific study achieved in the Department of Radiation Medicine, Atomic Energy Commission of Syria.

EFFECT OF HORMONAL TREATMENT ON OESTROUS SYNCHRONISATION AND TWINNING RATE IN SYRIAN AWASSI EWES DURING THE BREEDING SEASON⋆

M. ZARKAWI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Thirty intact Awassi ewes were divided equally into 3 groups. Ewes in the first (T1) and second groups (T2) were fitted with intravaginal sponges (MAP) for 13 days, and ewes in group T2 were injected, at sponge withdrawal, with pregnant mare serum gonadotrophin (PMSG). The third group (C), received no treatment and served as a control group. Progesterone levels were measured in the serum of the ewes using radioimmunoassay (RIA). Oestrus was exhibited within 3 days (mean: 2.04 days, range: 1.17 - 3.00), and within 4 days (mean: 2.08 days, range: 1.04 - 3.92 days after sponge withdrawal), in the ewes of the T1 and T2 groups, respectively. In the control group C, oestrus was more variable and was exhibited within 14 days (mean: 4.2 days, range: 1-14 days), after introduction of the rams. The treatment had no effect on either the duration of pregnancy, birth weight or weaning weight. Using PMSG at sponge withdrawal increased twinning rate from 20% in both groups T1 and C, To 50% in group T2. It could be concluded that it is possible to use the intravaginal sponges (MAP) for oestrous synchronisation in the local Awassi ewes during the breeding season, and that the concomitant treatment of MAP and PMSG increases the twinning rate.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

such as the length of the amplifier, the medium temperature, the ratio of gases and the pressure onto the amplification process was investigated. This code can deal with one, two or three lines simultaneously in one or two bands (9.6 μm, 10.6 μm).

Key Words

TEA CO_2 laser, rotational kinetics, laser pulse amplification, Q-Switching.

★ A short report on computer study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

SPECTROSCOPIC STUDY OF URANIUM COMPLEX STABILITY WITH DEHPA★

M. ALIBRAHIM, H. SHLEWIT

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091 Damascus, Syria

ABSTRACT

FTIR spectra of several uranium concentration in the organic phase 0.1M DEHPA/ dodecane has been studied.

IR spectra show increasing of uranium stripping co-efficient when temperature increased as well the increasing of P_2O_5% in the phosphoric acid used as a stripping agent, which contains a cretin amount of uranium.

Also IR spectra show that the stripping co-efficient decreases when the phase ratio of organic to aqueous increases at fixed temperature.

Key Words

DEHPA, dodecane, FTIR, uranium, stripping

★ A short report on laboratory scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

COMPARATIVE STUDY OF SOME QUANTITATIVE AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF LOCAL, INTRODUCED AND MUTATED LINES OF GARLIC★

B. AL. SAFADI, M. I. E. ARABI, Z. AYYOUBI

Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Forty-eight garlic mutants resistant to white rot disease, and thirty-four local and introduced garlic (Allium sativum) cultivars, have been used in a two-year comparative study to broaden the genetic base of garlic and determine their quantitative and qualitative characteristics under local conditions.

Many of the introduced cultivars exceeded the local ones in many characteristics.

The mutants maintained high degree of resistance to white rot disease in addition to the increase in bulb weight. Isozyme and total protein electrophoretic analysis revealed high degree of variability among the tested cultivars.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

irradiation samples, the last method is the least established for U determination in rocks. The measurements obtained by the three methods are compared. The results show good agreement, with a distinct linear relationship and significant positive correlation coefficients. It was concluded that the CAS method could reliably be used to rapidly determine uranium in geological samples.

Key Words

instrumental neutron activation analysis; delayed neutron counting; cyclic activation system; uranium determination; ores.

* This article appeared in *Applied Radiation and Isotopes*, 52, p. 1003-1007, 2000.

REPORTS

CALCULATION OF SCISSION POINT PARAMETERS IN THE FISSION OF ^{249}Cf WITH THERMAL NEUTRONS AS A FUNCTION OF FRAGMENT KINETIC ENERGY*

O. ALHASSANIEH

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Scission point parameters (fragment deformation, neck radius, collective temperature, total kinetic energy, fragment kinetic energy, distance between fission fragments) in the fission of ^{249}Cf with thermal neutrons as a function of fragment kinetic energy were calculated according to the method developed by Naik et.al., dashing from isomeric ratio yields (F_h) and fragment angular momentum (J_{rms}).The fragment angular momentum was calculated according to the Madland-Model. The calculated kinetic energies were compared with experimental values of kinetic energies from earlier experiments. There is a good agreement between calculated and experimental kinetic energies in the J_{rms} range from 5 to 10. Out of this range, there are big discrepancies between the calculated and the experimental kinetic energies. The Madland model for calculating J_{rms} from experimental F_h-values is not exact for F_h-values > 0.8 and F_h-values <0.2, and this leads to differences between calculated and experimental values of kinetic energies.

Key Words

fission of ^{249}Cf, kinetic energy, excitation energy, deformation parameter, neck radius, collective temperature.

* A short report on computer study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

THE ROTATIONAL KINETICS OF TEA CO_2 LASER USING THE PULSAMP CODE*

SH. AL- HAWAT, S. MOHAMMAD

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The code PULSAMP was run for studying the amplification of laser pulse, its duration of the order of nanosecond, for different pulse profiles (Gaussian, rectangular, and experimental). The effect of different parameters

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

Key Words

^{210}Po, ^{210}Pb, sea and fresh water fish, determination, daily intake, radiation dose.

* This paper appeared in *Journal of Environmental Radioactivity*, 2000

THE EVALUATION OF TWO DOSES OF PROSTAGLANDIN $F_{2\alpha}$ ANALOGUE, PROSOLVIN, FOR OESTROUS SYNCHRONISATION OF SYRIAN AWASSI EWES*

M. ZARKAWI

Division Of Animal Production, Department Of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

An assessment was made of the effectiveness of two doses of Prosolvin, a synthetic prostaglandin $F_2\alpha$, on oestrous synchronisation in local ewes during the breeding season. Thirty cycling Awassi ewes were divided equally into 3 groups. Ewes in group T10 and group T15 were injected intramuscularly twice with either 10 mg (T10) or 15 mg (T15) of Prosolvin, with an interval of 11 days. The third group received no treatment and served as a control group (C). Oestrus commenced in the ewes in group T10 at 83.3 $\pm$ 42.9 hours, and in the ewes in the T15 group at 136.5 $\pm$ 109.9 hours, after the second injection of Prosolvin. In the control group (C), oestrus behaviour was more variable and commenced 251.2 $\pm$ 130.9 hours after introduction of the rams. In the time to onset of oestrus, the difference between the effects of the two doses was not significant ($P > 0.05$) but there was a significant difference ($P < 0.05$) between treated and untreated ewes. The mean serum progesterone level dropped sharply within 24 hours after the treatment from 8.48 nmol l^{-1} to 0.52 nmol l^{-1} in the ewes in group T10, and from 7.95 nmol l^{-1} to 0.45 nmol l^{-1} in the group T15. The treatment had no effect on either the duration of pregnancy or birth weight. It could be concluded that it is possible to use the synthetic prostaglandin Prosolvin at doses of 10 or 15 mg for oestrous synchronisation in local Awassi ewes during the breeding season.

Key Words

Prosolvin; oestrous synchronisation; reproduction; Awassi sheep; progesterone; radioimmunoassay

* This article appeared in *NZ Journal of Agricultural Research*, Vol. 43, 2000.

COMPARISON OF URANIUM DETERMINATION IN SOME SYRIAN GEOLOGIC SAMPLES USING THREE REACTOR BASED METHODS*

Y. M. JUBELI

Department of Geology and Nuclear Ores, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A set of 25 samples of soil, sediments, carbonate and phosphate rocks from Syria were analysed for uranium,using three reactor based methods; instrumental neutron activation analysis (INAA), delayed neutron counting (DNC) and one cycle of irradiation utilizing the cyclic activation system (CAS). Although the three methods are capable of

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

REPURIFICATION AND CHARACTERIZATION OF EXTRACTANT MIXTURE (ISOBUTYL ACETATE-METHYL ISOBUTYL KETONE) USED IN SPECTROPHOTOMETRIC ANALYTICAL METHODS*

R. AL-MEREY, M. AL-HAMEISH
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

(Isobutyl acetate (IBA) - methyl isobutyl ketone (MIBK) mixture used in analytical laboratories was re-purified by fractional distillation. The used mixture was washed with 0.5 M Na_2CO_3 solution for the removal of inorganic substances. The range of fractional distillation was between 111-114°C which gave an azeotropic mixture that consists of 70 % of IBA, 20 % of MIBK and 10 % of isobutanol (IBL). Gas Chromatography (GC) analysis showed that isobutanol was increased by about 10 % on the expense of IBA. This study suggests that MIBK could be determined in organic mixture spectrophotometrically. The analytical function of the re-purified mixture is found to be better than the unused mixture. Finally the distillation recovery was 93 %.

Key Words

re-purification, fractionation distillation, retention time, isobutanol, Isobutyl acetate, Methyl isobutyl ketone, extraction mixture, pre-treatment.

* This paper appeared in *Solvent Extraction Research and Development*, Japan, Vol. 7, Spring, 2000

^{210}Po AND ^{210}Pb CONCENTRATIONS IN FISH CONSUMED IN SYRIA*

M. S. AL- MASRI, S. MAMISH, Y. BUDEIR AND A. NASHAWATI,
Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Concentrations of ^{210}Po and ^{210}Pb were determined in the edible tissue muscle of 36 species of marine fish and seven species of fresh water fish collected from the syrian local markets. Concentrations in sea fish were found to vary between 0.27 and 27.48 Bq.kg^{-1} fresh wt and 0.05 to 0.38 Bq.kg^{-1} fresh wt for ^{210}Po and ^{210}Pb, respectively. While in fresh water fish, the concentrations were relatively low and they varied between 0.61 and 3.08 Pq.kg^{-1} fresh wt for ^{210}Po and 0.04 to 0.10 Bq.kg^{-1} fresh wt for ^{210}Pb. These variations in ^{210}Po and ^{210}Pb content in different species are due to differences in metabolism and feeding patterns. However, the highest levels were observed in Euthynnus alletteratus and Sardinella sp collected from different markets. The daily levels of intake due to fish consumption containing ^{210}Po and ^{210}Pb were calculated and found to be 6.0 and 0.24 mBq respectively, which are much lower than those reported in other countries. In addition, the collective doses were found to be 5.09 man.sv and 2.93 man.sv for ^{210}Po and ^{210}Pb respectively. This suggests that the dose received by Syrians due to consumption of sea and river fish is rather small.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

PAPERS

DENSITY DEPENDENCE OF THE NUCLEAR SYMMETRY ENERGY IN A RELATIVISTIC MEAN-FIELD APPROACH*

S. HADDAD
Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The dependence of the nuclear symmetry energy and of the bulk symmetry energy on density are studied in the relativistic mean-field theory for nuclear matter. The comparison between the results for the non-linear model and for the standard model shows the importance of the nuclear symmetry energy in understanding the properties of neutron-rich nuclei.

KeyWords

Nuclear matter, nuclear symmetry energy, bulk symmetry energy, non-linear model, standard model.

* This paper appeared in *Europhysics Letters*, 48 (5), pp. 505-507, 1 December 1999.

MATHEMATICAL MODELING OF TE CO_2 LASER WITH SF_6 AS A SATURABLE ABSORBER*

M. SOUKIEH, B. ABDUL GHANI, M. HAMMADI
Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A mathematical model describing the dynamic emission of a single mode TE CO_2 laser with saturable absorber has been adapted. A six-temperature model has been used to describe the amplifying medium, while a four-coupled energy level is used to describe the selective absorbing medium. The suggested mathematical model allows the investigation of the effects of the intracavity absorber on the mode characteristics of the TE CO_2 laser and, moreover, the study of the effect of the laser input parameters on the output laser pulse. The model simulates the passive ϱ-switch in both low- and high-pressure cases in the absorbing medium.

In addition, numerical solutions of a non-linear rate equation system of the suggested model are quantitatively discussed. The solutions describe the photon number density, the population inversion and the energy transfer processes of amplifying and absorbing media.

KeyWords

modeling; passive Q-switching; carbon dioxide laser; saturable absorber

* This paper appeared in *Optics & Laser Technology*, 2000.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

THE NUCLEAR NAVAL PROPULSION*

C. FRIBOURG
Technicatome

ABSTRACT

The Nuclear Naval Propulsion has been connected with the national nuclear programs, as a promising application of the nuclear power and as justified alternative of the traditional propulsion, specially concerning submarines and aircraft carrier. This demanded scientific continuous efforts, not only to optimize the Nuclear Naval Propulsion, but also to develop the cooling systems of reactor's core, the discharging and loading of nuclear fuel elements. It/That required a similar developing systems.

Key Words

the nuclear naval propulsion, submarine, aircraft carrier, reactor, nuclear fuel, discharging loading, radioprotection.

*This article appeared in *RGN*, 1999, No.2, March - April. It has been translated into Arabic by Editorial Board and Dr. M. Ghafar, Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

NUCLEAR THERMAL PROPULSION SYSTEMS*

N. N. PONOMAREV-STEPNOI
President of the Russian Research Center Kurchatov Institute, in Moscow, Russia
V. M. TALYZIN
Leading Scientist at the Institute of Nuclear Reactors, Russian Research Center Kurchatov Institute
V. A. USOV
Deputy Director of the High Temperature Power Systems Division, Institute of Nuclear Reactors, Russian Research Center Kurchatov Institute

ABSTRACT

The prospects for the use of RTGs and nuclear reactors in space will improve with increasing power and thrust requirements.

Key Words

space nuclear power system, thermionic converter, TOPAZ system, thermionic fuel element, ENISEY system, nuclear thermal propulsion, power/propulsion system.

*This article appeared in *Nuclear News*, December 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

☐ THE ROTATIONAL KINETICS OF TEA CO_2 LASER USING THE PULSAMP CODE ..... SH. AL-HAWAT, S. MOHAMMAD 98

☐ SPECTROSCOPIC STUDY OF URANIUM COMPLEX STABILITY WITH DEHPA ..... M. ALIBRAHIM, H. SHLEWIT 100

☐ COMPARATIVE STUDY OF SOME QUANTITATIVE AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF LOCAL, INTRODUCED AND MUTATED LINES OF GARLIC ..... B. AL. SAFADI, M. I. E. ARABI, Z. AYYOUBI 101

☐ THE ROLE OF STEROID HORMONE RECEPTORS (ER,PR) IN BREAST CANCER ..... M. A. BAKIR, A. MOHAMMAD 102

☐ EFFECT OF HORMONAL TREATMENT ON OESTROUS SYNCHRONISATION AND TWINNING RATE IN SYRIAN AWASSI EWES DURING THE BREEDING SEASON ..... M. ZARKAWI 104

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ LIQUID CRYSTALS: EXPERIMENTAL STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES AND PHASE TRANSITIONS ..... BY: S. KUMAR. OVERVIEW & ANALYSIS: J. LYDON 106

☐ LASER COOLING AND TRAPPING ..... BY: H. J. METCALF, P. V. DER STRATEN. OVERVIEW & ANALYSIS: D. S. WEISS 107

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 116

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

CONTENTS

ARTICLES

☐ THE NUCLEAR NAVAL PROPULSION . . . . . C. FRIBOURG. 7

☐ NUCLEAR THERMAL PROPULSION SYSTEMS . . . . . N. N. P.-STEPNOI et al. 26

NEWS

☐ QUARKS . . . . . *LA RECHERCHE* 47

☐ TEACHING MAGNETS NEW TRICKS. . . . . *NATURE* 50

☐ A LASER THAT TURNS DOWN THE HEAT . . . . . *NATURE* 52

☐ ARE PROTONS LEAVING IN PAIRS?. . . . . *SCIENCE* 53

☐ A DUAL-ACTION MATERIAL. . . . . *NATURE*. 55

☐ PRECISION PRECESSION. . . . . *NATURE* 57

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ DENSITY DEPENDENCE OF THE NUCLEAR SYMMETRY. . . . . S. HADDAD. 61
ENERGY IN A RELATIVISTIC MEAN-FIELD APPROACH

☐ MATHEMATICAL MODELING OF TE CO_2 LASER WITH SF_6 . . . . . M. SOUKIEH et al. 63
AS A SATURABLE ABSORBER

☐ REPURIFICATION AND CHARACTERIZATION OF . . . . . R. AL-MEREY, ... 73
EXTRACTANT MIXTURE (ISOBUTYL ACETATE-METHYL M. AL-HAMEISH
ISOBUTYL KETONE) USED IN SPECTROPHOTOMETRIC
ANALYTICAL METHODS

☐ ^{210}Po AND ^{210}Pb CONCENTRATIONS IN . . . . . M. S. AL- MASRI et al.. 78
FISH CONSUMED IN SYRIA

☐ THE EVALUATION OF TWO DOSES OF PROSTAGLANDIN $F_{2\alpha}$ . . M. ZARKAWI. 84
ANALOGUE, PROSOLVIN, FOR OESTROUS
SYNCHRONISATION OF SYRIAN AWASSI EWES

☐ COMPARISON OF URANIUM DETERMINATION . . . . . Y. M. JUBELI 89
IN SOME SYRIAN GEOLOGIC SAMPLES USING THREE
REACTOR BASED METHODS

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ CALCULATION OF SCISSION POINT PARAMETERS. . . . . O. ALHASSANIEH. 96
IN THE FISSION OF ^{249}Cf WITH THERMAL NEUTRONS AS
A FUNCTION OF FRAGMENT KINETIC ENERGY

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:
Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.

Subscription rates, including first class postage charges: a) Individuals *$ 30 for one year*
b) Establishments *$ 60 for one year*
c) For one issue *$ 6*

It is preferable to transfer the requested amount to:
The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\|2
Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of atomic energy.

N° 75 | 16th Year | SEPTEMBER/OCTOBER 2001

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam *(Editor In-Chief)*

Dr. Mohammed Ka'aka ***Dr. Fouad Al-Ijel***

Dr. Ahmad Haj Said ***Dr. M. Fouad Al-Rabbat***

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية