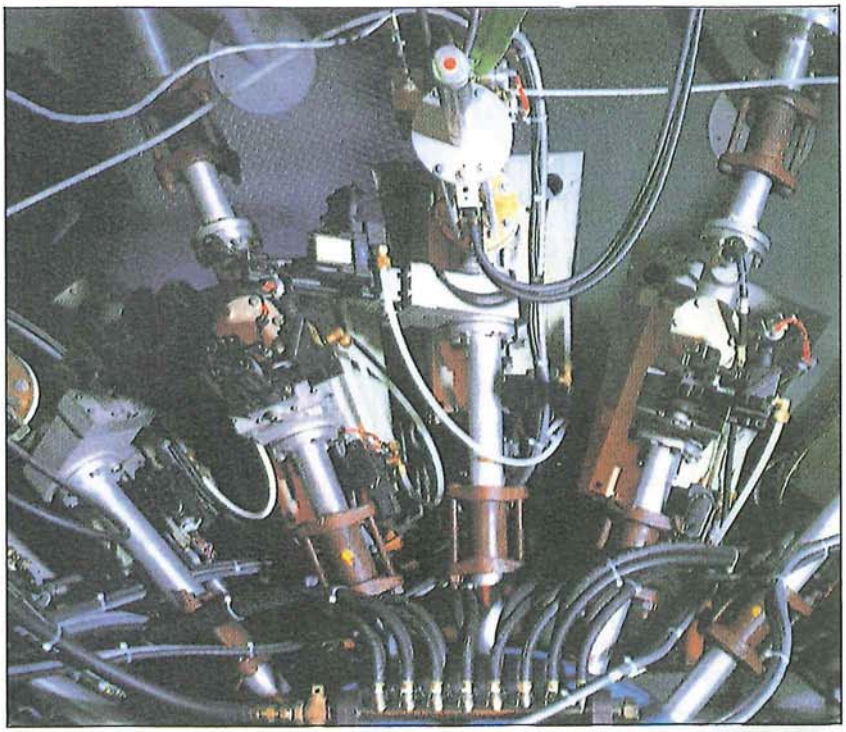
المعجلات النووية

د. إبراهيم عبد الرحمن العقيل
الأستاذ / حسن عثمان محمد



المعجلات النووية هي أجهزة علمية دقيقة تعمل على تعجيل وتسريع الجسيمات الأولية المشحونة السالبة (مثل الالكترونات) والموجبة (مثل البروتونات) واكسابها طاقة عالية جداً.

وترجع فكرة اختراع وتطوير هذه الأجهزة أساسا إلى علماء الفيزياء النووية الذين يعدون هذه المعجلات بالنسبة لهم كالتلسكوب بالنسبة لعالم الفلك والمجهر لعالم الأحياء، حيث يستخدمون الجسيمات المعجلة كقذائف نووية للكشف عن مكونات النواة والتغلغل داخلها ومعرفة القوى التي تربط النويات بعضها ببعض ومتابعة العمليات المستمرة بين هذه الجسيمات.

ولقد تمكن بعض العلماء من تحقيق نتائج هامة في هذا المجال بتفتيت وتحطيم نوى ذرات بعض العناصر واكتشاف عدد من الجسيمات الجديدة مثل الميون (ميو ميزون) والبيون (باي ميزون) والهيبرون.

حقيقة إن اكتشاف المعجل النووي وتطويره لم يفد فقط علماء الفيزياء النووية كما هو واضح لأول وهلة ولكن المتطلبات الدقيقة والنادرة المطلوبة لتشغيل وتطوير هذه المعجلات ساعدت على تقدم كثير من العلوم والصناعات المصاحبة لها مثل أشباه الموصلات والإلكترونيات والمغنطيسيات والإتصالات وأجهزة الكمبيوتر السريعة وأنظمة معالجة المعلومات. كما ساعدت على إنتاج كثير من المواد والخامات النادرة والتي يصعب تحضيرها بالطرق التقليدية. هذا بالإضافة إلى استخدام بعض المعجلات في كثير من المجالات التطبيقية.

نظرية المعجلات النووية

تعتمد نظرية المعجلات النووية أساسا على تعجيل وتسريع الجسيمات المشحونة لإكسابها الطاقة اللازمة للغرض المخصصة له.

ومن أجل تحقيق هذه الفكرة بدأت الدراسات والبحوث خلال الفترة من ١٩٢٠ - ١٩٣٠م في عدد من المختبرات حيث ظهرت إلى حيز الوجود بعض المعجلات التي تعتمد على فرق الجهد المستمر لإجراء عملية التسريع وأطلق عليها اسم « المعجلات الالكتروستاتيكية Electrostatic generator. ومن هذه المعجلات معجل ككروفت - والتون Cokroft-Walton accelerator ومعجل فان دي جراف Van de graff accelerator والمعجل الترادفي Tandem accelerator. إلا أنه نظراً لصعوبة الحصول على جهد عال لهذه المعجلات أصبح من المستحيل الحصول على جسيمات ذات طاقة أعلى من الحدود التي تم التوصل إليها باستخدام المعجلات الإلكتروستاتيكية.

وللتغلب على هذه الصعوبة بدأت تظهر عدة أفكار ودراسات تهدف جميعها إلى إيجاد طرق جديدة لزيادة طاقة الجسيمات المعجلة. واقترح بعض العلماء تصميم أجهزة تستخدم فيها مسارات خطية ذات مراحل متعددة لتعجيل الجسيمات، ورأى آخرون إمكان استخدام مسارات دائرية للتعجيل، وفي كلتا الحالتين تم الاعتماد على فرق جهد عال متردد بالإضافة إلى استخدام المجالات المغنطيسية بالنسبة للمعجلات الدائرية لإجراء عملية تعجيل الجسيمات، ولتنظيم وضبط تزامن تردد وإبدال اتجاه المجالات المؤثرة على الجسيمات تم الإستعانة بموجات لاسلكية (راديوية) ذات تردد مدروس، ومن المعجلات التي تم

إنشاؤها وتشغيلها تبعا لهذا النظام :-

- معجل الالكترونات الخطي Liner electron accelerator
- معجل البروتونات الخطي Liner proton accelerator
- معجل السيكلترون "Orbital cyclotron"

ومع زيادة تعجيل الجسيمات المشحونة ظهرت في الأفق مشكلة زيادة كتلة الجسيم (تبعا لمعادلة أينشتين الخاصة بالطاقة) التي أدت إلى تقليل سرعته وخروجه عن مجال التسريع . وللتغلب على ذلك فكر العلماء في استخدام المجالات الكهربائية والمغنطيسية في توجيه الجسيمات المعجلة وذلك بتثبيت هذه المجالات أو تغيير ترددها باستخدام موجات لاسلكية (راديوية) ذات تردد مدروس يحقق التوافق الزمني أثناء تحرك الجسيمات المشحونة في مجال التعجيل .

ولقد تم تطبيق هذه النظريات في عدد من المعجلات الدائرية، فمثلا نلاحظ في معجل السيكلترون ثبات المجال وثبات التردد ، بينما بالنسبة لمعجلات السينكروترون يتغير المجال مع ثبات التردد ، أما في معجل السنكروسيكلترون نلاحظ ثبات المجال وتغير التردد .

وبمراجعة نظريات وظروف تشغيل المعجلات النووية المدارية القائمة لاحظ بعض العلماء وجود بعض الأسباب الفنية المسؤولة عن تخفيض طاقة الجسيمات المشحونة المنبعثة من هذه المعجلات والتي تنحصر في صعوبة تحديد وتركيز الشعاع الخارج من هذه الأجهزة وتفرقه بين الإتجاه الرأسي والأفقي . وقد تمكن العلماء من التغلب على هذه الصعوبة وذلك بتنظيم توجيه المجال المحرك لحزمة الإشعاع باستخدام مرشد للمجال مكون من أجزاء عديدة تتحرك بميل مدروس يمكنها من زيادة وانقاص المجال تبادليا وفي الإتجاه المطلوب، ولقد تم تطبيق هذه النظرية بنجاح في أحد المعجلات في سيرن بفرنسا ، وسمي ذلك المعجل معجل سنكرترون التدرج المتردد Alternating gradiant Synchrotron.

نماذج المعجلات النووية

يمكن التعرض بنوع من التفصيل لبعض نماذج المعجلات واسعة الإنتشار والمستخدمة في النواحي البحثية والتطبيقية وهي :-

١ - معجل الفان دي جراف

في عام ١٩٣٠م حقق العالم الفيزيائي فان دي جراف ولأول مرة مبدأ المولد الإلكتروستاتيكي ذو السير المشحون وذلك بتصميمه للجهاز الذي عرف باسمه، شكل (١) .

ويتكون معجل الفان دي جراف العادي من الأجزاء الأساس التالية :-

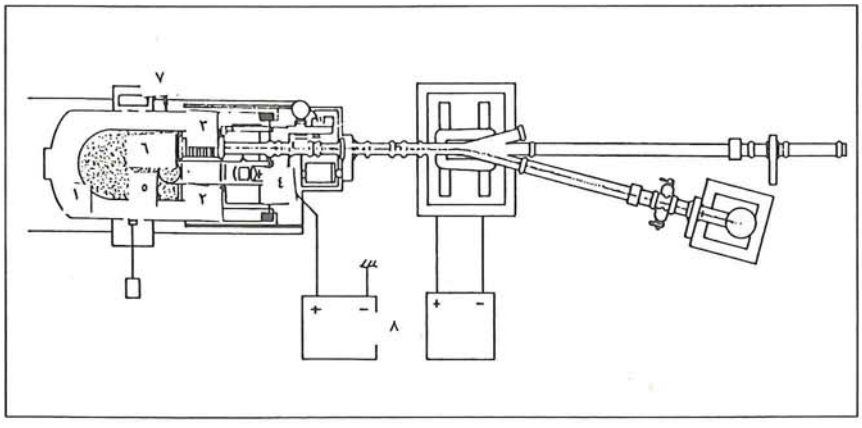
- قطب نصف كروي يعمل كقطب موجب للجهد العالي .
- سير يحمل الشحنة يدور على بكرتين إحداهما عند قاعدة الجهاز متصلة بمحرك كهربائي والأخرى داخل القطب نصف الكروي .
- أنبوبة المعجل وتتكون من أقسام اسطوانية معزولة .
- مجموعة من إبر الشحن موصلة بمصدر للجهد العالي وذات أطراف تكاد تكون متلامسة بسطح السير .
- مجموعة من إبر التفريغ على الطرف الآخر من السير وتكاد تلامسه وتعمل على نقل الشحنة من السير إلى القطب الموجب نصف الكروي .
- مصدر ايونات .
- خزان يتحمل ضغطا عاليا يحتوي على جميع الأجزاء السابق ذكرها .
- مصدر جهد عال مستمر (صفر - ٣٠ كيلوفولت).

هذا بالإضافة إلى مغنطيس انحراف ومضخات تفريغ وغرفة الهدف .

ويلاحظ أن الطاقة القصوى التي يمكن الحصول عليها الآن من معجل الفاندي جراف تصل إلى ١٢ ميجا إلكترون فولت (م . إ.ف) بالنسبة للبروتونات .

٢ - معجل الفان دي جراف الترادفي

ظهر معجل الفان دي جراف الترادفي (Tandem accelerator) عام ١٩٥١م ، وهو يعد تطويرا لمعجل الفان دي جراف العادي والذي بني أساسا على نفس مبدأ سابقه مع تميزه بسهولة التشغيل وثبات طاقة حزمة الأشعة الصادرة منه . وقد أمكن بهذا التطوير الحصول على حزمة من الأشعة تبلغ طاقتها ضعف تلك التي يمكن الحصول عليها من معجل الفان دي جراف العادي خلال مرحلة واحدة ، ويرجع ذلك إلى شحن الجسيمات المراد تعجيلها بشحنة سالبة (أي إضافة الكترون لذرتها



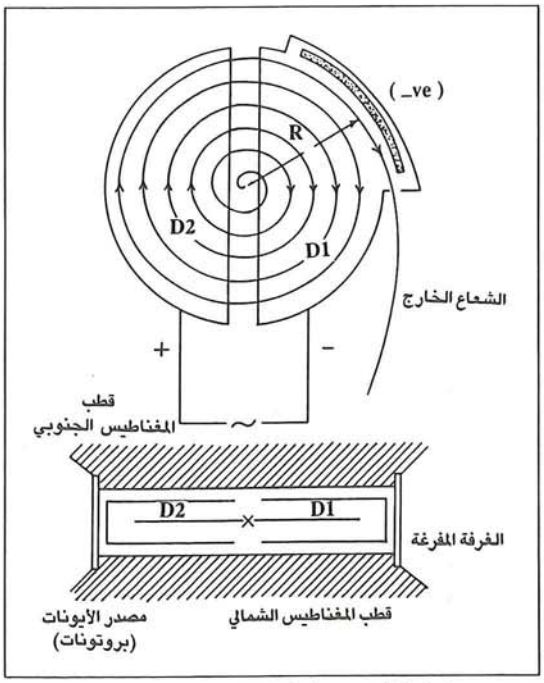
● شكل (١) رسم تخطيطي لمعجل الفان دى جراف .

المتعادلة) فتنجذب نحو قطب الجهد العالي ، الموجب الشحنة الموجود في نهاية المرحلة الأولى . وعند هذا القطب تكون الايونات السالبة المراد تعجيلها قد اكتسبت طاقة تعادل فرق الجهد المشحون به قطب الجهد العالي، وفي هذه المنطقة يتم نزع الكترونين من الايون السالب فيتحول إلى أيون موجب، فتبدأ مرحلة تعجيل أخرى بفعل التنافر بينه وبين قطب الجهد الموجب فتتضاعف طاقة الجسيم المراد تعجيله ويصل إلى نهاية أنبوبة التعجيل في صورة أيون موجب .

ويمكن أن تصل طاقة البروتونات المعجلة في المعجلات الترادفية إلى ما يزيد قليلا على ٢٠ ميجا الكترون فولت (٢٠ م . إ . ف) .

٣ ـ معجل السيكلترون

يتركب هذا المعجل من اسطوانة مستديرة مجوفة من المعدن ومقسمة إلى قسمين كل قسم منها على شكل حرف D هما D_1, D_2 ، ويتصل الجزءان بجهد عال متردد ، توضع الأسطوانة داخل غرفة مفرغة محكمة لمنع تسرب الهواء داخلها ، هذا بالإضافة إلى وجود الإسطوانة بأكملها بين قطبي مغنطيس كهربائي ضخم يتجه مجاله عموديا على قاعدة الاسطوانة ، شكل (٢) .



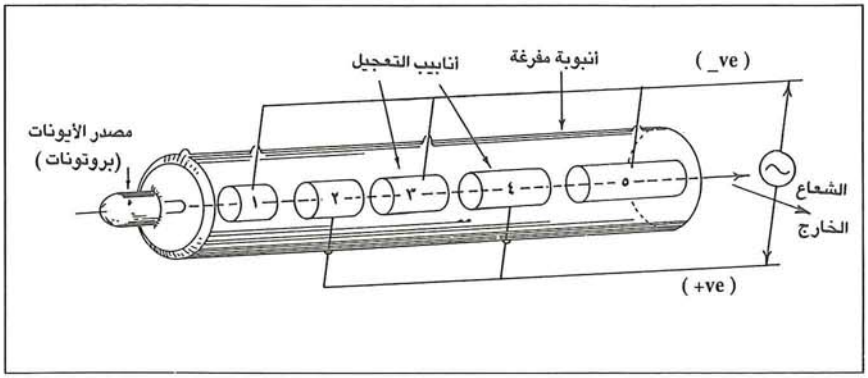
● شكل (٢) رسم تخطيطي لمعجل السيكلترون .

ويستخدم مصدر أيوني لإمداد الجهاز بالجسيمات المشحونة في مركز المعجل . وعند خروج أيون موجب من المصدر تكون D_1 موجبة وD_2 سالبة ، فيتسارع الأيون نحو D_2 بتأثير فرق الجهد بين D_2 و D_1 . وعند دخول الأيون الى القسم D_2 يتوقف تأثير المجال الكهربي ويبدأ تأثير المجال المغناطيسي العمودي الذي يحرف مسار الأيون على شكل نصف محيط دائرة ، وعند وصول الأيون إلى نهاية D_2 يتغير اتجاه فرق الجهد فتصبح D_2 هي الموجبة و D_1 سالبة فيتسارع الأيون تجاه D_1 . وعندما يصل D_1 تتوقف عملية التسريع ويبدأ المجال المغناطيسي في التأثير فيتحرك الايون المعجل في مسار دائري ولكن بنصف قطر اكبر نظرا لاكتسابه سرعة اكبر . وهكذا يحدث التعجيل دائما بين D2و D_1 بسبب تبادل القطبية بينهما ،وفي كل مرة يعبر فيها الايون الفاصل بينهما يكتسب طاقة إضافية أي زيادة في السرعة .

وتتوقف طاقة البروتونات المعجلة في السيكلترون عند حوالي ٣٠ ــ ٤٠ ميجا إلكترون فولت (م . إ.ف) .

٤ ـ المعجل الخطي

يتركب هذا المعجل من اسطوانة طويلة مفرغة يوجد بداخلها وعلى طول محورها الأفقي عدة اسطوانات معدنية متفاوتة الأطوال ومرتبة تصاعديا حسب طولها مع وجود فراغات بين هذه الاسطوانات ذات أبعاد محسوبة تبعا لظروف المعجل ، وبجوار طرف المعجل يوضع مصدر الأيونات المراد تعجيلها، وفي نهايته توجد فتحة لخروج الجسيمات المشحونة بعد إتمام تعجيلها ، شكل (٣) .



● شكل (٣) رسم تخطيطي لمعجل البروتونات الخطي .

ويتم عادة توصيل الاسطوانات بالتبادل مع قطبي فرق جهد عال متردد (الاسطوانة رقم ١ ، ٣ ، ٥ متصلة بأحد الاقطاب والاسطوانة رقم ٢ ، ٤ ، ٦ ، .. متصلة بالقطب الآخر. وعندما يصل أيون موجب مثلا إلى نهاية الأنبوبة «١» يصبح جهد الأنبوبة «٢» سالبا فيتسارع الأيون الموجب في الفاصل بين الأنبوبتين . وعند وصوله إلى نهاية الأنبوبة الثانية ينقلب جهدها ليصبح موجبا في حين يكون جهد الثالثة هو السالب . وهكذا يتم تسريع الجسيمات في الفواصل بين الأنابيب . ومع تسارع الجسيمات تزداد سرعتها . ولكي يمكن استخدام تردد ثابت يتم اختيار اطوال الأنابيب والفواصل بينها بحيث تتناسب مع سرعات الجسيمات المعجلة .

استخدامات المعجلات النووية

تستخدم المعجلات النووية استخداما واسعا في مجال البحوث العلمية النووية الأساس وكذلك في النواحي التطبيقية المختلفة. ففي مجال البحوث الأساس تستخدم حزم الجسيمات النووية المعجلة

في إجراء البحوث النووية في مجال فيزياء الجسيمات الأولية والطاقة العالية وبحوث التفاعلات النووية المختلفة بهدف التعرف على الخصائص الفيزيائية للقوى النووية والكشف عن الأسرار العديدة المجهولة للنوى وخصائصها النووية . كذلك تستخدم المعجلات في بحوث فيزياء الجوامد بهدف استنباط أنواع متطورة منها ذات خصائص معينة .

أما في النواحي التطبيقية فلم يعد هناك مجال من المجالات إلا وأسهمت فيه المعجلات بدور أساس وملحوظ . ففي المجالات الطبية والأحيائية تستخدم المعجلات بشكل واسع في إنتاج العديد من النظائر المشعة خاصة النظائر قصيرة العمر والتي لا يمكن إنتاجها باستخدام المفاعلات، والتي اتسع استعمالها في كل من عمليات التشخيص والعلاج الطبي . كذلك تستخدم المعجلات النووية في عمليات التصوير الإشعاعي للجسم البشري وأنسجته المختلفة وفي عمليات تشعيع الأورام السرطانية وذلك باستخدام حزم من الإشعاعات المعينة وبطاقات معينة ومتغيرة حسب الحاجة . كما انتشر استخدام المعجلات النووية بدلا من المصادر المشعة محدودة الكفاءة في عمليات تعقيم الأدوات الطبية والعقاقير والصيدلانيات المختلفة، وفي دراسة وظائف الأعضاء البشرية واكتشاف القصور في أداء هذه الأعضاء ، وفي التحكم في إفرازات بعض الأنزيمات وفي إفراز بعض الغدد البشرية .

من جانب آخر دخلت المعجلات من أوسع الأبواب في شتى فروع الصناعة والزراعة . فقد اتسع استخدام المعجلات النووية بشكل مباشر لإنتاج حزم من الجسيمات المعجلة بقدرات وطاقات متنوعة، وكذلك لإنتاج حزم من الإشعاعات الكهرومغناطيسية بطاقات تغطي شريحة واسعة من الإشعاعات الكهرومغناطيسية الكثيفة في عمليات متعددة منها على سبيل المثال لا الحصر معالجة المواد بالطرق الإشعاعية بهدف الحصول على مواد ذات مواصفات محسنة مثل معالجة الأنواع المختلفة من البلاستيك والمطاط والكابلات بالحزم الإشعاعية للحصول على أنواع ممتازة وذات صفات مفضلة يستحيل الحصول عليها بالطرق التقليدية الأخرى . كذلك تستخدم المعجلات في تحسين خصائص الطلاءات وتقسيتها وجعلها غير قابلة للخدش، كما تستخدم للكشف عن تآكل المعادن وفي عمليات الكشف غير الإتلافي عن العيوب الصناعية في المعادن، وفي عمليات قياسات اختبارات الجودة للمنتجات الصناعية ، وفي عمليات التحليل الكمي والكيفي للمواد المصنعة لتحديد الشوائب المختلفة في هذه المنتجات مهما قلت نسبتها ، كما انتشر استخدام المعجلات النووية في العقود الأخيرة في عمليات قطع المعادن السميكة، وفي عمليات لحامها بأسلوب متجانس من الداخل والخارج الأمر الذي يستحيل باستخدام طرق اللحام الأخرى .

كذلك اتسع استخدام المعجلات في عمليات حفظ وتعقيم المواد الغذائية وفي إطالة المدة التخزينية للعديد من المنتجات الزراعية والغذائية ، وفي تحسين الإنتاج الزراعي واستنباط أنواع من الأغذية ذات خصائص غذائية أفضل مثل زيادة نسبة البروتين في الأرز وإنتاج أنواع جديدة منه غنية بالبروتين .

وهكذا لم تعد المجالات الصناعية أو الزراعية تخلو من وجود معجل من نوع معين يستخدم لغرض تطبيقي معين .

مستقبل المعجلات النووية

يعمل العالم الآن من أجل إنتاج الجيل الرابع من المعجلات النووية بمفاهيم جديدة وتقنية حديثة للإقلال من تكاليف إنشاء هذه المعجلات ، ومن أجل ذلك ظهرت اتجاهات وأفكار جديدة لزيادة تعجيل الجسيمات كالإستعانة بأشعة الليزر والبلازما في التصميمات القادمة لمعجلات المستقبل ، هذا بالإضافة إلى استخدام تقنية التصنيع الدقيقة "Micro fabrication technology" ومن أجل ذلك تقوم اللجنة الإستشارية الأمريكية الخاصة بفيزياء الطاقة العالية الآن بدعم الدراسات التي قدمها العلماء لإنشاء بعض المعجلات العملاقة التي تعتمد أساسا على نظرية التصادم المضاد للجسيمات المعجلة وحلقات التخزين المتقاطعة "Intersecting Storage Ring" . حقيقة لقد أصبح أمل العلماء كبير في أن يعطي الجيل الرابع من المعجلات أجهزة طاقتها مليون جيجا إلكترون فولت (ق. إ. ف) .

المعجلات النووية في المملكة

خطت المملكة العربية السعودية خطوات واسعة في مجال استخدامات المعجلات النووية ، حيث بدأ عام ١٩٧٧م إنشاء معمل السيكلترون في مستشفى الملك فيصل التخصصي ومركز البحوث بالرياض بطاقة ٢٤ م. إ. ف . للبروتونات ولم تنحصر استخدامات هذا المعجل في إنتاج النظائر المشعة ذات عمر النصف القصير فقط مثل الأكسجين ١٥ ، والكربون ١١ ، واليود ١٢٣ بل استخدم أيضا في المجالات الطبية بالإضافة إلى كثير من البحوث التطبيقية .

وفي عام ١٩٨٢م بدأ تشغيل معجل إلفان دي جراف بجامعة الملك سعود لإنتاج البروتونات بطاقة قصوى قدرها ٢,٥ م.إ.ف . ، وقد استخدم هذا المعجل منذ إنشائه في أبحاث طلبة الدراسات العليا بقسم الفيزياء بكلية العلوم حيث تمكن عشرة طلاب من إتمام دراساتهم البحثية الخاصة بدرجة الماجستير وذلك في عدد من المجالات التطبيقية والأكاديمية .

وفي مستشفى القوات المسلحة بالرياض يوجد معجل الكترونات خطي بطاقة قدرها ١٥ ميجا إلكترون فولت (م . إ.ف) يستخدم أساسا في المجالات الطبية بالإضافة إلى بعض الأبحاث التطبيقية ، كما تقوم مدينة الملك فهد الطبية بالرياض بإجراء الدراسات الخاصة لاختيار معجل خطي يتناسب مع طبيعة العمل في مثل هذا المشروع الطبي العملاق .