مبادئ الفيزياء النووية وتقنيتها

د. بسام محمد دواخل
كلية العلوم
جامعة الملك عبد العزيز

د. أحمد شريف عودة
كلية الهندسة
جامعة الملك عبد العزيز (سابقًا)

أ.د. أحمد أحمد القاضي
مدير مركز الأمان النووي
هيئة الطاقة الذرية - مدينة نصر - القاهرة

مركز النشر العلمي
جامعة الملك عبد العزيز
ص.ب ١٥٤٠ - جدة ٢١٤٤١
المملكة العربية السعودية

© جامعة الملك عبدالعزيز ١٤١٦هـ (١٩٩٦ م)

جميع حقوق الطبع محفوظة . غير مسموح بطبع أي جزء من أجزاء هذا الكتاب ، أو خزنه في أي نظام لخزن المعلومات واسترجاعها ، أو نقله على أية هيئة أو بأية وسيلة ، سواء كانت إلكترونية ، أو شرائط ممغنطة ، أو ميكانيكية ، أو استنساخاً ، أو تسجيلاً ، أو غيرها إلا بإذن كتابي من صاحب حق الطبع .

الطبعة الأولى : ١٤١٦ هـ (١٩٩٦ م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية

داخل ، بسام محمد

مبادي الفيزياء النووية وتقنيتها / بسام محمد داخل ، أحمد شريف عودة ، أحمد أحمد القاضي .

... ص : .. سم

ردمك ٥-٢٢-٠٦-٩٩٦٠

١- الفيزياء النووية أ - عودة ، أحمد شريف

(م . مشارك) ب - القاضي ، أحمد أحمد (م .مشارك)

ج - العنوان

ديوي ٥٣٩,٧ ١٥/٠١٦٢

رقم الإيداع : ١٥/٠١٦٢

ردمك : ٥-٢٢-٠٦-٩٩٦٠

تقديم

حمدًا لله ، وصلاة وسلاما على رسوله وعلى عباده الذين اصطفى ، وبعد ..

يعتبر الكتاب أحد الركائز الثلاثة التي يقوم عليها التعليم ، ألا وهي : الأستاذ والكتاب والطالب . لذلك فإن الاهتمام بتطوير التعليم ، يقتضي بالضرورة توفير الكتاب المناسب لطلبة العلم ، والاعتناء بتطويره ، وتحسينه مادة وعرضا وإخراجا .

وبرغم أن عدد الكتب العلمية المؤلفة باللغات الأجنبية ، وخاصة باللغة الانجليزية لمرحلة التعليم الجامعي من الكثرة بحيث لاتكاد تحصر ، فإن عدد هذه الكتب المؤلفة بالعربية أو المترجمة اليها من الندرة بحيث لاتكاد تذكر ، خاصة في فروع العلوم والمعارف الحديثة . وبغض النظر عما اذا كان هذا النقص هو سبب (فرنجة) لغة التدريس في أغلب الكليات العلمية في الجامعات العربية ، أو أن (فرنجة) التعليم هي سبب نقص الكتاب ، فإن النتيجة تبقى واحدة ، وهى أن أمة لغة الضاد قد زهدت في لغتها ، ووضعتها في منزلة لاينبغي أن تكون فيها !! ، وكانت نتيجة ذلك ، الشكوى المستمرة من ضعف مستوى الطلاب والخوف الدائم من تدني مستوى الخريجين ، وانخفاض سوية التعليم . وقد تكون هناك أسباب عدة لهذا الضعف في المستوى والأداء ، إلا أن أبرز هذه الأسباب حسب تقديرنا هو : أن قنوات الاتصال مع هذا الطالب الحائر مشوشة مضطربة ، فهي تتم بلغة تنفر منها أذنه ، ويتعثر بها لسانه ، فضلا عن أن تخالج مشاعره ، أو تنطلق بها قريحته .

ولكي لايظن القارئ الكريم ، أننا نقدم لهذا الكتاب العلمي بمقدمة أدبية نتغزل فيها بلغة الضاد ، ونُعرِّض بغيرها من اللغات ، فإننا نؤكد أننا لاحظنا أن الأغلبية الساحقة من الطلاب ، لايعودون إلى الكتاب المقرر إلا لماماً ، ويكتفون بالملاحظات القليلة التي يأخذونها عن محاضرة الأستاذ ، وعندما يُسألون عن ذلك يعودون باللائمة على لغة الكتاب . وقد يقول البعض إن هذه ذريعة يتخذها الطلاب لتبرير تقصيرهم ، وبرغم مخالفتنا لهذا التفسير ، فإننا نقول : هَبُوها كذلك ، أوَ لَيس من المصلحة إبطال هذه الحجة وسد هذه الذريعة ؟ . وليت الأمر يقف عند ضعف المستوى

الدراسي والتحصيل العلمي ، بل إن خطورة الأمر تتعدى إلى اهتزاز ثقة الشاب بلغته ، وبناطقيها من بني أمته ، وفي قدرتهم على صنع الحضارة وبناء المستقبل ، ومن ثَمّ ينبهر الشاب بلغة الأجنبي قبل أن يتعلمها ، ويتعالم بالرطن بها قبل أن يفهمها ، ويقر بالأستاذية لمن ملك زمامها ، ولو كان أحمق من هبنقة !! فهل بعد هذا من ضياع يجب أن يحذر منه العقلاء وينبه إليه المخلصون .

وبالرغم من وجود بعض الآراء المتخمسة لفرنجة لغة التعليم ، يدعو إليها بعض المخلصين من أبناء جلدتنا ، فقد يكون لبعضها جذور ترجع إلى أيام النفوذ الأجنبي على المنطقة ، فليس من المعقول أن أمما لها لغات لاينطقها إلا بضعة ملايين هم للثلاثة أقرب منهم إلى التسعة ، تستخدم لغاتها القومية في جميع مراحل تعليمها ، بينما تزهد أمة المئة والخمسين مليونا بلغتها ، وتنحيها لتُحلَّ غيرها محلها !! كما أنه ليس من المعقول أن تؤلف أطروحات الدكتوراه والماجستير في العلوم الحديثة بلغات لاتحتوي بضع آلاف من الكلمات ، بينما تعتبر لغة الضاد ، لغة المليون كلمة ، أقل من أن تلج عالم المعرفة الحديثة ، فتوصد دونها الأبواب .. !! وليس من المعقول قبل هذا وذاك أن تعجز لغة القرآن ، التي وسعت كلام الله لفظاً وغاية ، عن أن تستوعب أسماء مخترعات وطرائق صناعات !! .

وايمانا بالمثل القائل : لأن توقِدَ شمعة واحدة خير من أن تلعن الظلام ألف مرة ، كان القيام بهذا الجهد المتواضع في تأليف هذا الكتاب في حقل هام من حقول المعرفة – حقل الفيزياء النووية – لنقدم لطالب العلم العربي كتابا جديدا في هذا التخصص ، يجمع إلى كونه بلسان عربي مبين ، العديد من المزايا والخصائص نشير هنا إلى بعضها باختصار .

إن اختيار مادة هذا الكتاب من حيث موضوعاتها ومستواها وطريقة عرضها جاء نتيجة لخبرة تدريسية في هذه المادة لسنوات عديدة ، ولقناعة مشتركة بين المؤلفين تنبع من تصور مشترك للكيفية التي ينبغي أن يكون عليها كتاب منهجي يعرض أساسيات الفيزياء النووية .

فمن حيث اختيار موضوعات الكتاب ، كان تصور المؤلفين في أن هذا الكتاب لابد أن يكون شاملا لجميع جوانب المادة العلمية ، مستوعبا لمختلف الموضوعات المطروحة ، دون اختصار مُخلّ أو تطويل مملّ ، بحيث يساعد الطالب الذي يرغب في التخصص في هذا المجال على اختيار دائرة تخصصه حسب رغبته وميوله ، وإن كان غير متخصص في هذا الفرع من العلوم ، فيكون قد تعرف على المادة بشكل إجمالي يحقق الغرض والغاية . لذلك فقد حوى الكتاب بعض الأبواب التي لاتوجد عادة في كثير من كتب الفيزياء النووية مثل المفاعلات النووية وتطبيقات النظائر المشعة والكواشف الاشعاعية حيث تعتبر هذه الأبواب من أساسيات تخصص الهندسة النووية ، كما أنها في الوقت نفسه ذات فائدة كبيرة لطلبة الفيزياء وفروع العلوم والتكنولوجيا الأخرى .

أما من حيث مستوى وطريقة عرض مادة الكتاب فقد روعي تحقيق توازن دقيق في أسلوب

العرض ، بحيث لاتطغى المعالجة النظرية الرياضية على الشروحات الوصفية التفسيرية ، فيصبح الموضوع عسير الفهم عديم التشويق على الطالب المبتدئ . كذلك روعي ألا يكون عكس ذلك تماما ، فيصبح الكتاب أقرب إلى المعالجة الصحفية منه إلى الكتاب الجامعي المنهجي .

وقد حرص المؤلفون قدر استطاعتهم على استخدام النظام الدولي للوحدات ، إلا أن ذلك لم يمنع من استخدام وحدات أخرى في بعض الإشتقاقات القليلة أو الأمثلة المحلولة كاستخدام الجرام بدلا من الكيلوجرام وغير ذلك ، لاعتبارات تتصل بسهولة تخيّل المقادير الواردة . كما أن هناك بعض الوحدات الكمية التي تُعرّف على أكثر من أساس ، كوحدة الكتلة الذرية التي تُعرّف في كثير من المراجع على أساس الكربون ، وفي بعض المراجع ، على أساس الأكسجين ، لم يتسن لنا من الناحية العملية ضبطها وفق أساس واحد ، وخاصة في بعض الجداول المستقاة من المراجع المختلفة .

إن علم الفيزياء النووية ، وما يتعلق به من تقنية ، يعتبر من أكثر العلوم أهمية في هذا العصر ، وذلك نظرا للأهمية الاستراتيجية للطاقة والاشعاعات النووية في مجالي السلم والحرب ، مما جعل دول العالم المتقدمة تتسابق في تطوير برامجها النووية ودعمها . وبالاضافة إلى أهمية هذا العلم فهو علم مشوق ، يجد الدارس نفسه – وجها لوجه – أمام ظواهر غاية في التعقيد تنتظم وفق نظام عجيب مدهش ، فالنواة يحار اللب في فهمها ، وقد انطوت في داخلها المتنافرات فتآلفت وأصبحت ترتبط برباط وثيق يصعب فصمه . إنها صغائر متناهية في الدقة لاتصل إليها الحواس ولانعرفها إلا من اقتفاء آثارها . إنها لرائعة مرة ، ومُروِّعة مرعبة مرة أخرى ، إذا انفلتت من عقالها مدمرة لكل شيء . إن النواة عالم صغير يحوي بين جنباته وسائل الازدهار وأدوات الدمار ، وسائل الازدهار إذا وجهت هذه الطاقة الهائلة لأغراض السلم ، وأداة دمار إذا عبثت بها يد الانسان وألقتها في حرب مجنونة لاتبقي ولاتذر .

ولكن من أين لهذه الصغائر هذه القدرة المكنونة التي يمكن لها أن تبني وتهدم وتعمر وتدمر ، ماهو أصل هذه القدرة ، وما هو كنهها ؟ أسئلة لاحصر لها ، ومسائل تهيب بالعلماء والمتخصصين للإجابة عليها وتوضيح مغاليقها . ونحن إذ نقدم هذا الكتاب ندرك جليا أنه برغم التقدم الكبير الذي طرأ على هذا العلم في العصر الحديث ، إلا أننا مازلنا ندرج ونحبو على عتبة هذا العلم تعترضنا مجاهيل كثيرة ، كلما توغلنا فيها خطوة أحسسنا بالضعف وضآلة المعرفة ، أمام عظمة هذه العوالم ومافيها من تساوق وتناسق ، أوجدتها يد الله الحانية التي أبدعت كل شيء « فتبارك الله أحسن الخالقين » .

وفي النهاية ، لايسعنا إلا أن نقدم جزيل شكرنا وتقديرنا لجامعة الملك عبد العزيز لحرصها على توفير الكتاب الجامعي باللغة العربية ، ونخص بالشكر عميد كلية الهندسة ، ومدير مركز التعريب التقني بكلية الهندسة ، على دعمهما المتواصل لتأليف هذا الكتاب من خلال البرنامج الثالث من مشاريع التعريب ، كما نشكر كل من ساعد في إعداده ، سائلين الله جل وعلا أن يوفق جهود

العاملين في هذا المجال ، لدعم برنامج تعريب العلوم ، وإفساح الطريق للغتنا العربية كي تأخذ دورها في مسيرة البناء والتقدم .

والله من وراء القصد .

المؤلفون

المحتويات

		رقم الصفحة
تقديم	.....	هـ
الفصل الأول : مبادئ الفيزياء الحديثة ومرتكزاتها	.....	١
١,١	الميكانيكا النسبية	٤
١,١,١	فرضيتا النظرية النسبية الخاصة	٤
١,١,٢	خاصة التزامن	٦
١,١,٣	خاصة تمدد الزمن	٦
١,١,٤	خاصة الإنكماش للطول	٧
١,١,٥	إضافة السرعات النسبية	٧
١,١,٦	الحد الأقصى للسرعات	٨
١,١,٧	خاصة تغير الكتلة مع السرعة	٨
١,١,٨	الزخم النسبي	٩
١,١,٩	خاصة تكافؤ الكتلة والطاقة	٩
١,١,١٠	العلاقة بين الطاقة والزخم	١١
١,١,١١	الفوتونات	١١
١,٢	النظرية الكمية	١٢
١,٢,١	الخاصة الإزدواجية (جسيم – موجة)	١٣
١,٢,٢	الطبيعة الموجية للإشعاع	١٣
١,٢,٣	الطبيعة الجسيمية للإشعاع	١٤
١,٢,٤	إشعاع الجسم الأسود وفرضية بلانك	١٤
١,٢,٥	التأثير الكهروضوئي	١٩
١,٢,٦	تفسير أينشتاين للتأثير الكهروضوئي	٢١

١,٢,٧ مبدأ التكامل ٢٥
١,٢,٨ الطبيعة الموجية للمادة ٢٦
١,٢,٩ مبدأ الإرتياب ٢٩
١,٢,١٠ الدالة الموجية ٣٥

الفصل الثاني : التركيب الذري ٤١
٢,١ نموذج طومسون ٤٤
٢,٢ تشتت جسيمات ألفا ٤٥
٢,٣ نموذج رذرفورد ٤٦
٢,٤ الطيف الذري ٤٨
٢,٥ فشل نموذج رذرفورد ٥٠
٢,٦ النموذج الذري لبور ٥٢
٢,٧ حسابات متعلقة بنموذج بور الذري ٥٣
٢,٨ الذرة المثارة والمؤينة ٥٧
٢,٩ تفسير دي برولي لمدارات بور ٦٠
٢,١٠ قصور نظرية بور ٦٢
٢,١١ نموذج سوميرفلد النسبي ٦٣
٢,١٢ أثر زيمان والعدد الكمي المغنطيسي ٦٦
٢,١٣ التركيب التعددي ولف الإلكترون ٦٧
٢,١٤ توزيع الإلكترونات في الذرة ٦٨
٢,١٥ الجدول الدوري للعناصر ٧١
٢,١٦ مبدأ التقابل ٧٢

الفصل الثالث : بعض تطبيقات ميكانيكا الكم ٧٥
٣,١ معادلة شرود نجر المعتمدة على الزمن ٧٨
٣,٢ معادلة شرود نجر المستقلة عن الزمن ٨٢
٣,٣ دراسة حالة جسيم في بئر جهد لانهائي ٨٣
٣,٤ اختراق الجسيم لحاجز ٨٦
٣,٥ دراسة ذرة الهيدروجين ٩١

الفصل الرابع : التركيب النووي ١٠٣
٤,١ نظرية الالكترون – بروتون ١٠٣
٤,٢ نظرية البروتون – نيوترون ١٠٥
٤,٣ الخواص الكهربائية للنواة ١٠٦
٤,٤ العزم المغنطيسي ١٠٩
٤,٥ العزم الكهربائي الرباعي ١١٠
٤,٦ نصف قطر النواة ١١١
٤,٧ توزيع كثافة الشحنات داخل النواة ١١٢
٤,٨ طاقة الربط للنواة ١١٤
٤,٩ القوى النووية ١١٦

الفصل الخامس : النشاط الإشعاعي ١٢١
٥,١ اكتشاف النشاط الإشعاعي ١٢٣
٥,٢ قوانين الانحلال الإشعاعي ١٢٥
٥,٣ عمر النصف ١٢٨
٥,٤ التوازن الإشعاعي ١٣٠
٥,٥ النشاط الإشعاعي ١٣٦
٥,٦ التنشيط الإشعاعي بالنيوترونات وإنتاج النظائر المشعة ١٣٨

الفصل السادس : الاستقرار النووي ١٤٣
٦,١ توزيع الأنوية المستقرة ١٤٥
٦,٢ خط الاستقرار ١٤٦
٦,٣ الأيزوبارات ١٤٨
٦,٤ السلاسل الإشعاعية ١٤٩
٦,٥ التفرع ١٥٧
٦,٦ الأيزوميرات النووية ١٥٨
٦,٧ النظائر المشعة للعناصر الخفيفة ١٥٩
٦,٨ الأشعة الكونية ١٦١

الفصل السابع : الانحلال النووي ١٦٥
٧,١ انحلال الفا ١٦٧
٧,٢ الانشطار النووي ١٧١
٧,٣ انحلال بيتا ١٧٢
٧,٤ انحلال جاما والتحول الداخلي ١٧٨

الفصل الثامن : التفاعلات النووية ١٨٥
٨,١ قوانين الانحفاظ في التفاعلات النووية ١٨٧
٨,٢ قيمة Q ١٨٨
٨,٣ آلية التفاعلات النووية ١٩٢
٨,٤ المقطع العرضي للتفاعلات النووية ١٩٦
٨,٥ تصنيف التفاعلات النووية ٢٠٢

الفصل التاسع : المعجلات النووية ٢١١
٩,١ معجل كوكروفت – والتون ٢١٣
٩,٢ معجل فان دي غراف ٢١٥
٩,٣ السيكلوترون ٢١٧
٩,٤ السينكروسيكلوترون ٢٢١
٩,٥ معجلات الالكترونات ٢٢٢
٩,٦ المعجل الخطي ٢٢٦

الفصل العاشر : النماذج النووية ٢٢٩
١٠,١ نموذج قطرة السائل ٢٣١
١٠,٢ نموذج فيرمي للنواة ٢٣٥
١٠,٣ الأرقام السحرية ٢٤٤
١٠,٤ النموذج القشري للنواة ٢٤٧
١٠,٥ النموذج التجميعي ٢٥٠
١٠,٦ نموذج جسيم ألفا ٢٥٢

الفصل الحادي عشر : تفاعل الإشعاع مع المادة ٢٥٣
١١,١ تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة ٢٥٦
١١,٢ تفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة مع المادة ٢٥٧
١١,٣ تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع المادة ٢٦٥
١١,٤ تفاعل الأشعة الكهرومغنطيسية مع المادة ٢٧٣

الفصل الثاني عشر : الأشعة السينية ٢٨٥
١٢,١ اكتشاف الأشعة السينية ٢٨٧
١٢,٢ قياس طيف الأشعة السينية ٢٨٨
١٢,٣ طيف الأشعة السينية ٢٩٢
١٢,٤ تفاعل الأشعة السينية مع المادة ٢٩٦
١٢,٥ امتصاص الأشعة السينية ٢٩٧

الفصل الثالث عشر : تفاعلات النيوترونات ٢٩٩
١٣,١ مقدمة ٣٠١
١٣,٢ المقاطع العرضية لتفاعلات النيوترونات ٣٠٢
١٣,٣ تعيين المقطع العرضي للنيوترونات ٣٠٣
١٣,٤ توهين النيوترونات ٣٠٥
١٣,٥ المقطع العرضي الماكروسكوبي ومتوسط المسار الحر ٣٠٦
١٣,٦ الفيض النيوتروني ومعدل التفاعل ٣٠٩
١٣,٧ اعتماد المقطع العرضي للنيوترونات على الطاقة ٣١١
١٣,٨ المقطع العرضي للأنشطار ٣١٥
١٣,٩ نواتج الانشطار ٣١٨

الفصل الرابع عشر : الكواشف الإشعاعية ٣٢١
١٤,١ أنماط القياس ٣٢٣
١٤,٢ تحليل طيف الطاقة ٣٢٤
١٤,٣ كفاءة الكواشف ٣٢٦

١٤,٤ العدادات الغازية ٣٢٧
١٤,٥ العدادات الوميضية ٣٣٨
١٤,٦ كواشف أشباه الموصلات ٣٤٢
١٤,٧ الكشف عن الإشعاعات باستخدام الأفلام ٣٤٧
١٤,٨ كواشف النيوترونات ٣٤٨
١٤,٩ اختيار وسائل عد الجسيمات المختلفة ٣٥٠

الفصل الخامس عشر : المفاعلات النووية ٣٥٣
١٥,١ تفاعل الانشطار المتسلسل ٣٥٦
١٥,٢ تركيب المفاعل ٣٦٢
١٥,٣ تصنيف المفاعلات ٣٦٥
١٥,٤ مفاعلات الماء الخفيف ٣٦٧
١٥,٥ مفاعل الماء الثقيل ٣٧٠
١٥,٦ المفاعلات المولدة السريعة ٣٧٣

الفصل السادس عشر : استخدامات النظائر المشعة ٣٧٩
١٦,١ تطبيقات النظائر المشعة في الطب ٣٨١
١٦,٢ استخدامات النظائر المشعة في الزراعة ٣٨٥
١٦,٣ تطبيقات النظائر المشعة في الصناعة ٣٨٦
١٦,٤ تطبيقات أخرى ٣٩٠

الملاحق

ملحق (أ) جدول لبعض الثوابت الفيزيائية الأساسية ٣٩٩
ملحق (ب) جدول العناصر مع بعض نظائرها ٤٠١
ملحق (جـ) المراجع :
١ – المراجع العربية ٤٠٩
٢ – المراجع الانجليزية ٤٠٩
ملحق (د) ثبت المصطلحات :
١ – عربي/إنجليزي ٤١١
٢ – إنجليزي/عربي ٤١٨

كشاف الجداول

رقم الجدول	عنوانـــه	رقم الصفحة
١	علاقات شدة الطاقة الإشعاعية الصادرة من الجسم الأسود	١٦
٢	بعض السلاسل الطيفية للهيدروجين	٥٠
٣	الأعداد الكمية وقيمها	٦٨
٤	القشرات الرئيسة والقشرات الفرعية	٦٩
٥	توزيع الالكترونات على المدارات	٧٠
٦	مبدأ التقابل مطبقا على ذرة الهيدروجين	٧٣
٧	الدوال الموجية المعايرة لذرة الهيدروجين في الحالتين 1,2 = l	٩٥
٨	سلسلة اليورانيوم – ٢٣٨	١٥٠
٩	سلسلة الثوريوم – ٢٣٢	١٥٢
١٠	سلسلة اليورانيوم – ٢٣٥	١٥٤
١١	سلسلة النبتونيوم – ٢٣٧	١٥٧
١٢	بعض العناصر المشعة الموجودة في الطبيعة وليست في أي من السلاسل الإشعاعية الأربع	١٦٠
١٣	بعض الجسيمات الأساسية وخواصها	١٦٤
١٤	علاقة معامل الانحلال بطاقة جسيمات ألفا	١٧٠
١٥	متوسط عمر الحالات المثارة عند عدة قيم لطاقات جاما	١٨١
١٦	قيم جهد استثارة الأوساط المختلفة أو جهد تأينها (الجهد I)	٢٥٨
١٧	متوسط فقد طاقة جسيمات الفا وبيتا لتكوين زوج أيوني (قيمة W) في غازات مختلفة	٢٥٩
١٨	المدى التقريبي لجسيمات بيتا في الهواء حسب طاقتها العظمى	٢٧١
١٩	المقاطع العرضية للانشطار لبعض الأنوية	٣١٨
٢٠	خواص بعض المواد الوميضية	٣٤١
٢١	بعض خصائص الانوية الانشطارية	٣٥٧

كشاف الأشكال

رقم الشكل	عنوانـــه	رقم الصفحة
١,١	الطيف الكهرومغنطيسي	١٣
١,٢	الطيف المستمر لاشعاع الجسم الأسود عند درجات حرارة مختلفة	١٥
١,٣	مقارنة بين منحنيات بلانك وفين ، ورايلي – جينز لإشعاع الجسم الأسود	١٧
١,٤	مخطط الدائرة الكهربائية للتأثير الكهروضوئي	١٩
١,٥	العلاقة بين الطاقة الحركية القصوى للالكترونات الضوئية وتردد الإشعاع الساقط	٢٠
١,٦	تأثير كومبتون	٢٤
١,٧	حيود الإلكترونات : تجربة دافيسون – جرمر	٢٧
١,٨	حيود الإلكترونات : تجربة طومسون	٢٨
١,٩	حيود الإلكترونات عند شق مفرد كإيضاح عملي لمبدأ الارتياب	٣١
١,١٠	المجموعة الموجية المصاحبة للجسيم	٣٦
١,١١	المجموعة الموجية هي محصلة لعدة موجات توافقية بسيطة	٣٧
٢,١	نموذج طومسون الذري	٤٤
٢,٢	تشتت جسيمات ألفا	٤٥
٢,٣	أقرب بعد لجسيمات الفا إلى النواة	٤٧
٢,٤	الجزء المرئي من طيف اصدار ذرة الهيدروجين	٤٨
٢,٥	بعض السلاسل الطيفية لذرة الهيدروجين	٤٩
٢,٦	فشل نموذج رذرفورد الذري	٥١
٢,٧	نموذج بور وتفسير اصدار الأشعة الكهرومغنطيسية	٥٣
٢,٨	مخطط مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين	٥٤
٢,٩	فرضية دي برولي ونموذج بور	٦١
٢,١٠	التركيب الدقيق لبعض مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين	٦٢
٢,١١	نموذج سوميرفلد	٦٤
٢,١٢	مدارات سوميرفلد	٦٥

٣,١	بئر جهد لانهائي	٨٤
٣,٢	الدوال الموجية وكثافات الاحتمال لجسيم في بئر جهد لانهائي	٨٦
٣,٣	اختراق جسيم لحاجز جهد (طاقة الجسيم أقل من حاجز الجهد)	٨٧
٣,٤	الدالة الموجية لجسيم في اختراق حاجز	٨٩
٣,٥	العلاقة بين الاحداثيات الكروية والكارتيزية	٩٢
٣,٦	رسوم بيانية للدالة الموجية وكثافة الاحتمال وكثافة الاحتمال القطري على المدارين 1s و 2s في ذرة الهيدروجين	٩٦
٣,٧	السحابة الالكترونية لالكترون على المدار 2s في ذرة الهيدروجين	٩٦
٣,٨	مركبات الزخم الزاوي المداري في حالة $l=2$	٩٧
٤,١	مركبات العزم الزاوي الكلي للنواة على المحور z	١٠٩
٤,٢	رسم تخطيطي لتجربة هوفستادتر لتشتت الالكترونات ذات الطاقة المرتفعة ...	١١٣
٤,٣	توزيع كثافة الشحنة داخل النواة	١١٣
٤,٤	العلاقة بين طاقة الربط للنيوكلون والعدد الكتلي	١١٥
٥,١	مسارات أشعة بيتا ، جاما ، ألفا في مجال مغنطيسي عمودي على مستوى انبعاثها	١٢٤
٥,٢	تجميع جسيمات الفا من مصدر مشع	١٢٤
٥,٣	تغير عدد الانوية المشعة مع الزمن	١٢٦
٥,٤	تغير عدد الأنوية الابنة مع الزمن	١٣١
٥,٥	حالة التوازن الانتقالي	١٣٣
٥,٦	حالة التوازن الدائم	١٣٤
٥,٧	تغير عدد الأنوية الابنة مع الزمن في حالة كون عمر النصف لها أكبر بكثير منه للنواة الأم	١٣٥
٦,١	العلاقة بين العدد الذري وعدد النيوترونات للأنوية المستقرة	١٤٧
٦,٢	سلسلة اليورانيوم – ٢٣٨	١٥١
٦,٣	سلسلة الثوريوم – ٢٣٢	١٥٣
٦,٤	سلسلة اليورانيوم – ٢٣٥	١٥٥
٦,٥	سلسلة النبتونيوم – ٢٣٧	١٥٦
٦,٦	تفرع البزموث – ٢١٤	١٥٨

٦,٧	أيزوميران لنظير البروم – ٨٠	١٥٩
٧,١	اختراق جسيم ألفا لحاجز الجهد في النواة	١٦٩
٧,٢	الطيف المستمر لأشعة بيتا	١٧٥
٧,٣	تكوّن عوائل الايزوبارات عن طريق الانحلال بجسيمات بيتا	١٧٧
٧,٤	متعدد الأقطاب الكهربائية	١٨٠
٨,١	انحفاظ الزخم الخطي في التفاعلات النووية	١٩١
٨,٢	نموذج هندسي لحساب المقطع العرضي للتفاعل النووي	١٩٨
٨,٣	حساب الاتساع الكلي للمستوى من شكل الرنين النووي	٢٠١
٨,٤	تداخل رنينيات متقاربة	٢٠١
٨,٥	تغير المقطع العرضي للتفاعلات الناتجة عن الفوتونات مع طاقة الفوتون	٢٠٣
٨,٦	تغير المقطع العرضي للتفاعل $^{27}Al(n, \gamma)^{28}Al$ مع طاقة النيوترون	٢٠٤
٨,٧	تغير شدة أشعة جاما الناتجة عن التفاعل $^{27}Al(p, \gamma)^{28}Si$ مع طاقة البروتون ..	٢٠٥
٨,٨	تغير المقطع العرضي النسبي لتفاعلات الاندیوم مع طاقة جسيمات الفا	٢٠٧
٩,١	وحدة مضاعفة الجهد في معجل كوكروفت – والتون	٢١٤
٩,٢	أنبوب التسريع لمعجل كوكروفت – والتون	٢١٤
٩,٣	رسم تخطيطي لمعجل فان دي جراف	٢١٦
٩,٤	رسم تخطيطي لمعجل السيكلوترون	٢١٨
٩,٥	رسم تخطيطي لمعجل البيتاترون	٢٢٣
٩,٦	رسم تخطيطي لمعجل الالكترون – سينكروترون	٢٢٦
٩,٧	رسم تخطيطي للمعجل الخطي	٢٢٧
١٠,١	احداثيات مكعب يحتوي على غاز فيرمي	٢٣٧
١٠,٢	استخدام الاحداثيات المتعامدة لحساب عدد الترددات المسموح بها في فجوة مكعبة	٢٤٠
١٠,٣	قاعدة باولي للاستبعاد وتوزيع الجسيمات في النواة	٢٤١
١٠,٤	تمثيل لمستويات الطاقة لنيوترونات في نواة غير مثارة	٢٤١
١٠,٥	التوزيع الطاقي لجسيمات فيرمي عند درجة الصفر المطلق	٢٤٢
١٠,٦	العلاقة بين عمق بئر الجهد وطاقة فيرمي وطاقة الربط للنيوكلون الأخير في النواة	٢٤٣
١٠,٧	مستويات الطاقة للبروتونات والنيوترونات داخل النواة تبعا لنموذج فيرمي	٢٤٣

١٠,٨	توضيح لكون عدد النيوترونات أكثر من عدد البروتونات داخل النواة	٢٤٤
١٠,٩	تغير طاقة ربط آخر نيوترون في الأنوية الثقيلة مع عدد النيوترونات	٢٤٥
١٠,١٠	ترتيب لأعلى مستوى طاقي يمكن أن يشغله نيوكلون في النواة تبعا للنموذج القشري	٢٤٩
١٠,١١	العزم الكهربائي الرباعي لأنوية مستقرة فردية في عددها الكتلي	٢٥١
١١,١	منحنى براغ لجسيمات ألفا في الهواء	٢٦١
١١,٢	منحنى براغ لجسيم ألفا مفرد في الهواء	٢٦١
١١,٣	علاقةالشدة النسبية لجسيمات ألفا بمسافة اختراقها	٢٦٢
١١,٤	علاقة طاقة جسيمات ألفا بمداها في الهواء	٢٦٣
١١,٥	كثافة السُّمك لجسيمات الفا كدالة لطاقتها في مواد مختلفة	٢٦٥
١١,٦	ترتيب هندسي لقياس شدة الاشعاع الخارج من مادة الامتصاص	٢٦٧
١١,٧	منحنى النفاذية لجسيمات بيتا ولالكترونات وحيدة الطاقة	٢٦٨
١١,٨	كثافة السُّمْك لجسيمات بيتا كدالة لطاقتها القصوى وذلك في معظم المواد ماعدا الهواء	٢٧٠
١١,٩	المدى الأقصى لجسيمات بيتا في الهواء في الظروف القياسية كدالة لطاقتها القصوى	٢٧٠
١١,١٠	الشدة النسبية للالكترونات المرتدة	٢٧١
١١,١١	علاقة المقطع العرضي للتأثير الكهروضوئي للرصاص مع طاقة أشعة جاما	٢٧٥
١١,١٢	المقطع العرضي لتفاعل كومبتون للإلكترون ، وعلاقته مع طاقة أشعة جاما ...	٢٧٧
١١,١٣	المقطع العرضي للانتاج الزوجي كدالة لطاقة أشعة جاما	٢٧٨
١١,١٤	معاملات التوهين لتفاعلات جاما الثلاثة مع الرصاص والألمنيوم	٢٨٠
١١,١٥	معامل التوهين الكتلي لبعض المواد وعلاقته بطاقة أشعة جاما الساقطة	٢٨١
١٢,١	أنبوبة توليد الأشعة السينية	٢٨٨
١٢,٢	مخطط لتوزيع ذرات الصوديوم والكلور في بلورة كلوريد الصوديوم	٢٨٩
١٢,٣	توضيح للانعكاس الجزئي للأشعة السينية على ذرات البلورة	٢٩٠
١٢,٤	رسم توضيحي لجهاز قياس طيف الأشعة السينية	٢٩١
١٢,٥	المستويات المختلفة للإنعكاس في بلورة مكعبة	٢٩١
١٢,٦	طيف نمطي للأشعة السينية	٢٩٢

١٢,٧	بعض مستويات الطاقة لذرة اليورانيوم والانتقالات الممكنة بينها	٢٩٥
١٣,١	تفاعلات النيوترونات مع المادة	٣٠٣
١٣,٢	كثافة الفيض النيوتروني	٣٠٣
١٣,٣	تغير المقطع العرضي مع طاقة النيوترونات	٣١١
١٣,٤	المقطع العرضي الكلي للثوريوم – ٢٣٢ لنيوترونات فوق حرارية	٣١٣
١٣,٥	المقطع العرضي الكلي لليورانيوم – ٢٣٨ لنيوترونات فوق حرارية	٣١٣
١٣,٦	اتساع الرنين	٣١٤
١٣,٧	المقطع العرضي للامتصاص للبورون	٣١٤
١٣,٨	المقطع العرضي للانشطار لبعض الانوية عند نيوترونات ذات طاقة مرتفعة	٣١٦
١٣,٩	المقطع العرضي للانشطار لبعض الانوية عند نيوترونات ذات طاقة منخفضة .	٣١٧
١٣,١٠	نسب تكوّن نواتج الانشطار لبعض الانوية	٣١٩
١٤,١	نموذج لإحدى قمم في منحنى طيف الطاقة	٣٢٥
١٤,٢	كاشف غازي مع الدائرة الكهربائية المرتبطة به	٣٢٧
١٤,٣	علاقة شدة التيار بالجهد في عداد غازي	٣٢٨
١٤,٤	طيف طاقة جسيمات ألفا في حجرة تأين	٣٣١
١٤,٥	انهمار الالكترونات في العداد التناسبي	٣٣٣
١٤,٦	معامل التضاعف لعداد تناسبي	٣٣٣
١٤,٧	منتقي ارتفاع النبضات	٣٣٤
١٤,٨	المنحنى المميز لعداد جايجر – ميللر	٣٣٧
١٤,٩	مخطط عداد وميضي مع المضاعف الضوئي	٣٤٠
١٤,١٠	مخطط مضاعف ضوئي يحوي عشرة بواعث الكترونات	٣٤٠
١٤,١١	مخطط كاشف سيليكون ذي حاجز سطحي	٣٤٥
١٤,١٢	طيف الطاقة للكوبالت – ٦٠ باستخدام كاشف الجرمانيوم – الليثيوم والكاشف الوميضي	٣٤٦
١٤,١٣	العلاقة بين الكثافة الضوئية والجرعة الممتصة	٣٤٨
١٥,١	رسم تخطيطي للمكونات الأساسية للمفاعل النووي	٣٦٣
١٥,٢	ترتيب الوقود في المفاعل النووي	٣٦٨
١٥,٣	مقطع عرضي لمفاعل الماء المضغوط	٣٦٩

١٥,٤ مقطع عرضي لمفاعل الماء المغلي ٣٧٠
١٥,٥ دورة التبريد في مفاعل كاندو ٣٧٢
١٥,٦ حزم الوقود في مفاعل الماء الثقيل ٣٧٣
١٥,٧ مجموعة تجهيز البخار في المفاعل السريع المبرد بفلز الصوديوم ٣٧٥
١٥,٨ رسم تخطيطي لمفاعل سوبر فينكس ٣٧٦
١٦,١ منحنى تغير النشاط الاشعاعي مع الزمن في القدمين ٣٨٣
١٦,٢ التحكم في سمك الورق باستخدام النظائر المشعة ٣٨٧
١٦,٣ منحنى تغير النشاط الاشعاعي مع الزمن لحساب أقل زمن ممكن لعملية الخلط والمزج ٣٨٩