بسم الله الرحمن الرحيم

# مبادئ المفاعلات النووية

تأليف

**الدكتور/ محمد بن عبدالرحمن آل الشيخ** **الأستاذ/ أحمد بن نصر كداشي**

قسم الهندسة الكهربائية - كلية الهندسة

جامعة الملك سعود

ح جامعة الملك سعود، ١٤٢٨هـ (٢٠٠٧م)

*فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر*

آل الشيخ، محمد عبدالرحمن

مبادئ المفاعلات النووية./محمد عبدالرحمن آل الشيخ ؛ أحمد بن نصر كداشي - الرياض، ١٤٢٨هـ.

٢٨٣ ص. ١٧ ×٢٤سم.

ردمك: ٠-١٦٣-٩٩٦٠٥٥-٩٧٨

أ- المفاعلات النووية ب - الهندسة أ.كداشي، أحمد بن نصر (مؤلف مشارك) ج - العنوان

ديوي ٦٢١,٤٨٣ ١٤٢٨/٤٥٢١

رقم الإيداع: ١٤٢٨/٤٥٢١

ردمك: ٠-١٦٣-٥٥-٩٩٦-٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره، بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الحادي عشر للعام الدراسي ١٤٢٧/١٤٢٨هـ المعقود بتاريخ ١٤٢٨/٢/٢٧هـ الموافق ٢٠٠٧/٢/٢٥م.

إدارة النشر العلمي والمطابع ١٤٢٨هـ

# مقدمة المؤلفين

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء وخاتم المرسلين نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين .. وبعد :

يتناول هذا الكتاب بعنوان : " مبادئ المفاعلات النووية " المواضيع الأساسية لفهم تقنية المفاعلات النووية وإنتاج الطاقة ، كي لا تكون الهندسة النووية حكراً على غير الشعوب العربية ، ولنساعد في الاستفادة من ما سخر لنا الله في هذا الكون. ومن هذا المنطلق فكلما تمعن الإنسان بدقة في ما أودعه الله من حكمة وقوانين في أصغر شيء ، مثل مكونات نواه الذرة إلى أكبر المجرات ، وجد دلالات على عظمة الله خالق كل شيء وزادته إيماناً برب العالمين .

يحتوي هذا الكتاب على مجموعة من الفصول خصص كل منها لموضوع هام يمكّن الطالب والباحث من التدرج في اقتناء المعلومات والمفاهيم التي بنيت عليها النظريات والمعادلات الرياضية واستيعابها. ولقد اجتهدنا في تبسيط أسلوب هذا الكتاب ليكون مناسباً لشرائح عديدة من القراء ، وليخدم المثقف بشكل عام والمتخصص بشكل خاص. رغم كثرة المعادلات الرياضية في بعض الفصول لشرح بعض المفاهيم ، لقد حرصنا على تقديمها بشكل شيق وغير ممل للقارئ ونتمنا أن نكون قد وفقنا في ذلك.

يتكون هذا الكتاب من ثمانية فصول أولها: مقدمة عامة تناولنا فيها مواضيع أساسية منها تركيبة النواة وخصائص الذرة. وكذلك مفهوم الطاقة والكتلة وشرح مفصل للاستقرار النووي والنشاط الإشعاعي. وأختص الفصل الثاني بتعريف النيوترون وتفاعلاته مع المادة حيث تمت دراسة خصائص هذا الجسيم الأساسي للمفاعلات النووية وطرق إنتاجه. وتم كذلك شرح مفهوم المقطع العرضي المجهري والمجهاري، وتفاعلات النيوترون مع المادة من تشتت وامتصاص. أما الفصل الثالث فيتطرق لنظرية الأنشطار النووي والمواد الانشطارية والمواد القابلة للانشطار من إشعاعات وشظايا، وعملية الأنشطار المتسلسل وطاقة الأنشطار.

يتناول الفصل الرابع موضوع دورة النيوترونات في المفاعلات النووية، وتتبع أجيال النيوترونات من نقطة إنتاجها إلى نهايتها. تم شرح تضاعف النيوترونات داخل المفاعل من خلال الأنشطار المتسلسل بعد تعريف أنواع المفاعلات النووية المختلفة، ثم حساب عامل التضاعف اللانهائي، وعامل التضاعف الفعال الذي يحدد حالة المفاعل في كل لحظة بشكل عام. ويتطرق الفصل الخامس إلى عملية تهدئة النيوترونات الهامة للمفاعلات الحرارية خاصة والتي تحتاج إلى استعمال القوانين الفيزيائية للتصادم لفهمها، مما يؤدي إلى تعريف مفهوم المسار الحر الانتقالي وطول مسار تهدئة النيوترون. تم كذلك شرح توزيع الطاقة أثناء عملية التهدئة ونظرية فرمي للعمر. يتناول الفصل السادس عملية انتشار النيوترونات الحرارية داخل المفاعل وتسربها ويوضح العلاقة بين التيار وفيض النيوترونات. بعد ذلك يتم وضع المعادلات التفاضلية للانتشار الهامة والتطرق إلى حل هذه المعادلات وفق الشروط الحدودية المختلفة واستنتاج طول الانتشار وطول مسار هجرة النيوترونات. وينتهي هذا الفصل بتقديم الحسابات الخاصة بعواكس النيوترونات مع التركيز على المواد الخفيفة التي تتمتع بكفاءة عالية لعكس

النيترونات داخل قلب المفاعل. ويختص الفصل السابع بنظرية زمر النيوترونات للانتشار ابتداء بنظرية الزمرة الواحدة ونظرية الزمرتين ثم نظرية زمر النيوترونات المتعددة. لكل من هذه النظريات يتم وضع معادلات الانتشار للحالة الحرجة ثم حل هذه المعادلات وفق الشروط الحدودية لكل حالة. يتطرق آخر هذا الفصل لنظرية فرمي للانتشار وحل معادلة هذه النظرية التي تناسب بعض أنواع المفاعلات النووية. أما الفصل الثامن والأخير من هذا الكتاب فيتناول موضوع الأبعاد الحرجة للمفاعل، وأهميته عواكس النيوترونات في توفير الكتلة الحرجة. ويوضح هذا الفصل أيضاً طريقة حسابات الأبعاد الحرجة للمفاعل حسب الأشكال الهندسية العملية وتأثيرها على حل المعادلات الحرجة. ويتطرق هذا الفصل كذلك لحسابات تأثير العواكس وكيفية توفير الكتلة الحرجة المكلفة، ثم ينتهي بدراسة توزيع أفياض النيوترونات داخل قلب المفاعل وخلال العواكس.

وأخيراً نتقدم بالشكر لله الذي وفقنا لإنجاز هذا العمل المتواضع إسهاماً في نشر العلوم الهندسية باللغة العربية. ونرجوا أن نكون قد وفينا هذا الموضوع حقه وأن يكون هذا العمل خالصاً لوجه الله. ولا يفوتنا أن نتقدم بالشكر بعد ذلك إلى مركز البحوث بكلية الهندسة بجامعة الملك سعود على تقديم الدعم والمساعدة لإنجاز هذا الكتاب بحمد الله وعونه.

المؤلفان

# محتويات الكتاب

**الموضوع** **الصفحة**

## الفصل الأول : مقدمة عامة


(١,١)الجسيمات النووية ..... ٢

(١,٢)تركيبة الذرة والنواة. ..... ٥

(١,٣)خصائص الذرة. ..... ٦

(١,٣,١)الأبعاد والكثافة. ..... ٧

(١,٣,٢)النظائر. ..... ٩

(١,٤)الكتلة الذرية. ..... ٩

(١,٥)الكتلة والطاقة. ..... ١٤

(١,٥,١)الطاقة الحركية. ..... ١٦

(١,٥,٢)كمية الحركة والموجة المصاحبة للجسيمات. ..... ١٨

(١,٦)الاستقرار النووي. ..... ٢٠

(١,٧)النشاط الإشعاعي. ..... ٢٢

(١,٧,١)أنواع النشاط الإشعاعي. ..... ٢٢

(١,٧,٢)قانون التفكك الإشعاعي. ..... ٢٤

(١,٨)طاقة الترابط. ..... ٢٨

(١,٩)التفاعلات النووية ..... ٣١
(١,٩,١) تمارين. ..... ٣٤

## الفصل الثاني : النيوترون وتفاعلاته مع المادة

(٢,١)النيوترون..... ٣٧
(٢,١,١) خصائص النيوترون. ..... ٣٨
(٢,٢,٢)تصنيف النيوترونات..... ٣٩
(٢,٢)إنتاج النيوترونات. ..... ٤٤
(٢,٢,١) المواد المشعة..... ٤٤
(٢,٢,٢) المعجلات. ..... ٤٦
(٢,٢,٣)إنتاج النيوترونات الإنشطارية..... ٤٧
(٢,٣)المقطع العرضي. ..... ٤٧
(٢,٣,١)المقطع العرضي المجهري..... ٤٨
(٢,٣,٢)تغير المقطع المجهري. ..... ٥٠
(٢,٣,٣)المقطع العرضي المجهاري. ..... ٥١
(٢,٤)تفاعلات النيوترونات مع المادة..... ٥٥
(٢,٤,١)تفاعل النيوترون..... ٥٦
(٢,٤,٢)تشتت النيوترونات..... ٥٧
(٢,٤,٣)امتصاص النيوترونات..... ٦٠
(٢,٥) تمارين. ..... ٦٥

## الفصل الثالث : الانشطار النووي

(٣,١)المواد الانشطارية..... ٦٨

(٣,٢)نظرية الانشطار النووي..... ٦٩
(٣,٣)المقطع المجهري للانشطار..... ٧٢
(٣,٣,١)المقطع المجهري للمواد الانشطارية..... ٧٢
(٣,٣,٢)المقطع المجهري للمواد قابلة الانشطار..... ٧٥
(٣,٤)نواتج الانشطار ..... ٧٦
(٣,٤,١)النيوترونات الانشطارية الفورية..... ٨٠
(٣,٤,٢)النيوترونات الانشطارية المتأخرة ..... ٨١
(٣,٤,٣)أشعة جاما..... ٨٣
(٣,٥)طاقة الانشطار..... ٨٣
(٣,٥,١)الانشطار المتسلسل..... ٨٥
(٣,٥,٢)قدرة المفاعل النووي..... ٨٧
(٣,٦) تمارين..... ٨٨

## الفصل الرابع : دورة النيوترونات في المفاعلات النووية

(٤,١)المفاعلات النووية..... ٩٢
(٤,١,١)مفاعلات النيوترونات الحرارية..... ٩٢
(٤,١,٢)مفاعلات النيوترونات السريعة..... ٩٤
(٤,١,٣)المفاعلات المولدة للمواد الانشطارية..... ٩٦
(٤,٢)تضاعف النيوترونات داخل المفاعل..... ٩٧
(٤,٢,١)عامل التضاعف..... ٩٨
(٤,٢,٢)دورة حياة النيوترونات..... ٩٩
(٤,٣)عامل التضاعف اللانهائي..... ١٠٢

(٤,٣,١)معامل الانشطار الحراري. ..... ١٠٣
(٤,٣,٢)معامل الانشطار السريع. ..... ١٠٤
(٤,٣,٣)معامل احتمال الهروب من الامتصاص..... ١٠٤
(٤,٣,٤)معامل الاستعمال الحراري ..... ١٠٥
(٤,٤)عامل التضاعف الفعال $\left(K_{eff}\right)$ ..... ١٠٩
(٤,٤,١)تسرب النيوترونات. ..... ١١٢
(٤,٤,٢)حسابات دورة النيوترونات..... ١١٣
(٤,٥) تمارين. ..... ١١٥

## الفصل الخامس : تهدئة النيوترونات

(٥,١)القوانين الفيزيائية للتصادم..... ١٢٠
(٥,١,١)محاور مركز الكتلة..... ١٢١
(٥,١,٢)محاور المختبر. ..... ١٢١
(٥,١,٣)معدل الطاقة المفقودة في التصادم. ..... ١٢٣
(٥,١,٤)عدد التصادمات لتهدئة النيوترون. ..... ١٢٥
(٥,٢)معدل المسار الحر الانتقالي. ..... ١٢٧
(٥,٣)خصائص مهدئات النيوترونات. ..... ١٢٩
(٥,٤)توزيع الطاقة أثناء التهدئة. ..... ١٣٢
(٥,٤,١)كثافة التهدئة بدون امتصاص..... ١٣٢
(٥,٤,٢)كثافة التهدئة مع الامتصاص. ..... ١٣٥
(٥,٤,٣) معامل الهروب من الامتصاص. ..... ١٣٧
(٥,٥)نظرية فرمي للعمر ..... ١٣٩

(٥,٥,١)تهدئة بدون امتصاص..... ١٤٠
(٥,٥,٢)حل معادلة نظرية فرمي للعمر..... ١٤٢
(٥,٥,٣)التهدئة مع قليل من الامتصاص..... ١٤٤
(٥,٦)طول مسار التهدئة..... ١٤٤
(٥,٧) تمارين..... ١٤٨

## الفصل السادس : انتشار النيوترونات الحرارية

(٦,١)العلاقة بين الفيض والتيار..... ١٥٢
(٦,١,١)تيار النيوترونات..... ١٥٤
(٦,١,٢)قانون فيك (Fick)..... ١٥٦
(٦,٢)تسرب النيوترونات ومعادلة الانتشار..... ١٥٧
(٦,٢,١)تسرب النيوترونات..... ١٥٧
(٦,٢,٢)معادلة الانتشار..... ١٥٨
(٦,٢,٣)الشروط الحدودية..... ١٥٩
(٦,٣)حل معادلة الانتشار..... ١٦٢
(٦,٣,١)مصدر نقطي للنيوترونات..... ١٦٢
(٦,٣,٢)مصدر نيوتروني على شكل مستوى..... ١٦٤
(٦,٣,٣)مصدر نيوتروني بجوار وسيطين..... ١٦٥
(٦,٤)طول الانتشار الحراري..... ١٦٧
(٦,٤,١)طول الانتشار..... ١٦٧
(٦,٤,٢)متوسط مربع المسار الحر للانتشار..... ١٦٨
(٦,٤,٣)طول الانتشار لخليط من المواد..... ١٧١

(٦,٤,٤)طول مسار هجرة النيوترونات. ..... ١٧٢
(٦,٥)عواكس النيوترونات. ..... ١٧٣
(٦,٥,١)عاكس غير متناهى الأبعاد. ..... ١٧٤
(٦,٥,٢)عاكس متناهى الأبعاد. ..... ١٧٥
(٦,٦) تمارين. ..... ١٧٦

## الفصل السابع: نظرية انتشار زُمر النيوترونات

(٧,١)نظرية الزمرة الواحدة من النيوترونات. ..... ١٨١
(٧,١,١)معادلة الانتشار للحالة الحرجة. ..... ١٨٢
(٧,١,٢)شروط حل المعادلة الحرجة..... ١٨٤
(٧,١,٣)احتمال عدم التسرب. ..... ١٨٥
(٧,١,٤)حل المعادلة الحرجة لمفاعل على شكل لوح. ..... ١٨٦
(٧,٢)نظرية الزمرتين من النيوترونات ..... ١٨٩
(٧,٢,١)معادلات الانتشار للحالة الحرجة ..... ١٩٠
(٧,٢,٢)شروط حل المعادلات الحرجة ..... ١٩١
(٧,٢,٣)احتمال عدم التسرب ..... ١٩٢
(٧,٢,٤)حل المعادلات الحرجة لمفاعل بدون عواكس ..... ١٩٣
(٧,٣)نظرية زمر النيوترونات المتعددة..... ١٩٧
(٧,٣,١)معادلات الانتشار للحالة الحرجة ..... ٢٠٠
(٧,٣,٢)شروط حل المعادلات الحرجة ..... ٢٠١
(٧,٤)نظرية فرمي للانتشار..... ٢٠٢
(٧,٤,١)حل معادلة فرمي للعمر ..... ٢٠٣

(٧,٤,٢)شروط حل معادلة فرمي للانتشار ..... ٢٠٥
(٧,٤,٣)احتمال عدم التسرب ..... ٢٠٥
(٧,٥) تمارين. ..... ٢٠٧

## الفصل الثامن: الأبعاد الحرجة للمفاعل وأهمية عواكس النيوترونات

(٨,١)المفاعل الكروي. ..... ٢١٢
(٨,٢)المفاعل المتوازي الأضلاع. ..... ٢١٣
(٨,٣)المفاعل الاسطواني. ..... ٢١٦
(٨,٤)متوسط فيض النيوترونات..... ٢٢٠
(٨,٥)تأثيرات الشكل الهندسي للمفاعل..... ٢٢٢
(٨,٦)الكتلة الحرجة و عواكس النيوترونات. ..... ٢٢٤
(٨,٦,١)مفاعل على شكل لوح حوله عاكس. ..... ٢٢٤
(٨,٦,٢)توفير الكتلة الحرجة. ..... ٢٢٧
(٨,٧)توزيع أفياض النيوترونات. ..... ٢٣١
(٨,٧,١)الفيض داخل قلب المفاعل..... ٢٣١
(٨,٧,٢)الفيض خلال العاكس. ..... ٢٣٣
(٨,٧,٣)الشروط الحدودية..... ٢٣٦
(٨,٨) تمارين. ..... ٢٣٩

الملاحق. ..... ٢٤٣

المراجع. ..... ٢٥٥
أولاً: المراجع العربية. ..... ٢٥٥
ثانياً: المراجع الأجنبية. ..... ٢٥٦
ثبت المصطلحات. ..... ٢٥٧
أولاً: عربي- إنجليزي. ..... ٢٥٧
ثانياً: إنجليزي- عربي. ..... ٢٦٧
كشاف الموضوعات..... ٢٧٧