

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية علوم الدقيقة
علوم المادة



مذكرة ماستر

علوم المادة
فيزياء
فيزياء المادة المكثفة

رقم: أدخل رقم تسلسل المذكرة

إعداد الطالب:

سكر يسرى

يوم: 03/06/2025

مسرعات الجسيمات

لجنة المناقشة:

رئيس	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ. مح أ	هدار مبارك
مقرر	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ. مح ب	بن صالح نجوى
مناقش	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ. مس أ	قرقب سعيدة

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الاهداء

مرت قاطرة البحث بكثير من العوائق، ومع ذلك حاولت أن اتخطاها بثبات بفضل من الله ومنه. إلى التي حملتني وهنا على وهن، وبكيت من أجلي في صمت، إلى رمز الوفاء وفيض السخاء أُمي الغالية.

إلى الذي أفنى شبابه من أجلي إلى الذي بث فينا كل معاني الحياة وعزيمة، أخذ على درب يساندنا ويحمينا أبي العزيز.

إلى من كانوا النور في طريقي، والدفء في أيامي والديا وإخوتي الأعزاء، لكم وحدكم يعود الفضل بعد الله في كل خطوة قطعتها، وكل نجاح بلغتته.

كنتم الدعاء المستجاب والسند الثابت، فلا كلمات توفيكم حقكم.

وإلى زهرة قلبي، أختي أحلام كنتي النسمة التي تخفف عن كل تعب، والصوت الذي يهمس بالطمأنينة حين يعلو الضجيج، كل تفاصيلك كانت طاقة أمل، وكل وجودك كان عونا لا يقدر.

وإلى رفيقة الدرب، وصديقة الأيام الصعبة و الجميلة، بن بوزيد ايمان، لم تكوني مجرد صديقة، بل روحا أخرى سارت معي في طريق الحلم. شكرا لوفائك، لكل دعمك الذي كان عميقا وصدقا.

أهديكم بحث تخرجي، امتنانا وحبا ودعاء صادقا بأن يحفظكم الله، ويبارك في أعماركم، ويملاً دروبكم نورا وخيرا.

سكر يسرى

شكر وتقدير

في درب العلم، حيث تتقاطع التحديات مع الأمل، كانت المثابرة رفيقتي، وكان الإصرار دافعي. ومع كل خطوة خطوتها، كان هنالك جهد يبذل، حتى اكتمل رسالتي العلمية، بفضل الله أولاً، ثم بدعم من قلوب آمنت بي.

أتقدم بجزيل الشكر والامتنان لأستاذتي المشرفة بن صالح نجوى، التي لم تكن فقط موجهة ومتابعة، بل كانت الحضور الثابت في لحظات التردد، وفي كل توجيه صادق، وفي كل ملاحظة حملت نبلاً وحرصاً.

تعلمت منك أن الدقة ليست ترفاً، وأن العمق في الفكر لا يأتي إلا بالصبر، وأن الباحث الحقيقي لا يكتفي بالإجابات بل يفتش عن الأسئلة الأصعب، لقد تركت بصمة في نفسي أثراً لن ينسى، فشكراً من القلب، لا يكتبه قلم بل ينطقه الامتنان، وعرفان يليق بك ودعاء صادق لا يغيب : أن يرفع الله قدرك، كما رفعت قدرتي بالعلم.

كما أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى الأستاذ الفاضل هدار مبارك، والأستاذة الفاضلة قرqb سعيدة، على قبولهما مناقشة مذكرتي، وعلى ما بذلاه من جهد في قراءتها وتقييمها، وجودكم في هذه اللحظة المهمة من مسيرتي هو شرف أعتر به.

لكم جميعاً مني كل الاحترام والتقدير، وجزاكم الله خيراً الجزاء.

الفهرس

1	المقدمة العامة
3	الفصل I: المفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات
4	1.I مقدمة
5	2.I الفيرميونات والبوزونات (Fermions and Bosons)
5	1.2.I الفيرميونات (Fermions)
6	1.1.2.I الجسيمات الأساسية (أولية)
13	2.1.2.I الجسيمات المركبة (Composite particles)
17	2.2 .I البوزونات (Bosons)
30	3.I أهمية الجسيمات عالية الطاقة في البحث الأساسي
35	الفصل II : مسرعات الجسيمات
36	1. II تمهيد
37	2. II تعريف المسرعات
41	3. II مبادئ أساسية
41	1.3. II معادلات ماكسويل
42	2.3. II قوى لورنتز
43	4. II المكونات الرئيسية لمسرعات الجسيمات
43	1.4. II مصدر الجسيمات والمسرّع الرئيسي
43	2.4. II نظام تسريع الجسيمات

44	II. 3.4. التصادم مع الهدف و توليد وإنتاج البروتونات المضادة.....
44	II. 4.4. تأثير الالكترونات في المسرعات والتحكم في الحزمة ودقة التجارب.....
45	II. 5.4. آلية تنسيق سرعة وتوجيه الجسيمات المشحونة.....
47	II. 5. أنظمة لتسريع الجسيمات.....
52	II. 6. إشعاع السنكروتون والسيكلوترون.....
53	II. 7. الأجزاء الأساسية لمسرع السنكروترون.....
57	II. 8. أنواع مسرعات لجسيمات.....
57	II. 1.8. المسرعات المستقيمة أو الخطية (Straight or linear accelerators)....
61	II. 1.1.8. تقنيات تسريع المسرعات خطية.....
67	II. 2.1.8. حوصلة حول أنواع المسرعات الخطية.....
71	II. 2.8. المسرعات الدائرية (Circular accelerators).....
73	II. 1.2.8. سيكلوترونات متزامنة ذات حقول متغيرة السمات.....
75	II. 2.2.8. سيكلوترون 590MeV في ZURICH.....
76	II. 9. إنتاج الجسيمات عن طريق تصادم الحزم.....
81	III : تطبيقات مسرعات الجسيمات.....
82	III. 1. تطبيقات مسرعات الجسيمات.....
83	II. 1.1. في مجال البحث العلمي.....
84	III. 2.1. في مجال الطبي.....
92	III. 3.1. في مجال الصناعي.....

96	 III. 1. 4. في مجال العسكري
101	 الخاتمة العامة.
102	 المراجع.

الأشكال

- 7 الشكل (1.I) النموذج القياسي للجسيمات الأساسية في مادة.....
- 8 الشكل (2.I) ثلاثة أجيال من الجسيمات الفرميونية (الكوارك).....
- 9 الشكل (3.I) الشحنة اللونية للنيوترون و البروتون.....
- 12 الشكل (4.I) بعض الخصائص اللبتونات (Leptons).....
- 13 الشكل (5.I) كتلة الجسيمات الأساسية للفارميونات (الليبتون-الكوارك).....
- 14 الشكل (6.I) البروتون (proton) و النيوترون (neutron).....
- 18 شكل (7.I) بطاقة التعريف حول حاملات القوى البوزونات (Bosons).....
- 20 الشكل (8.I) تبادل الغلوونات بين الكواركات في البروتون والنيوترون.....
- 22 الشكل (9.I) إنتاج ثم انشطار Z.....
- 22 الشكل (10.I) رسم تخطيطي أنواع التفكك المختلفة W.....
- 23 الشكل (11.I) رسم يبين تفكك البوزون الضعيف W^+ (النشاط الإشعاعي بيتا)
- 24 الشكل (12.I) بعض خصائص البوزونات من ناحية الكتلة.....
- الشكل (13.I) رسم يوضح تكوين بوزون هيغز متعادل من كواركين عن طريق
- 27 تبادل البوزونات الكهرو كهربية.....
- الشكل (14.I) الهيكل التصنيفي للجسيمات الأساسية وفقا للنموذج القياسي
- 29 لفيزياء الجسيمات.....
- 32 الشكل (15.I) تعريف ev
- الشكل (16.I) إنتاج زوج من جسيم مضاد للإلكترون والإلكترون من خلال

33	تصادم فوتون عالي الطاقة مع نواة ثقيلة.....
38	الشكل (1. II) معجل الجسيمات.....
41	الشكل (2. II) مسرع LEP200.....
48	الشكل (3. II) مسرع بروتون سنكروتون.....
49	الشكل (4. II) يبين مصادر الترددات الراديوية.....
	الشكل (5. II) رسم يمثل مسار دائري في مغناطيسات منحنية عند معجل
50	الدائري.....
51	الشكل (6. II) مكونات مسرع الجسيمات.....
52	الشكل (7. II) تجربة تصادم بهدف ثابت في فيزياء الجسيمات.....
58	الشكل (8. II) مركز المعجل الخطي SLAC.....
60	الشكل (9. II) يوضح بناء المسرع الخطي.....
61	الشكل (10. II) جهاز يقوم بتسريع الجسيمات عبر الاسطوانات.....
65	الشكل (11. II) مولد فان دي غراف.....
	الشكل (12. II) معجل فان دي غراف بقدرة (MV) 2 ميغا فولت يعود تاريخه
66	1960 وهو مفتوح للصيانة.....
67	الشكل (13. II) جهاز فان دي غراف في مختبر Los Alamo.....
68	الشكل (14. II) تمثل الصورة مبدأ عمل مسرع خطي Wideröe.....
	الشكل (15. II) مبدأ عمل مسرع خطي d' Alvarez عبر مجال كهربائي E
69	متغير.....

- 72 الشكل (16. II) تصميم عام أجهزة خطية للإلكترونات عالية طاقة.....
- 73 الشكل (17. II) إشعاع السينكروتروني.....
- 74 الشكل (18. II) مبدأ عمل السيكلوترون على شكل حلزوني.....
- 75 الشكل (19. II) يمثل شكل المجال ثنائي القطب.....
- 76 الشكل (20. II) يمثل السيكلوترون 590MeV في ZURICH.....
- 78 الشكل (21. II) تصادم غير مرن بين إلكترون وبروتون.....
- الشكل (22. II) رسم تخطيطي يوضح لمحة عامة على تطور المسرعات لمسرع دائري.....
- 79
- 80 الشكل (23. II) تصادم بين البوزيترون (e^+) والإلكترون (e^-) في هدف ثابت..
- الشكل (1. III) مسرع خطي الكترون CEA / P.Dumas © XFEL لإنتاج أشعة السينية.....
- 84
- الشكل (2. III) يُستخدم مسرع الخطي ديوترون-تريترون صغير (A small- *deuteron-triton accelerator*) لتحليل آبار النفط.....
- 85
- الشكل (3. III) صورة مجهرية لفيروس $SARS - COV-2$ معزول من أحد المرضى، تم الحصول عليها بواسطة المجهر الإلكتروني النافذ.....
- 86
- الشكل (4. III) (a) مقطع صورة لنمط حيود الأشعة السينية الذي تم الحصول عليه على بلورة بروتين $SARS - COV-2$ خلال الوباء أما مقطع (b) صورة مكبرة للمنطقة المؤطرة في شكل (a)
- 88
- الشكل (5. III) رسم تخطيطي لبنية الفريون $SARS - COV-2$
- 89
- الأشكال (6. III) السينكروترون SOLEIL.....
- 91

الشكل (7. III) رسم يبين نقل خط إنتاج المنتجات الغذائية للتشيع بواسطة	
أشعة الإلكترون من مسرعين خطيين رأسيين، أحدهما فوق الحزام الناقل والآخر	
أسفله.....	92
الشكل (8. III) المسرع الخطي Elektra منصة-Doseo ©	
.....A.Lorec/CEA	93
الشكل (9. III) ضواغط لولبية مشحمة في نظام التبريد LEP في CERN.....	95
الشكل (10. III) ثلاجات بقدرة 400w عند 4.5 كلفن (Sulzer) لتشغيل	
المغناطيسات كاشفات الجسيمات في منطقة الشمالية لـ CERN في سنوات	
.....1970	95
الشكل (11. III) ثلاجات 18Kw عند 4.5 كلفن Air liquid المعجل	
بالموجات الدقيقة في مختبر التسريع المتصادم الهدرونات الكبير في LEP.....	96
الشكل (12. III) مغناطيسات فائقة التوصيل في مصادم الهادرونات الكبير في	
.....2010-1990	97
الشكل (13. III) رسم بياني بدائي للغاية يوضح مكونات نظام شعاع الجسيمات	
.....المحايدة.....	98
شكل (14. III) المسرع في وضع الطيران.....	99
الشكل (15. III) رسم لنظام الحمولة صاروخ عام 1 فيفري 1988.....	100
الشكل (16. III) تطبيقات المسرعات في مجالات العلوم و التكنولوجيا.....	101

الجدول

11	جدول (1) تلخيص الجسيمات الأساسية والجسيمات المضادة.....
15	جدول (2) بعض خصائص الباريونات.....
16	جدول (3) بعض خصائص الميزونات (Mésons).....
17	جدول (4) التفاعلات عن تبادل الجسيمات المتفاعلة.....
34	جدول (5) جسيمات عند الطاقات العالية.....
71-70	جداول (6) مسرع خطي d' Alvarez : معجل خطي LAMPF.....
77	جدول (7) والسيكلوترون بقطاعات منفصلة تقدر 590 MeV.....
94	جدول (8) إجمالي سعة التبريد المبرد عند 4.5 كلفن المركبة CERN.....

المقدمة العامة

منذ فجر الإنسانية، والإنسان لا يزال يطرح سؤالاً جوهرياً وعميقاً يرتبط بوجوده وطبيعته الكون الذي يحيط به: مم يتكون هذا الكون ؟

بدأ العلماء منذ بداياته في الكشف عن مكونات الذرة، وفي عام 1897 م توصل جوزيف طومسون على اكتشاف الإلكترون كخطوة الأولى نحو مكونات الذرة، يليه من بعده اكتشاف البروتون على يد رذرفورد عام 1919م، تلاه النيوترون عام 1932م على يد تشاد ويك، وقد مهدت هذه الاكتشافات الطريق نحو فيزياء الجسيمات، العلم الذي يبحث في أصغر التفاصيل المكونة للمادة.

هكذا نشأت فيزياء الجسيمات، لتشكل كفرع علمي رائد يكشف في أعماق المادة واصل التفاعلات الكونية وتفسير ما تعجز عنه النماذج التقليدية في الفيزياء الكلاسيكية.

عندما أدرك العلماء أن الذرة ليست أصغر مكونات الكون، وأن هناك عناصر أصغر تكون الذرة نفسها، بدأ البحث يتجه نحو ابتكار تقنيات ووسائل دقيقة يمكن من خلالها تفكيك جسيمات الأساسية للمادة ومعرفة طبيعتها، والهدف من ذلك، هو محاولة الإجابة عن تساؤلات السابقة المبهمة وغيرها من الأسئلة التي طالما حيرت الفيزيائيين.

في قلب البحث عن ألغاز والتساؤلات حول الكون، ومن هنا ظهرت مسرعات الجسيمات حيث تقف كأسلحة علمية استثنائية، تمكن العلماء من النظر داخل المادة وفهم بنية الذرة وما هو أبعد منها، هذه الأجهزة العملاقة لا تقتصر فقط على كونها مجرد آلات ضخمة تطلق الجسيمات بسرعات هائلة، بل انها بمثابة مختبرات متكاملة تعيد خلق ظروف كانت موجودة بعد الانفجار العظيم، وتساعد في الكشف عن مكونات المادة الأساسية وقوانين الطبيعة الدقيقة. حيث تعد مسرعات الجسيمات دوراً محورياً. فبفضل طاقتها العالية ودقتها المتناهية، تتيح للعلماء دراسة التفاعلات بين الجسيمات على مستوى الذرة وحتى النواة، مما يكشف عن سلوك الإلكترونات، البروتونات، والأنوية تحت ظروف غير عادية.

تهدف هذه المذكرة الى دراسة مسرعات الجسيمات، حيث سنتطرق في الفصل الأول إلى مفاهيم أولية حول فيزياء الجسيمات، الذي يستعرض تطور المفاهيم المتعلقة بالمادة من الفيرميونات

والبوزونات, أما الفصل الثاني, فسنركز على لمسرعات الجسيمات مثل التقنيات التجريبية المستخدمة في هذا المجال, مبرزاً أنواع المسرعات في دعم البحوث العلمية, ويأتي الفصل الثالث ليسلط الضوء على التطبيقات لمسرعات الجسيمات في عدة مجالات (الطب, الصناعة...).

الفصل I : المفاهيم الأولية

حول فيزياء الجسيمات .

1.I مقدمة

منذ مطلع القرن العشرين شهدت فيزياء الجسيمات (Particle physics) توسعا كبيرا في دراسة بنية مادة والقوى التي تربطها معا والتي تم تعرف عليها بواسطة التقنيات التجريبية الحالية لكونها تهدف إلى الإجابة عن الأطروحات الجوهرية التي أنجزها العلماء حول اكتشاف طبيعة الكون على أدق المستويات مثل : ما هي المكونات الأساسية مادة التي تشكل كل شيء؟ وكيف تتفاعل هذه جسيمة عبر القوى الأساسية؟ وهل هناك جسيمات أو قوى أو أبعاد إضافية غير مكتشفة أو مدروسة بعد؟ استمد هذا المجال إلى نموذج القياسي (Standard) model لفيزياء الجسيمات فهو الأساس الإطار النظري التفسيري الذي يجسد ويصف ثلاثا من القوى الأساسية في الطبيعة : القوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة والقوى النووية القوية ,ويعتبر النموذج القياسي حجر الزاوية الذي يصف التفاعلات بين الجسيمات الأساسية التي تسمح بتحليل جميع ظواهر الجسيمات مثل الاضمحلال النووي (Nuclear decay) وبدقة متناهية .

النموذج القياسي (standard model) لفيزياء الجسيمات يعبر عن الجسيمات الأساسية (Elementary particles) فقط وتسمى كذلك دون الذرية "أساسية" نظرا لا تنتج عن التفاعل الجسيمات الأصغر, فالذرة ليست جسيما أساسيا لأنها تتكون من الالكترونات (Electrons) والبروتونات (protons) والنيوترونات (Neutrons), والجسيمان الأخيران المعروفان بشكل عام باسم النيوكليونات (Nucleons) لكونهما يشكلان نواة الذرة, بينما الجسيمات المركبة لا يدرس موضوعها النموذج القياسي بسبب التعقيد في الحسابات, وتعتبر الجسيمات المركبة (Composite particles) مكوناتها من جسيمات الأساسية

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

(Elementary particles) تستخدم في نظريات أخرى مثل ديناميكا الكم اللونية منخفضة الطاقة لدراسة كيفية تكوين الجسيمات المركبة من خلال المعادلات الأساسية فقط مثل البروتونات والنيوترونات... الخ ومن جهة أخرى تميز الجسيمات الأساسية والمركبة التي لها $\frac{1}{2}$ (spin) نصف صحيح التي تخضع لإحصاء فيرمي ديراك (Fermi Dirac statistic) ومبدأ الاستبعاد الباولي (Powell's Exclusion Principle) تسمى الفيرميونات (Fermions) وتشكل المادة الباريونية بينما الجسيمات التي لها (1spin) دوران صحيح تخضع للإحصاء بوز-اينشتاين (Bose Einstein Statistics) وتسمى البوزونات (Bosons) التي تشكل حقول القوى أو بالأحرى التفاعلات .

وليومنا هذا، النموذج القياسي غير مكتمل لأنه لا يصف الجاذبية ومازال العلماء يسعون إلى نظرية موحدة تربط بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة وهو ما يعرف بنظرية كل شيء. ولا تزال الجاذبية في الإطار قيد البحث و التفسير المحكم. ومن هنا سنتكلم حول مفاهيم الجسيمات وما هي تصنيفاتها في مختلف الميادين ؟

2.I الفيرميونات والبوزونات (Fermions and Bosons)

حسب الإحصائيات يمكن تقسيم الجسيمات إلى فيرميونات و بوزونات وهي إما جسيمات أساسية أو مركبة .

1.2.I : الفيرميونات (Fermions)

الفيرميونات تخضع لمبدأ باولي للاستبعاد وهو مبدأ في ميكانيكا الكم ينص على أنه لا يمكن لجسمين متماثلين يشغلان نفس الحالة الكمية أي نفس المستوى الكمي الطاقوي الواحد مع العلم

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

يوجد عدة مستويات أساسية الطاقوية في الذرة، وأن يكون تطابق في الأعداد الكمية، وتعتبر الفيرميونات واحدة من التصنيفات الأساسية للجسيمات في الطبيعة بجانب البوزونات ومن خصائصها :

- أ- السبين $\frac{1}{2}(\text{spin})$: وهو خاصية كمية تعبر عن نوع من الدوران الداخلي للجسيم .
- ب- إحصاء (Fermi Dirac statistic) : تخضع الفيرميونات لقواعد وقوانين إحصاء (فيرمي -ديراك) .
- ت- مبدأ الإقصاء باولي (Pauli's elimination principle) : وهو الأساس حيث لا يمكن لأكثر من جسيم فيرميوني أن يشغل نفس الحالة الكمية في وقت الواحد .
- ث- ميزتها في الطبيعة : لأنها هيا مصدر بناء المادة حيث تتكون المادة العادية بالكامل تقريبا في الفيرميونات .

كما أن الفيرميونات تنقسم إلى أساسية ومركبة

1.1.2.I الجسيمات الأساسية (أولية)

حيث لا نستطيع تقسيمها إلى جسيمات أصغر وفق النموذج القياسي (standard model) لفيزياء الجسيمات وتعتبر المحورية التي تتكون منها الجسيمات الأكبر والأعقد. هناك مجموعة تتألف من 12 فيرميونات التي تمت تحديدها تجريبيا .

ثلاثة أجيال من المادة (الفرميونات)				
I	II	III		
$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ u العلوي	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ c الفاتن	$\approx 172.44 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ t القمي	0 0 1 g غلوون	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 0 H هيغز
$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ d السفلي	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ s الغريب	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ b القعري	0 0 1 γ فوتون	
$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ e إلكترون	$\approx 105.67 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ μ ميون	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ -1 $1/2$ τ تاو	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z بوزونات ضعيفة	
$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_e نيوترينو إلكترون	$\approx 1.7 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_μ نيوترينو ميون	$\approx 15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_τ نيوترينو تاو	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W بوزونات ضعيفة	

الشكل (1.I) النموذج القياسي للجسيمات الأساسية في مادة.

وتنقسم الجسيمات الأساسية إلى قسمين وهما :

1. الكوارك (Quark)

هو جسيم أساسي (An elementary particle), مكون من مكونات مادة , ولا يمكن عزل الكواركات لوحدها بسبب خاصية تسمى الحبس (Confinement function) ولا يمكن رصد الكواركات الحرة (free quarks) بشكل مباشر, فكلما حاولنا فصل اثنين منها (The two quarks), زادت الطاقة المطلوبة بشكل هائل (تتطلب طاقة كهربائية متزايدة), تؤدي هذه الطاقة إلى خلق أزواج جديدة من الجسيمات والجسيمات المضادة (Particles and Antiparticles). مما يمنع إمكانية فصل الكواركات عن بعضها البعض, وكأن الكون يرفض بشدة أن تكون الكواركات وحيدة !

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

هناك 6 أنواع من الكواركات معروفة ومرتبطة تسمى 'النكهات' وصفها النموذج القياسي إلى جانب عائلة الليتون (Lepton), باعتبارها المكونات الأولية للمادة في 3 عائلات (The

three generations of matter), ومن الجسيمات ذات $\frac{1}{2}(\text{spin})$, و تبقى أسمائها

بالإنجليزية أكثر استخداما هي :

	الجيل الاول	الجيل الثاني	الجيل الثالث
الكتلة →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
الشحنة →	$2/3$	$2/3$	$2/3$
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$
	u up	c charm	t top
الكواركات	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$
	d down	s strange	b bottom

الشكل (2. I) ثلاثة أجيال من الجسيمات الفرميونية (الكوارك).

تحمل الكواركات على شحنة كهربائية (Electric charge) كسرية $\left(\frac{-1}{3}\right)$ أو $\left(\frac{2}{3}\right)$ من الشحنة الأساسية (elementary charge), كل الكواركات لها مضاد مرتبط به فان الكوارك المضاد "هو".

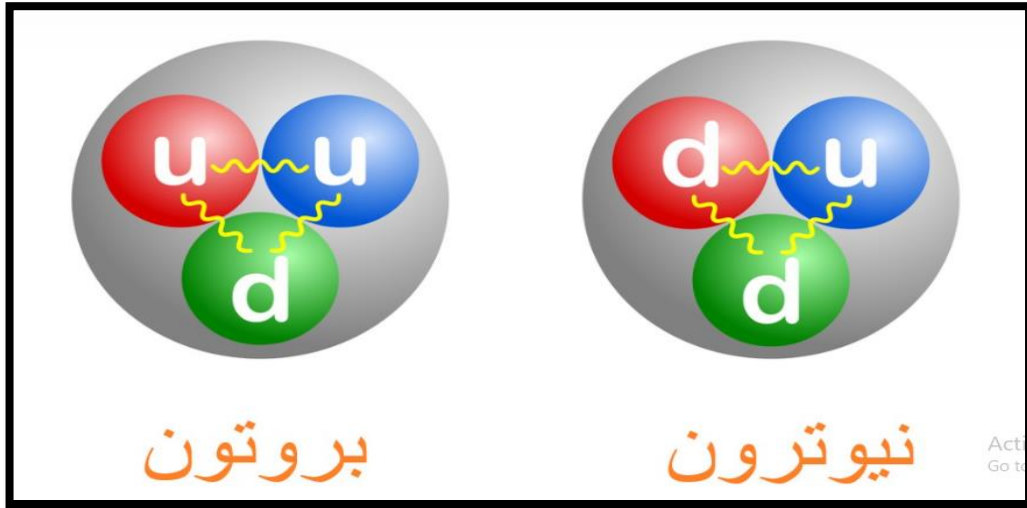
✓ تحتوي أيضا على عدد كمي آخر يسمى شحنة اللون (Color charge) يمكن أن يكون أحمر أو أخضر أو أزرق, فاللون يوضح حقيقة إننا لا نلاحظ الكواركات بمفردها أبدا ,

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

بسبب ظاهرة 'الحبس' الكوارك ولا يمكننا أن نلاحظ إلا جسيمات 'بيضاء' وذلك بدمج ثلاثة كواركات مختلفة على سبيل مثال: واحد أحمر واحد أزرق واحد أخضر.

- **Red + Green + Blue = White .**

✓ نعلم أن البروتونات والنيوترونات الموجودة داخل نواة الذرة تتكون من الكواركات، حيث يتكون البروتون من كواركٍ سفلي (down)، واثنين من الكواركات (up) العلوية (uud) ، بينما النيوترون يتكون من كواركين سفلي (down)، وكوارك واحد (up) علوي (ddu) .



الشكل (3.I) الشحنة اللونية للنيوترون و البروتون .

✓ ترتبط الكواركات بواسطة جسيمات تسمى الغلوونات (Glue) وهي جسيمات الأساسية المسؤولة عن حمل الشحنة اللونية ونقل التفاعل القوي الذي يربط الكواركات ببعضها داخل البروتونات والنيوترونات فمن خلالها تتبادل الغلوونات بين الكواركات بشكل دائم تضمن بقاءها مرتبطة.

✓ تسمى أنواع الكواركات بنكهات وهيا 6 وهي :

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

- الكوارك العلوي (up) الأقل كتلة بين جميع الكواركات، وهو الأكثر استقرارًا، ويرمز

إليهم بالرمز u

- الكوارك السفلي (down)، ويرمز له بالحرف d .
- الكوارك القمي (Top)، ويرمز له بالحرف t .
- الكوارك ألقاعي (Bottom)، ويرمز له بالحرف b .
- الكوارك الغريب (Strange)، ويرمز له بالحرف s .
- الكوارك الساحر (Charm)، ويرمز له بالحرف c .

✓ الجسيمات المضادة (Anti particles)

الكواركات والإلكترونات هي البذور الأساسية للمادة، لكن ليست هذه الحقيقة كلها، إذ توجد أيضًا صورة معكوسة من الجسيمات تعرف بالجسيمات المضادة (Anti particles) التي هي أصل المادة المضادة، لكل نوع من الجسيمات جسيم "مضاد" خاص به من ناحية جسيم له نفس الكتلة واللف المغزلي (spin) ومقدار الشحنة الكهربائية التي يحملها الجسيم الأصلي، لكن الشحنة الكهربائية تكون معكوسة وهكذا، فمثل الإلكترون السالب الشحنة إلكترون المضاد موجب الشحنة، يعرف بإسم البوزيترون (Positron)، ولا يجب الخلط بينه وبين البروتون فالبروتون أثقل بنحو ألفي مرة من البوزيترون وله جسيم مضاد خاص به _ البروتون المضاد _ الذي يحمل شحنة سالبة. يمكننا تلخيص الجسيمات الأساسية والجسيمات المضادة في الجدول (1) كالتالي

:

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

$\bar{q}$	Antiquark	الجسيم الكوارك المضاد	الكوارك q	Nom flavor	الاسم 'النكهة'	الأجيال Generations
$\bar{u}$	Anti-up	العلوي المضاد	u	up	العلوي	1
$\bar{d}$	Anti -down	السفلي المضاد	d	down	السفلي	1
$\bar{t}$	Anti -top	القمي المضاد	t	Top	القمي	2
$\bar{b}$	Anti - Bottom	القاعي المضاد	b	Bottom	ألقاعي	2
$\bar{s}$	Anti - Strange	الغريب المضاد	s	Strange	الغريب	3
$\bar{c}$	Anti - Charm	الساحر المضاد	c	Charm	الساحر	3

2. الليبتون (Lepton)

هو جسيم أساسي في فيزياء الجسيمات ويشمل ستة أنواع (نكهات) مع جسيماتها المضادة وهم

- μ^- وجسيمه المضاد μ^+ .
- τ^- وجسيمه المضاد τ^+ .
- الإلكترون e^- وجسيمه المضاد البوزيترون e^+ .
- نيوتريно الإلكترون ν_e .
- نيوتريно الميون ν_μ .
- نيوتريно التاو ν_τ .

تمت تسميتها الليبتون (Lepton) بسبب كتلتها صغيرة جدا نسبيا ومن مميزاتها :

✓ جسيمات لا تتفاعل عبر التفاعل النووي (لا تخضع للتفاعل القوي) بل فقط عن طريق

التفاعل الكهرو مغناطيسية للجسيمات المشحونة , وإنما تتفاعل تفاعل ضعيف (لجميع

اللبتونات).

	$<2.2 \text{ eV}/c^2$ $0 \quad \nu_e$ electron neutrino	$<0.17 \text{ MeV}/c^2$ $0 \quad \nu_\mu$ muon neutrino	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ $0 \quad \nu_\tau$ tau neutrino
Leptons	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ $-1 \quad e$ $\frac{1}{2}$ electron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ $-1 \quad \mu$ $\frac{1}{2}$ muon	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ $-1 \quad \tau$ $\frac{1}{2}$ tau

الشكل (4. I) بعض الخصائص اللبتونات (Leptons).

FERMIONS matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...						
Leptons spin = 1/2				Quarks spin = 1/2		
	Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
0	ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13) \times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3
1	e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
0	ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13) \times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3
200	μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
0	ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14) \times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3
3800	τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3

الشكل (5. I) كتلة الجسيمات الأساسية للفارميونات (البيتون-الكوارك).

2. 1. 2. I الجسيمات المركبة (Composite particles)

هي الجسيمات تتكون من الجسيمات الأساسية و ترتبط ببعضها عبر التفاعل القوي الناتج عن ارتباط الكواركات, تندرج هذه الجسيمات تحت فئة الهدرونات (Hadrons), ويتم تصنيفها إلى نوعين :

1. الباريونات (Baryons)

هي جسيمات تتكون من 3 كواركات (qqq) مثل النيوترون أو البروتون .

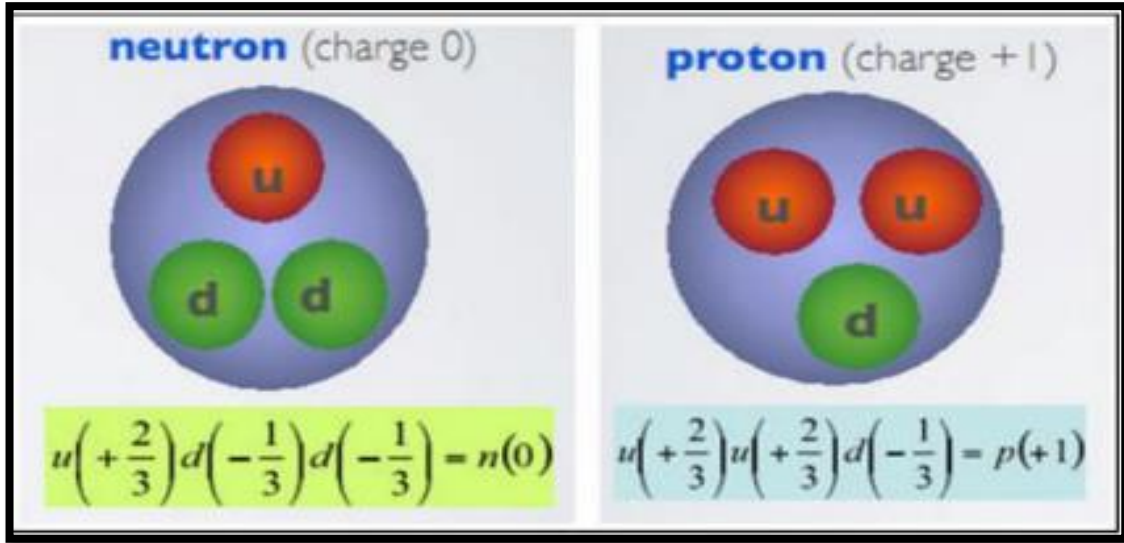
مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

بنية البروتون (uud) وبنية النيوترون (udd), ترتبط بعدد محدد من الكواركات الباريوني هو

مسؤول عن التفاعلات القوية بين الهدرونات, وقد أظهرت دراسات في هذا المجال انه :

✓ لا يمكن الفصل إثنين من الكواركات وكلما زادت الطاقة لفصل إثنين من الكواركات تؤدي

إلى إنتاج أزواجا من جسيمات جديدة بدلا من فصلهما .



الشكل (6.I) البروتون ($proton$) و النيوترون ($neutron$).

توجد أنواع أخرى من الباريونات تسمى باريونات غريبة ($Exotic\ baryons$) مثل:

($\Lambda, \Sigma, \Omega, \Xi$) وتحتوي على كواركات غريبة (s) أو ساحرة (c) أو قعرية (b). يوضح الجدول

(2) بعض خصائص الباريونات :

spin	الشحنة	الكتلة (Gev)	التركيبات	
1/2	+,0	0.938,0.940	uud, udd	P,n
1/2	+,0	1.440	uud, udd	N(1440)
3/2	++,+,0	1.230	uuu, uud, udd,ddd	$\Delta(1232)$
1/2	0	1116	uds	Λ
1/2	+,0,-	1.189,1.197,1.193	uus, uds, dds	Σ
1/2	0,-	1.321,1.315	uss, dss	Ξ
3/2	-	1.672	sss	Ω

2. الميزونات (Mésons)

هي جسيمات دون ذرية غير مستقرة تتكون من إثنين من الكوارك ($q + \bar{q}$) (quark-Antiquark) ولكل ميزون نظير مضاد خاص به (ضديد الميزون) حيث يتم استبدال الكواركات بنظائرها المضادة والعكس صحيح على سبيل المثال : البايون الموجب (π^+) يتكون من كوارك علوي وضديد كوارك سفلي ($u\bar{d}$) ما نظيره المضاد وهو البايون سالب (π^-) فيتكون من ضديد كوارك علوي وكوارك سفلي ($\bar{u}d$)، يبين الجدول (3) بعض خصائص الميزونات (Mésons).

Spin	الشحنة	الكتلة (Gev)	التركيبات	
0,1	+,0,-	0.140,0.770	$u\bar{d}, u\bar{u}, -d\bar{d}, d\bar{u}$	π, ρ
0,1	+,0	0.495,0.890	$u\bar{s}, d\bar{s}$	K, K^*
0,1	0	0.547,0.782,0.958	$u\bar{u}+d\bar{d}+s\bar{s}$	η, ω, η^*
1	0	1.020	$s\bar{s}$	Φ
0	0,+,+	1.869,1.865,1.968	$c\bar{u}, s\bar{d}, c\bar{s}$	D
0	-,0,0	5.279,5.279,5.370	$b\bar{u}, b\bar{d}, b\bar{s}$	B

معرفة سلوك الفيرميونات تعد أساسا في تطوير الاختراعات التكنولوجية الحديثة مثل أشباه الموصلات الفائقة والليزر والنظريات التي مازالت على قيد البحث .

جسيمات التفاعل

كيف تتماسك الجسيمات ببعضها البعض ؟

لفهم ذلك, يجب معرفة أن الكواركات تتفاعل فيما بينها عبر قوى محددة في الواقع, جميع القوى التي نشهدها في الطبيعة يمكن تصنيف ضمن أربع تفاعلات أساسية, حيث تنتج هذه التفاعلات عن تبادل الجسيمات المتفاعلة. كما هو موضح في الجدول (4)

				
التفاعلات	الكهرومغناطيسية	القوية	الضعيفة	الجاذبية
جسيم الوسيط	photon (1905) γ	8 gluons (1979) g	3 bosons (1983) $W^+ W^- Z$	graviton ? $g_{\mu\nu}$

I . 2. 2. البوزونات (Bosons)

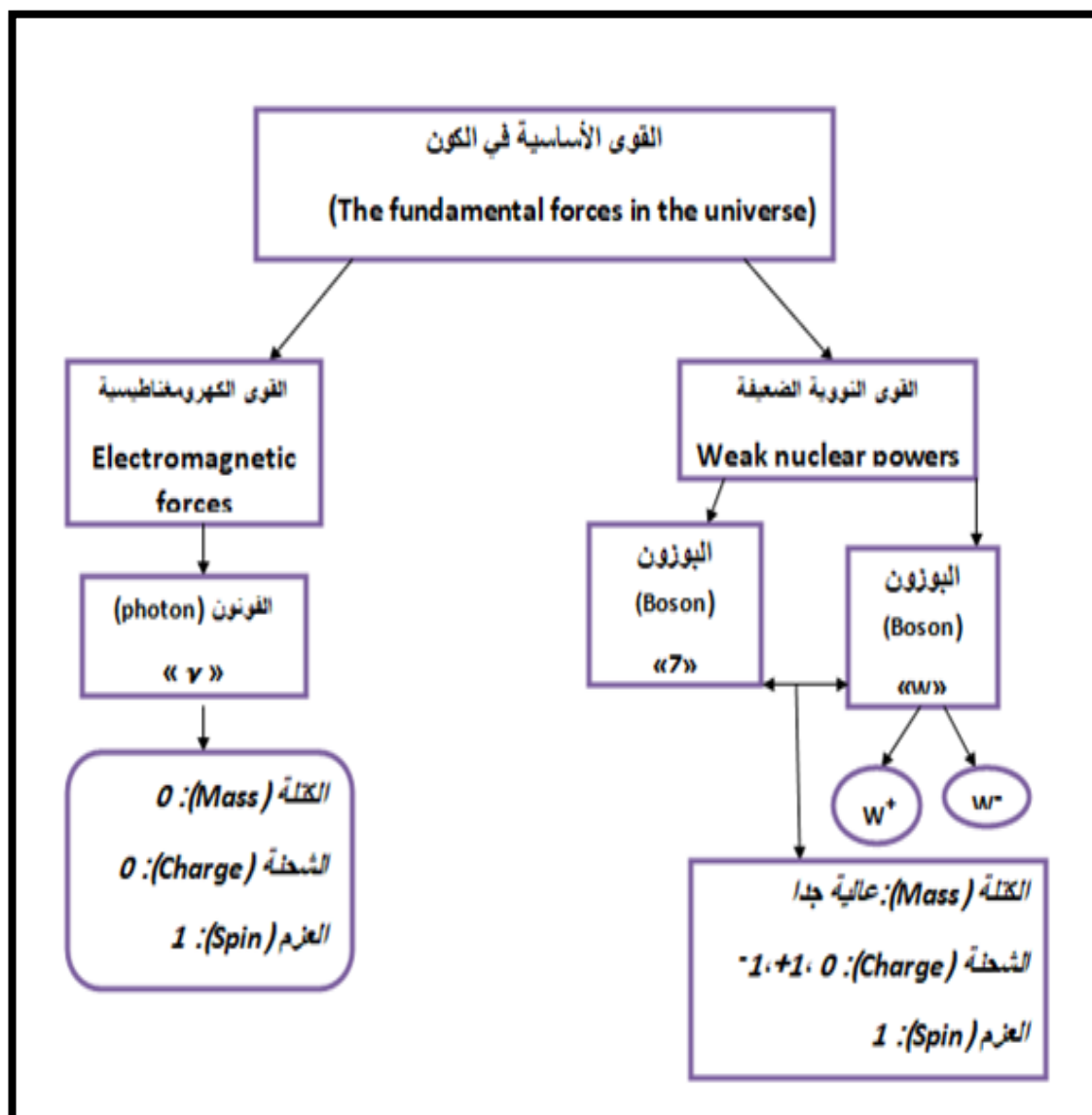
هي جسيمات أساسية تلعب دورا بارزا في فيزياء الجسيمات وذلك وفقا للنموذج القياسي الذي يحلل ويفسر القوى الأساسية في الكون. تحمل البوزونات قوى الأساسية للطبيعة، وهي جسيمات تخضع لإحصاء بوز-أينشتاين

من خلال استبدال البوزونات، يمكن أن تتفاعل عدة جسيمات، كما أن البوزونات يمكنها أن تشغل نفس الحالة الكمومية في الوقت نفسه ولا تخضع لمبدأ استبعاد باولي، على عكس الفيرميونات

أ- الفوتون (Photon).

ب- الغلوون (Gluon).

ت- البوزونات (Bosons) W و Z .



الشكل (7. I) بطاقة التعريف حول حاملات القوى البوزونات (Bosons).

أ- الفوتون γ (Photon)

هو الجسيم الذي يمثل كمية الضوء أو حاملاً للإشعاع الكهرومغناطيسي لأنه الجسيم الأولي الأساسي المسؤول عن حمل القوة المغناطيسية في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات يتمتع الفوتون بطبيعة مزدوجة (موجة _ جسيم) ويمكن أن يتصرف كجسيم

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

عند الانبعاث والانتقال مثل تأثير الكيمتون في الفيزياء النسبية ويمكن أن يتصرف كموجة في التداخل والحيود مثل الشق المزدوج عند الجسم الصلب لمعرفة مستويات الطاقة ومعرفة طاقة الانبعاث والانتشار وفي النظرية الكهروديناميكية الكمومية (QED) يعمل الفوتون كحامل للقوة بين الجسيمات المشحونة ويعني أن توجد علاقة الطردية بين تفاعل الجسيمات المشحونة وتبادل الفوتونات أي كلما تفاعلت الجسيمات المشحونة مع بعضها كلما زاد تبادل الفوتونات. يعتبر الفوتون جسيما عديم الكتلة مما يسمح له بالتحرك بسرعة الضوء في الفراغ دون أن يحتاج إلى وسط للانتقال.

ب- الغلوون (Gluon)

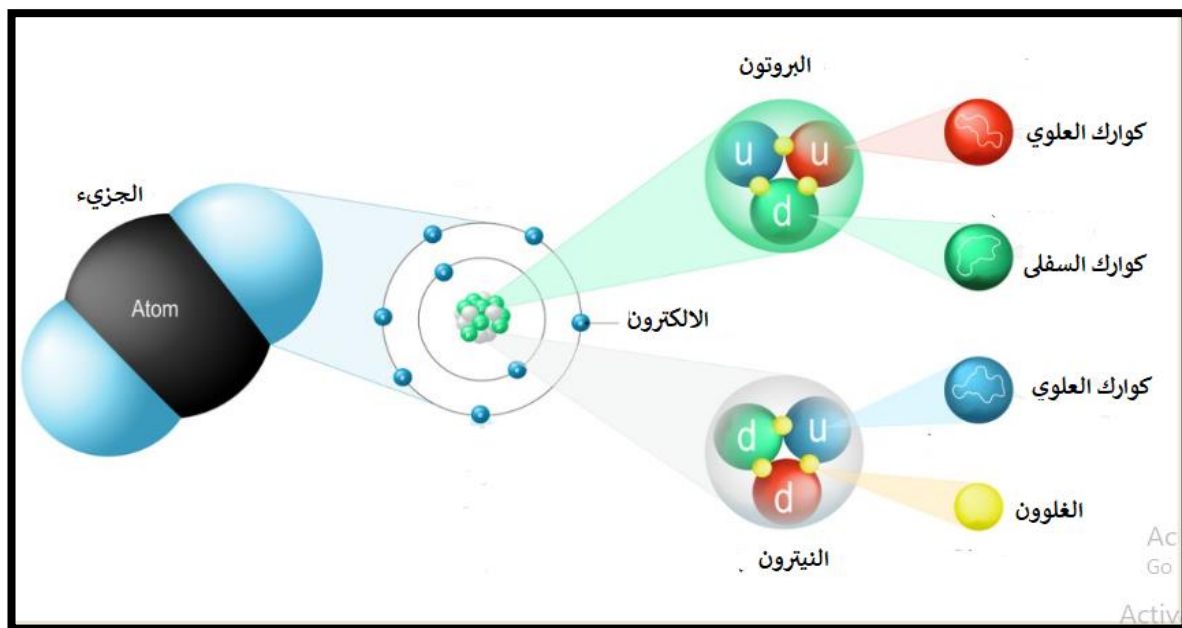
هو الجسيم المسؤول عن نقل القوة النووية القوية وهو حامل للشحنة اللونية التي تتفاعل من خلالها الكواركات. ويعمل كوسيط للتفاعل القوي، مما يربط الكواركات داخل البروتونات والنيوترونات داخل النواة . وتدرس هذه الجسيمات أيضا في فيزياء الطاقة العالية باستخدام مسرعات الجسيمات التي سنتطرق في دراستها في الفصل الثاني مثل مصادم الهدرونات الكبير (LHC)، ومع ذلك غلوون هو بطبيعته حامل لون من الألوان الثلاثة ولون مضاد مما يعني $3^2=9$ تركيبات ممكنة على سبيل المثال: الأحمر مضاد الأحمر والأخضر مضاد الأخضر، ولكن في الواقع اثبتت الأبحاث ان عدد التركيبات الممكنة ثمانية غلوونات فاحدهم يختفي خلال التفاعل .

الأمثلة :

(أحمر - مضاد الأزرق) .

(أخضر - مضاد الأزرق) .

(أزرق - مضاد الأزرق) .



الشكل (8.1) تبادل الغلوونات بين الكواركات في البروتون والنيوترون.

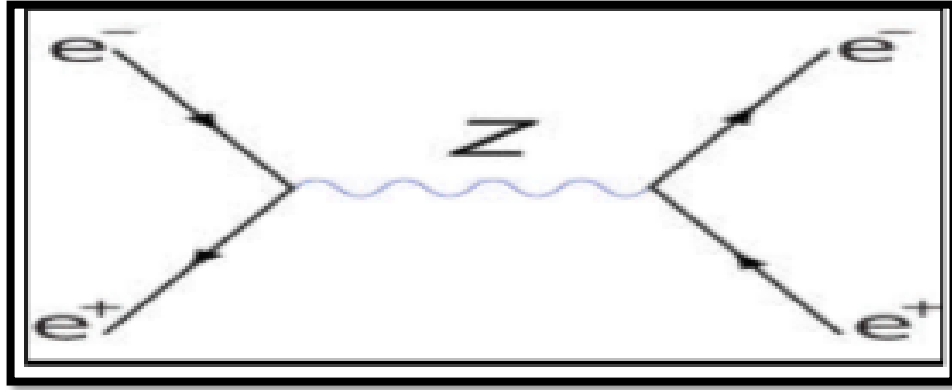
ت - البوزون W و Z

تم التنبؤ بوجود هذه البوزونات لأول مرة عام 1960 في نظرية وضعها لعلماء. ينسب الفضل في اكتشاف هذه البوزونات بشكل كبير إلى المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (CERN) حيث تم رصد أو إشارة لها عام 1973 على هيئة جسيم افتراضي ولم يتم تأكيد وجودها رسميا حتى عام 1983. وقد كان هذا الاكتشاف إنجازا علميا بارزا، مما منح كلا من كارلوروبيا وسيمون فان دير مير جائزة نوبل في الفيزياء عام 1984 تكريما لهذا الاكتشاف.

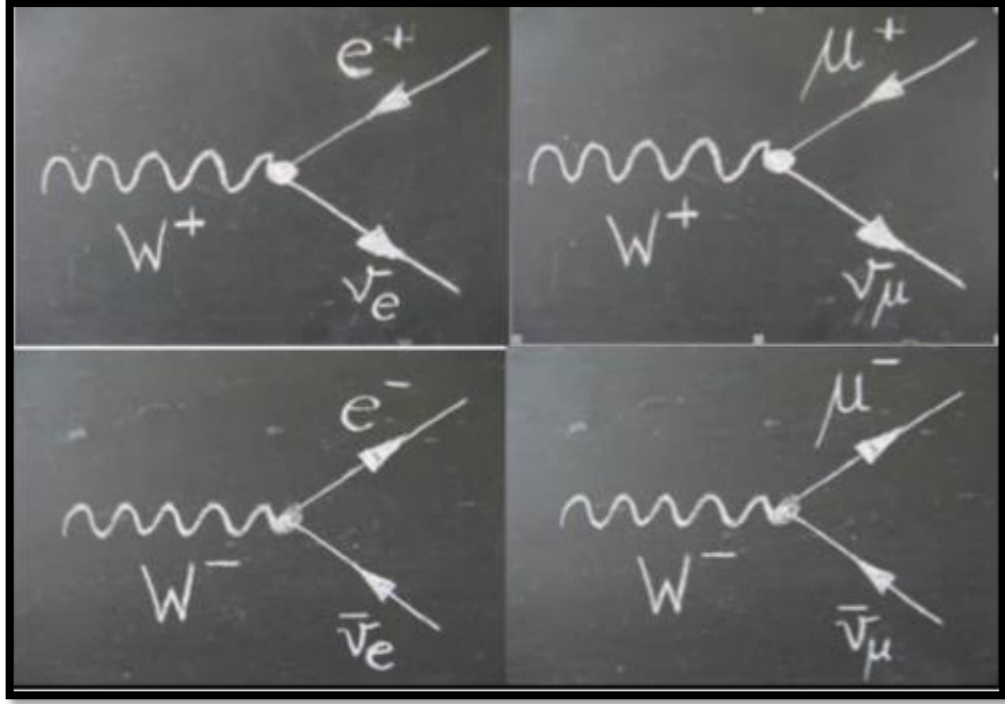
لاحقا، تمكنت مختبرات LEP في CERN و SLC في SLAC من إنتاج 15 مليون من بوزون Z بين عامي 1989 و 1998 مما أتاح إمكانية قياس كتلته بدقة غير مسبوقة، وهذا امر عزز فهمنا العميق لهذا الجسيم.

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

بما أن الكواركات تمتلك خاصية تعرف بالشحنة اللونية فمن الممكن أن تتواجد الكواركات في ثلاثة أنواع مختلفة وبما انه لدينا ستة الكواركات يمكن أن نتحصل على 18 تركيبة ممكنة, نظريا يمكن أن ينتج عن ذلك 24 نمط للتحلل إلا أن التجارب والدراسات العلمية لم تكشف سوى 21 نمطا فقط. وعلى سبيل المثال يتم تمثيل البوزون Z في كل حالة إما بزوج (إلكترون _بوزيترون) أو (ميون _ انتبمبون).

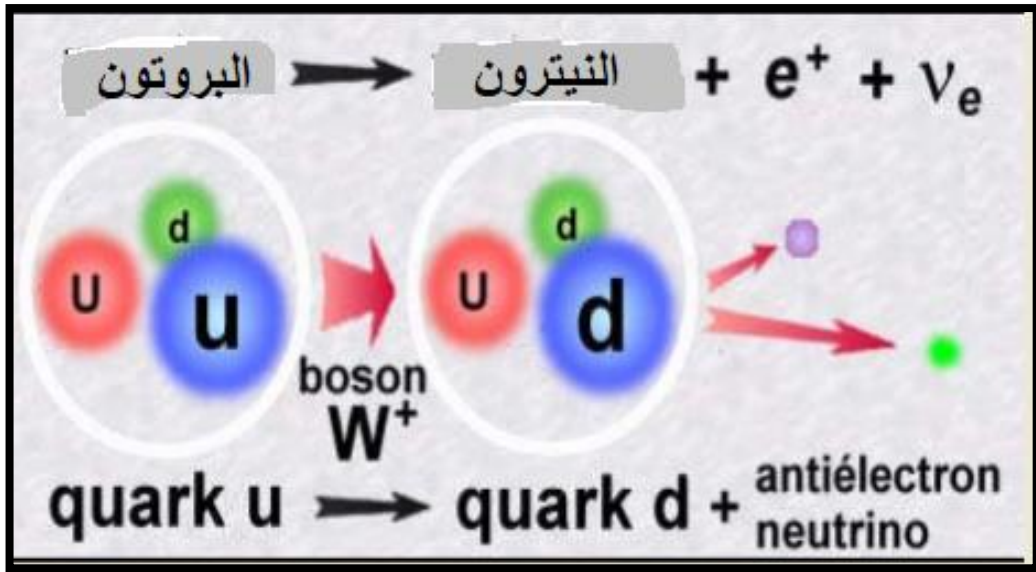


الشكل (9.I) إنتاج ثم انشطار Z .



الشكل (10. I) رسم تخطيطي أنواع التفكك المختلفة W .

ومن جهة الأخرى، في عالم الفيزياء النووية يعد النيوترون جسيما مستقرا داخل النواة، لكنه يصبح غير مستقرا بمجرد أن يكون حرا. مقارنة بالبروتون، يمتلك النيوترون كتلة أقل بقليل، مما يمنحه فائضا طاقويا يكفي لتحويله إلى بروتون، وذلك من خلال انبعاث الإلكترون وجسيم مضاد يعرف بمضاد النيوتريينو. ولكن الموضوع لا ينتهي هنا، فالنيوترونات الموجودة داخل النواة لا تبقى ثابتة دائما، بل يمكن أن تتحول إلى بروتونات عند توفر الظروف المناسبة، وهي الظاهرة التي تعد جوهر النشاط الإشعاعي لعنصر "ألبيتا" W ، ومع أن متوسط العمر النيوترون الحر يبلغ حوالي 15 دقيقة. إلا أنه يترك بصمته في الكون، حيث ينتج بكثرة في الطبقات العليا من الغلاف الجوي أو كنتيجة للتفاعلات النووية وبهذه الطريقة، يبقى النيوترون عنصرا أساسيا في فهم طبيعة عمق المادة والطاقة في الكون.



الشكل (11.1) رسم يبين تفكك البوزون الضعيف W^+ (النشاط الإشعاعي بيتا).

BOSONS			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.39	-1			
W^+	80.39	+1			
W bosons					
Z^0	91.188	0			
Z boson					

الشكل (12.I) كتل بعض البوزونات .

في دراستنا السابقة، وجدنا أن البوزونات هي الجسيمات الأساسية التي تنقل وتحمل التفاعلات: التفاعلات النووية القوية التي يحملها الغليون وتؤثر على كوارك البروتونات كذلك التفاعلات النووية الضعيفة فينقلها جسيم البوزون الضعيف بالمقابل 3 أنواع من البوزونات (W^+) موجبة الشحنة و (W^-) سالبة الشحنة و (Z^0) متعادلة الشحنة فتؤثر على النيترونات والبروتونات تحديداً، والفوتون المسؤول عن ربط الإلكترونات السالبة في عمق مادة ألا وهي النواة ذات الشحنة الموجبة والأجسام المشحونة الأخرى. ولا ننسى الجاذبية وتعتبر كذلك من حاملات القوى البوزونية وتسمى جسيم الجرافيتون سنتكلم عنها لاحقاً. ولكن أين يندرج بوزون هيغز في هذا السياق وما علاقته في الكون وفي هذا كله و ما هو البوزون هيغز.

ج- البوزون هيغز (Higgs boson)

بحسب النموذج القياسي في الفيزياء كانت القوى الطبيعية الكونية الأربع في البداية قوية واحد موحدة بعد الانفجار العظيم (لحظة خلق الكون) ولكن بعد مرور الزمن وتمدد الكون, بدأت هذه القوى في الانفصال وكانت الجاذبية أول من انفصلت ثم تليها بقية القوى الأساسية, تخيل لو أن كل الجسيمات في الكون كانت بلا كتلة أو القوى الأساسية الأربع مازالت موحدة مع بعض كيف سيبدو هذا الأمر! ومن هنا يبرز دور بوزون هيغز, الذي كان المفتاح في كسر هذا التماثل بين القوى, مما أتاح للجسيمات باكتساب الكتلة, وقد نسبت تسميته على اسم الفيزيائي بيتر هيغز, الذي تنبأ بوجوده كجزء آلية هيغز, عام 1964 ,وهي الآلية التي تفسر كيف تكتسب الجسيمات الأساسية كتلتها في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات, ليضل بوزون هيغز حوصلة محيرة ومبهمة. لبرهنة صحة نظرية هيغز من خطئها قام العلماء ببناء مسرعات الجسيمات تكفي قدرته على "إنتاج" جسيم هيغز الذي تصل كتلته طبقا للنظرية نحو 200 ضعف كتلة البروتون ألا وهي مصادم الهادرونات الكبير LHC على مدا نحو 15 عام ويعد أضخم منشأة علمية على وجه الأرض إذ تصل تكلفته 7.5 مليار يورو, بدا مصادم الهادرونات الكبير العمل في عام 2011, واستطاع العلماء من رصد هيغز علميا وفي عام 2012 تم إعلان وجوده فعليا بالنسبة 99,9999% .

يعتبر بوزون هيغز جسيم أساسي و أحد الأركان الأساسية للنموذج القياسي ويساعد وجوده على توضيح وتفسير سبب امتلاك بعض الجسيمات لكتلة أو بعض لا,

ولكن يوجد الفرق بين البوزون هيغز والقوى الأخرى , فالبوزونات هيغز لا تتواجد بحرية في الكون. بل تتطلب صدمات قوية بين الجسيمات (مثل تصادمات الهادرونات الكبيرة باستخدام

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

البروتونات (لتحفيز مجال هيغز, مما يؤدي الى تكوين البوزونات .إضافة إلى ذلك, فإن بوزونات هيغز تتحلل بسرعة فائقة, مما يسهل دارستها عبر التجارب العلمية و المخبرية . وعلى الرغم من أن النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات يفترض وجود هيغز واحد فقط المعروف باسم "بوزون هيغز القياسي " ذو كتلة ومميزات متنوعة ومختلفة , إلا هنالك نظريات فيزيائية تتجاوز النموذج القياسي مثل التناظر الفائق ونظريات الأوتار قد تنبأت بوجود بوزونات هيغز إضافية أو معدلة, لذا عندما يقال بوزون هيغز القياسي فهذا يعني تحديدا الجسيم الذي توقعه النموذج القياسي فقط, يعتبر هذا النموذج الإطار والحيز النظري الأكثر قبولا حاليا لوصف الجسيمات الأساسية والقوى التي تحكمها باستثناء الجاذبية ,مما يفتح أفقا جديدة وحديثة في فهم ومعرفة طبيعة المادة في الكون.

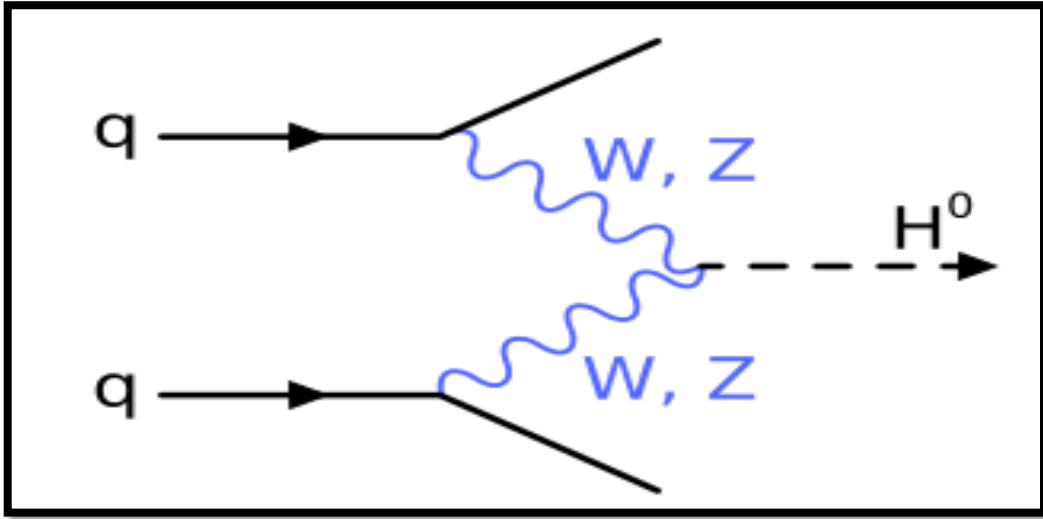
خصائصه:

✚ جسيم هيغز متعادل كهربائيا "0" طبقا نموذج القياسي, وسبين يساوي 0 لذلك يعتبر ضمن البروزونات.

✚ في بداية 2011, أحرز العلماء تقدما ملحوظا في التجارب و أبحاث مصادم الهادرونات الكبير حيث كشفت النتائج الأولى عن دلائل وقيم قوية تشير إلى وجود جسيم هيغز عند عدة قيم كتلية. ووفقا لهذه القياسات الدقيقة تبلغ ما بين $(116-130 \text{ GeV}/c^2)$, (تجربة أطلس **ATLAS experment**) وكذلك ما بين $(115-127 \text{ GeV}/c^2)$, (تجربة لولب مركب للميون). كما دلت مقاييس أخرى باكتشاف جسيمات هيغز بطريقة مباشرة .و تشير كتلته ما بين $(124-126 \text{ GeV}/c^2)$.

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

يتصور علماء انه يوجد مجالا يدعى "مجال هيغز" ينشأ عند وجود جسيمات هيغز باعتبار مجاله غليظا, بحيث تواجه الجسيمات مقاومة عند تعرضها لتأثيره, يساهم هذا التأثير في نشوء ما يعرف بكتلة الجسم, وعلى سبيل المثال: الإلكترون تتفاعل بمقاومة طفيفة وضعيفة داخل مجال هيغز فتترتب على ذلك كتلة صغيرة, عكس البروتون, فيتعرض طبقا النظرية هيغز بمقاومة أكبر داخل مجاله يمكن تشبيهها بلزوجة السوائل مما يؤدي إلى ظهور البروتون بكتلة كبيرة. يرمز البوزون هيغز برمز (H^0).



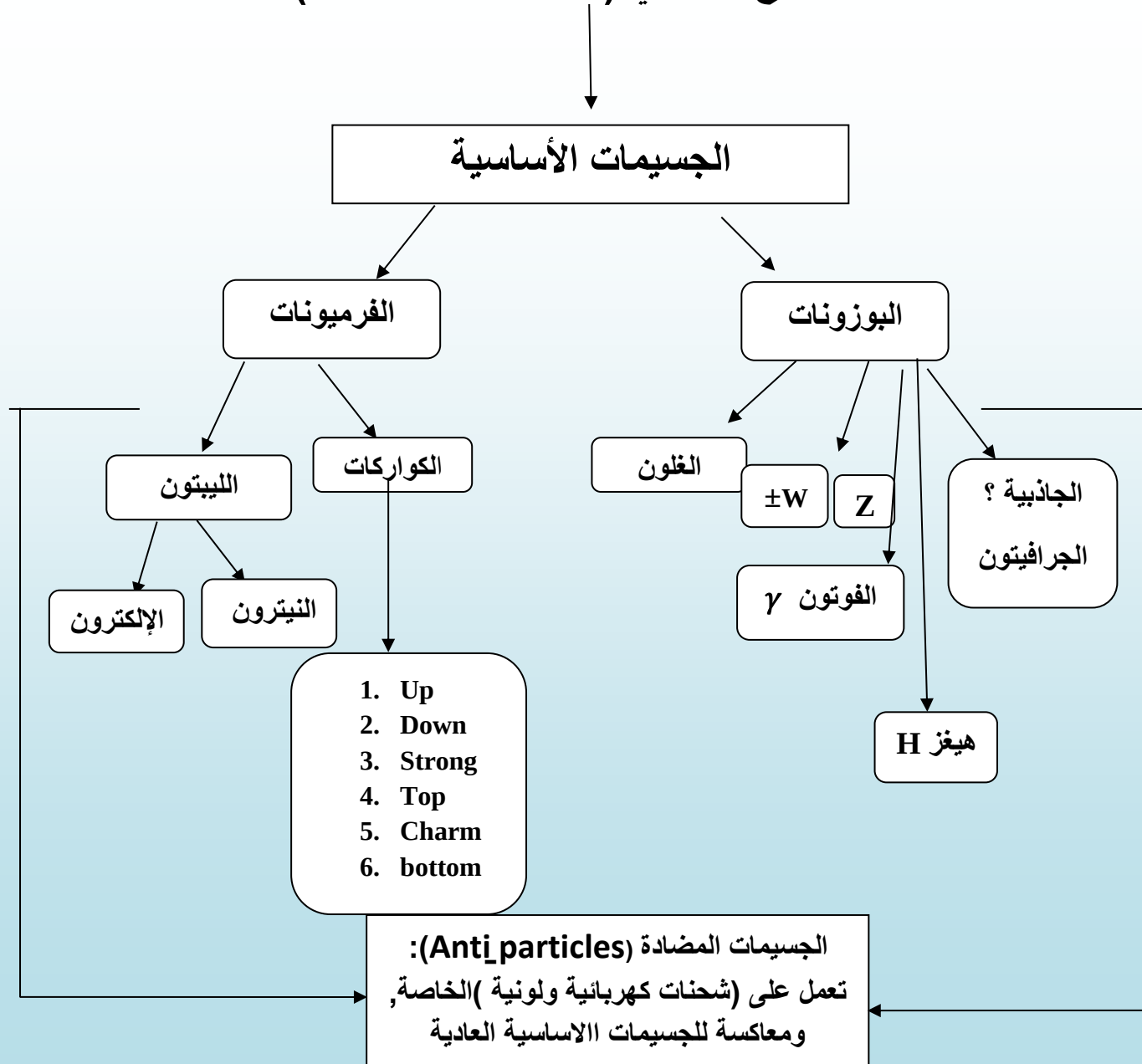
الشكل (13.I) رسم يوضح تكوين بوزون هيغز متعاقل من كواركين عن طريق تبادل البوزونات.

ح- الجاذبية (Gravity)

تعد الجاذبية حجر الأساس لنظرية الجاذبية الكمومية ولكن السؤال المطروح كيف تجذب الأرض كل شيء نحوها دون خيوط مرئية؟ وهل تساءلت يوما عن هذا السؤال؟ أو كيف تبقى الكواكب تدور حول الشمس دون أن تنفصل عنها ؟ السبب يكمن في الجاذبية, لكن تنتقل هذه القوة عبر الفراغ عن طريق الجرافيتون ويعتبر وسيط من الجاذبية والقوى الخارجية التي تنتقل في الفراغ الكوني.

الجرافيتون (Graviton) هو الجسيم المبهم الذي يعتقد العلماء أنه المسؤول عن نقل قوة الجاذبية, تماما كما ينقل الفوتون القوة الكهرومغناطيسية, يتميز الجرافيتون بكتلة صفرية وسرعة هائلة تساوي سرعة الضوء ومتعادل كهربائيا, مما يجعله جسيم غامض لا يرصد بسهولة, حيث يعتقد الجرافيتونات تحمل الجاذبية, مما يجعلها همزة الوصل بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة, رغم ذلك فإن فهم الجرافيتون قد يفتح لنا أفقا جديدة تقربنا لفهم أعمق لأسرار الكون, أو ربما نجد حلا لتوحيد جميع القوى في معادلة واحدة, تفسر كل شيء, ويبقى هذا الجسيم في طي المجهول, فهل سنتمكن يوما من إثبات وجوده الذي وصفوه العلماء "الجرافيتون : "الجسيم الشبح الذي قد يغير فهمنا للكون" ...الخ, أم سيضل مجرد فرضية في كتب الفيزياء ؟

نموذج القياسي (Standard model)



الشكل (14.I) الهيكل التصنيفي للجسيمات الأساسية وفقا للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات.

3. I. أهمية الجسيمات عالية الطاقة في البحث الأساسي

يعد استكشاف اللبنة الأساسية للمادة والقوى التي تحكم تفاعلاتها مجالا واسعا في فيزياء البنى، لا سيما عندما تفحص هذه الهياكل على مقاييس متناهية في الصغير وغير مألوفة، لتنفيذ اختبارات ضمن هذا الإطار، فكر الباحثين في تعيين استخدام المسابير التي تتميز بدقة عالية ومماثلة، فطول الموجي للضوء المرئي حوالي $\lambda = 500\text{nm}$ غير كافي على الإطلاق، ومن هنا أثبت حزم الفوتونات أو الجسيمات العالية الطاقة أنها من أدوات ممتازة لمعرفة نتائج فيزياء الجسيمات الأساسية التي لا يمكن ان يصورها بدونها، وبالتالي تعد حزم الجسيمات عالية طاقة ضرورية لهذا المجال الفيزياء التجريبية وبشكل العام لا يمكن حل البنية الدقيقة إلا بواسطة مسبار مثل الاشعاع الكهرومغناطيسي إذا كان الطول الموجي صغيرا مقارنة بحجم الهيكل، وبالتالي فإن الأطوال الموجية الأقل من $m < 10^{-15}$ مطلوبة في فيزياء الجسيمات الأساسية

طاقة الفوتون لهذه الإشعاع :

$$E_\gamma = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 2 \times 10^{-10}\text{J} \quad (1. I)$$

إذ تم إنتاج هذه الفوتونات عبر الإشعاع الشمسي من حزم الالكترونات النشطة .

$$E_e > E_\gamma \quad \text{بحيث} \quad E_e = eU \quad (2. I)$$

لتحقيق مثل هذه الطاقات يجب على الالكترونات في الحزمة عبور جهد كهربائي كلي $U >$

$$\frac{E_e}{e} = 1.2 \times 10^9\text{V} , \text{ معادلات مماثلة على حزم الجسيمات, حيث يجب أن يكون طول}$$

موجة دي برولي صغيرا مرة أخرى مقارنة بحجم البنية، ويعطى هذا الطول الموجي بالعلاقة :

$$\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{hc}{E} \quad (3. I)$$

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

حيث أن E و p هما الزخم والطاقة للجسيم على التوالي, مقارنة هذه العلاقة مع المعادلة (I), تظهر إن طاقات جسمية عالية بالمثل مطلوبة أيضا هنا.

في الفيزياء تقاس الطاقة عادة بوحدة الجول (J), ومع ذلك, فإن هذه الوحدة ليست مريحة جدا لوصف حزم الجسيمات وبشكل عام, لذلك نتطرق إلى الوحدة الإلكترونية للإلكترون فولت (eV) وهي المفضلة, وتمثل الطاقة الحركية التي يكتسبها جسيم ذو شحنة أولية q

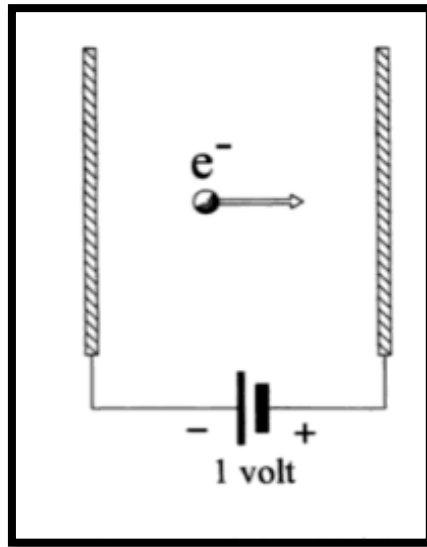
عندما يعبر فرق جهد مقداره ΔU يساوي 1 فولت وبالتالي فإن عامل التحويل هو :

$$1eV = 1.602 \times 10^{-19}J$$

لوصف الطاقات الأعلى للجسيمات, تستخدم وحدات مشتقة أكثر ملائمة

MeV, GeV, TeV, KeV :

$$\begin{cases} 1Kev = 10^3 ev \\ 1Mev = 10^6 ev \\ 1Gev = 10^9 ev \\ 1Tev = 10^{12} ev \end{cases}$$



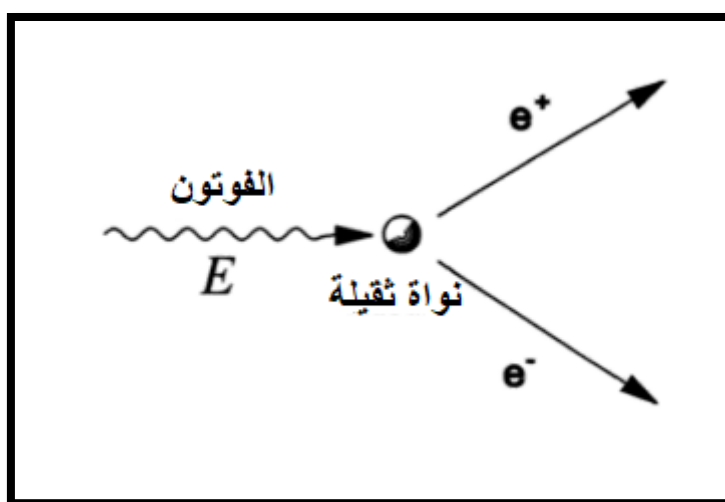
الشكل (15.I) تعريف ev

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

في فيزياء الجسيمات الأساسية في تحليل أدق البنى المادة هو إنتاج جسيمات جديدة , تكون غالبا قصيرة العمر ألا وهي كمية الطاقة المطلوبة لإنتاج جسيم, تستنتج مباشرة من العلاقة الأساسية لأينشتاين :

$$E = mc^2 \quad (4.I)$$

ولنلاحظ أن معظم الجسيمات لا يمكن إنتاجها إلا مع الجسيمات المضادة لها على شكل أزواج مثال يتم إنتاج الإلكترونات البوزيترونات معا من أشعة γ ذات الطاقة العالية كما هو موضح في الشكل.



الشكل (16.I) إنتاج زوج من جسيم مضاد للإلكترون وإلكترون من خلال تصادم فوتون عالي الطاقة مع نواة ثقيلة.

ومنه الطاقة اللازمة لأشعة γ لإنتاج تكون دائما اعلي من تلك المعطاة بالعلاقة (4.I):

$$E_\gamma > 2m_e c^2 = 1.637 \times 10^{-13} J = 1.02 Mev \quad (5.I)$$

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

هذه هي الطاقة الحدية اللازمة لإنتاج أزواج من الإلكترون و البوزيترون حين أن كتلة كل جسيم هي

$$M_e = 91.08 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

وطاقة السكون : $E_0 = 511 \text{ Kev}$.

لأن طاقات السكون للجسيمات الأساسية التي يتم دراستها في الوقت الحاضر أكبر بكثير بشكل ملحوظ. [14] ولكل ينتج الجسيمات يجب ان تكون طاقات عالية وموافقة في حسابات كما موضح في جدول(5)

مفاهيم الأولية حول فيزياء الجسيمات

$E_0 = 938 \text{ MeV}$	بروتون (P)
$E_0 = 4735 \text{ MeV}$	كوارك (b)
$E_0 = 91190 \text{ MeV}$	بوزون ضعيف (Z^0)
$E_0 = 171000 \text{ MeV}$	كوارك (t)

الفصل II :مسرعات

الجسيمات .

II. 1. تمهيد

إن علم الفيزياء هو القاعدة الأساسية لمختلف العلوم فهو يقدم التفاصيل العميقة لفهم كل شيء بدءاً من الجسيمات الأولية إلى الكون الفسيح. دون أن نلجأ إلى الدخول في نقاش تاريخي طويل، أدرك العلماء أنه كلما تعمقوا في دراسة المادة (لفك الألغاز والاستفسار عن ديناميكيات بنية المادة ومكوناتها الأساسية وعلاقتها بالزمان والمكان). حفزت التحديات العلمية الباحثين الفيزيائيين على تطوير هندسة المعدات عالية الطاقة، تحديداً مسرعات الجسيمات، إذ لم تعد الانظمة الحالية قادرة على توليد طاقات كافية لاكتشاف حدود جديدة في فيزياء الجسيمات دون الذرية، فاستطاع العلماء بناء كثير من أنواع المسرعات بأحجام متفاوتة في مختلف الأماكن في العالم، ثم أدركوا فيما بعد أن المسرع كلما ازداد حجماً ازدادت معه الطاقة الممكنة تحقيقها وبفارق كبير، كلما ازداد الوضع الداخلي قرباً من الحالة التي يعتقد العلماء أنها تمثل بداية الكون (حسب نظرية الانفجار العظيم) .

يعتبر مصادم الهدرونات الكبير (LHC) أكبر وأقوى مسرع الجسيمات في العالم، الذي ذكر في الفصل السابق، يوجد في مختبر الجسيمات الأوروبية (CERN) على الحدود السويسرية وفرنسا .

تميزت المسرعات بتطورات بالغة الأهمية في الآونة الأخيرة من ناحية الحجم والقوة تفعيل للبحث العلمي، والمساهمة الكبيرة في الإبداع التقني والتطوير التكنولوجي من جانب آخر، ونظراً لامتيازها الكبير التي تحظى بها المسرعات في الكشف عن الإجابات التي تحل بعض أسرار الكون، اخترنا أن يكون فصل الثاني عن الموضوع مسرعات الجسيمات الذي سنتحدث فيه على شرح مدقق حول مسرعات الجسيمات و فيما تبرز دورها في بحوث الفيزيائية .

II. 2. تعريف المسرعات

مسرّع جسيمات أو معجل الجسيمات [6] هو جهاز يستخدم لتسريع الجسيمات المشحونة كهربائياً باستخدام المجالات الكهربائية، وذلك لرفع طاقتها الحركية وتوجيهها ضمن مسارات موجهة على شكل حزم أو موجات.

يعمل المسرّع بدفع الجسيمات المشحونة مثل الإلكترونات أو البروتونات إلى سرعات عالية جداً قريبة من سرعة الضوء، وينجز فيما بعد إسقاط هذه الجسيمات على هدف أو جسيمات أخرى، فتدور في الاتجاه المعاكس من خلال هذه الاصطدامات، يتمكن علماء الفيزياء من اكتشاف مكونات المادة، وصولاً إلى حدود لا نهائية من الصغر.

بعد ما تصبح الجسيمات نشطة بدرجة كافية تتجلى ظاهرة تتحدى المنطق السليم، تتحول طاقة التصادم إلى مادة، منتجة جسيمات أولية، هذه الظاهرة التي تميز الأشياء متناهية الصغر [6].



الشكل (1. II) معجل الجسيمات.

فيزياء المعجلات [7] فرع من فروع الفيزياء إذ يختص بتصميم وتشغيل مسرعات الجسيمات، ولا تعتبر التجارب التي تجرى داخل المسرعات جزءاً من هذا الفرع، بل تنتمي إلى مجالات أخرى مثل فيزياء الجسيمات، الفيزياء النووية، فيزياء المادة المكثفة أو فيزياء المواد، إضافة ذلك، فإن نوع التجارب التي يمكن إجراؤها في المسرع، يعتمد بشكل أساسي على خصائصه مثل :

1. طاقة الجسيمات لكل جسيم.
2. نمط الحزمة أي توزيع الجسيمات في الشعاع.
3. كثافة الحزمة وشدتها .

4. نوع الحزمة, مثل البروتونات أو الالكترونات.

تقيم هذه الخصائص استنادا إلى ميكانيكا هاملتونية نسبية, هو الإطار النظري المستخدم لمعرفة وفهم حركة الجسيمات المشحونة داخل المسرعات .

- اندرجت فيزياء الطاقة العالية تطورا هائلا في النصف الثاني من القرن العشرين, ويرجع ذلك بشكل أساسي إلى التقدم المذهل في تقنيات تسريع الجسيمات المشحونة, فقد أدت هذه الابتكارات إلى دفع المعدلات الجسيمات إلى طاقات غير مسبقة هذه الحالات تميز الأشياء متناهية الصغر. حسب وصف اينشتاين بعلاقته $E=mc^2$ [6]

إن معجلات الجسيمات هي التي تحدد حاليا حدود الطاقات التي يمكن الوصول إليها عند السطوح العالية: [8]

- **Tevatron, Femilab (USA)** $\sqrt{S}=2\text{ Tev}, p p^-$
- **LEP200,CERN** $\sqrt{S}=209\text{ Gev}, \bar{e}e^+$
- **HERA, DESY (Allemagne)** $\sqrt{S}=333\text{ Gev}, e(30\text{ Gev}) p(920)$

حيث $\sqrt{S}$ هي الطاقة الكلية المتاحة في مركز كتلة التصادمات

تعتمد طاقة المتاحة في التصادمات على مركز الكتلة مما يجعل التصادمات عند الطاقات العالية أكثر كفاءة في الكشف عن فيزياء الجسيمات. وباستخدام معادلات دقيقة يمكن حساب قوة الحزم وتسارع داخل الجسيمات, مما يتيح تحقيق تصادمات قوية تكشف عن أسرار جديدة في عالم الفيزياء الأساسية. لتفسير مفهوم الطاقة العالية بطريقة أكثر دقة يمكننا حساب حزمة عند نقاط التصادم في **LEP200** (الطاقة الناتجة عن مسرع الجسيمات).

معدل انتقال الطاقة في حزمة جسيمات مشحونة بالطاقة حركية E وشحنته e مع إنتاج تيار متوسط I كليا تعطى بالعلاقة :

$$P (MW) = E (GeV) \times I (mA) \quad (1. II)$$

نقوم بالمقارنة الطاقة الناتجة عن مسرع الجسيمات LEP200 مع الطاقة الكهربائية التي تنتجها محطة طاقوية نووية فنجد الطاقة الناتجة :

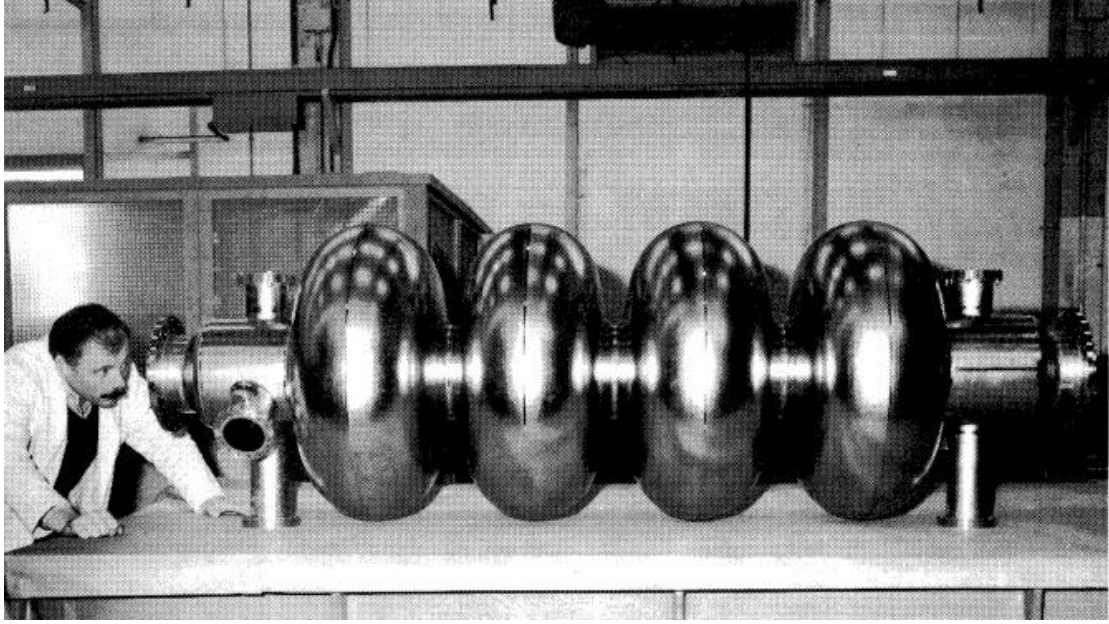
أولا يتم حساب الطاقة المستهلكة أو المنتجة وفقا معادلة:

$$LEP200 = 209 \times 6 \times 6 = 1254 \text{ ميجاوات } (MW) \quad (2. II)$$

هذه الطاقة تعادل تقريبا الطاقة الكهربائية التي تنتجها محطة نووية.

ثانيا يتم الاستهلاك الفعلي للطاقة, لأن مسرع لا يستخدم سوى جزء ضئيل منها رغم ضخامة هذه الطاقة, ومعظم الطاقة تستهلك عبر تصادمات الالكترونات البوزيترونات (e^-, e^+) . (ملاحظة: مقدار الطاقة اللازمة لتشغيل المسرع LEP200 نقارنها بمحطة نووية لأن تركيز على أن معظم هذه الطاقة تضيع أثناء التشغيل ولا تستخدم بالكامل في التصادمات الفيزياء المطلوبة للتجارب العلمية).

إن اهتمام العلماء في فهم هذه العمليات أمر بالغ الأهمية, إذ يسهم في تطوير المسرعات المستقبلية التي ستدفع حدود المعرفة العلمية إلى أفاق جديدة مما يمهد لاكتشافات قد تحدث ثورة في فهمنا لبنية الكون على أعمق مستويات.



الشكل (2. II) مسرع LEP200.

3. II . مبادئ أساسية

1. 3. II . معادلات ماكسويل

يصعب علينا التنبؤ أو التحكم في حركة الجسيمات المشحونة، إلا من خلال المجالات الكهربائية والمغناطيسية. وتعد ديناميكيات الحزمة ناتجة عن هذا التفاعل، فيمكن استخدام صياغة المجالات الكهرومغناطيسية بدقة للتنبؤ بسلوك الجسيمات المشحونة [9]، من خلال وصف التفاعل العام للمجالات الناشئة عن التيارات الكهربائية داخل أجهزة معينة، مع تحكم في حركة الجسيمات الحرة المشحونة وتوجيهها بدقة والحفاظ على تركيزها ولتحقيق ذلك نعتمد على

كثافة التدفق كبدائية لمعادلات ماكسويل

معادلات ماكسويل :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3. II)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0, \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \rho \vec{v} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4. II)$$

ρ : تمثل كثافة الشحنة المصدرية

$\vec{v}$: هي سرعة الشحنة المصدرية

$\vec{E}$ و $\vec{B}$: هي المجالات الكهربائية والمغناطيسية الخارجية

و:

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi 9 \times 10^9} \text{ F/m}$$

II. 3. 2. قوى لورنتز

تهتم الديناميكا الحركية بدراسة حركة الأجسام في أنظمة ذات طاقات متنوعة، حيث تتراوح القيم النسبية من الصغيرة إلى الكبيرة، وعند وصول القيم العالية، تصبح معادلات الحركة أكثر تعقيدا، مما يجعل الميكانيكا النسبية عنصرا أساسيا في تفسيرها وتحليلها لذا يتم اشتقاق بعض العلاقات الأساسية التي تحكم ميكانيكا الأجسام النسبية، وفيها نتطرق إلى مجموعة من الاستنتاجات الأكثر تفصيلا، ففي فيزياء النسبية الخاصة، توفر لنا الدراسات المتاحة تعبيراً دقيقاً عن ديناميكا الإشعاع في بيئة معملية باستخدام إحداثيات ثابتة ومع ذلك، فإن بعض المسائل المعقدة تتطلب مناقشة وفقاً لنظام الإحداثيات المتحرك المرتبط بالأجسام، لذلك يتم الانتقال بين النظامين عبر

تحويلات لورينتز، وتعتبر هذه القوة أساس تسريع وتوجيه حزمة من الجسيمات وبالنسبة للشحنة q ذات السرعة $\vec{v}$ في مجال كهرومغناطيسي يعبر عنها بالصيغة :

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad (5. II)$$

II. 4. المكونات الرئيسية لمسرعات الجسيمات

يتم تفعيل مسرعات الجسيمات بشكل تدريجي وعلى مراحل متتابعة :

II. 4. 1. مصدر الجسيمات والمسرّع الرئيسي

تتكون مسرعات من وحدتين أساسيتين، يشمل مصدر الجسيمات جميع المكونات لتوليد حزمة الجسيمات المطلوبة، تعتمد هذه الطريقة على آليات تفريغ متطورة (أعمدة التفريغ المتوهج) لإنتاج حزم من البروتونات أو الأيونات، فتتأ عملية تسريع الجسيمات في مسرعات الكهروستاتيكية مثل معجل فان دي غراف **Van de Graaf** أو معجل كوكوفت – والتون **Cocowoft** **Walton** ثم في معجل خطي من نوع ألفايز **Alvarez** سنذكره لاحقاً، ثم يتم توجيه الأيونات المشحونة إلى المسرع الرئيسي عبر أنظمة متطورة لضبط الطاقة والمسار

II. 4. 2. نظام تسريع الجسيمات

بعد الخطوة الأولى، تخضع الجسيمات لعمليات نزع الإلكترونات إضافية عن طريق رقائق معدنية رقيقة مما يسمح بزيادة شحنتها (تجريد المزيد من الإلكترونات من الأيونات)، ويتم تسريع الحزمة عبر مراحل متعددة حيث تستخدم أكثر من مرحلة تجريد واحدة عند طاقات مختلفة

لوصول إلى الحد الأقصى من التأين للحصول على أقصى قدر من التسارع الأكثر كفاءة [9],
ينجز ذلك من خلال مجال كهروستاتيكي يتبع بخطوات اهتزازية تسرع الجسيمات على مراحل.

II. 3.4. التصادم مع الهدف و توليد و إنتاج البروتونات المضادة

لإنتاج البروتونات المضادة بشكل عام, يتم توجيه شعاع بروتون عالي طاقة إلى هدف من معدن ثقيل, مما يؤدي إلى تفاعلات الهادرونات مع المادة المستهدفة, تولد جسيمات البروتونات المضادة بواسطة أنظمة متخصصة تعمل على تركيزها وتسريعها لتطبيقها في تجارب الفيزياء المتقدمة .

II. 4.4. تأثير الإلكترونات في المسرعات والتحكم في الحزمة ودقة التجارب

يتم توليد الإلكترونات من كاثود سخان (Heated cathode), يسمى كذلك المدفع الحراري (called a thermionic gun) والذي يتم تغطيته على السطح بأكسيد قلوية محددة ذات دالة شغل منخفضة لانبعث الإلكترونات (low work function to emit electrons) عند درجات حرارة محددة علميا وتقنيا [9], وتوجد طريقة أخرى لتوليد عدد كبير من الإلكترونات خلال نبضة زمنية قصيرة, نبضة ليزر قوية موجهة إلى سطح كاثود ضوئي, وتدعى الأنظمة التي يتم فيها إدخال الكاثود مباشرة في حقل الترددات الراديوية (المعجل بمسدسات الترددات الراديوية), بنفس طريقة يتم توليد البوزيترونات e^- والبروتونات المضادة p^- . من خلال توجيه الإلكترونات عالية الطاقة على هدف معدني ثقيل, حيث يتم توليد البوزيترونات عن طريق موجات كهرومغناطيسية وإنتاج زوج من البوزيترونات, بعد ذلك يتم تجميع هذه البوزيترونات مرة أخرى بواسطة حقول مغناطيسية قوية مع تسريعها, ومهما كانت طريقة توليد الجسيمات, عموما لا تمتلك الإطار الزمني المطلوب لزيادة السرعة أو لتنفيذ تطبيق محدد, وعند

موجات الترددات الراديوية يتم تحقيق التسارع الفعال في مدة زمنية قصيرة جدا فقط لكل دورة اهتزازية، وأغلبية الجسيمات قد تختفي ما لم يتم إعدادها بشكل ملائم .

II. 5.4. آلية تنسيق سرعة وتوجيه الجسيمات المشحونة

تتواجد أساليب متنوعة ومتبعة لتسريع الجسيمات المشحونة وتوجيهها يذكر منها :

✓ الضغط على تيار الجسيمات المستمر من مدفع حراري أو عمود تفريغ متوهج إلى نبضة اقصر، لمساعدة جهاز تقطيع أو جهاز تفريغ منقطع ويمكن يكون هذا جهاز تقطيع ميكانيكي أو جهاز مغناطيسي أو مجال ترددات الراديو التي تحرك الجسيمات المستمرة عبر فتحة شق .

✓ في حين خروج المروحية. نلاحظ سلسلة من نبضات التي تسمى حزما لتتم معالجتها بواسطة جهاز ما قبل تجميع. [9]

✓ في هذه المرحلة يتم تسريع الجسيمات المتأخرة للحاق بالجسيمات المبكرة، بسبب سرعة الجسيمات على الطاقة مما يؤدي إلى تقليل تباعدها وزيادة كثافة الشعاع الناتج.

✓ يعمل الانضغاط للجسيمات المضادة بواسطة تعديل سرعة الجسيمات بالتسارع أو التباطؤ إذا كانت الجسيمات غير نسبية فقط، لأنها تنتج جسيمات عالية طاقة ذات البنية الزمنية المناسبة .

✓ إن أشعة الجسيمات المضادة للجسيمات المنبعثة من الهدف لها حجم شعاع كبير وتباعد شعاعي كبير ينتج عنها زيادة في التسارع.

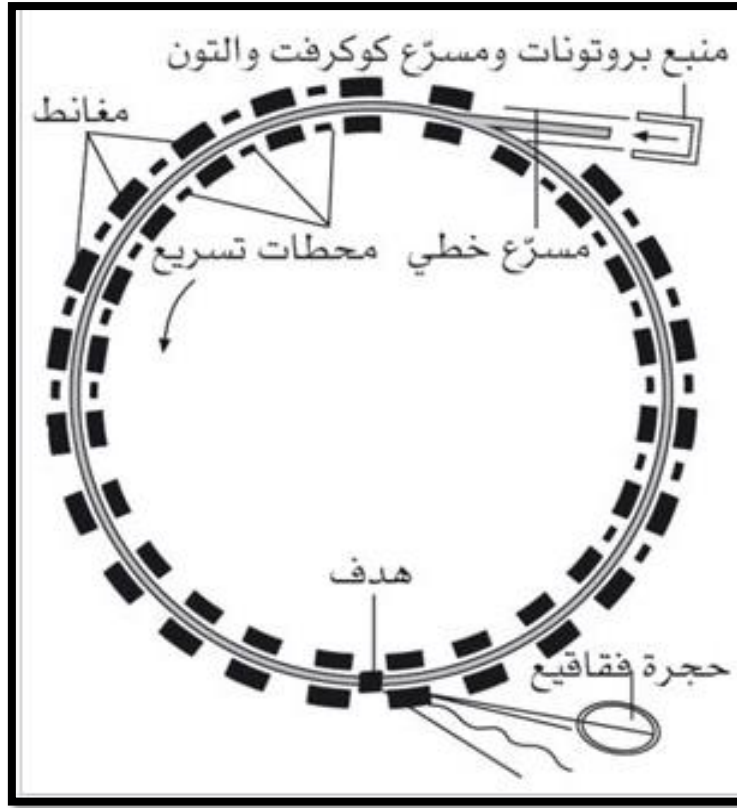
✓ تحقق تبريد الحزم الجسمية لفترات معينة داخل ما يعرف بحلقة تبريد أو حلقة تخزين أو حلقة تخميد، وهذه حلقات التبريد عبارة عن المسرعات على شكل دائري، ولا يسرع

الجسيمات بداخلها وإنما يكمل في ضبط سرعتها وتقليل فقدان الطاقة أثناء الدوران. فالبيزيترونات تفقد جزءا من طاقتها أثناء دورانها في حلقات التبريد بسبب انبعاث إشعاع السنكروتون، وبالتالي تقلل سرعة الحزمة وزيادة تباعد شعاعي الكبير، أما عند البروتونات المضادة فيتم استعمال حزم ضوئية خارجية لتنشيط حجم الحزمة المستهدفة، بعد ذلك تدور في مواجهة حزمة إلكترونات قوية مضادة للدوران تفقد الحركة المستهدفة من خلال التشتت، ولا تنتج الجسيمات المضادة تلقائيا بكميات كبيرة،

✓ عادة ما يكون المعجل الذي يسبق هدف التحويل نابضا بمعدل أعلى بكثير مما يمكن أن يقابله المعجل الرئيسي للحقن، في هذه الحالة يتم تجميع الجسيمات المضادة من حاقن الدوران السريع في حلقة تراكمية، [9] ثم نقلها إلى معجل الرئيسي عند الاستعمال

.

أصبح من السهل زيادة تسريع حزم الجسيمات المستهدفة بهذه الطريقة في معجلات خطية أو دائرية التي سنتطرق عليها في هذا الفصل، التي باتت من آليات متقدمة أثناء العمليات الفيزيائية المختلفة



الشكل (3. II) مسرع بروتون سنكروتون.

5. II . أنظمة لتسريع الجسيمات

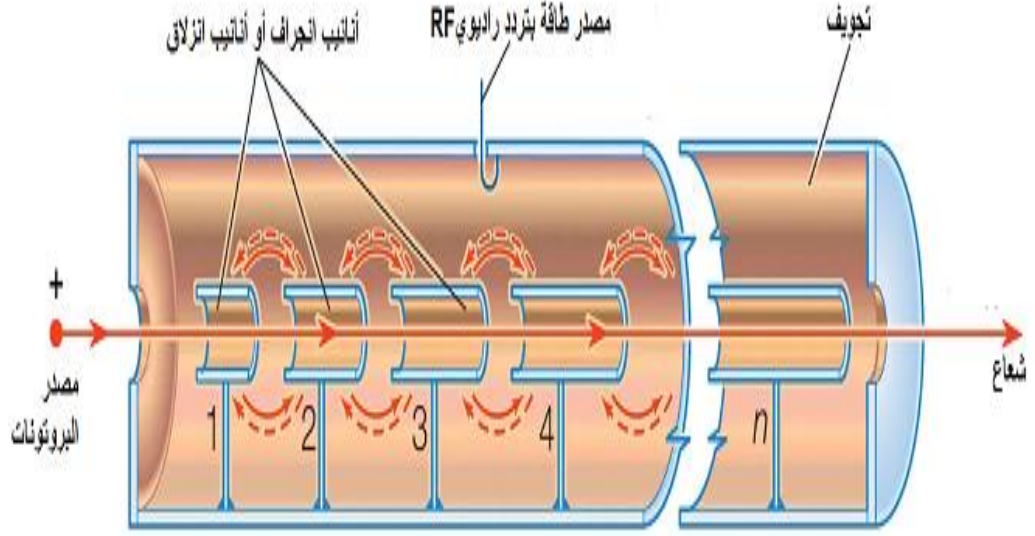
تتبع بخطوات ألا و هي :

✚ مصادر الترددات الراديو إلى معجلات تسريع عالية، [9] في المعجل ألحثي : تتكون كل

وحدة تسريع من محول يولد من محول كهربائي خارجي في المحول الثاني التي يتم تشكيله،

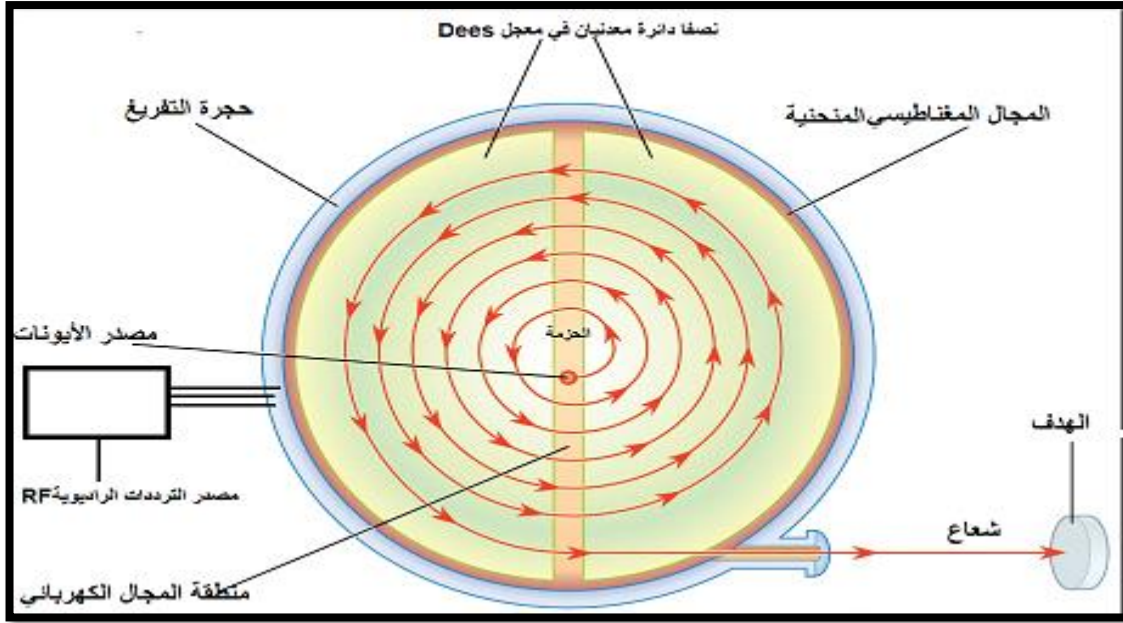
بحيث يسمح بتسريع شعاع الجسيمات .

✚ تبني المعجلات الخطية طويلة جدا ومكلفة بالنسبة لطاقت الحزمة العالية جدا.



الشكل (4. II) يبين مصادر الترددات الراديوية .

لتجنب من هذه المشكلات العلمية، نستعمل معجلات الدائرية وعملها تثبيت الحزمة على مسار دائري في مغناطيسيات منحنية وتكرر باستمرار في كل دورة بواسطة أقسام التسريع، عكس تلك الموجودة في المعجل الخطي، وبهذه الطريقة تكتسب الجسيمات الطاقة من تجاويف التسريع (Accelerating Cavities) في كل دورة، وتصل إلى طاقات أقصى، من جهة أخرى يتم رفع المجالات المغناطيسية في مغناطيسيات الانحناء .



الشكل (5. II) رسم يمثل مسار دائري في مغناطيسات منحنية عند معجل دائري.

تتشابه خصائص الجسيمات الأساسية لتسريع من مختلف الأنواع ولا نحتاج إلى تمييز بين

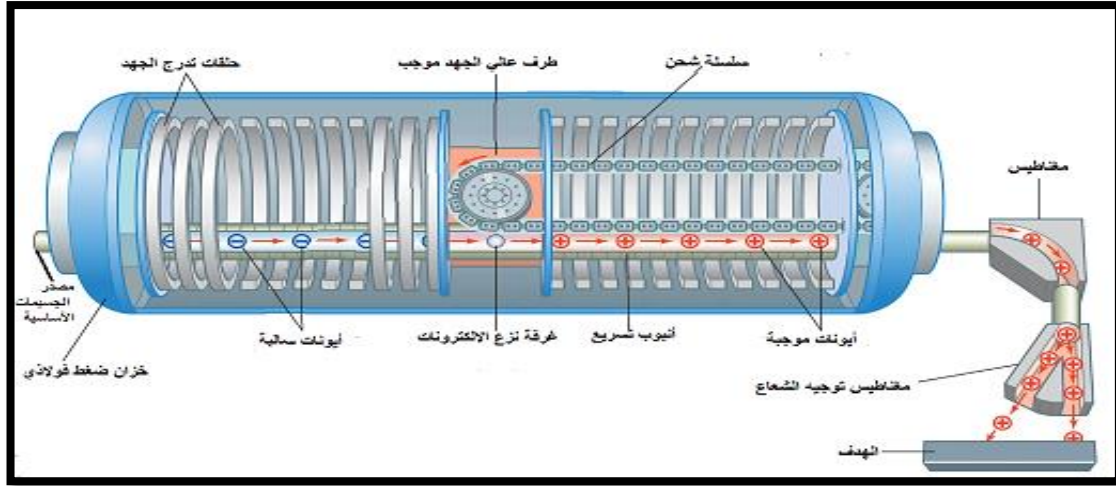
البروتونات والأيونات والإلكترونات من المنظور الفني .

تتكيف مكونات المعجل الفردية بأساليب مختلفة وفقا للمعلومات الحزمة الخاصة، التي ترتبط

غالبا بسرعات الجسيمات، أما الجسيمات شديدة النسبية تتلاشى الاختلافات في ديناميكيات

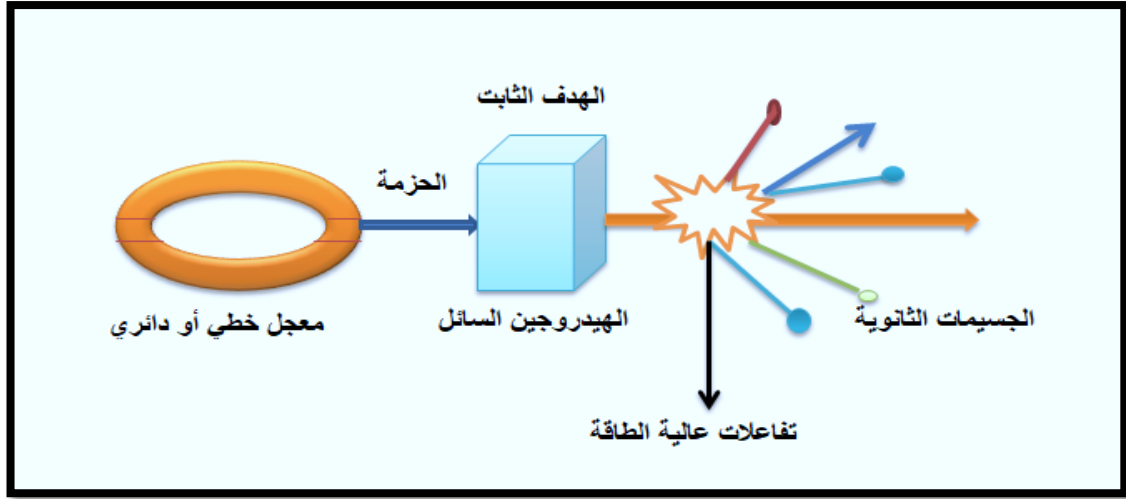
الحزمة مثل البروتونات والايونات حيث تتفاوت سرعتها مع الزيادة الطاقة الحركية، ينتج ذلك

مشاكل التزامن مع حزم الحزمة المتسارعة المتهتزة، التي يجب حلها بالطرق التقنية .



الشكل (II. 6) مكونات مسرع الجسيمات.

في حين التسارع الخطي أو الدائري يتم توجيه الشعاع إلى الهدف، وغالبا هدف يكون من الهيدروجين السائل. لدراسة التفاعلات عالية الطاقة مع البروتونات المستهدفة. وقد أجرت تجارب الهدف الثابت في فيزياء الجسيمات النووية والجسيمات عالية طاقة منذ التطبيقات الأولى لحزم الجسيمات المعجلة اصطناعيا حتى السبعينات، ومزالت هذه وسيلة لها قيمة عند الأبحاث الأساسية. وتعتبر طريقة بالاقتران الهدف معدني ثقيل لإنتاج جسيمات مثل الأجسام المضادة لاستخدامها في مرافق الحزمة المتصادمة كذلك الميزونات لزيادة طاقة الكتلة للأغراض البحوث الأساسية .



الشكل (7. II) تجربة تصادم بهدف ثابت في فيزياء الجسيمات.

لا يتم توجيه حزم الجسيمات إلى أهداف محددة، بل تصطدم وجها لوجه مع حزمة أخرى،

ويعد هذا من أحد الأهداف الأساسية لإنشاء منشآت التصادم الحزم وحلقات التخزين.

عند حلقات التخزين يتم حقن حزم الجسيمات المضادة للجسيمات في اتجاهات مختلفة، ومع

حقنها في مناطق تفاعل مخصص لها فقط، بسبب التفاعلات بين الجسيمات المضادة

للدوران تكون نادرة جدا، وصممت حلقات التخزين للسماح للحزم بالدوران لعدة دورات مع

حقب حياة الحزمة لعدة ساعات وسمح الجسيمات بفرصة كافية للتصادم جسيمات أخرى

مضادة للدوران. ولا ننسى فان الحزم تدور عكسيا في نفس المجالات المغناطيسية. ويستلزم

استعمال حلقتين تخزين متقاطعتين للسماح بتصادم الجسيمات غير المتساوية.

تنبعث من الحزمة الدوران في حلقة تخزين الإلكترونات إشعاع سنكر وتروني بسبب التسارع

العرضي خلال عملية التفكيك في مغناطيسيات الانحناء، إشعاعه يكون موازنا للغاية في

الاتجاه الأمامي، هذا الشعاع سنكر وتروني عبارة عن سطوع عال، لذلك يعتبره ذو أهمية

كبيرة في الأبحاث الأساسية والتطبيقية والتكنولوجية والطب...الخ. سنتكلم في هذا المجال في الفصل الموالي .

✚ إن تصميم حلقة التخزين هو نفس تصميم حلقة التخزين الخاصة بالسنكروتروني حيث يسمح ببعض التعديل والتنفيذ التقني, لتحسين خصائص المطلوبة من التسارع وإبقاء الحزمة إلى مدى طويل مع شدة الإشعاع .

II . 6. إشعاع السنكروتون والسيكلوترون

اكتشفت أشعة السنكروتونية عند بناء أول جهاز سنكروتوني عام 1946, وهو إشعاع كهرومغناطيسي ينشأ عند تعجيل أو تسريع الجسيمات المشحونة إلى سرعات قريبة من السرعة الضوء, وتكون تحت تأثير مجال مغناطيسي شديد [10], ويحدث ذلك علميا في معجلات الالكترونات, والتي يحافظ فيها على سرعة الإلكترون ودورانه في حلقة ذات قطر محدد (تتعرض الجسيمات المشحونة لتسارع قطري), بمعنى تطبق تسارعها عموديا على سرعتها ($a_{\perp}$). وهناك إشعاع آخر يدعى بالسكلوتروني , نوضح معلومات كالتالي :

✓ يتحقق الإشعاع السنكروتوني عندما تتحرك الالكترونات أو الجسيمات المشحونة الأخرى بسرعات عالية ضمن مسارات منحنية داخل مجالات مغناطيسية قوية, كما هو الحال في الحلقات التخزينية أو المعجلات الدائرية, يؤدي انحناء مسار الجسيم الى تسارعه عرضيا, مما ينتج عنه اشعاع كهرومغناطيسي ناتج عن هذا التسارع . ويعرف بالإشعاع السنكروتوني, ينتشر الاشعاع السنكروتوني على كامل الطيف الكهرومغناطيسي. سنكروتوني هو سبب الضوضاء والتشويش الراديوي الذي يصدره عند معظم المنابع الراديوية في الكون .

✓ أما إشعاع سيكلوتروني في الجسيمات النسبية, وأحيانا تدعى باسم فائق النسبائية , تنشأ في معجل الإلكترونات , وتكون حركة جسيمات المشحونة على هيئة دائرية ولولبية بفعل المجال المغناطيسي المؤثر عليه , مع علم الإلكترون لا يتحرك في الجهاز حركة مستقيمة, فهو يدور فيه, فظاهرة إصدار الأشعة السيكلوترونية هي خاصية لجميع الجسيمات الأساسية ذات الشحنة الكهربائية سواء كانت شحنتها سالبة أو موجبة مثل البروتون وجسيمات ألفا.

[10]

II. 7. الأجزاء الأساسية لمسرع السنكروترون

السنكروترون (Synchrotron) جهاز دائري الشكل لتسريع الجسيمات ويتكون من:

1. حاقن الجسيمات

تتولد الجسيمات التي يراد تسريعها كالإلكترونات أو بروتونات أو أيونات أو الذرات ثقيلة,

وتعطى سرعة ابتدائية عالية عن طريق مسرع خطي. [11]

2. حجرة مفرغة من الهواء

تأخذ على شكل أنبوب دائري نصف قطره كبير قد يصل أحيانا عند البروتونات إلى مئات

الأمطار.

3. مغناط كهربائية

لتوليد حقل مغناطيسي B عمودي على مسار الجسيمات مما يجعلها ترسم مساراً دائرياً

يرتبط نصف قطره R بشحنة الجسيم $|e|$ وسرعته v وكتلته m . [11] بالعلاقة التالية:

$$R = \frac{mv}{|e|B} \quad (6. II)$$

وهذه العلاقة تنشأ في توازن جداء كتلة جسيم m بتسارعه المركزي $\frac{v^3}{R}$ مع القوة ذات

المنشأ المغناطيسي $B|e|v$.

• عند رسم المسار الدائري الذي طوله $2\pi R$, بالسرعة v ويتم من خلال زمن T مستقل

وسرعة الجسيم ومنه تصبح :

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|e|B} \quad (7. II)$$

وهذا أمر مهم في تصميم مسرع السنكروتون, لأن سرعات الجسيمات تقترب من سرعة الضوء,

وإن حدث ذلك فيجب اخذ تغير الكتلة بتغير السرعة وفقا لقوانين النظرية النسبية, التي تنص على

أن كتلة جسيم السكونية m_0 عند السرعة v بالعلاقة :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8. II)$$

حيث تمثل c سرعة الضوء في خلاء

4. واسطة تركيز

وهي حقل مغناطيسي B عمودي على مسار, ويلاحظ في ضوء العلاقتين (7. II)

و(8. II) على أن زيادة v تؤدي إلى زيادة m , ولكي يبقى نصف قطر مسار الجسيمات

ثابت, فلا بد من زيادة B بازدياد السرعة, وهكذا يضبط المسار الجسيمات على مسار دائري

ذي نصف قطر ثابت علميا. [11]

5. محطات تسريع للجسيمات

حيث يوجد على مسار أكثر من محطة, تكتسب الجسيمات التي تمر فيها سرعة إضافية $|e|E$, وبفضل القوة التي تخضع لها, مع اعتبار الحقول الكهربائية المستخدمة E تكون متناوبة, وينبغي اختيار التردد بحيث يتوافق وصول الجسيم إليها, وهي في الاتجاه المناسب لتسريعه أي متزامنا مع وصوله. [11]

6. واسطة إخراج

تكون على شكل صفيحة يطبق عليها جهد كهربائي مناسب, يجذب الجسيمات ويقذفها خارج المسرع, وقد يستخدم حقل مغناطيسي ملائم لهذه العملية.

تصدر الشحنات الكهربائية عند تسريعها إشعاعا كهرومغناطيسية, كذلك عند اقتراب إلكترون من نواة ذرة, ويسمى الإشعاع عندها إشعاع الكبح أو برمشترالنج [11], وهو ما يحدث أيضا في هوائيات الإرسال الإذاعي والتلفزيوني. في حين الإشعاع الصادر جراء تسريع الجسيمات في مسار دائري فيسمى بالإشعاع السنكروتروني (**synchrotron radiation**) وهو إشعاع ينبغي التعامل معه بحذر [11], لذلك تبنى المسرعات تحت الأرض لحماية العاملين من أخطاره .

يعد الإشعاع السنكروتروني غير مرغوب فيه في المسرعات لأنه يسبب فقداناً في الطاقة التي تكتسبها الجسيمات, ويمكن تقليل هذا الفقد من خلال زيادة نصف قطر المسرع R بحيث يصبح التسارع الطارد $\frac{v^2}{R}$ صغيراً .

يذكر أن ضياع الطاقة بالإشعاع ΔW يتناسب طردياً مع القوة الرابعة للطاقة التي يصل إليها الجسيم, ويتم التعبير عنه عند تسريع الإلكترونات في مسار R تعطى بالعلاقة :

$$\Delta W = 8.85 \times 10^4 \frac{W^4}{R} \quad (9. II)$$

حيث تقدر W بال Gev و R بالأمتار.

و من مميزات استخدامه كذلك:

- ❖ توليد الجسيمات الأساسية كالميزونات .
- ❖ استخدام جسيمات عالية الطاقة سلوكها, سلوك لدراسة بنية الجسيمات الأخرى.
- ❖ تستخدم لإنتاج نظائر مشعة ذات عمر نصف قصير مفيد في التطبيقات الطبية والتشخيصية والعلاجية إضافة إلى التطبيقات الصناعية كتشجيع الأغذية والمواد البوليميرية لاكتسابها صفات فيزيائية جديدة ونافعة .
- ❖ الإشعاع السنكروتوني مصدر ممتاز للأمواج الكهرومغناطيسية فهو منبع لأشعة السينية خال من الذرى, ولا يحتاج إلى تجميع, إذ أن إشعاعاته متوازية فيما بينها وهذا ما يجعله مختلفا عن الإشعاع المنبعث من أنابيب توليد الأشعة السينية التقليدية إذ تنتشر الحزمة ابتداء من نقطة توليدها في المصعد, ويتميز إشعاع هذه أنابيب بقم طيفية تعتمد على مادة المصعد.

II. 8. أنواع مسرعات لجسيمات

ويوجد نوعين و هما:

II. 8. 1. المسرعات المستقيمة أو الخطية (Straight or linear

(accelerators

المسرّع الخطي يسمى باسم ليناك **Linac** وفيه يتم تعجيل الجسيمات المشحونة مثل الالكترونات والبروتونات على مراحل بواسطة فرق جهد متناوب كما في السينكلترون. ولكن الفرق أن مسار الجسيمات المشحونة يكون هنا في خط مستقيم حيث لا تحتاج إلى المغناطيس الباهظ التكلفة والذي بواسطته نستطيع تسريع الجسيمات في مدار دائري محدود القطر. حيث يوجد أطول مسرع خطي في العالم بطول (3 كيلومتر)، ويتواجد في مركز المعجل الخطي ستانفورد **SLAC** كما موضح في الصورة .



الشكل (II. 8) مركز المعجل الخطي SLAC

مسرعات الجسيمات

يتألف المسرع الخطي من مجموعة من الالكترودات الاسطوانية المتتالية، والتي ترتبط ببعضها بواسطة جهد متناوب .

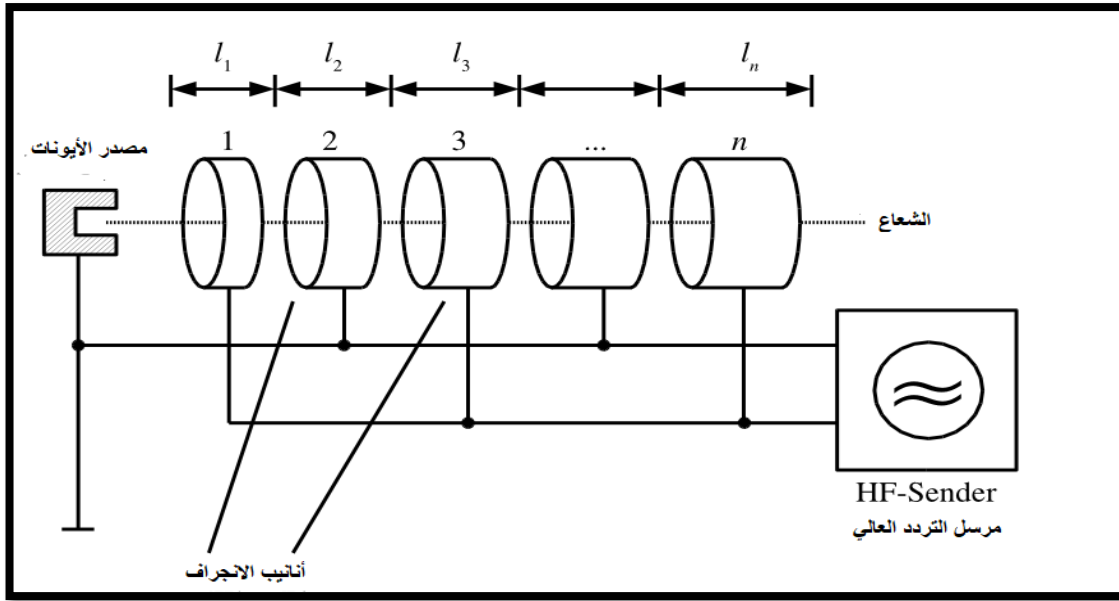
تكتسب الجسيمات المسرعة طاقتها خلال انجذابها المتتالي لإلكترودات نتيجة فرق الجهد المطبق عليها، وفي داخل الاسطوانة تندفع الجسيمات تحت تأثير قوة الجذب الالكتروستاتيكي خلال فترة من الزمن تساوي نصف الزمن الدوري لفرق جهد متناوب حين أن تتغير قطبية الاسطوانية التي تليها. [12]

تعتمد آلية عمل المسرع الخطي على تحقيق التوافق بين الزيادة في سرعة الجسيم المشحون أثناء مروره بين الاسطوانات والمجال الكهربائي المتردد المطبق عليها، مما يضمن اكتسابه للطاقة بشكل منتظم ومتتابع، ولتحقيق هذا التزامن بدقة، يتم تصميم الاسطوانات بحيث تتناسب أبعادها مع السرعة المتزايدة للجسيمات بعد كل مرحلة من مراحل التسريع، فإن كان نصف الزمن الدوري للجهد المطبق هو $t/2$ فإن طول الاسطوانة رقم n يعطى بالمعادلة :

$$= \frac{Vnt}{2} Ln \quad (10. II)$$

والطاقة الحركة المكتسبة بعد مرورها من الاسطوانة رقم n يعطى بالعلاقة :

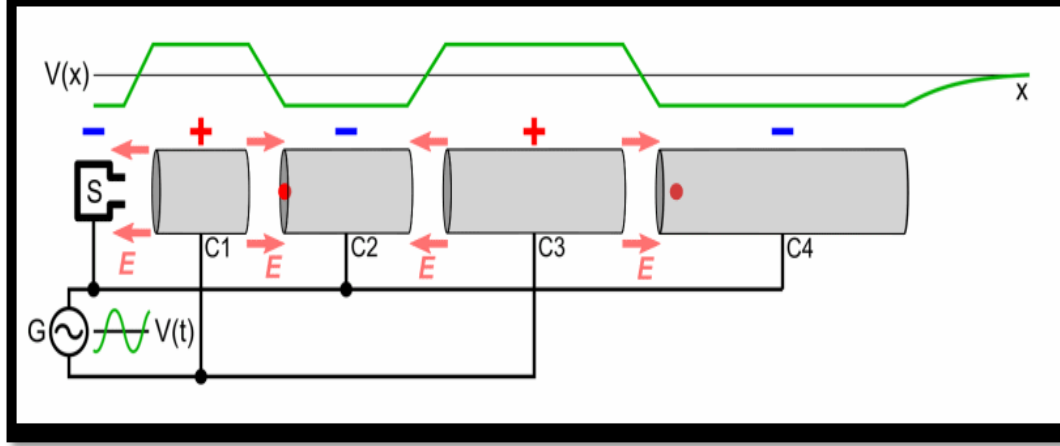
$$2m v n = \frac{1}{2} n e \quad (11. II)$$



الشكل (9. II) يوضح بناء المسرع الخطي.

حيث ينجذب الجسيم المشحون إلى قطب إلى آخر على التوالي فتزداد سرعة الجسيم (من اليسار إلى اليمين). وعند مغادرة الجسيمات المسرعة للأنبوب الاسطوانى فإنها تخضع لتأثير مجال كهربائي، وعلى سبيل المثال: المسرع الخطي هو المسرع الموجود في جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة الأمريكية، الذي انشأ عام 1967، سعياً لفهم فيزياء الجسيمات الأساسية (الطاقة العالية)، فهذا المسرع يمنح الالكترونات المسرعة طاقة تبلغ إلى 1.2 جيجا إلكترون فولت (أي 1.2 مليار إلكترون فولت)، وقد تم تنفيذ تجارب باستخدام هذا المسرع لاستكشاف تشتت الالكترونات ذات السرعات العالية، بغرض تحديد نصف قطر النواة، ويعد هذا المسرع احد أنواع المسرعات المصممة لزيادة سرعة الجسيمات الذرية وتحت الذرية (دون ذرية) من خلال التحكم في حركتها المدروسة وفق نمط منهجي لتحقيق تجارب علمية معينة، وتم ابتكار جهاز المسرعات الخطية على يد ليو زيلارد (Leo Szilard) عام 1928م ثم قام رولف ايدرو (Rolf Aidro) من بعده بتطوير تقنية المسرعات الخطية، فنقوم هذه التقنية بإنتاج أشعة سينية

ذات طاقة عالية، وتوظف في المجالات الطبية للعلاج، فضلا عن تسريع الجسيمات الصغيرة (الإلكترونات، البروتونات).



الشكل (10. II) جهاز يقوم بتسريع الجسيمات عبر الاسطوانات.

تمر الشحنات الموجبة (أحمر) بين الثقوب الاسطوانات التسريع، بحيث يتم تسريع إلى الإمام، وتمثل الأسهم الحمراء اتجاه المجال الكهربائي الذي تتبعه الشحنات.

ابتكر جهاز المسرعات الخطية، الذي يركب فيه مصدر للجسيمات يتغير حسب نوع الجسيمات المراد تسريعها، بالإضافة إلى وحدة مخصصة لتوليد الجهد العالي، ومن مكوناته، غرفة جوفاء تحتوي الأنابيب المفرغة، ويتغير طول الغرفة باختلاف الهدف من المسرعة وعند الأهداف الطبية غالباً ما يتراوح الطول بين 0.7 متر إلى 1.5 متر. أما بالنسبة للاستخدامات النووية فقد يصل إلى عشرات الأمتار، وتتوزع داخل هذه الغرفة أقطاب اسطوانية ذات عزل كهربائية (معزولة كهربائية)، وتختلف أطوالها على امتداد الغرفة، وتحدد أطوال هذه الاسطوانات بواسطة طاقة الدافعة حيث مع الاسطوانة تالية، تزداد الطاقة المطبقة، مما يستلزم زيادة في الطول. وقد تبرز الحاجة استعمال مصدر طاقة ذات ترددات راديوية لإنتاج مصدر طاقة لكل اسطوانة (لحصول

على أكبر طاقة ممكنة) لأننا نحتاج المسرعات ذوات الطاقة العالية لتسهيل تسريع الجسيمات المشحونة بكثرة وبالطاقة التي نحتاجها في عمل التجربة, فعلى سبيل المثال يوجد مبردات بالرش المائي على التتغستن في حالة استخدام الجهاز المسرع الخطي في مجال توليد الأشعة السينية, أما في حالة استخدامه في غرض آخر فيوجد مبردات بطرق مختلفة, لأن لكل نوع مسرع وظيفة خاصة به .

II. 1. 1. 8. تقنيات تسريع المسرعات خطية

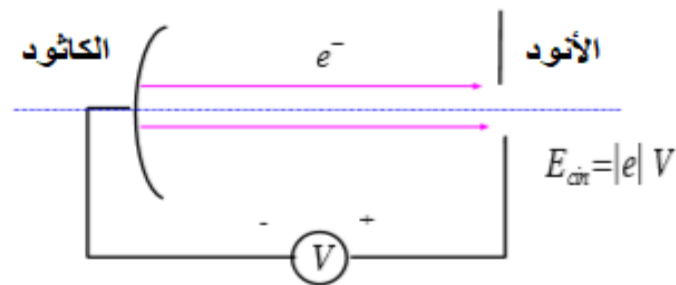
توجد عدة تقنيات من بينهم

1. مسرع الكهروستاتيكي

يسلط جهد كهربائي ساكن عال بين قطبين كهربائيين مما ينتج عنه مجال كهربائي ساكن

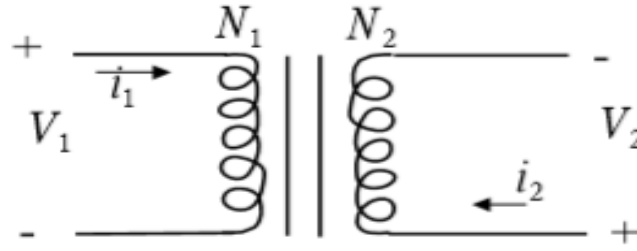
[13] ويوضح الرسم البياني التالي أبسط آلة من هذا النوع يمكن تخيلها فكرة في مسدس

الالكترونات في أنبوب أشعة الكاثود. [10]



كما يتم استعمال مولد جهد مرتفع بين الأنود و الكاثود, وقد يكون مولد الجهد العالي هذا محولا

مقوما كما موضح شكل أدناه :



$$\begin{cases} V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 \\ N_1 i_1 = N_2 i_2 \\ V_1 i_1 = V_2 i_2 \end{cases}$$

وعندما يفوق جهد فوق 100KV (في مرحلة ثانوية) يتعذر هذا التكوين بسبب مشاكل العزل الكهربائي وحجم القلب الحديدي للمحول فيصبح مفرطاً.

- تستخدم مضاعفات الجهد (مزيج متتالي من المكثفات والمعادلات) من نوع

(Geinacher or Cockcroft), بهدف الحصول إلى جهد عال بخصائص مماثلة

لآلات الكهروستاتيكية البحثية (Tanderon®, Singleton® في HAVEE)

الطاقة التي تكتسبها الجسيمات تساوي (eV) وطاقة الكهربائية الناتجة من طرف

الشحنة في فرق الجهد بين المصدر إنتاجها ومكان استخراجها.

- المجهر الإلكتروني ينصف كأحد ابرز معجل كهروستاتيكي الموثوق, يحقق تسارعا في

نطاق اقل من مئات من (KV), أطوال الموجية تتناسب مع الأبعاد الخلايا و

الفيروسات والبلورات الدقيقة وأكبر الجزيئات .

- أشد وأكثر المولدات الكهروستاتيكية النموذجية هو مولد فان دي

غراف (Van de Graff) , فرق الجهد هو بضع (MV) ميغا فولت للمسرعات

الترادفي من نوع ($\text{Vivitron}^{\circledR}$, $\text{Ladderton}^{\circledR}$, $\text{Pelletton}^{\circledR}$), لزيادة الطاقة عند جهد ثابت. ونظرا لتعقيد إنتاج أيونات متعددة الشحنات يتاح لنا وسيلة وحيدة وهي زيادة في الشحنة الكهربائية لأن استخدام الأيونات بعدة شحنات معقد لا يصح في أقطاب كهربائية بجهد عال.

- وفي عام 1958 عرض المعجل الكهروستاتيكي حل لهذه المشكلة, حيث يتم تسريع الأيونات السالبة e^- التي ينتجها المصدر إلى منتصف الأنبوب الجهد V^+ و تمر الأيونات عبر منطقة خالية من الإلكترونات ثم عبر كمية صغيرة من المادة (جزء صغير من غاز أو صفيحة رقيقة من المعدن أو الكربون), فيتم تسريع الأيونات الموجبة المتكونة على هذا النحو بواسطة الجهد V , بعد ذلك تكون الطاقة النهائية $(n+1)ev$, إذا كان n هو عدد الشحنات في الأيون الموجب النهائي يعبر عن الشحنة الناتجة بعد فقدان الإلكترونات, يصبح مصدر الأيون والهدف إما في الكتلة أو الأرض, وبالنسبة للبروتونات (بدءا من مصدر أيون H^-) حيث تكون الطاقة النهائية للآلة التقليدية (مع مصدر بروتون). يمكن تصل أثقل الأيونات إلى طاقات نهائية حوالي 7مئات من MeV. الخلل الرئيسي هو أنه من الصعب إنتاج أيونات السالبة (مع وجود فائض من الإلكترونات) أكثر من الأيونات الموجبة (مع نقص الإلكترونات), في هذه مرحلة عند نوع من الآلات يترتب إنتاج الجهد العالي بإجراء خطوات على نحو التالي [13]:

(1) يتم ترسيب الشحنات على حزام عازل في نهاية أنبوب المعجل.

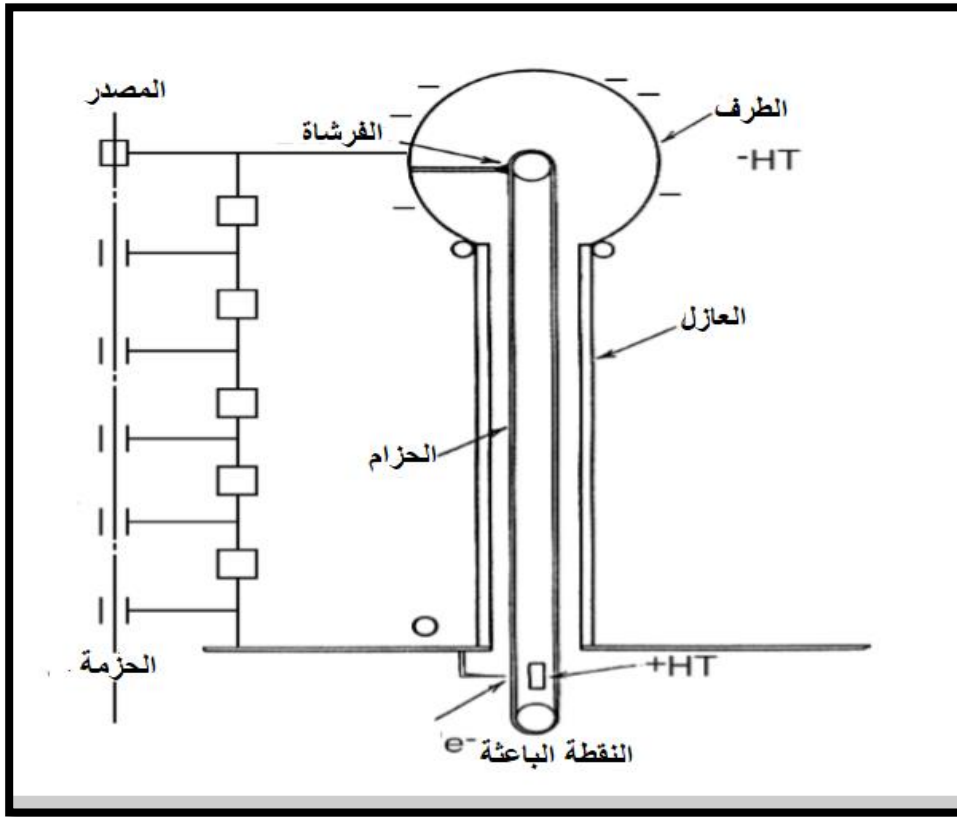
(2) يتم تشغيل الحزام بواسطة محرك (مصدر طاقة).

(3) ثم يتم استرداد الشحنات من الطرف الآخر من المعجل .

4) تعود (التيار) إلى مصدرها من خلال جسر مقاوم ينتج الجهد.

أ- مكونات عمل فان دي غراف (*Van de Graaff*)

حزام عازل يوضح بين طريق الباعث ومسمار عند جهد أعلى من جهد الانهيار، يحمل الإلكترونات إلى طرف، حيث يتم تجميعها بواسطة فرشاة خاصة، فيوضح الطرف إلى نهاية عمود عازل يتيح الوصول إلى جهد كهروستاتيكي عال، بعد ذلك يتم توصيله.



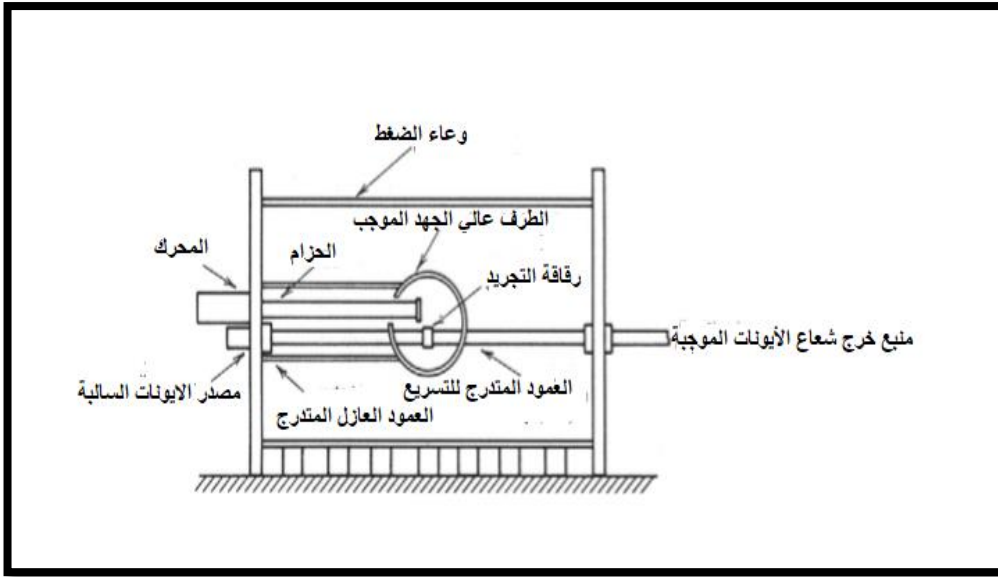
الشكل (11.II) مولد فان دي غراف.



الشكل (12. II) معجل فان دي غراف بقوة $2(MV)$ ميجا فولت يعود تاريخه

1960 وهو مفتوح للصيانة.

كما وجد نوع من المولدات يحقق جهدا كهروستاتيكا يصل إلى $15(MV)$ في ظروف مستقرة, حيث تكون التيارات المتسارعة التي توفرها هذه الآلة مستمرة ويمكن تصل حوالي $10(kA)$ في الوضع الترادفي (Tandem mode) مثال مولد فان دي غراف يتواجد في مختبر Los Alamo وهو اسم المختبر الشهير في الولايات المتحدة الأمريكية حيث يستخدمه الفيزيائيين في تسريع الجسيمات ومضاعفة الطاقة الحركية للجسيمات المتسارعة كما موضح في الرسم البياني البسيط :



الشكل (13.II) جهاز فان دي غراف في مختبر Los Alamo

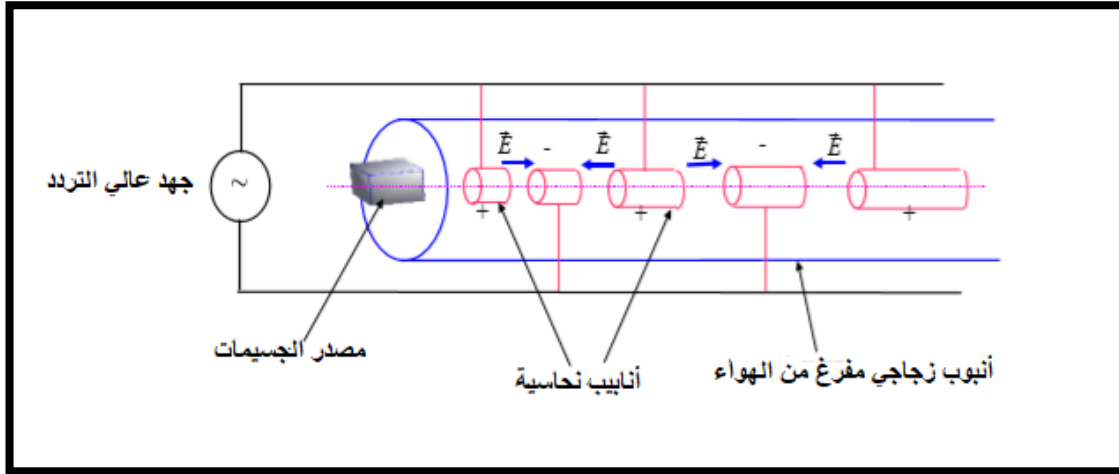
2. المسرعات الخطية ذات ترددات الراديوية :

من نوع **Widerie1928** و **Alavarez1947** تعرف باسم **LINC** (عناصر مرتبة في خط مستقيم) ومن مميزاتهم يكون مسار الجسيمات مستقيماً دائماً ولكل المجال الكهربائي عالي التردد، كذلك تكون المصادر عالية التردد المتناوبة المستخدمة دائماً على شكل كيلسرونات (أنابيب مضخات الموجات الدقيقة) (ملاحظة : يعني مصطلح الكيلسرونات، جهاز إلكتروني يستخدم لتضخيم الموجات الميكروية أو تضخيم الترددات العالية التي تسرع الجسيمات في مجال الفيزياء، تقدر تسريع جسيم واحد حوالي إلكترون فولت (eV) بالنسبة لطاقة)، تتجزئ تسريع الجسيمات في مسرعات الخطية حوالي $60(MW)$ كالأقصى حد، يتم تسريعها في نبضات متعاقبة ومتزامنة بشكل مناسب دون الحاجة إلى عزل فروق جهد المكافئ للطاقة النهائية، من خلال المرور عبر سلسلة من التجاويف، ومع مجال كهربائي متناوب، ويمكن أن تحقق الحزمة طاقة حوالي عدة مئات من ميجا فولت (MeV).

II. 1. 8. 2. حوصلة حول أنواع المسرعات الخطية

1. مسرع خطي Wideröe

كان أول من بنى آلة مسرع هو R. Wideröe عام 1928 م .

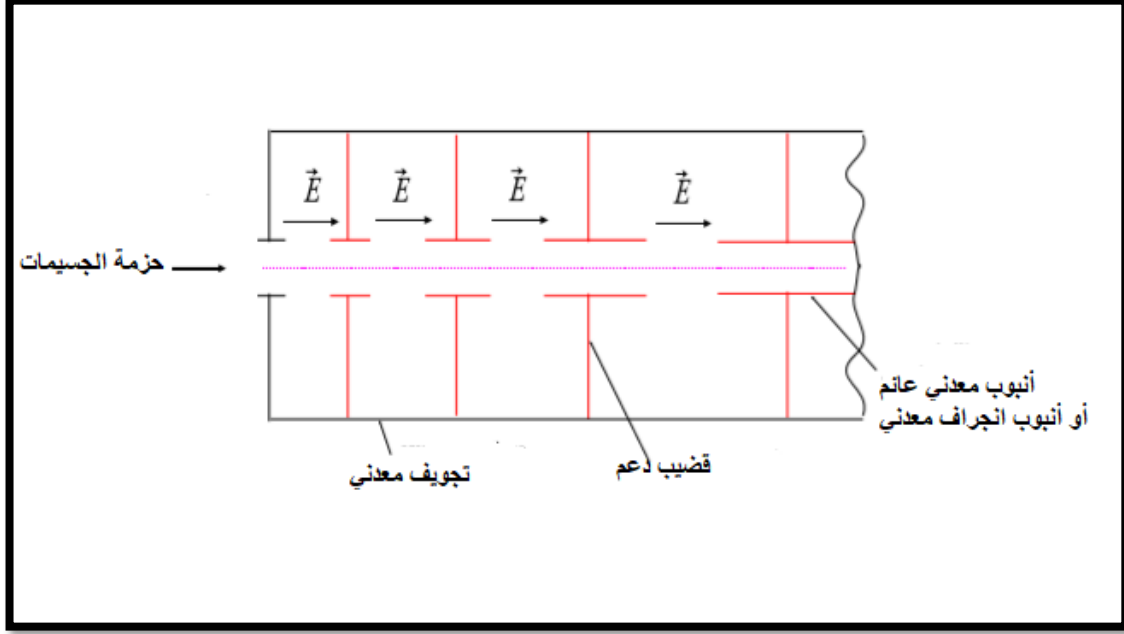


الشكل (II. 14) تمثل الصورة مبدأ عمل مسرع خطي Wideröe.

يزداد طول الأنابيب على طول الآلة مع زيادة سرعة الجسم ,مثل هذه الآلة لتسريع أيونات K^+ إلى $50 (MW)$ وفي عام 1931م قام العلمان **D.sloan** و **E. Lawrence** بتعين مولدا للتردد العالي بقوة $50 (KW)$ بتردد $10(MW)$ وتمكنا من تسريع أيونات Hg^+ إلى $1.26(MeV)$, في أنابيب ذات 30 أنبوب. هذا النوع من المعدات مناسب بشكل أساسي لأيونات منخفضة الطاقة, فلا تزال هذه الآلات تستخدم لحد الآن كمعجلات الأيونات الثقيلة ذات الطاقة الأعلى, أما الأنابيب الفراغ مثل الهوائيات ثنائية القطب تعمل على إشعاع كميات هائلة من الطاقة, ويتضمن الحل في تقليص الأنابيب في تجاويف رنيني مغلق تعكس حذارة الإشعاع.

(2). مسرع خطي d' Alvarez

هو نوع من المسرعات الخطية المصممة لتسريع الايونات الثقيلة ووصول الى طاقات عالية باستخدام نسب محدودة من النسبية .



الشكل (15. II) مبدأ عمل مسرع خطي d' Alvarez عبر مجال كهربائي E متغير.

يعتبر من $\lambda\beta$ لان أطوال الانجراف يجب أن تحقق :

$$L_n = V_n \left(\frac{2\pi}{w} \right) \beta_n \lambda \quad (12. II)$$

حيث : $\beta_n = \frac{V_n}{c}$

V_n : هي سرعة الجسيم عند مدخل الأنبوب n .

λ : هو طول الموجي للتردد العالي.

مسرعات الجسيمات

يمكن أن تحتوي الأنابيب المعدنية على أقطاب رباعية مغناطيسية للتركيز، يتم تشغيل هذه المغنطيسيات عبر قضبان الدعم، كما يمكن تزويد أنابيب الانحراف بتصميم قضبان الدعم، ويهدف هذا التصميم إلى القضاء على الأنماط الطفيلية الخطيرة مثل النمط الكهربائي المستعرض (TE)، وذلك لضمان استقرار المجال الكهربائي E داخل التجويف ومنع فقدان الطاقة أو التشويش على عملية تسريع الجسيمات. [8]

مثال على مسرع خطي $d' Alvarez$: معجل خطي $LAMPF$

كما موضح في جداول (6) :

إعدادات المعجل $LAMPF$

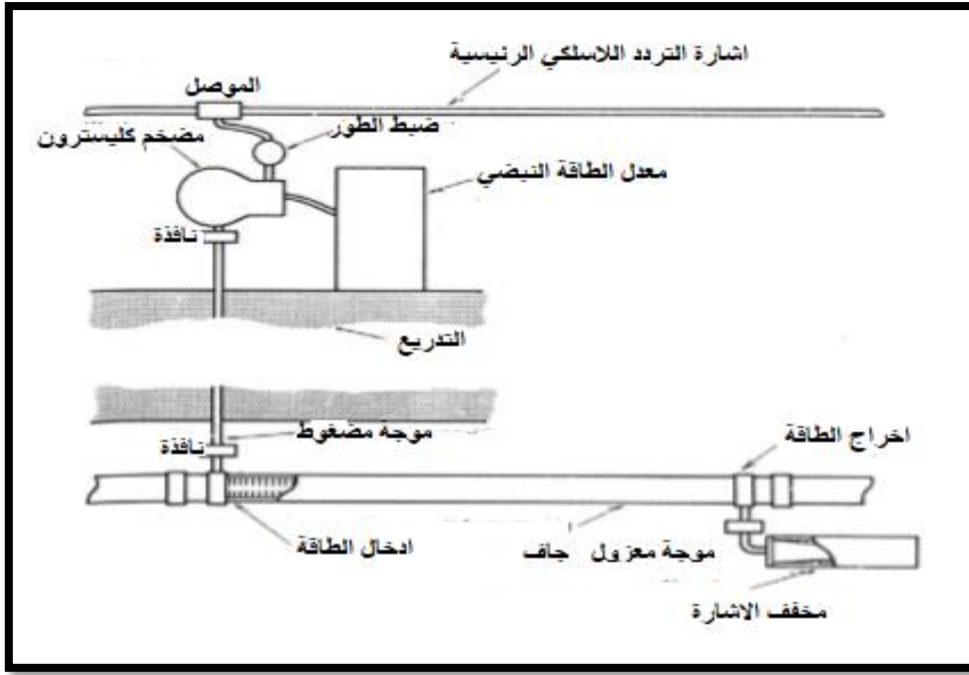
الطول الموجي	
800m	
جسيمات	بروتون P
طاقة الكلية	800MeV
ذروة تيار الاستخراج	15Ma
معدل التكرار	120Hz
الحاقن	
الأيونات	H^+ و H^-
جهد	750KV
مولد	Cockroft-Walton

مسرع d' Alvarez

75_100 MeV	تباين الطاقة
61.7m	الطول
201.25MHz	التردد
0.9m	القطر
165	عدد الأنابيب الانجراف
5×10^4	التجويف

3). أجهزة خطية للإلكترونات عالية طاقة

نعلم أن الإلكترونات هي جسيمات تصل سرعتها إلى سرعة الضوء , وبالتالي أنجزت مجموعة من الهياكل التي تبدو الأنسب لتسريع الإلكترونات وهي الموجات العالية التردد , كما موضح في شكل أدناه :



الشكل (II.16) تصميم عام أجهزة خطية للإلكترونات عالية طاقة.

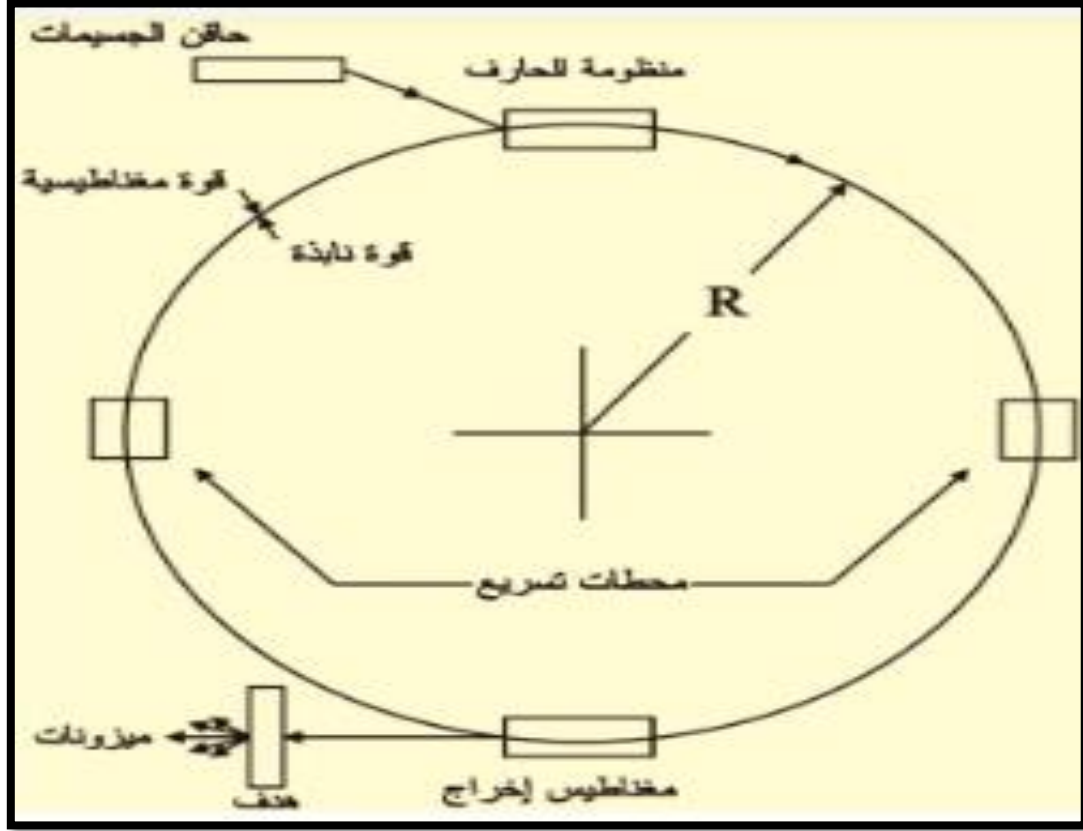
II. 8. 2. المسرعات الدائرية (Circular accelerators)

تتميز المسرعات الدائرية من الأجهزة التي تتيح فهما أسهل للطاقة، إذ ترتبط الطاقة النهائية بمقدار ثابت لكل متر من المسار، أي ضمن المجال الكهرومغناطيسي للمسرّع، وتحدد هذه الطاقة بعوامل فيزيائية وتقنية وبمقارنة المسار الدائري بالمسار المستقيم، إذ يبلغ طول المسرع الدائري عدة كيلومترات ما يعادل مسرعا خطيا ،

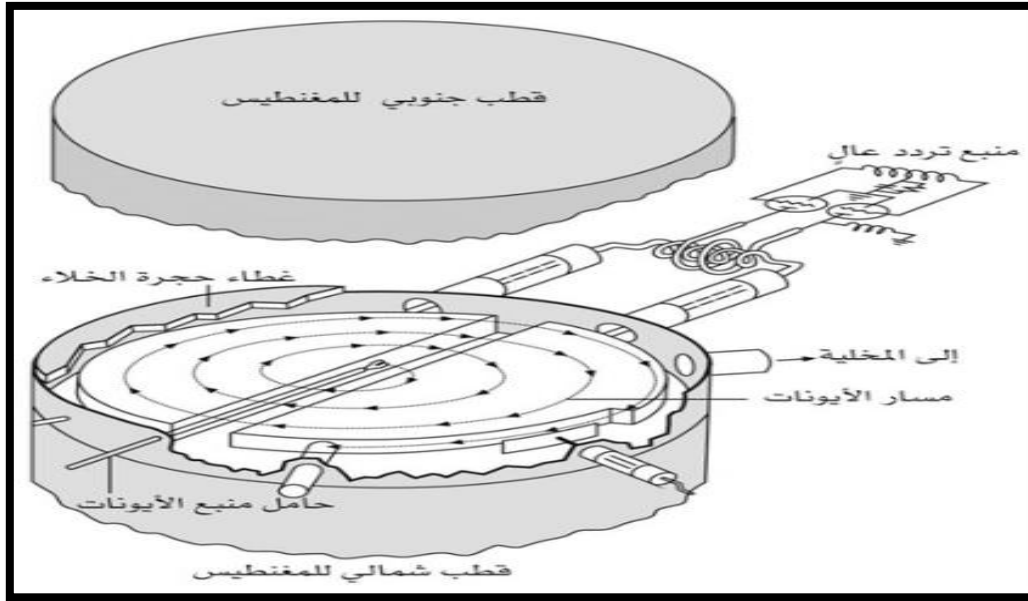
تعتمد المسرعات الدائرية على مجال مغناطيسي ثابت (وغالبا ما يكون ضعيفا)، مما يؤدي إلى اتخاذ الجسيمات لمسارات حلزونية، مثل السينكلترون (E.LAWRENCE) سنة 1929م، السيكلوترون و السنكروتروني (الذي ظهر في بيركلي عام 1946م)، أما السينكروتونات التزامنية (V.Veksler و E.MCMillan). فهي تعمل بطريقة تجعل المجال المغناطيسي يتغير مع

مسرعات الجسيمات

تسارع الجسيمات, حيث تجعل الدائرة التي تتحرك فيها الجسيمات ثابتة, ويعد هذا النوع أكثر كفاءة من حيث استهلاك الطاقة والتكلفة الاقتصادية.



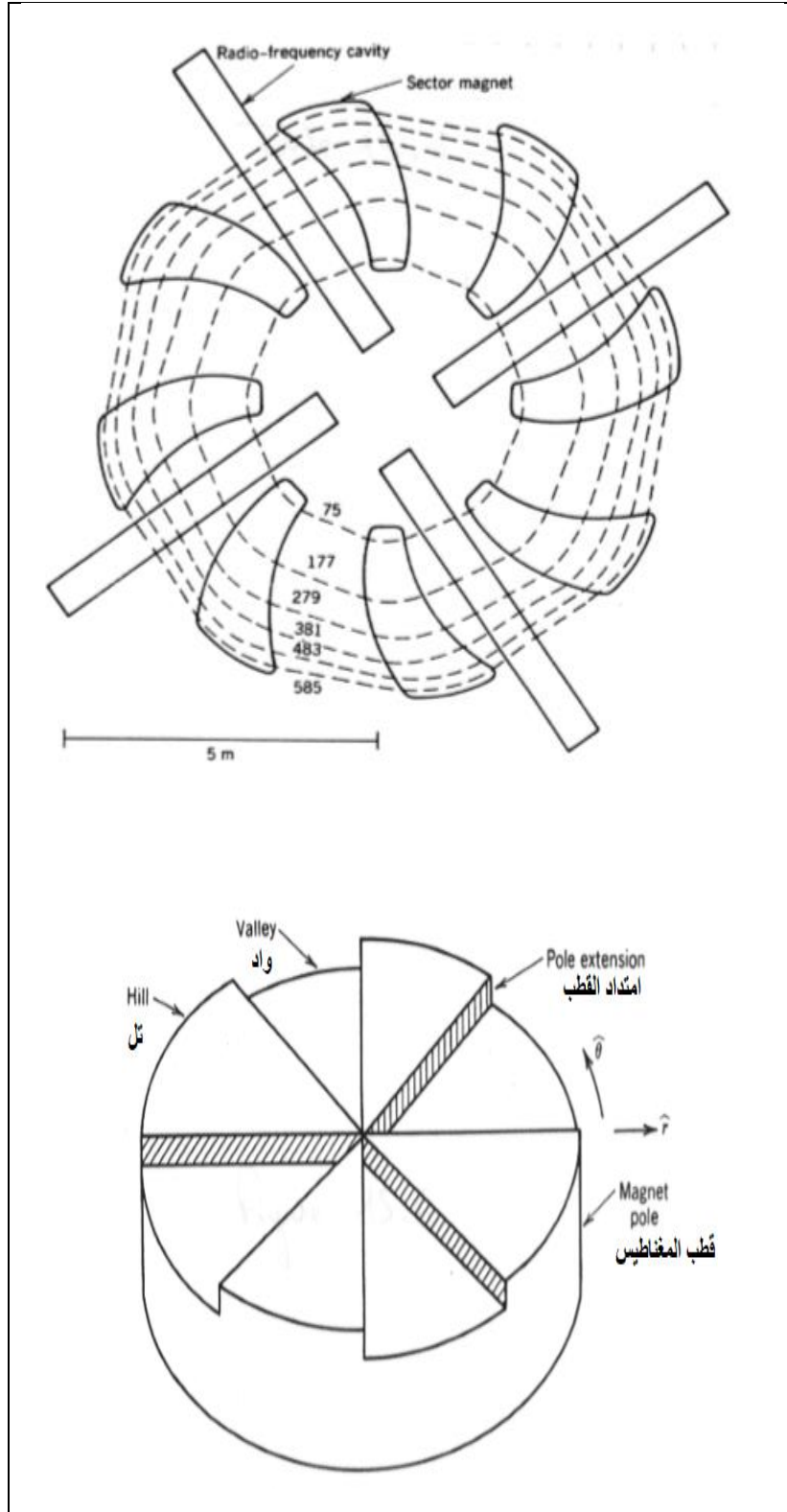
الشكل (17. II) إشعاع السينكروني.



الشكل (18. II) مبدأ عمل السيكلوترون على شكل حلزوني.

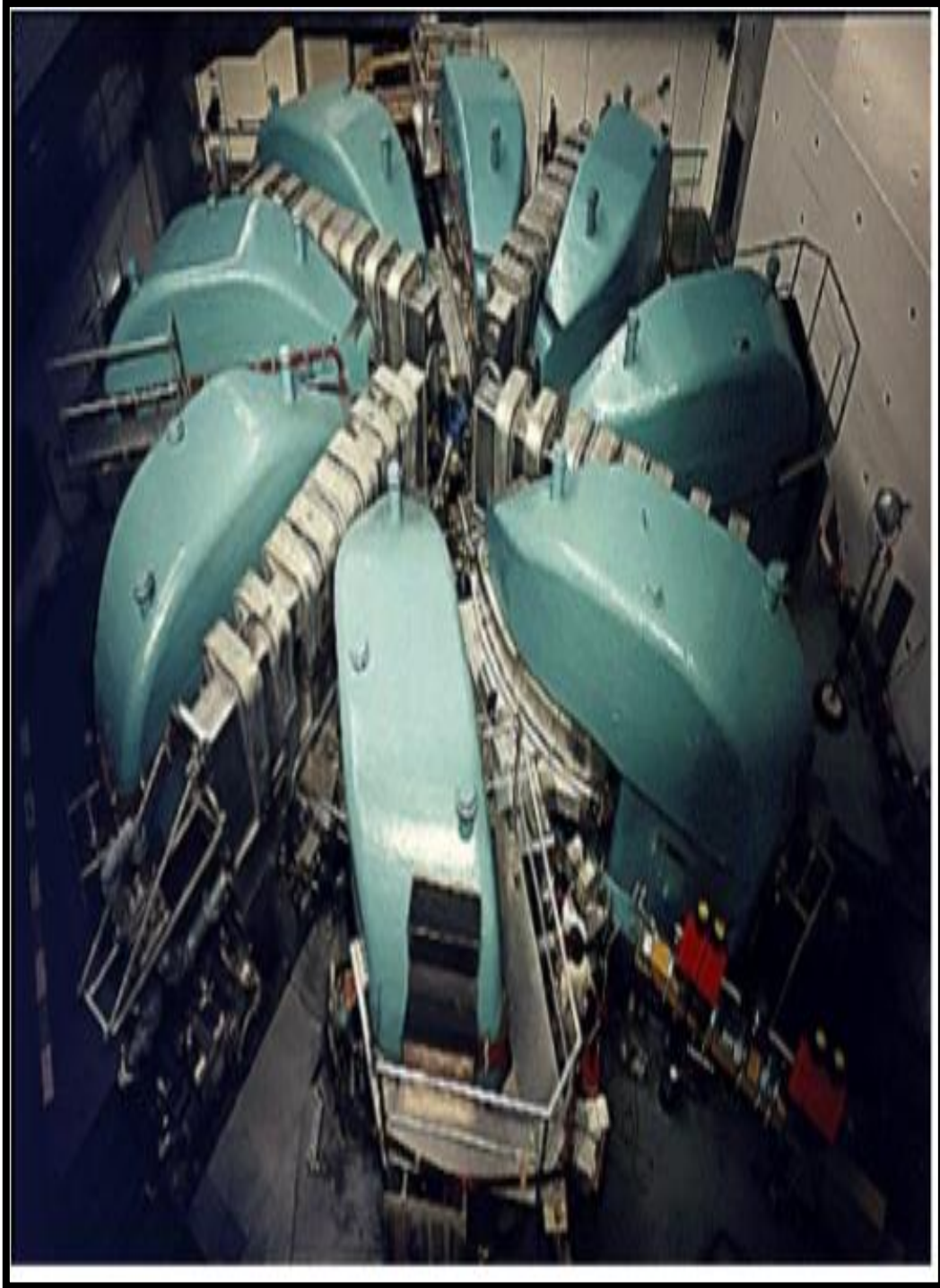
II . 8 . 2 . 1 سيكلوترونات متزامنة ذات حقول متغيرة السمات

تستعمل السيكلوترونات الحديثة مغناطيسيات ذات حقول متغيرة السمات (azimut) لجعل مدارات الجسيمات متزامنة، ومع التردد العالي والثابت، تعمل آلات ذات تيار عال ويؤدي ذلك إلى زيادة المجال الرئيسي الذي يتناسب طردياً مع نصف قطر المدار، وعند الاقتراب من محيط المدار، يتكون مجال شعاعي غير مركز، مما يجعل انحراف الحزمة عن المدار الرئيس، وحل هذه المشكلة، يتم تعديل المجال المغناطيسي بواسطة تغيير السمات (azimut) في الحقول بشكل منتظم، وذلك باستخدام شدة متفاوتة في الأوجه المغناطيسية، يكون هذا التغيير مركباً مغناطيسياً عمودياً على المستوى الأفقي للجهاز، وكذلك هذه المركبات متناظرة حول المدار المركزي للحزمة، مع علم إذا كانت الأوجه مائلة بزاوية $\frac{\pi}{2}$ مع المدار فإن المكون العمودي للمجال يؤدي إلى إسقاط شعاعي كما موضح في شكل [8]



الشكل (19. II) يمثل شكل المجال ثنائي القطب.

II . 2. 8. سيكلوترون 590MeV في ZURICH



الشكل (20. II) يمثل السيكلوترون 590MeV في ZURICH.

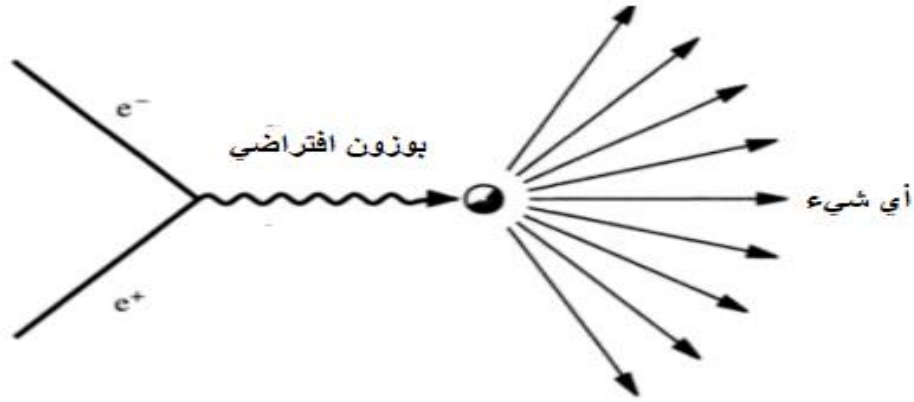
1. سيكلوترون بقطاعات منفصلة تقدر 590 MeV

كما موضح في جدول (7) الآتي :

القيمة	عنصر
210cm	نصف قطر الحقن
445cm	نصف قطر الاستخراج
2T	الحد الأقصى للمجال المغناطيسي
8	عدد القطاعات
1.6mA(DC)	التيار المستخرج
4	عدد تجاويف التسريع
2,4MeV/tour	أقصى كسب طاقة لكل دورة
50.63MHz	تردد التردد العالي (HF)
0.3ns	مدة الحزمة

II. 9. إنتاج الجسيمات عن طريق تصادم الحزم

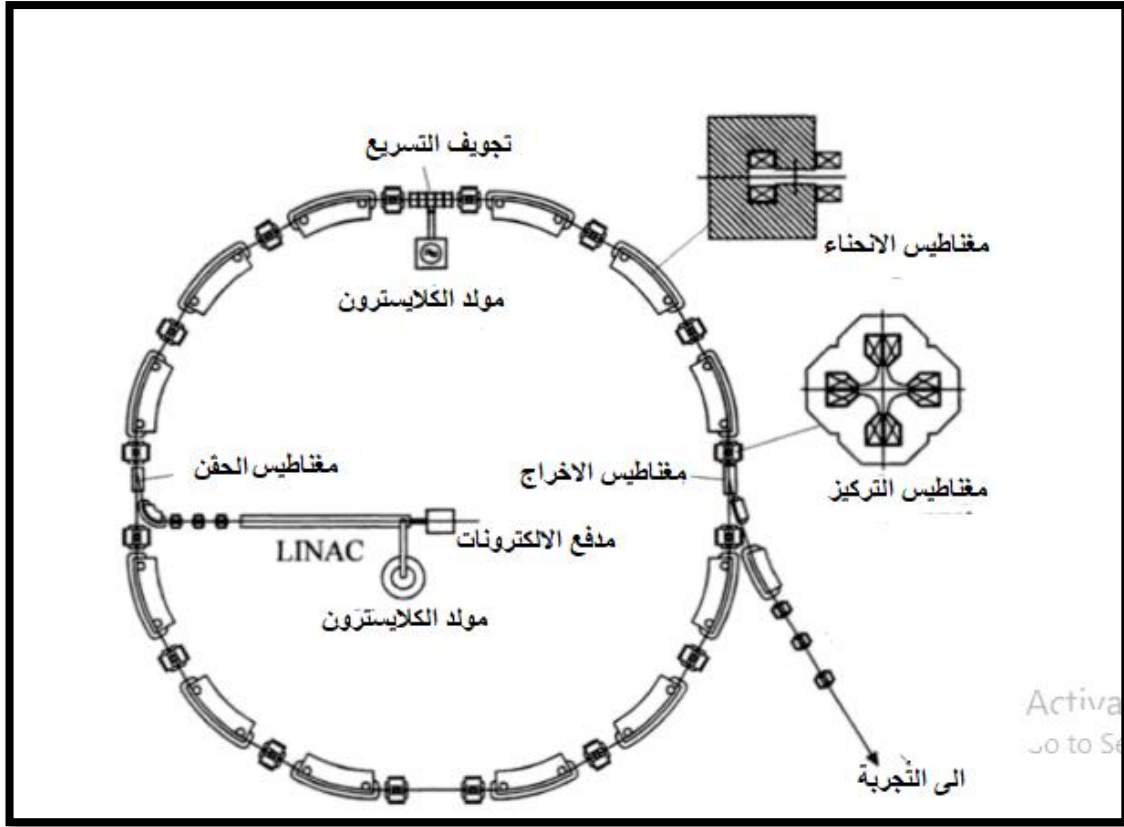
في فيزياء تصادم الجسيمات توجد طريقة أساسية جدا لإنتاج الجسيمات الثقيلة ,هي من خلال تصادم غير مرن وعميق بين أزواج إلكترون -بوزيترون ذات طاقة عالية كما موضح في الشكل



الشكل (21.II) تصادم غير مرن بين إلكترون وبروتون.

مع علم طاقة تقريبية تساوي $200MeV$, ولهذا السبب, يتم دائما تزويد السينكروتونات بالحزم من خلال المسرعات الخطية *Linc* أو الميكروترونات *microtron*, يجب أن تحرف حزم الجسيمات القادمة من المسرع المسبق إلى المدار حول السنكروترون بواسطة مغناطيس, بنهاية دورة واحدة, مع إزالة المجال المغناطيسي لأنها الجسيمات ستتحرف فوار خارج المدار وتضطدم بجدران غرفة التفريغ, ولتحقيق ذلك يتم استخدام مغناطيس نابض سريع جدا يعرف باسم *kicker* (الضارب), وله نبضة تستمر لمدة تقارب 1 ميكرو ثانية, ويستعمل كذلك هذا النوع من مغناطيسات *kicker* لتحريف الحزمة إلى خارج الآلة في نهاية دورة التسريع. كما موضح في

الشكل :

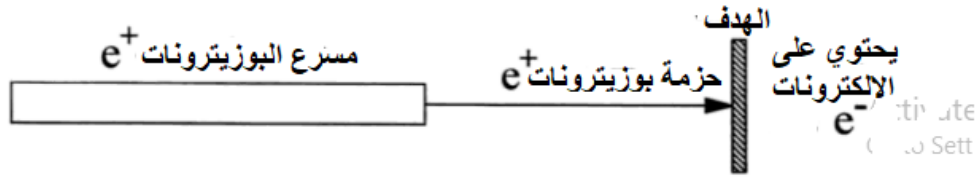


الشكل (22. II) رسم تخطيطي يوضح لمحة عامة على تطور المسرعات لمسرّع دائري.

مخطط الأساسي لمسرّع سنكروتون حديث، يتم التحكم في مسار الجسيمات بواسطة مغناطيسات انحناء ذات مجالات متجانسة بينما يتم تركيز الحزمة باستخدام مغناطيسات مصممة خصيصاً ، فيتم تسريع الجسيمات في واحدة أو أكثر من البنى القصيرة للترددات الراديوية ، ثم يتم تزويد حزم الجسيمات بواسطة نسرع أولي (*Linc* أو *microtron*) .

في التفاعل إلكترون -بوزيترون الجسيمي المضاد (في شكل سابق) ، يتم إبادة كلا الجسمين تماماً ، وينتج فوتون افتراضي يحمل الطاقة الكاملة للعملية، وتتكون هذه الطاقة من طاقة السكون للجسيمين $2m_e c^2$ ، بالإضافة إلى طاقتها الحركية قبل التصادم والتي تكون في التصادمات النسبية العالية هي المكون المسيطر، ونظراً لأن ديناميكا هذه العملية واضحة جداً ، فهي مناسبة جداً لدراسة البنى المعقدة للجسيمات.

إلى جانب دراسات أخرى تناولتها الأبحاث بحثاً مهم باستخدام هذه التفاعلات e^+e^- لدراسة أنظمة كوارك _ضد كوارك و خاصة أنظمة كوارك (b) و (c) charm, احد التحديات في فيزياء المسرعات, ودورهما تطوير آلات تكون محسنة لإنتاج تفاعلات جسيمية من هذا النوع بمعدلات عالية, من حيث المبدأ, يمكن تحقيق تصادمات e^+e^- ببساطة كما هو موضح في الشكل التالي, حيث يتم استخدام مسرع جسيمات لرفع طاقة البوزيترونات إلى الطاقة المطلوبة E_1 , ومن ممكن أن تنتج البوزيترونات عن طريق اضمحلال بيتا β , ومن الأفضل أن يتم إنتاج بواسطة الأزواج, حيث يتم إرسالها لاحقاً إلى هدف ثابت من مادة صلبة, فإنها ستصطدم بالإلكترونات المدارية في ذرات ثقيلة, مما يعطي الطاقة اللازمة لحدوث التصادم .



الشكل (23. II) تصادم بين البوزيتون (e^+) والإلكترون (e^-) في هدف ثابت.

وفي نهاية المطاف, خول أنواع المسرعات في الفيزياء الأساسية, نجد المسرعات الدائرية أفضل من المسرعات الخطية خاصة عندما يتعلق الأمر بتسريع الجسيمات إلى طاقات عالية ضمن مساحة محدودة, إضافة على ذلك, يمكن للمسرعات الدائرية أن تسمح للجسيمات بمرار وتكرار عبر نفس نقاط التسريع , ينتج عن ذلك طاقات كبيرة دون حاجة إلى بناء مسار طويل كما هو الحال في المسرعات الخطية هذا يجعلها أكثر كفاءة من الناحية الاقتصادية وقلل استهلاكها

للمساحة, كما لاحظنا في تقنيات المسرعات الدائرية التي تستطيع التحكم الدقيق في حركة الجسيمات, مما يجعلها مثالية للاستخدامات البحثية المتقدمة مثل مصادمات الجسيمات

. LHC

فرغم وجود خسائر في الطاقة نتيجة لانحناء الجسيمات إلا إن التطور التكنولوجي ساهم في تقليل هذه الخسائر والمعوقات بشكل كبير, لذلك تعد المسرعات الدائرية الخيار الأفضل في الأبحاث الفيزيائية الكبرى والتطبيقات التي تتطلب طاقات عالية .

ولكن يبقى سؤال مطروح في ذهن القارئ ! ما فائدة تسريع الجسيمات و تطبيقاتها على العالم... الخ, سنسعى للإجابة على الأسئلة في الفصل التالي, مع إعادة النظر في كل جانب بعناية .

الفصل III : تطبيقات

مسرعات الجسيمات.

في هذا الفصل، سنأخذكم في جولة شيقة لاكتشاف تطبيقات مسرعات الجسيمات في مجالات متعددة كالطب و الصناعة، مستعرضين كيف أحدثت هذه التقنيات ثورة علمية وتقنية، وفي نفس الوقت سنجيب على الأسئلة المطروحة في الفصل السابق، لنربط بين المفاهيم ونعزز الفهم الشامل.

III. 1. تطبيقات مسرعات الجسيمات

III. 1. 1. في مجال البحث العلمي

منذ التصميم المسرعات في قرن العشرين، عرفت مسرعات الجسيمات تطورا على الصعيدين التقني والوظيفي في البحث العلمي، و ميزت بحسب أحجام متنوعة للغاية من بضعة أمتار الى عشرات الكيلومترات، حيث اعتمدنا في الفصل الثاني بتصنيفها إلى نوعين رئيسيين بحسب بنيتها وآلية عملها ونوعية المادة (الهدف)، وهما مسرعات: خطية ودائرية. كما خصصنا في الفصل الاول حديثا شاملا عن الجسيمات الأولية، باعتبارها نواتج أساسية للتجارب التي أتاحتها مسرعات الجسيمات (خطية ودائرية) فبفضل قدرتها على تسريع الجسيمات الى طاقات هائلة، تمكنت هذه الاجهزة من الكشف عن مكونات المادة الدقيقة وكشف خصائصها :

✚ كشف عن الجسيمات الفرميونية (الأساسية والمركبة)، والبوزونات الحاملة للقوى الأساسية،

مع تحديد خصائص كل جسيم أولي بدقة.

✚ دراسة مادة واستكشاف الذرة من خلال تصادم الجسيمات باستخدام المسرع الخطي لتوليد

شعاع:

✓ دراسة تبادل الغلوونات بين الكواركات في البروتون والنيوترون.

✓ دراسة انواع التفكك المختلفة للبوزون W البوزون Z الضعيف .

✚ فهم شيء معقد مثل الجاذبية.

وقد مهدت هذه الدراسات الطريق أمام تطور النموذج القياسي في فيزياء الجسيمات.



الشكل (1. III) مسرع خطي الكترون © P.Dumas /CEA XFEL لإنتاج أشعة السينية.

1. استخدامات المسرعات المحمولة (Multiple uses for portable accelerators)

أ- مولد النيوترونات المحمول (Portable Neutron Generators)

مسرّع ديوترون-تريترون صغير (*A small-deuteron-triton accelerator*) هو جهاز صغير يعتبر نوعاً من المسرعات، يتميز بأنه محكم الإغلاق ويمكن حمله إلى أماكن مختلفة مثل داخل آبار النفط، يولد هذا المسرع نيوترونات من خلال التلاعب بنظائر الهيدروجين وعندما ترسل هذه النيوترونات إلى الصخور أو الأتربة فإنها تتفاعل مع المواد هناك وتصدر إشارات يمكن تحليلها، ومن بين استخداماته : [20]

✓ البحث عن النفط.

✓ تمييز السوائل من خلال الخصائص الكهربائية للمواد.

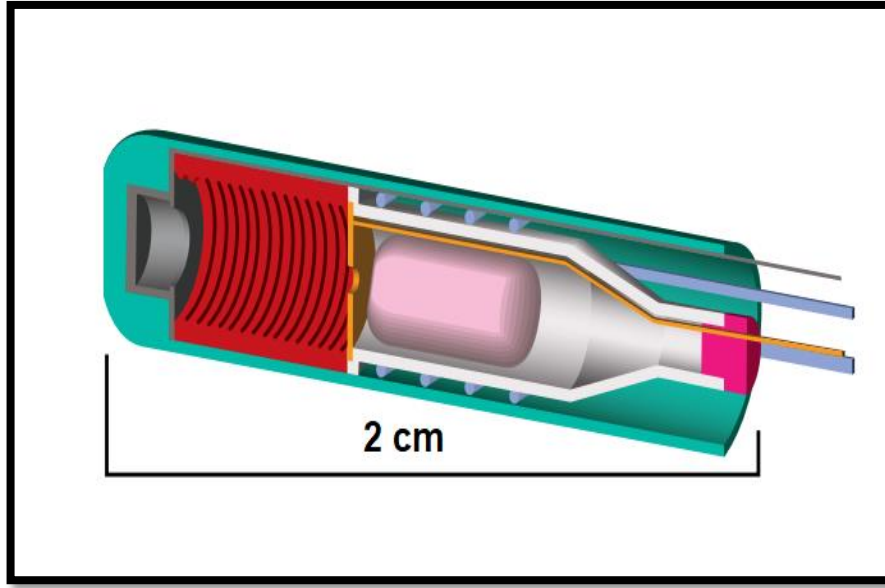
تطبيقات مسرعات الجسيمات.

✓ تحليل المعادن و السبائك.

✓ الكشف عن مواد الأسلحة النووية من خلال الكشف عن المواد التي تدخل في تصنيع

الأسلحة النووية.

✓ الكشف عن المتفجرات و المخدرات.

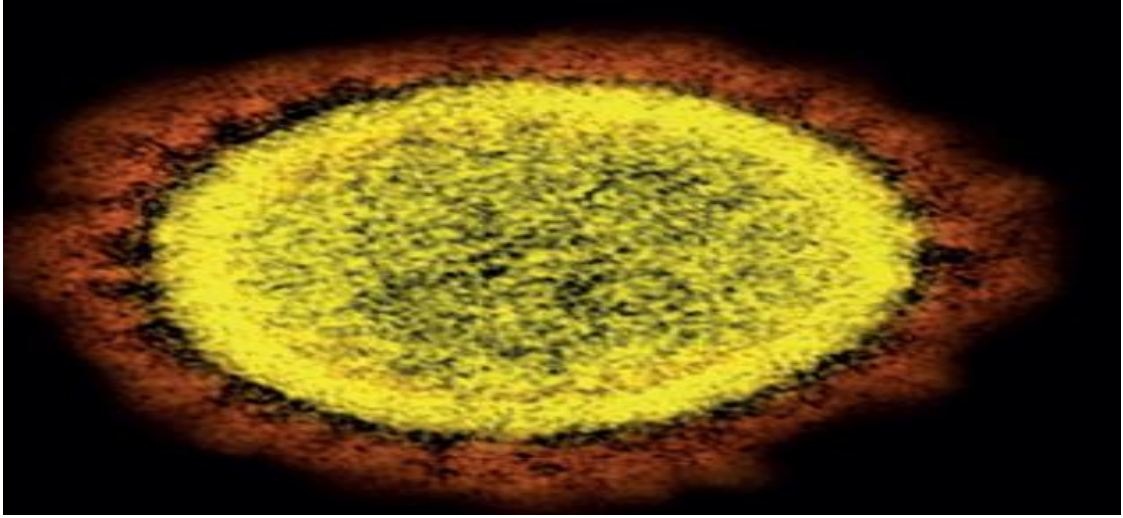


الشكل (2. III) يُستخدم مسرع الخطي ديوترون-تريترون صغير (*A small-deuteron-*

triton accelerator) لتحليل آبار النفط.

III. 1. 2. في مجال الطبي

(1). دور مسرعات الجسيمات في مكافحة فيروس *SARS - COV-2* سارس-كوف-2:



الشكل (3. III) صورة مجهرية لفيروس *SARS - COV-2* معزول من أحد المرضى, تم الحصول عليها بواسطة المجهر الالكتروني النافذ .

في ديسمبر من عام 2019 , ظهر مرض غامض تمثل في التهاب رئوي مجهول السبب في مدينة ووهان عاصمة مقاطعة هوبي الصينية, وبسرعة انتشر هذا الوباء في جميع أنحاء العالم, هذا الفيروس الذي كان جزءا في يومياتنا, ولقد كان اختبارا عالميا لأنظمة الصحية, وامتحانا صعبا للعلم والعلماء, بحلول عام 2020, تمكن العلماء من التعرف على الفيروس المسؤول عن هذه الالتهابات الرئوية عند الإنسان, حيث استطاعوا تحديد تسلسله الجيني الكامل, عقب ذلك, شرع الباحثون في مراكز الأشعة السنكروترونية ومصادر النيوترون في الاستفادة من الأشعة المكثفة لفهم الفيروس بدقة.

استخدم العلماء البروتينات الرئيسية للفيروس بهدف معرفة آلية عمله ومكافحة انتشاره بشكل أكثر كفاءة, وخاصة فيروس كوفيد-19 الناتج عن كورونا المستجد (*SARS - COV-2*), وبإدراك الباحثون في أنحاء العالم إلى تصوير البنية ثلاثية الأبعاد لهذا الفيروس, وبأخص البروتينات التي تمكنه من اختراق الخلايا البشرية والتكاثر بداخلها .

(2). البلورة بالأشعة السينية باستخدام مصادم الإشعاع السنكروتروني

من أجل تحديد بنية البلورة, يتم تسليط أشعة X إلى الشبكة البلورية, يتم ملاحظة المتشكل على الطرف الآخر من البلورة ,حيث تنكسر أشعة X بسبب البنية البلورية وتتداخل مع بعضها البعض, والذي يدعى "طيف الحيود" لنمط المرصود, يتركز على الشبكة البلورية وطول الموجة أشعة X المستخدمة حسب قانون براغ :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1. III)$$

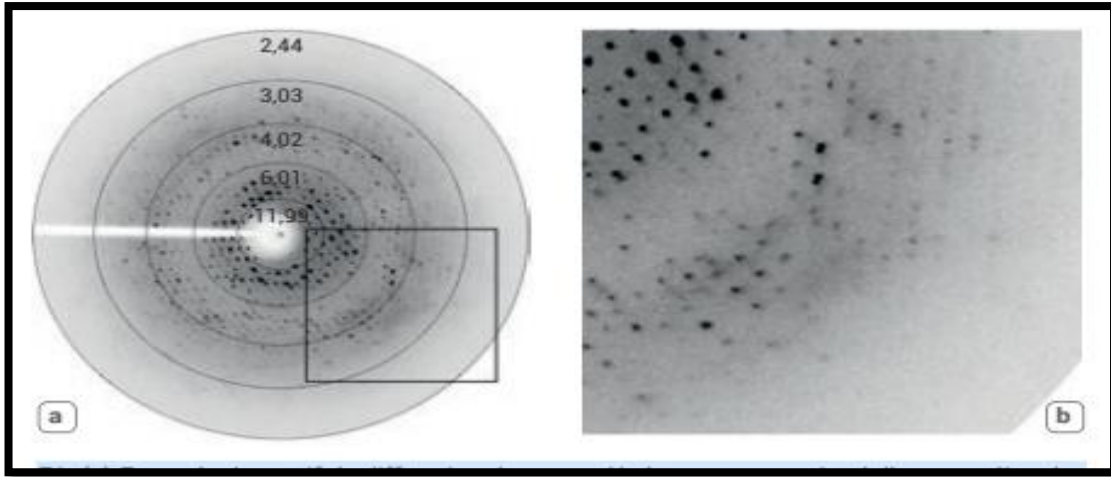
حيث :

n : فرق عدد الموجات بين الشعاعين و λ : طول الموجة و d : المسافة بين المستويات

أما θ : زاوية السقوط بأشعة X .

من خلال تدوير العينة بالنسبة إلى مصدر أشعة X تتغير الزاوية التي تصل بها الأشعة إلى شبكة البلورية وبالتالي يتغير النمط أيضا , وبفضل عدة قياسات تجرى عند زوايا مختلفة ,يمكن تحديد معلومات الشبكة البلورية, وفي الحقيقة, تتفاعل أشعة مع سحابة الالكترونات الخاصة بالعينة المدروسة (المادة), وما يتم قياسه فعليا بواسطة شدة طيف الحيود وهو توزيع الالكترونات في البلورة .

هذه التقنية, التي يتم السيطرة عليها بشكل مدقق, تستعمل بشكل روتيني ودائم في جميع مقاييس الحيود المثبتة على خطوط الشعاع السنكروتروني لدراسة الجزئيات المعقدة مثل البروتينات (بشرط إمكانية تبلورها).



الشكل (4. III) (a) مقطع صورة لنمط حيود الأشعة السينية الذي تم الحصول عليه على بلورة بروتين SARS -COV-2 خلال الوباء أما مقطع (b) صورة مكبرة للمنطقة المؤطرة في شكل (a).

يتراوح حجم الفيروس SARS -COV-2 حوالي 125 نانومتر، إذن، نستطيع رؤيته بواسطة مجهر الكتروني نافذ (TEM)، لأن مجال الرؤية سيكون في حدود 100 إلى 500 نانومتر تقريباً، يوضح الشكل أدناه فيروس SARS -COV-2

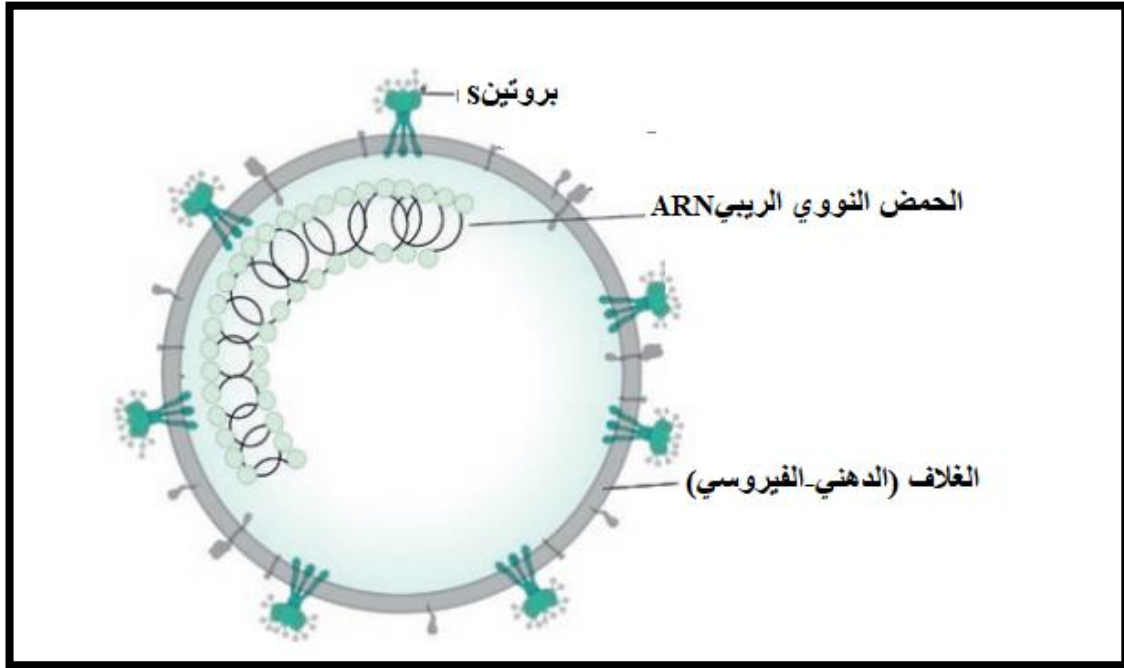
محاط بتاج (وفي الواقع هو غلاف كروي)، حيث توجد النتوءات على هذا التاج (موضع في نفس شكل الصورة)، وتدعى بروتينات S (Spike) وتعني شوكة بالإنجليزية. [15]

البروتينات S توجد على سطح فيروس SARS -COV-2، حيث تلعب دوراً مهماً في تمكينه من دخول الخلايا المصابة. إذ عملها كمفتاح يفتح الباب للفيروس كي يخترق الخلية.

في حالة تشخيص فيروس كورونا المستجد SARS -COV-2 أوضحت الأبحاث أن بروتين S لديه قابلية عالية للارتباط بمستقبلات ACE2 الموجودة على بعض خلايا الجهاز التنفسي، وتعرف هذه المستقبلات ACE2 بمثابة نقاط الدخول الأساسية للفيروس إلى داخل الخلايا.

تطبيقات مسرعات الجسيمات.

وبما أن البروتينات S صغيرة جدا تصعب رؤيتها بالمجهر الإلكتروني النافذ (TEM) العادي, فيلجأ الباحثون باستعانة بمعجلات الجسيمات لإنتاج إشعاع يعرف باسم "سينكترون" وهو مصدر قوي لأشعة الكهرومغناطيسية المكثفة التي تشمل طيفا واسعا , يبدأ من الأشعة تحت حمراء $0.7\mu m$ الى الأشعة السينية من $0.01nm$ إلى $0.1nm$, تساهم في الكثافة العالية لهذا الإشعاع في كشف البنية الدقيقة للبروتينات, مما يسمح بفهم آلية دخول الفيروس إلى الخلايا .



الشكل (5. III) رسم تخطيطي لبنية الفيون SARS -COV-2.

(3).آلية عمل السنكروترون SOLEIL في مكافحة جائحة كوفيد -19:

يشمل السنكروترون SOLEIL , الواقع على هضبة ساكلاي (Saclay), العديد من الخطوط الضوئية التي تم استخدامها في دراسة covid-19, تضم هذه الخطوط تقنيات التصوير البيولوجي بالأشعة السينية (X) والأشعة تحت الحمراء (خطوط التصوير البلوري الحيوي لأشعة السينية (X) (Linges de bio-cristallgraphie Bio-SAXS) .

وبالتسيق مع علماء من جامعات ومراكز بحثية مثل سوربون، معهد باستور ومعهد كوريا للتكنولوجيا، يساهم **SOLEIL** في تسريع الوصول إلى نتائج بحثية دقيقة تهدف وتبرز إلى تطوير وسائل فعالة لمكافحة الفيروس، حيث جرت الأبحاث في إطار تعاون بين سنكروترون **SOLEIL** والمعهد الوطني للبحث العلمي الفرنسي (**INRAE**) وشركات أدوية مثل سانوفي (**SANOFI**) [15]، على مشروع علم الجينوم (**Genomics**) الهيكلي المتسارع للبروتينات المشفرة بواسطة العامل الممرض لفيروس **covid-19** باستخدام علم البلورات الجزيئية في الجسم الحي، حيث ساعدت مصادر السنكروترون (إشعاع السنكروتوني : فهم بنية وظيفة الجزيئات البيولوجية الكبيرة) على تطوير التعابير على النمو البلوري عن طريق استخدام جميع البروتينات المشفرة المستنسخة طبق فيروس **covid-19** بأشكال المقطوعة المجال في خط أنابيب لعلم الجينوم المتسارع، مما ساهمت بنتائج ايجابية بمثابة أهداف محتملة لتصور عقاقير جديدة قائمة على البنية، وسيساعد هذا التقدم على ضرورة تصور علاجات طبية لجزيئات مضادة لفيروسات ضد العائلة الأكبر من فيروسات كوفيد **covid** مثل كورونا المستجد **SARS -COV-2** يتعرف عليه من خلال أساس هيكله بالدقة الذرية .

بصفة عامة، عند تصوير تباين الطور باستخدام الإشعاع السنكروتوني، يتغير طور حزمة الأشعة السينية باختلاف الوسط الذي تمر فيه إذ يختلف سلوكها عند الانتشار في الفراغ عبر المادة. كذلك ينجز تصوير تباين الطور على كشف التغيرات الطيفية في الكثافة أو التركيب،

تطبيقات مسرعات الجسيمات.

لكنها تولد إزاحة طورية كافية في حزمة الأشعة وتشتت هذه التقنية تماسكا عاليا للأشعة السينية

كما توفره مصادر الإشعاع السنكروتروني. [16]



الأشكال (6.III) السينكروترون SOLEIL.

4). تعريض المواد لإشعاع وتعقيمها و معالجتها

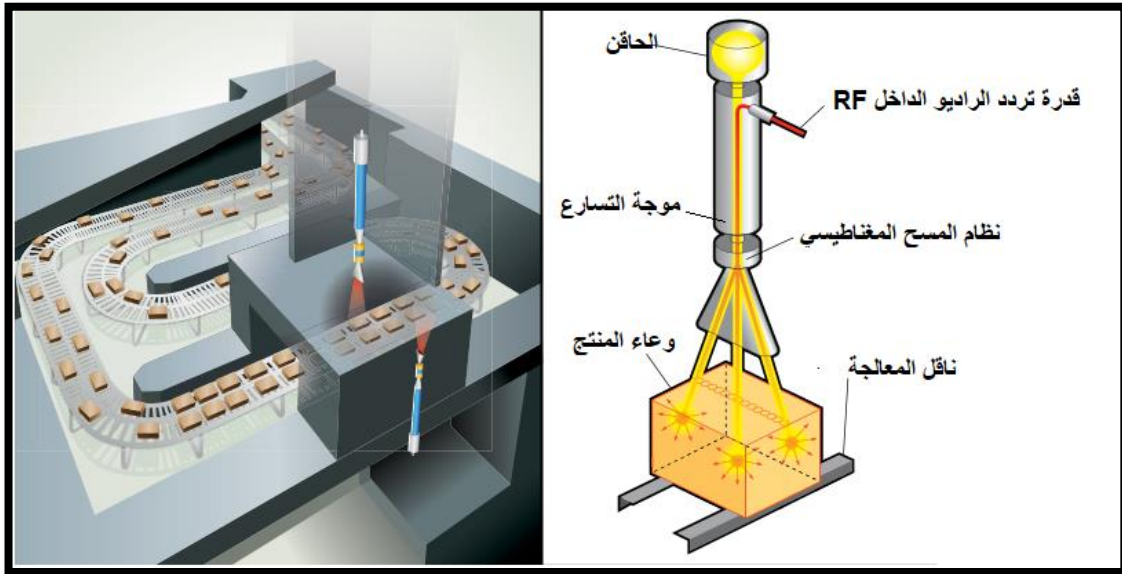
مع تطور مسرعات الجسيمات ذات الكفاءة العالية، والتي توفر حزم الجسيمات بخصائص علمية

حسب الطلب، أصبح من الممكن الآن استخدامها لإشعاع وتعقيم الأهداف من أي نوع.

يمكن أن يكون الهدف وربما خبيثًا يجب معالجته (القطاع الطبي).

تطبيقات مسرعات الجسيمات.

- أو غذاء يجب تعقيمه وذلك في قطاع سلامة الغذاء، مثل استخدام المسرعات في مكافحة الأمراض المنقولة بالغذاء عن طريق تقنيات معالجة الاغذية من خلال انتاج حزم من الالكترونات او اشعة السينية عالية الطاقة، تستخدم هذه الحزم في تشعيع الاغذية (Food irradiation)، وهي عملية فيزيائية تعرض المواد الغذائية لجرعات محسوبة من الاشعاع المؤين يهدف قتل الكائنات الحية الدقيقة، تعد هذه التقنية امانة من ناحية الفيزيائية ولا تؤثر سلبا على التركيب الكيميائي او القيم الغذائية او الطعم، ومنه تعزز المسرعات من سلامة الغذاء وتطيل عمره التخزيني، وبذلك، تعتبر المسرعات أدوات متقدمة ذات تطبيقات مباشرة في الامن الغذائي والصحة العامة.[20]



الشكل (7. III) رسم يبين نقل خط إنتاج المنتجات الغذائية للتشعيع بواسطة أشعة

الإلكترون من مسرعين خطيين رأسيين، أحدهما فوق الحزام الناقل والآخر أسفله.

- أو هدف تفكيكي يهدف إلى إنتاج النيوترونات وذلك بتسريع حزمة البروتونات عالية الطاقة منتجة بواسطة مسرعات الجسيمات الخطية (Linac supra) الموجودة في

ESS (European Spallation Source)، أي مصدر التفتيك الأوروبي، في لوند، السويد. وبالتالي لكل نوع من الاستخدامات، هناك مسرع مخصص أو نوع من المسرعات. تم استخدام ESS في المجال الطاقوي، الاتصالات، في التكنولوجيا المعلوماتية والصحة والبيو تكنولوجيا.



الشكل (III.8) : المسرع الخطي Elektra منصة Doseo - © A.Lorec/CEA

III.1.3. في مجال الصناعي

1. دور الموصلية الفائقة والتبريد العميق في معجلات الجسيمات

في الآونة الأخيرة، أصبحت الموصلية الفائقة والتبريد العميق المرتبط من التقنيات الرئيسية في معجلات الجسيمات عالية الطاقة، ويعدان من الركائز المهمة في الدراسة والأبحاث التجريبية للفيزياء (النوية، جسيمات المادة المكثفة) والتي تعتبر من بين أكبر الأجهزة التي أنشأها الإنسان، يكفي لإثبات ذلك أن نلاحظ تطور القدرة الإجمالية للتبريد العميق عند درجة حرارة

الهليوم السائل المثبتة في CERN

(المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية في جنيف)، انظر إلى الشكل (III.9). معظم المبردات

الكبرى للهليوم السائل كانت تعمل في CERN منذ ستينيات القرن الماضي لتبريد غرف

تطبيقات مسرعات الجسيمات.

الفقاعات و المغناط الكبيرة الخاصة بالتحليل, إلا أن الاستخدام الفعلي لم يتحقق بعد, إلا بظهور الموصلية الفائقة, مما أدى إلى استخدام التجاويف الرنانة الفائقة التوصيل والمغناط في معجلات الجسيمات, حيث ان القدرة الإجمالية المركبة وصلت إلى مئات الكيلوات عند درجة حرارة 4.5 كلفن التي نعرفها اليوم. [17]

لذا لنبدأ بعرض الأسباب التي جعلت من الموصلية الفائقة والتبريد العميق عنصرين أساسين في معجلات الجسيمات عالية الطاقة.

أ- إجمالي سعة التبريد المبرد عند 4.5 كلفن المركبة **CERN**: كما موضح في جدول(8)

OMEGa ,BEBc, ALEPH, ATLAS	كاشفات الجسيمات باستخدام مطيفيات فائقة
CMS	التوصيل

IRS Low-Beta

إدخالات عالية اللعان مثبتة على المصادمات

LEP Low-Beta

LEP2, LHC

المصادمات فائقة التوصيل

تتناسب الطاقة المطلوبة مع قطر المسرع, وقد كان ذلك تاريخيا, احد الأسباب الرئيسية لاستخدام المغناطيسيات فائقة التوصيل في المسرعات الدائرية, ومع التوجه لتصميم آلات اكبر مما مضى, أصبح استهلاك الطاقة يشكل تحديا كبيرا, مما جعل الاعتماد على الأجهزة فائقة التوصيل أمرا ضروريا لتقليل فقدان في الطاقة, يسري هذا بشكل خاص على المسرعات الخطية, وخاصة تلك المبنية على تقنية الموجات المستمرة أو ذات الطاقة العالية, حيث يتم فقدان جزء كبير من الطاقة في جدران الهياكل التي توجد فيها الموجات الميكروية العالية التردد, ويوافق الأمر على الأنظمة

تطبيقات مسرعات الجسيمات.

المغناطيسية الخاصة على المسرعات الدائرية الضخمة، ولتلبية متطلبات الحزم الجسيمية ذات الصلابة المتزايدة، ازدهرت هذه الأجهزة في اتجاهين رئيسيين يجمعان الكفاءة المعدات وتقليل استهلاك الطاقة .



الشكل (9. III) ضواغط لولبية مشحمة في نظام التبريد *LEP* في *CERN*.

من بين الصناعات الأخرى، تطوير معدات الهدرونات الدائرية الكبير، وكذلك تطوير ثلاجات لتشغيل مغناطيسيات مطيفيات لكشف الجسيمات .



الشكل (10.III) ثلاجات بقدرة 400w عند 4.5 كلفن (Sulzer) لتشغيل المغنطيسات
كاشفات الجسيمات في منطقة الشمالية لـ CERN في سنوات 1970.



الشكل (11.III) ثلاجات 18Kw عند 4.5 كلفن Air liquid المعجل بالموجات الدقيقة
في مختبر التسريع المتصادم الهدرونات الكبير في LEP.



الشكل (12. III) مغناطيسات فائقة التوصيل في مصادم الهادرونات الكبير في السنوات

1990-2010.

III. 1. 4. في مجال العسكري

(1). مسرع خطي في الفضاء (تجربة الشعاع على متن صاروخ BEAR)

في 13 جويلية 1998، تم بنجاح إطلاق وتشغيل مسرع خطي على متن الصاروخ BEAR، في الفضاء، وقد أظهرت التجربة أنه بالإمكان توجيه الشعاع من الهيدروجين المتعادل بنجاح في بيئة، خارج الغلاف الجوي، حيث تم تصميم المسرع، بواسطة تعاون المكثف بين مختبر لوس الاموس وشركاء صانعين، لتوليد شعاع بقوة $10mA$ ، ما يعادل بطاقة $1MeV$ ، في نبضات مدة كل من $50\mu s$ ، وتردد بمعدل $5Hz$.

(2). مكونات الأساسية لمسرّع خطي في تجربة الشعاع متن الصاروخ BEAR :

✓ الطاقة $30Kv$.

✓ رباعي الاقطاب تردد لاسلكي بقوة $435MeHz$.

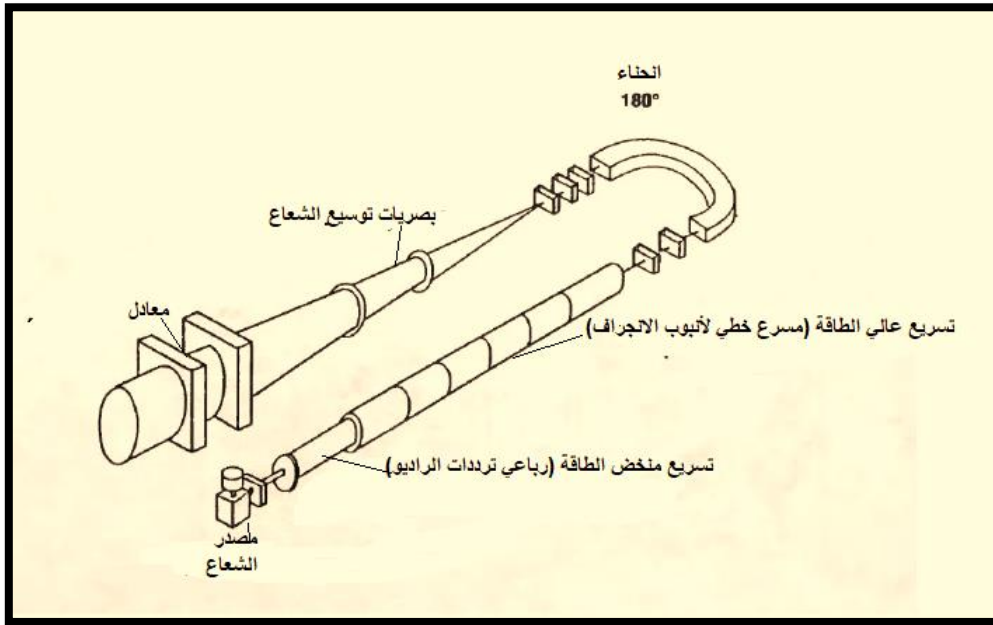
تطبيقات مسرعات الجسيمات.

✓ جهاز تعادل خلايا الغاز.

✓ بصريات شعاعية.

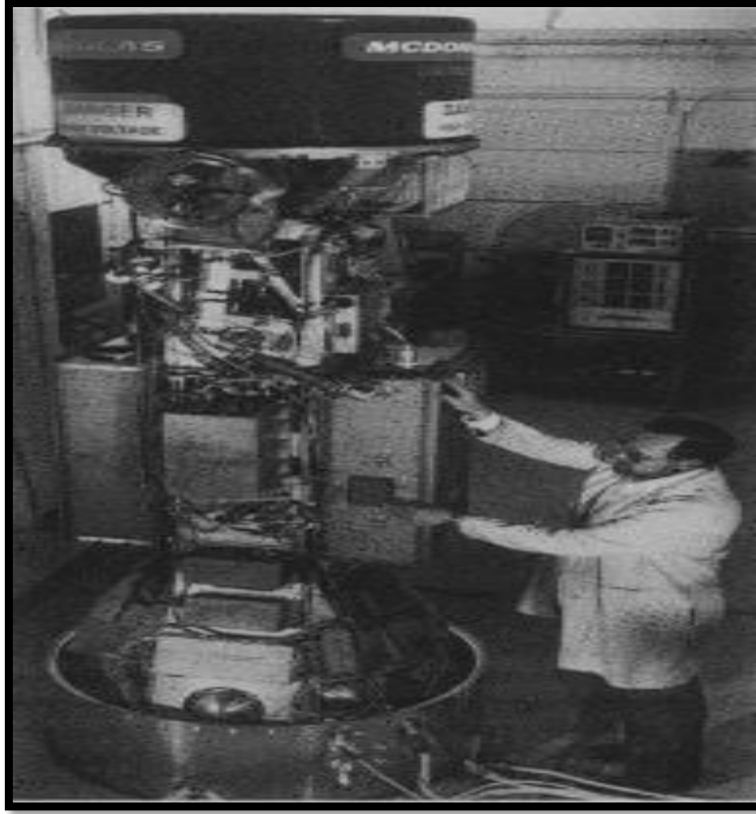
✓ أنظمة تفريغ وتحكم.

وقد انجز تصميم المسرع ليكون ذا وزن خفيف, ويعمل بشكل مستقل دون الحاجة الى التدخل خارجي, وبعد الانتهاء الرحلة, تمت استعادة المسرع بنجاح واعيد تشغيله داخل المختبر.



الشكل (13. III) رسم بياني بدائي للغاية يوضح مكونات نظام شعاع الجسيمات

المحايدة.



شكل (III. 14) المسرع في وضع الطيران.

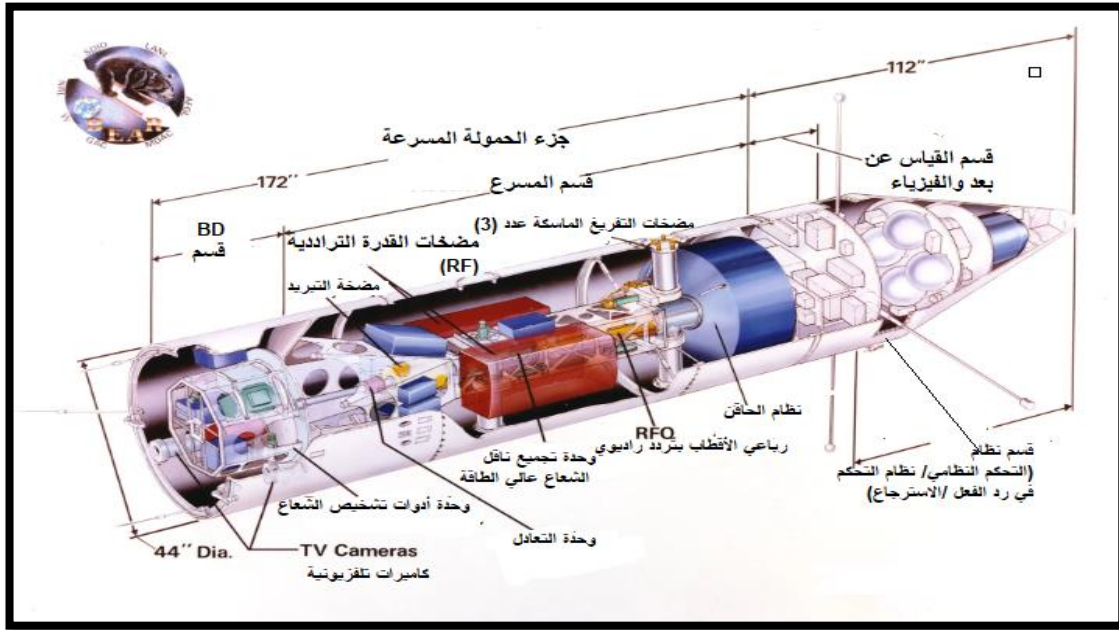
3). اقسام النظام لتجربة الصاروخ

تعد تقنية حزمة الجسيمات المتعادلة من احد اهم المفاهيم قيد تطويرها, ضمن مبادرة الدفاع الاستراتيجي الأمريكية, ويعتبر مشروع *BEAR*, اول اختبار في الفضاء لتقنية المسرعات المنخفضة الطاقة, والتي سيبني عليها في الانظمة المستقبلية, حيث كانت من الاهداف الرئيسية تشغيل المسرع في الفضاء ودراسة انتشار شعاع الهيدروجين المتعادل, اضافة الى دراسة تأثيرات الشحن المركبة.

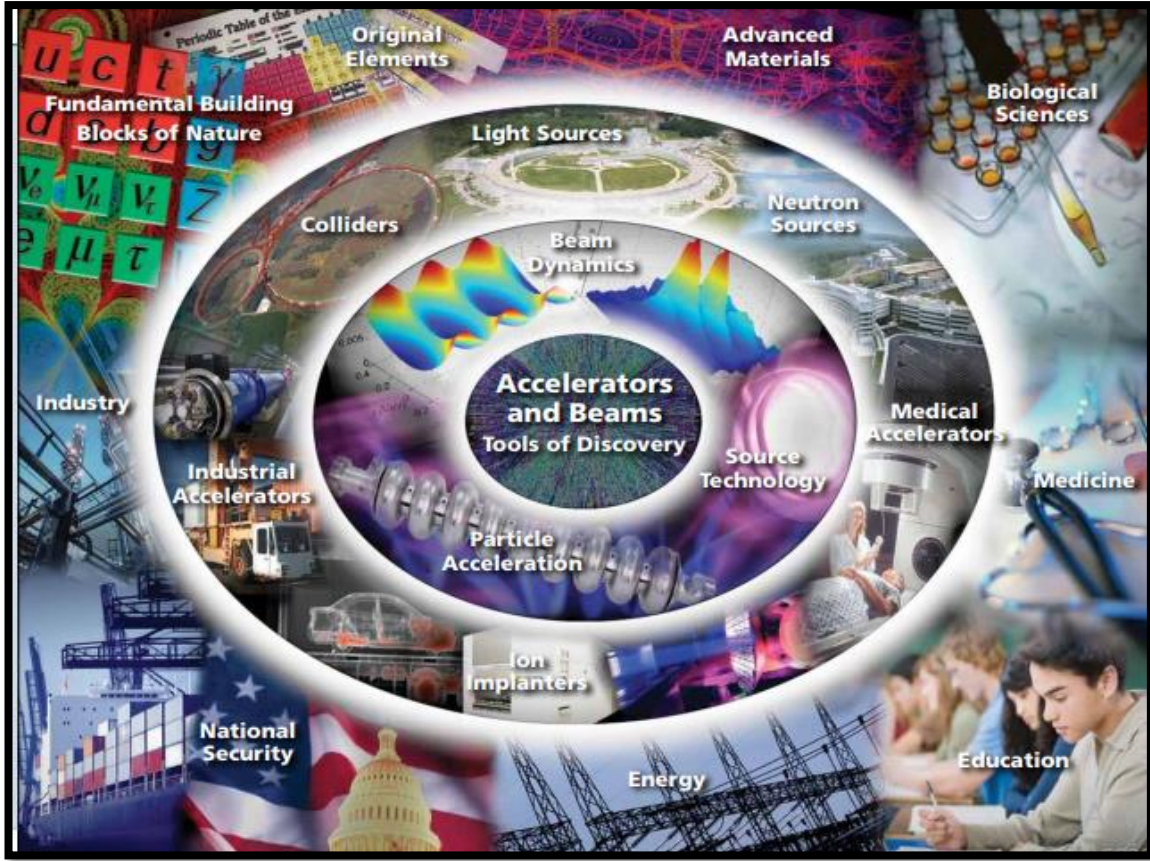
ومن بين الاقسام الرئيسية الثلاثة المركبة هي :

تطبيقات مسرعات الجسيمات.

- قسم الاتصالات والفيزياء : والذي يحتوي على معدات الاتصالات وحزم الادوات لمراقبة شحن المركبة وبيئة البلازما.
- قسم المسرع : حيث يتم توليد وتعادل شعاع الهيدروجين.
- قسم تشخيص الشعاع : الذي يحتوي على مجسات شعاعية وكاميرات لتتبع الحزمات.



الشكل (15. III) رسم لنظام الحمولة صاروخ عام 1 فيفري 1988.



الشكل (16.III) تطبيقات المسرعات في مجالات العلوم و التكنولوجيا.

من خلال هذا الفصل، قمنا بإجابة على الأسئلة في فصل السابق، وكذلك تكلمنا على أهم تطورات التكنولوجيا المختلفة لمسرعات الجسيمات وخصائصها الفيزيائية التي تسمح لها بالتصنيف العائلي (مسرعات خطية ومسرعات دائرية)، مع فهم أهمية المسرعات في عالم الإبداع التكنولوجي هذه الضوابط التي ستمكننا في تسهيل عمليات البحث العلمي.

الخاتمة العامة

في هذه المذكرة، تناولنا دراسة نظرية لمسرعات الجسيمات، مستندين إلى فهمنا العميق لمفاهيم فيزياء الجسيمات المرتبطة بتسريع الجسيمات المشحونة وتفاعلاتها، ان العمل النظري الذي قمنا به مكننا من إبراز أهمية المبادئ الأساسية التي تقوم عليها هذه الآلات المعقدة، مثل الحقول الكهربائية والمغناطيسية ..الخ، بالإضافة إلى ذلك، قد تكلمنا على العمل و الدور الحيوي لمسرعات الجسيمات في فهم أليتها، كما ناقشنا مختلف أنواع المسرعات ومجالات استخدامها في الفيزياء الذرية والنووية، وفيزياء الجسيمات وكذا في التطبيقات الطبية والصناعية والعسكرية.

ومع كل هذه الاكتشافات، فتحت أمام العلماء آفاق جديدة، تُستكمل من خلال تجارب متقدمة كالمصادمات بين الإلكترونات و البوزيترونات LHC، والمشاريع الطموحة المقترحة مثل المصادم الخطي الدولي (International Linear Collider). أما الاتجاه الرئيسي الآخر في فيزياء الجسيمات فهو دراسة النيوترينوهات (neutrinos — elusive)، وهي جسيمات مراوغة لا تحمل شحنة. ومن الأفكار الواعدة في هذا المجال مُسرّع على شكل حلقة تخزين للميونات (muons)، التي تُعد إلكترونات ثقيلة، أو مشروع "إكس" (Project x) المقترح في مختبر فيرمي (Fermilab) .

ولأن الطبيعة لا تزال تخفي في طياتها كثيراً من الأسرار، فإن الشغف العلمي لا يتوقف عند حدود ما تحقق، بل إن الرؤية المستقبلية لعلماء الفيزياء، وخصوصاً المتخصصين في بناء المسرعات، تؤكد على أهمية الاستمرار في التفكير، والتخطيط، والبحث في الجيل القادم من المصادمات. فحتى بعد إنجازات LHC تبقى الأسئلة المعقدة قائمة،

إن هذا العمل تضمن جمع معلومات دقيقة، و يعد خطوة أساسية نحو فهم أعمق للفيزياء الحديثة، وهو ما يُحتم علينا مواصلة العمل والاستكشاف، بإيمان راسخ بأن العلم لا يعرف النهاية، بل هو مسيرة دائمة نحو فهم أعمق وأشمل للكون.

ويفتح لنا افاقا لمواصلة البحث وتطوير تطبيقات مسرعات الجسيمات في ظل التحديات والتطبيقات المستقبلية في هذا المجال.

- [1] N, B. (2018). Module physique Des Particules. Biskra, Université Mohamed Khider.Biskra.
- [2] Francis, H. A. (1984). Quarks and Leptons,An Introductory cour in Modern Particle Physics. United Kingdom, John wiley& Sons.
- [3] David J, G. (15 March 1987). Introduction to Elementary Particles. The United States of America: John Wiley & Sons Inc.
- [4] Claude Le Sech, Christian Ngô. (2014). Physique nucléaire Des quarks aux applications. France, Dunod.
- [5] Alexander G., H. (2008, December 18). Atom Smasher Preparing 2010 New Science Restart. U.S News & World Report.
- [6] Phu Anh Phi Nghiem, (1er février 2020). LES ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES. TDC, n°1126. CEA - IRFU, Université Paris-Saclay.
- [7] Klaus , W. (2001). The Physics of Particle Accelerators: An Introduction. The United States of America: Oxford University Press.
- [8] Johann, C. (2006). Accélérateurs de particules , principes & limitations. Farnce: INIS.
- [9] Helmut , W. (2015). Particle Accelerator Physics. Switzerland (City: Cham), Springer International Publishing.
- [10] Bordovitsyn, V. A. (Ed.). (1999). Synchrotron Radiation Theory and Its Development: In Memory of I.M. Ternov (Vol. ISBN). Singapore, World Scientific Publishing Company.
- [11] حصري أحمد . (2024). إشعاع السنكروترون (Synchrotron Radiation). 11، صفحة 147.
- [12]https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B3%D8%B1%D8%B9_%D8%AE%D8%B7%D9%8A

- [13] Ragnar , H. (2005). Electrostatic Accelerators: Fundamentals and Applications (Vol. ISBN). New York: Springer, New York.
- [14] Klaus, W. (2000). The Physics of Particle Accelerators: An Introduction (Vol. ISBN). (J. McFall, Trans.) The United States of America: Oxford University Press.
- [15] Sam Bayat, N. (mars 2021). Rôle des accélérateurs de particules dans la lutte contre le SARS-CoV-2.
- [16] José Baruchel, A. P. (2013). Nouvelles applications de l'imagerie aux rayons X en utilisant le rayonnement synchrotron. pp. 32–37.
- [17] Philippe, L. (2017). Cryogénie, supraconductivité et accélérateurs de particules : 50 ans de développements croisés. pp. 20–26.
- [18] <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/accelerateurs-de-particules.aspx?Type=Chapitre&numero=1#:~:text=L%27objectif%20premier%20d%27un,constituants%20élémentaires%20de%20la%20matière>.
- [19] Los Alamos National Laboratory. (September 10–14, 1990). (C. Beckmann, Ed.) Albuquerque, New Mexico, USA: Los Alamos National Laboratory.
- [20] Steven T., C. (2010, November). Accelerators and Beams: Tools of Discovery and Innovation (3 ed.). (E. Malamud, Ed.) United States: Division of Physics of Beams, American Physical Society (APS).
- [21] Dr. Thakonwat Chanwattana, DPhil. (April 21, 2024). Introduction to Particle Accelerators and Accelerator Physics. Thammasat, Thammasat University: Thailand ,Synchrotron Light Research Institute (SLRI), Thailand.

ملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة شاملة لمسرعات الجسيمات، من حيث أنواعها وتطبيقاتها في مختلف المجالات العلمية والتقنية، مبادئ فيزياء الأساسية، تصنيفات الرئيسية لمسرعات الجسيمات: المسرعات الخطية والمسرعات الدائرية، آلية عمل كل نوع منها ومزاياه، وكذلك التحديات التقنية المرتبطة بتشغيل المسرعات، من حيث الحاجة إلى طاقات هائلة. أهمية دراسة المسرعات الجسيمات وتطبيقاتها في تطور علم الحديث.

الكلمات المفتاحية : فيزياء الجسيمات، بنية المادة، مسرعات الجسيمات، مسرعات الخطية والدائرية، السنكروترون، فيزياء الطاقات العالية، تطبيقات مسرعات.

Summary

This note deals with a comprehensive study of particle accelerators, in terms of their types and applications in various scientific and technical fields, basic physics principles, the main classifications of particle accelerators: linear accelerators and circular accelerators, the mechanism of each type and its advantages, as well as the technical challenges associated with the operation of accelerators, in terms of the need for enormous energies. The importance of studying particle accelerators and their applications in the development of modern science.

Keywords : particle physics, structure of matter, particle accelerators, linear and circular accelerators, synchrotron, high energy physics, high energy physics, accelerator applications .

Résumé

Cette note traite de l'étude complète des accélérateurs de particules, de leurs types et de leurs applications dans divers domaines scientifiques et techniques, des principes de base de la physique, des principales classifications des accélérateurs de particules : accélérateurs linéaires et accélérateurs circulaires, du mécanisme de fonctionnement de chaque type et de ses avantages, ainsi que des défis techniques associés au fonctionnement des accélérateurs, en ce qui concerne le besoin d'énergies énormes. L'importance de l'étude des accélérateurs de particules et de leurs applications dans le développement de la science moderne.

Mots-clés : Physique des particules, structure de la matière, accélérateurs de particules, accélérateurs linéaires et circulaires, synchrotron, physique des hautes énergies, physique des hautes énergies, applications des accélérateurs.



Département des Sciences de la matière

قسم : علوم المادة

Filière: Physique

شعبة : الفيزياء

تصريح شرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث

(ملحق القرار 1082 المؤرخ في 2021/12/27)

أنا الممضي أسفله،

السيد(ة): بكر يسري

تخصص: فيزياء المادة المكثفة الصفة: طالب سنة

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 1161156 الصادرة بتاريخ: 09/12/2024

المسجل بكلية: العلوم الدقيقة قسم: علوم المادة

والمكلف بإنجاز أعمال بحث : مذكرة

عنوانها: مدرس عانت المجددات

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه وفق ما ينص عليه القرار رقم 1082 المؤرخ في 2021/12/27 المحدد للقواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها.

التاريخ: 22/12/2025

إمضاء المعني بالأمر