

الباب الثالث

التطور التاريخي لفروع الفيزياء الحديثة

فيزياء القرن العشرين وبدايات الحادي والعشرين

تمهيد:-

خطت الفيزياء في القرن العشرين - وحتى اليوم (بدايات القرن الحادي والعشرين) - خطوات جباره من التقدم والرقى، حيث تم العديد من الانجازات في هذا العلم ، الذى يعتبر من أهم العلوم ارتباطا وثيقا بما تشهده المجتمعات المعاصره من حضارة ومدنية ورقى .

وإذا كان العصر الذى نعيش فيه بوصف بأنه عصر التقدم العلمى بما فى ذلك التقدم الحادث فى أبحاث الذرة والنواة، وظهور الأقمار الصناعية والصواريخ وغزو الفضاء، وانتشار التكنولوجيا المتقدمه المتمثله فى الحاسبات الاليه (الكمبيوترات) والعقول الألكترونية ، وغيرها فإن كل ذلك يرجع الي علم الفيزياء والى الإنجازات التى يقدمها علماء الفيزياء فى تلك الموضوعات .

وفى هذا الباب سوف نقدم باختصار الانجازات التى تمت فى القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين وحتى اليوم فى مختلف الموضوعات الفيزيائية وذلك فى إطار تاريخي موثق مبني علي أحدث المراجع والنشرات العلمية المعاصرة حتى يتثنى للقارئ الاطلاع علي التطور التاريخي لفروع الفيزياء الحديثة والمعاصرة منذ بدايات القرن العشرين وحتى اليوم .

ونشير هنا إلي استخدامنا للعديد من المواقع العلمية علي شبكة الانترنت والخاصة بالانجازات الحديثة ، والمعاصرة فى علم الفيزياء ، وخاصة فيزياء الجسيمات الدقيقة التى تم الوصول فيها إلي نتائج باهرة تتعلق بتلك الجسيمات فى السنوات القليلة الماضيه وحتى سنة 2015 .

(الظهور النسبية النظرية) (النظرية النسبية وميكانيكا الكم ونظرية المجالات الكمية)

1- النظرية النسبية (Theory of Relativity)

(i) ظهور النسبية الخاصة :-

بدأت فكرة النسبية في القرن السابع عشر علي يد العالم الإيطالي جاليليو جاليلي الذي قرر أن الحركة يجب ان تكون نسبية بمعنى أنه يجب أن تتسب تلك الحركة إلي إطار أو نظام معين ترصد فيه تلك الحركة ، ووضع جاليليو معادلات للحركة النسبية طبقت بنجاح علي قوانين الميكانيكا الكلاسيكية ولكنها لم تنجح في التطبيق علي قوانين الإلكتروديناميكا (أي علي حركة الشحنات) ، ويرجع ذلك إلي الفرق بين مفهوم هذين العلمين ، فالقوة بين جسمين متحركين في علم الميكانيكا تعتمد علي المسافة بينهما ، بينما في علم الإلكتروديناميكا تعتمد القوة بين شحنتين متحركتين علي المسافة بينهما وكذلك علي سرعتهما .

وقد ظل الوضع هكذا حتي بداية القرن العشرين حين وضع العالم الهولندي هنريك لورنتز (H.Lorentz) (1853-1928) معادلات جديدة تحل محل معادلات جاليليو للحركة النسبية ، وشجع ذلك العالم الألماني ألبرت اينشتاين (A.Einstein) (1879-1955) أن يضع عام 1905 فرضين بني عليهما نظريته النسبية ، وبواسطة أول تلك الفروض وتحولات معادلات لورنتز تم التطبيق بنجاح علي قوانين الميكانيكا والألكتروديناميكا بل وسائر القوانين الطبيعية بحيث أن تلك القوانين تكون محتقظه بنفس الشكل مهما اختلف نظام الرصد الذي ترصد فيه تلك القوانين

أيضا فقد كانت هناك مشكلة أخرى عند تطبيق المعادلات النسبية لجاليليو وهي إختلاف سرعة الضوء في نظامين للرصد يتحركان بالنسبة لبعضهما ، غير أن التجارب كلها أوضحت ثبوت قيمة سرعة الضوء مهما اختلف الراصد أو مكان الرصد ، وأدي هذا التناقض إلي أن يضع اينشتاين فرضا ثانيا قرر فيه ثبوت سرعة الضوء مهما اختلفت منظومة الرصد التي تقاس فيها تلك السرعة أو هكذا نشأت النظرية السببية لتتلاشي فيها تلك المشكلات التي كانت مثار قلق لعلماء الفيزياء في بداية القرن العشرين .

يمكن صياغة فرضي اينشتاين في الصورة الأتية :

الفرض الأول : تأخذ جميع القوانين الطبيعية نفس الصورة (أو الشكل) في سائر الأنظمة المتحركة بالنسبة لبعضها .

الفرض الثاني : تكون سرعة الضوء ثابتة القيمة مهما اختلفت منظومة الرصد التي يتم فيها القياس .

وتطبق النظرية النسبية علي الجسيمات المتحركة بسرعات كبيرة للغاية تقترب من سرعة الضوء ، وهي أكبر

سرعة موجوده في الكون (تساوي 300 ألف كيلومتر في الثانية).

(ii) نتائج النسبية الخاصة :

(1) - وكان للنظرية النسبية الخاصة نتائج مذهلة كان من أهمها تغيير قانون إيجاد محصلة سرعتين علي استقامة واحدة حيث كان القانون المعروف ينص علي أن المحصلة تساوي المجموع الجبري للسرعتين فأصبح القانون الجديد مختلفا عن تلك الصيغة .

وقد طبقت الصيغة المعروفة علي العديد من التجارب التي تمت في نهاية القرن التاسع عشر ولم يكن لها تفسير معقول، غير أن تطبيق الصيغة الجديده التي أوجدها أينشتين أوجدت تفسيراً مناسباً لتلك التجارب ، (ومنها مثلا تجربة فيزو لإيجاد سرعة الضوء ، تجربة مكليسون - مورلي لنفس الغرض) .

(2) - ومن النتائج الهامة للنظرية النسبية نتائج خاصة بالكتلة والطاقة ، وأهمها قانون تغير الكتلة بتغير السرعة والذي يطبق في حالة السرعات الكبيرة للغاية ، وكذلك قانون تحول المادة إلي طاقة وبالعكس ، والذي يحدد العلاقة بين الكتلة المتحولة الي طاقة ، والطاقة الناتجة من هذا التحول ، وينص القانون علي أن الطاقة الناتجة من تحول كتلة معينة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء ، وهذا الإعتبار يوحد بين الطاقة والكتلة ، فلا يكون لإحدهما كيان منفصل عن الأخرى ، وبصيغة أخرى فإن الكتلة والطاقة مظهرين لحقيقة واحدة .

ومن نتائج هذا الأعتبار أن الجسم إذا تشعب منه بعض طاقته كما يحصل في المواد المشعة فإن ذلك يكون حتماً مقرونا بنقص في الكتلة ويمكن حساب هذا النقص باستخدام القانون المذكور .

وبناء علي هذه العلاقة أيضا تم تصميم القنبلة الذرية عام (1945) والهيدروجينية عام (1952) وحسبت الطاقة الناتجة من التحولات النووية المختلفة وخاصة عمليتي الإنشطار (الخاصة بالقنبلة الذرية) والإندماج (الخاصة بالقنبلة الهيدروجينية) .

وقد تم تطبيق النظرية النسبية الخاصة في تفسير عدد من الظواهر بنجاح كبير ، وكان أهم تلك الظواهر ظاهرة التأثير الكهروضوئي والنظرية الفوتونية لأينشتين التي قرر فيها أن الضوء يتكون من جسيمات تسمى الفوتونات، يمثل كل فوتون منها وحدة الطاقة الضوئية ، ووضع أينشتين القوانين المنظمة لتلك النظرية وفسر بها ظاهرة التأثير الضوئي ، ونال علي ذلك جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1921.

(3) ومن نتائج النظرية النسبية الخاصة أيضا نشوء فكرة المتصل (أو الفضاء) ذي الأبعاد الأربعة علي يدي العالم الألماني (من أصل لتواني) هيرمان منكوفسكي H.Minkowski (1864-1909) عام 1908 والذي اعتبر أول تفسير هندسي للنظرية النسبية الخاصة ، وموody هذا التفسير أن أي حادث في الكون لا يتم تحديده بتحديد المكان الذي يحدث فيه فقط بل يلزم تحديد زمن حدوثه أيضا، وقد اتضح هذا لمنكوفسكي من معادلات لورنتز التي

يرتبط فيها الزمان بأبعاد المكان، ويتغير بتغيرها، وليس له وجود قائم بذاته كما كان يظن من قبل حيث كان يعتقد أن الزمان مطلق، وقد استطاع منكوفسكى أن يجمع معادلات لورنتز (الرابعة) ثلاثة للموضع أو المكان (رابعة للزمان) في معادلة واحدة مضغوطة (مختصرة) باستخدام أحد الموضوعات الرياضية المتقدمة وهو تحليل الممتدات (Tensor Analysis).

(iii) ظهور النسبية العامة:

وفي عام 1916 نشر أينشتين نظريته المعروفة بالنظرية النسبية العامة، والتي يمكن اعتبارها النظرية الحديثة للجاذبية، حيث أدخل أينشتين قوة الجاذبية في الاعتبار عند دراسته لحركة الجسيمات في الفضاء، وكانت تلك القوى مهملة في النظرية النسبية الخاصة، وفي النسبية العامة تتحرك الاجسام في متصل رباعي الأبعاد هو أشبه بسطح منحنى، حيث يكون وجود الاجسام محددًا بخطوط منحنية وليست مستقيمة، ومعادلات هذه المنحنيات تتوقف على نوع المتصل (أى المعادلة الرياضية التي تصفه)، ومقدار انحنائه، وعوامل أخرى. وقد دلت المشاهدات الفلكية التي أجريت في العشرينيات من القرن الماضي على صحة فروض ومعادلات النسبية العامة مما كان له أكبر الأثر في نجاح النظرية وفروضها.

(iv) ظهور علم الكوزمولوجيا (علم الكونيات) :-

وكانت النظرية النسبية العامة مقدمة لعلم من أهم علوم القرن العشرين ألا وهو علم الكونيات (الكوزمولوجيا) cosmology والذي وضع أسسه أولاً كل من الالماني البريت أينشتين والهولندي وليام دي سيتر W.deSitter (1872-1934) عام 1919، وذلك بوضع نماذج رياضية للكون على أساس أنه كون إستاتيكي (مستقر)، وتمت مقارنة النتائج الهندسية والفيزيائية لكون أينشتين وكون دي سيتر بالكون الفعلي بناء على نتائج فلكية رصدية محدده، وتطورت البحوث في علم الكوزمولوجيا حيث ظهر نموذج الكون اللاإستاتيكي (او الديناميكي) على يد العالم الروسي الكسندر فريد مان A.Fredman (1888-1925) عام 1922، والذي يظهر الكون على أنه كون غير مستقر يتمدد (أو يتسع) باستمرار وكان هذا أول إشارة إلى وجود نظرية تمدد الكون أو اتساعه. وفي عام 1929 لاحظ الفلكي الأمريكي إدوين هابل E.Hubble (1889-1953) من خلال تجاربه تباعد المجرات المستمر عن بعضها البعض مما يعنى أن الكون في حاله تمدد حجمى أو اتساع مستمر، وكان ذلك اشارة لتأكيد نظريه الكون اللاإستاتيكي لفريد مان (نظرية تمدد الكون أو اتساعه)، وتطورت البحوث حتي حين عام 1950 قام الفيزيائي والفلكي الانجليزي فريد هويل F.Hoyle (1915-2001) بوضع نظرية الخلق المستمر للمادة في الكون (والتي تسبب تمدده أو اتساعه).

2- ظهور ميكانيكا الكم (Quantum Mechanics) :-

(i) نشأة ميكانيكا الكم :

دخل علم الفيزياء في بداية القرن العشرين عالما جديدا هو عالم ما في أعماق المادة من ذرات ونوى الذرات والجسيمات التي تدخل في تركيب تلك الذرات والنويات ومنها الالكترونات والبروتونات والنيوترونات وغيرها.

وهو عالم غير مرئي يلزم لدراسته نظريه علميه قوية تدرس لنا هذه الجسيمات من حيث طبيعتها وخواصها وتفاعلاتها ، وقد ظهرت هذه النظرية إلى الوجود بالفعل مع بدايات القرن العشرين واطلق عليها اسم (نظرية الكم)، ولما كانت الذرات والجسيمات داخل المادة في حالة حركة مستمره دائمه وهو مجال علم الميكانيكا ، فقد أطلق على تلك النظرية أيضا إسم (ميكانيكا الكم).

وإذا عرفنا هذا العلم الجديد بأنه فرع من فروع الفيزياء ندرس فيه عالم الأشياء (أو المظومات) المتناهية في الصغر كالجزيئات والذرات والنويات ومكوناتها من جسيمات دقيقة (أوليه)، وذلك من حيث حركتها وتفاعلاتها مع بعضها ومع المواد والاشعاعات ، وكذلك دراسة المجالات العاملة بينها وخصائص تلك المجالات، فإن البعض يسمي هذا العلم أيضا (فيزياء الكم) Quantum Physics.

وقد بدأت نظرية الكم في الظهور عام 1900 بافتراض الفيزيائي الألماني ماكس بلانك (1858-1947) وجود عنصر الكم للاشعاع الحراري ، حيث افترض أن هذا الاشعاع ينبعث على هيئة نبضات منفصله من الطاقه كل منهما يسمي بالكم أو الكونتم (Quantum) ، ويعتبر وحدة الطاقة المنبعثه كاشعاع من الاجسام الساخنه . وقد عمم ألبرت أينشتين فكرة بلانك تلك على أشعة الضوء فوضع النظرية الكمية للضوء عام 1905 وموفاها أن الضوء ينبعث على هيئة كمات (وحدات منفصله) من الطاقه تسمى الفوتونات، فالفوتونات إذن هي كمات الاشعه (أو الطاقه) الضوئيه.

وقد تم تطبيق نظرية بلانك الكمية بنجاح في إيجاد الحرارة النوعيه للأجسام الصلبه بصورة دقيقه عام 1911 على يدى الهولندى بيتر ديبياي (1884-1966) P.Debye ، وفى ايجاد أول نموذج للتركيب الذرى والأطياف الذريه عام 1913 على يدى الدنمركى نيلز بوهر (1885-1962) N.Bohr ، وتعميم هذا النموذج بإدخال المدارات الاهليلجيه (البيضاويه) لحركة الالكترونات عام 1915 على يدى الالماني أرنولد سومر فيلد (1868-1951) A.Sommerfeld .

(ii) تطور الأبحاث في ميكانيكا الكم:

وفى عام 1923 وضع الفيزيائى الفرنسى لويس دى برولى L.DeBroglie (1892-1987) فرضيته الجريئة حيث أدخل الخاصيه الموجية للجسيمات المتناهية في الصغر (كالالكترونات) بمعنى أن لتلك الجسيمات وجهين : أحدهما تمثله الخواص الجسيميه لتلك الجسيمات (الكتله ، السرعة ، كميته الحركه ،) والآخر تمثله

خواص موجيه ناتجه عن افتراض وجود موجات (أوحركة موجيه) تصاحب هذه الجسيمات لها تردد وطول موجي معين .

وأدى ذلك الى افتراض وجود داله تصف تلك الازدواجيه فى الخواص سميت بالداله الموجية أو داله الحالة (state function)، وهى داله ذات صفات رياضيه محدد .

وقد ظل المعنى الدقيق للداله الموجية غير واضح حتى اقترح الألماني ماكس بورن (1882-1970)M.Born الصغه الاحتماليه للداله الموجية ، وهى أن مربع تلك الداله يدل على احتمال وجود الجسيم في مكان ما من الفراغ فى زمن معين ، وكان ذلك عام 1925 .

وعلى أساس خاصية الازدواجيه الجسيميه – الموجية تمكن النمساوى إروين شرودنجر E.Schrodinger (1887-1961) من وضع المعادلة الاساسيه التى تصف حركة الالكترونات ، وذلك عام 1926، وكانت تلك المعادلة التفاضلية هى أساس ما عرف باسم الميكانيكا الموجية (Wave Mechanics) .

وفى نفس الوقت ظهر العديد من الابحاث فى الميكانيكا الجديده ، حيث وضع الالماني فرنر هيزنبرج W.Heisenberg (1901-1976) ما عرف بميكانيكا المصفوفات (Matrix Mechanics) وهى صورة أخرى لدراسة تلك الميكانيكا الجديده .

وكانت الميكانيكا الموجيه (لشرودنجر) وميكانيكا المصفوفات (لهيزنبرج) تختصان بدراسة حركة المنظومات الذريه ذات السرعات المعتاده ، وفى عام 1927 أدخل الانجليزي بول ديراك P.Dirac (1902-1984) النظرية النسبيه لدراسة الميكانيكا الجديده فى حالة حركة الجسيمات بسرعات عاليه تقترب من سرعة الضوء ، وأطلق على تلك الدراسه اسم: ميكانيكا الكم النسبيه أو ميكانيكا الكم لديراك .

وبدأ ديراك فى تطبيق ميكانيكا الكم النسبيه لدراسة خواص الاشعاع وذلك عام 1928 وفى عام 1929 .

ظهر أول كتاب يحمل اسم (ميكانيكا الكم) من تأليف الأمريكان إدوارد كوندون E.Condon (1902-1974) وفليب مورس P.Morse (1903-1985) وتلاه كتاب ديراك عام 1930 (أسس ميكانيكا الكم) .

وقد توالى تطبيقات ميكانيكا الكم بفرعيها غير النسبى (شرودنجر وهيزنبرج) والنسبى (ديراك) على مسائل الاشعاع والتصادمات الذريه والقوى النوويه وتفسير التفاعلات وخواص المجالات الحادته بين الجسيمات وبعضها ، وتم ذلك على يدي مجموعة من العلماء الشبان فى تلك الفترة نذكر منهم: الألماني فالتر جوردون W.Gordon (1893-1939)،السويدي أوسكار كلاين O.Klein (1894-1977) ،النمساوى ولفجانج باولى W.Pauli (1900-1958) ،الالماني باسكال جوردان P.Jordan (1902-1980) والالماني فالتر هاينتر W.Heiter (1904-1981) ، الألماني هانز بيث H.Bethe (1906-2005) وغيرهم .

وتأسيساً نظرية المجالات الكمية (Quantum Field Theory) محاولات توحيد المجالات

(i) أنواع المجالات الموجودة في الطبيعة :

كان المجالان المشهوران في الطبيعة في بدايات القرن العشرين هما المجال الكهرومغناطيسي والمجال الثقلي (او التجاذبي) ، وفي الثلاثينيات من القرن العشرين ظهر نوعين جديدين من المجالات هما المجال الضعيف (Weak Field) وتم إدخاله عام 1931 على يدى الايطالى إنريكو فيرمي (E.Fermi) (1901-1954) ، النمساوى ولفجانج باولى ، وهو المجال المسؤول عن بعض العمليات الانحلالية داخل نواة الذرة وبعض العمليات النووية الأخرى المسماة بالعمليات الضعيفة (Weak Processes)، والمجال القوى (Strong Field) وتم إدخاله على يدى اليابانى هديكى يوكاوا (H. Yukawa) (1907-1981) عام 1935 وهو المجال المسؤول عن ربط مكونات نواة الذرة (البروتونات والنيوترونات) ببعضها، وسمى أول الأمر بالمجال النووى أو مجال القوى النووية ثم تطور بعد ذلك وأصبح مسئولاً عن بعض العمليات النووية الخاصة بالجسيمات المسماة الهدرونات (Hadrons) والتي تتفاعل مع بعضها بتأثير المجال القوى (أو الشديد) .

(ii) ظهور الكتروديناميكا الكم:-

ومنذ بداية القرن العشرين حاول ألبرت آينشتين محاولات متعددة ولفترات طويلة امتدت حتى عام 1953 لتوحيد المجالين الكهرومغناطيسى والتجاذبى فوضع نظرية المجالات الموحدة (unified field theory) واستخدم فيها أدوات رياضية متقدمة ، ولكنها لم تكلل بالنجاح المطلوب . وبعد اكتشاف المجالين الضعيف والقوى اتجه العلماء لتطبيق ميكانيكا الكم لدراسة هذين المجالين ، وانكب الفيزيائيون النظريون منذ ذلك الوقت على حل المسائل المتعلقة بالمجالات والاشعاع من خلال دراسة التفاعل الحادث بين الفوتونات والالكترونات وذلك بهدف الحصول على نظريات محددة لوصف الظواهر الخاصة بالمجالات المكتشفة، وتأسس بذلك فرع جديد هو الكتروديناميكا الكم (Quantum Electrodynamics) واختصاره (QED) الذى ندرس فيه التفاعل بين الفوتون (وهو الجسيم الحامل أو الناقل للمجال الكهرومغناطيسى) والجسيمات الأخرى مثل الالكترون ، وقد قام بوضع المبادئ الأساسية لهذا العلم سنة 1948، العلماء الثلاثة : اليابانى سينترو توموناغا (S. Tomonaga) (1906-1979) والأمريكى ريتشارد فينمان (R.Feynman) (1918-1988) وجولييان شوينجر (J.Schwinger) (1918-1994) ونال العلماء الثلاثة علي ذلك جائزة نوبل في الفيزياء عام 1965.

(iii) بدايات نظرية الكم للمجالات:

وكان هذا الفرع الجديد (الكتروديناميكا الكم) هو أول الغيث في ظهور نظرية المجالات الكمية وهي النظرية التي تطبق فيها خواص الجسيمات في ميكانيكا الكم على المجالات المختلفة بوصف تلك المجالات منظومات مثل منظومة الجسيمات والذرات، وقد امتد تكوين نظرية المجالات الكمية منذ ظهور الكتروديناميكا الكم والمختصه بنكيم Quantization المجال الكهرومغناطيسي أى تطبق ميكانيكا الكم على هذا المجال إلى تكيم المجالات الأخرى (الضعيفه ، إقويه ، التثاقليه) فظهرت نظرية الكم للمجالات الضعيفه على يدى ولفجانج بأولي الذى افترض عام 1931 وجود جسيم متعادل صغير للغاية ينبعث مع الاكتروونات فى عملية انحلال بيتا ، وفى عام 1934 طور إنريكوفيرمى نظرية بأولي وأطلق على هذا الجسيم المتعادل إسم النيوترينو. ثم ظهرت نظرية الكم للمجالات القوية (على يدى الأمريكى موراي جيلمان M.Gill - Mann (1929-2000) عام 1964، ومازال العلماء يحاولون تطبيق ميكانيكا الكم على المجال التجاذبي حيث قابلتهم صعوبات جمة فى إيجاد تلك النظرية .

(iv) تطور عملية توحيد المجالات :

وبالعودة إلى مسألة توحيد المجالات، فقد ظهرت عام 1969 نظرية لتوحيد المجالين الكهرومغناطيسى والضعيف فى مجال واحد أطلق عليه إسم المجال الكهرو ضعيف (Electroweak Field) وذلك على يدى ثلاثة علماء هم: الباكستانى محمد عبدالسلام M.Abdussalam (1926-1996) والامريكى ستيفن فينبرج S.Weinberg (1933-2000) وشلون جلاشو S.Glashpw (1932-2000) ولقيت هذه النظرية نجاحات كبيره ، وقد حصل هؤلاء العلماء الثلاثة علي جائزة نوبل فى الفيزياء علي هذا العمل وذلك سنة 1979 وجرت فى السبعينيات والثمانينات من القرن العشرين محاولات لدمج المجال القوى (أو الشديد) مع هذين المجالين فى قوة توحيد شامله أو كبرى أطلق عليه إسم (Grand Unification Theory) واختصاراً (GUT) استخدم فيها الفيزيائيون فرعا رياضيا متقدما هو نظرية الزمر (Group Theory) وذلك لاستغلال خاصية التماثلات التى تتمتع بها تلك النظرية مع ظاهرة التماثل المنتشرة بين الجسيمات المكونه (أو الحاملة) للمجالات المختلفة .

وظهرت نظريات جديدة لتفسير تلك العمليات نذكر منها : ظهور نظريه جديده لتفسير المجالات القويه عام 1974 على يدى الأمريكى أوسكار جرينبرج D.Greenberg (1932 – 2000) من جامعة ميريلاند أدت آلى ظهور فرع جديد من فروع الفيزياء هو الديناميكا اللونيه الكمييه (Quantum Chromodynamic) واختصارها (QCD) وكذلك ظهور نظرية الأوتار الفائقه (Superstrings) لتفسير التفاعلات الحادئه بين الجسيمات والمجالات ، وكان ذلك فى البدايه عام 1971 على يدى اليابانى يوشيرو نامبو (Y.Nambu (1921-2015) ،

والأمريكي جون شووارز J.Schwarz (1941-000)

، ثم إعادة صياغة أو اكتشاف تلك النظرية ، وتطبيقها في توحيد مجالات الجسيمات الأولية كنظريته شامله لكل المجالات ، وتم ذلك على يد جون شووارز نفسه والانجليزى ميشيل جرين M.Green (1946-000) وذلك عام 1984 .

ويتحدث العلماء حالياً عن النظرية النهائية الخالية من التعقيدات والمشكلات الرياضيه والسهله في التطبيق والتي تصف كافة التفاعلات الحادثة بين الجسيمات والتي أطلق عليها اسم نظرية كل شئ (Theory Of Everthing) والمعروفه اختصاراً (TOE) .

وتجدر الإشارة هنا إلى أن واضع هذا الاسم هو البروفيسور جون شووارز صاحب نظرية الأوتار الفائقة حيث قال في أحد كتاباته: " أن تلك النظرية - في اعتقادي - قد تكون هي الصيغة النهائية للنظريات الكونية أو هي نهاية المطاف في توحيد المجالات ،" وبالرغم من ذلك فإن هناك بعض العلماء يتحفظون على هذا الرأي ويقولون أنه من اللازم توافر برهان تجريبي قاطع لتلك النظرية ، وقد عبر عن ذلك البروفيسور شلدون جلاشو الأستاذ بجامعة هارفارد في مقال كتبه في مجلة (الفيزياء اليوم) في مايو 1986 حيث قال :

" لقد بذل عدد كبير من العقول اللامعه جهوداً مضنية في تلك النظرية لسنوات طويلة ، ولكن لم يتوافر أى تنبؤ قابل للتحقيق ، وقد لا يتوافر مثل هذا التنبؤ في المستقبل القريب "

أما البروفيسور إدوارد وتين E.Witten (1951-0000) من جامعة برنستون بالولايات المتحدة فقد صرح في أحد المؤتمرات العلمية في يوليو عام 1985 بأن نظرية الأوتار (أو الخيوط) الفائقة تعد طفره بحق ومن المحتمل أنها يمكن أن تقضى إلى فهم مستحدث لطبيعة المجالات ، وفي اعتقادي أن تلك النظرية سوف تشغل عالم الفيزياء على الأقل خلال نصف القرن القادم .

ويمكن الرجوع إلى كتابي (الإنجازات العلمية الحديثه والمعاصرة في الفيزياء) - دار الفكر العربي (2000م) لمعرفة المزيد عن تلك النظريات الحديثه لمن يهيمه معرفة ذلك .

ثانياً : - فيزياء الذرة والنواة

(i) استمرار البحوث في خواص الأشعة الصادرة من المواد المشعة:

بدأت الأبحاث الخاصة بفيزياء الذرة والنواة بالتجربة التي أجراها هنري بيكريل عام 1900 وأثبت فيها أن أشعة بيتا الصادرة من العناصر المشعة ما هي إلا الكترونات مماثلة لتلك التي تكون أشعة المهبط (الكاثود) ، وفي نفس العام تمكن الفرنسي بول فيلارد P.Villard (1860-1934) اكتشاف أشعة جاما التي تنبعث من المواد المشعة وأثبت أنها تتكون من موجات كهرومغناطيسية تسير بسرعة الضوء، وفي عام 1903 أثبت الفيزيائي البريطاني اللامع إرنست رذرفورد E.Rutherford (1871-1937) والملقب بأبي الذرة ومساعدته فردريك صودي F.Soddy (1877-1956) أن عمليات النشاط الإشعاعي (انبعاث إشعاعات ألفا وبيتا وجاما) من العناصر المشعة تتسبب في تحويلات العناصر إلى عناصر أخرى، وفي عام 1909 تمكن رذرفورد بمساعدة توماس روينز T.Royds (1884-1955) من إثبات أن أشعة ألفا الصادرة من المواد المشعة ما هي إلا ذرات هليوم متأيئة (أو نويات هليوم) ، وقد تمكن الأمريكي روبرت ميليكان R.Millikan (1868-1953) من القياس الدقيق لشحنة الإلكترون (المكون لأشعة بيتا) عام 1909 أيضاً .

وقامت الدراسات حول الأطياف الذرية للعناصر والتي تم تفسيرها بعد ذلك على أنها ناتجة عن انتقالات الإلكترونات بين المدارات المختلفة داخل الذرة ، واستطاع الألماني فردريك باشن F.Paschen (1865-1947) عام 1908 من التحقق عملياً من وجود سلاسل لطيف ذرة الهيدروجين في المنطقة تحت الحمراء ، وأطلق عليها اسم سلاسل باشن الطيفية ، وكان الأمريكي تيودور ليمان T.Lyman (1874-1954) قد اكتشف وجود سلاسل لطيف الهيدروجين في المنطقة فوق البنفسجية من الطيف قبل ذلك بعامين (أي عام 1906) وأطلق عليها اسم سلاسل ليمان .

(ii) اكتشاف نواة الذرة ووجود البروتون:

وحتى عام 1911 لم يظن العلماء إلى وجود نواة الذرة حتى تم اكتشافها على يدى اللورد رذرفورر بمساعدة اثنين من تلاميذه هما: هانز جيجر H.Geiger (1882-1945) ، إرنست مارسدن E.Marsden (1889-1970) حيث لاحظوا وجود قلب لذرة عنصر الراديوم ذا حجم صغير جداً وكتلة كبيرة جداً وقاموا بتحديد حجم هذه الكتلة المركزة في قلب الذرة وأطلق عليها اسم النواة ، واتضح لهم أن حجم النواة صغير للغاية بالنسبة إلى حجم الذرة ككل ، ووضع رذرفورد على أثر ذلك نموذجاً للذرة سمي بالنموذج الكوكبي نظراً لتشابهه مع النموذج المعروف لتركيبة المجموعة الشمسية وفيه الشمس كنواة ويدور حولها عدد من الكواكب في مدارات

محدده ، وطبقا النموذج رذرفورد هذا :

تتكون الذرة من نواة ذات حجم صغير جدا وتحمل شحنة موجبه ونصف قطر من مرتبه (10^{-15}) متر وتتركز في هذه النواة كتلة الذرة ، وتدور حول النواة الكترونات في مدارات محددة .

وكان من الطبيعي بعد ذلك أن ينشأ تساؤل عن مكونات النواه ، وقد استمر هذا التساؤل قائما حتى عام 1919 حين أجرى رذرفورد أيضا أول تجربة لتحويل العناصر ، ومنها أعلن رذرفورد اكتشافه لجسيم داخل النواه يحمل شحنة موجبه وكتله كبيرة جدا بالمقارنه مع كتلة الإلكترون ، وأطلق على هذا الجسيم اسم البروتون وكان المعتقد وجود البروتون في نواة ذرة الهيدروجين فقط ، غير أن التجارب التي أجراها رذرفورد في ذلك العام (1919) أظهرت وجود هذا الجسيم في نويات العناصر الأخرى أيضا .

(iii) تطور الابحاث الخاصه بطيف أشعة إكس :

ومن الانجازات الهامه في الربع الاول من القرن العشرين تطور الابحاث الخاصه بأطياف أشعة إكس وكان أول تلك البحوث إكتشاف أشعة إكس الثانويه المميزه للعناصر عام 1908 وذلك على يد الانجليزي تشارلز باركلا C.Barkla (1877-1944) ، ثم اكتشاف حيود تلك الاشعه بواسطة البلورات على يد الألماني ماكس فون لاو M.Von Laue (1879-1960) عام 1912 مما يثبت الخاصيه الموجية لتلك الاشعة بعد أن احتار العلماء في تفسير كنهتها ، وفي عام 1913 قام العالمان الانجليزيان هنرى براج H.Bragg (1862-1942) وابنه لورنس براج (1890-1971) بدراسة انكسار أشعة إكس بواسطة البلورات وقاما باختراع أول مقياس طيفي (سبكترومتر) لتلك الاشعة ونالا بذلك جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1915، كما بدأ الفيزيائي السويدي كارل سيغيان K.Siegbahn (1886-1978) عام 1914 باجراء سلسله طويله من الأبحاث الرائد في أطياف أشعة إكس ، توجها عام 1925 باكتشاف انكسار أشعة إكس عند مرورها من وسط لأخر ونال بذلك جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1924.

(iv) إكتشاف الأشعة الكونيه :

ومن العلامات المميزه في تلك الفترة أيضا إعلان إكتشاف الأشعة الكونيه (Cosmic rays) عام 1911 بواسطة العالمين النمساويين فيكتور هيس V.Hess (1883-1964) وفرنر كولهورستر W.Kolhoerster (1887-1945) ، وقد توالت البحوث والدراسات الخاصه بتلك الأشعة ، وكان أهمها هو الحصول على أول صور لتلك الأشعة باستخدام مايعرف بالغرفة السحابيه (Cloud Chamber) التي اخترعها الانجليزي تشارلز ويلسون C.Wilson (1869-1959) عام 1911 لاستخدامها في تصوير مسارات الجسيمات الدقيقه ، وقد حصل على تلك الصور الفيزيائي الروسي ديمترى سكوبيلتزن (D.Skobelitsyn) (1892-1990) عام 1928 ، وبينت تلك الصور أن الاشعه الكونيه تتكون من جسيمات عاليه الطاقه ، وفي العام التالي (1929) تمكن كل من الألماني فالتر بوث W.Bothe (1891-1957) مع فرنر كولهورستر (أحد مكتشفى تلك الاشعة) من

استخدام أحد أجهزة الكشف عن الجسيمات والاشعاعات المعروف باسم عداد جيجر- مولر في صنع ماعرف بعدادات النطاق واستخدموها بنجاح في دراسة الأشعة الكونية ، وأعطت تلك العدادات نتائج باهرة كشفت عن خواص تلك الأشعة ومكوناتها، وقد أصبحت تلك الأشعة مصدرا هاما لاكتشاف والحصول على الجسيمات الأولية المختلفة كما سنرى فيما بعد .

وكان هانز جيجر (تلميذ رذرفورد) قد تمكن عام 1928 بمساعدة فالتر مولر W.Muller (1905-1979) من تطوير العداد الذي اخترعه جيجر عام 1913 للكشف عن المواد المشعة ، بحيث أصبح عداد جيجر- مولر من الأدوات الفعاله في الكشف عن الأشعة الكونية ومكوناتها.

(v) نشأة المعجلات (Accelerators) لتسريع الجسيمات:

ومن الموضوعات المرتبطة بمجال الذرة والنواه والجسيمات المكونه لها موضوع المعجلات أو مسرعات الجسيمات ، وتأتي أهمية هذه الأجهزة في أنها كانت الطريق المباشر الذي مكن العلماء من الاكتشافات الحديثه والهامة بخصوص البناء الذري والنوى والجسيمات الأولية التي تدخل في هذا البناء ، والهدف من وراء هذه الاجهزه هو تعجيل أو تسريع (زيادة السرعة أو إعطاء طاقة) لتلك الجسيمات ثم توجيهها نحو بعضهما أو نحو بعض النويات الذرية لحدوث تفاعلات معينة تعطينا المزيد من الصفات التركيبية عن البناء الداخلي للمادة .

وكان أول تلك المعجلات هو المعجل الخطي الذي اخترعه الألماني رولف فيدرو R.Wideroe (1902-1996) عام 1928 واستخدم بنجاح لتعجيل الالكترونات ، وقام بتطويره عام 1946 الأمريكي لويس ألفارز L.Alvarez (1911-1988) حيث بنى جهاز يعمل الاشعاع بجامعة كاليفورنيا ببيركلي ينتج حزما من البروتونات طاقتها 32 مليون إلكترون فولت ، وتم تطوير معجل ألفارز بعد ذلك ووصل التطوير مداه بجامعة ستانفورد بالولايات المتحدة، وذلك في مزرع المعجلات الخطيه المعروف اختصارا باسم (SLAC) حيث أعطى هذا المعجل طاقة 30 بليون إلكترون فولت ، كما تم بناء ماعرف باسم المصادم الخطي (Linear Collider) والمسمى (SLC) والذي وصل بطاقة الجسيمات إلى 100 بليون إلكترون فولت .

وبالعودة إلى نشأة المعجلات نجد أنه في عام 1931 قام الإنجليزي جون كوكروفت J.Cockroft (1897-1967) والاييرلندي إرنست والتون E.Walton (1903-1995) بمعجل كافندش التابع لجامعة كامبردج بتاجلنرا ببناء أول معجل عرف باسمهما في انجلترا ويعطى طاقة نحو 300 ألف إلكترون فولت ، وبواسطة هذا الجهاز تمكن الإنجليزي جيمس شادويك J.Chadwick (1891-1974) عام 1932 من اكتشاف جسيم جديد داخل نواة الذرة (إلى جوار البروتون) وكتلته قريبا جدا من كتلة البروتون ولكنه لا يحمل أى شحنة كهربيه (أى أنه متعادل كهربائيا) وأطلق عليه اسم (النيوترون) .

وهكذا أصبح نموذج الذرة بأنها تتكون من نواة موجبة الشحنة بها بروتونات (موجبة) ونيوترونات (متعادله)، ويدور حولها الكترونات سالبة الشحنة بحيث تكون الذرة في مجملها متعادلة (نواه موجبه

والكترونات سالبه) .

وفي نفس عام ظهور معجل كوكروت والتون (1931) ثم اختراع أول مولد الكتروستاتيكي ذي جهد عالي على يدى الامريكى روبرت فان دى جراف R.Vande Graaff (1901-1967) ، وتطور البحث فى إنشاء المعجلات فظهر المعجل الدائرى المسمى بالسيكلوترون (cyclotron) عام 1932 بمعمل الاشعاع بجامعة كاليفورنيا ، وقد بناه الأمريكان إرنست لورنس E.Lawrence (1901-1958) وملتون لفنجستون M.Livingston (1905-1986) وكان يعطى حزمة من البروتونات طاقتها تصل إلى مليون الكترون فولت في البداية.

وفى عام 1937 نشر العالمان الألماني هانز بيث H.Bethe (1906-2005) والامريكى ألبرت روز A.Rose (1910-1990) بحثاً بعنوان (الطاقة القسوي التي يمكن الحصول عليها من السيكلوترون) أوضحا فيه أن من الممكن الوصول بطاقة البروتونات المعجله بواسطة هذا الجهاز إلى أكثر من 12 مليون الكترون فولت وقد شجع ذلك علماء الفيزياء النوويه لاختراع المزيد من المعجلات لانتاج طاقات أعلى .

وتطورت المعجلات تطوراً مذهلاً ، ومن أشهر تلك المعجلات ،جهاز البيئاترون الذى بناه الأمريكى دونالدكيرست D.Kerst (1911-1993) عام 1940 ، وكذلك جهاز السنكروترون الذى تم بناؤه فى المركز الأوربي للأبحاث النوويه المعروف اختصاراً باسم (CERN) في جنيف ومقره (بسويسرا) وكان يعطى طاقة 28 بليون الكترون فولت ، وذلك في بداية الستينات وكان الأمريكى إدوين ماكميلان E.McMillan (1907-1991)

والروسى فلاديمير فكسلر V.Veksler (1907 – 1966) كل على حدة قد اقترحا أساس عمل السنكروترون عام 1945، ثم الجهاز المسمى السنكروترون البروتوني الفائق ويرمز له اختصار (SPS) في عام 1982 وطاقة تصل إلي حوالي 500 بليون الكترون فولت (أو 500 جيجا الكترون فولت) كما تم بناء معجل ضخم تحت إسم التيفاترون (Tevatron) في معمل فيرمي القومي للمعجلات في باتافيا بولاية إلينوي بالولايات المتحدة والمعروف باختصار (Fermi Lab.) ويعطى هذا الجهاز طاقه تصل إلي ألف بليون (أو واحد تيفا الكترون فولت) .

وفي التسعينيات ، بدأت مجموعه من الدول في بناء أكبر معجل في العالم في مركز (CERN) واسمه المصادم الهادروني الكبير (Large Hadron Collider) واختصار (LHC) ويعطى طاقه تصل إلي 14 تيفا الكترون فولت) ، وقد اكتمل بناء هذا المعجل عام 2007، ويشغل المعجل نفقا محيطه 27 كيلومتر .

وقد تم بواسطة هذا المعجل العديد من الانجازات الهامه في مجال البناء النووي في السنوات الأخيرة كما سنري بعد .

(vi) اكتشاف النظائر والعناصر المشعة الصناعية :

في عام 1913 اكتشف فردريك صودي تلميذ رذرفورد ، وجود أشكال مختلفة لنفس العنصر تحمل نفس الرقم الذري في الجدول الدوري، ولكنها تختلف في وزنها الذري (أو ما يعرف بعدها الكتلي) ، وأطلق عليها اسم النظائر (isotopes) ، وقد أدخل الإنجليزي هنري موزلي H.Moseley (1884-1915) عام 1914 اسم الرقم الذري أو العدد الذري للعناصر في الجدول الدوري بدءاً بعنصر الهيدروجين ورقمه (1) وانتهاء بعنصر اليورانيوم (ورقمه 92).

وكان أول استخدام لنظائر العناصر كمقتفي أثر (Tracer) قد تم علي يدي المجري جورج هفسي G.Hevesy (1885-1966) والنمساوي فرتز بانيت F.Paneth (1887-1959) حيث استخدموا أحد نظائر عنصر الرصاص لدراسة كيمياء مركبات الرصاص نفسه و ذلك عام 1913.

وفي عام 1919 اخترع فرانسيس أستون F.Aston (1877-1945) جهازه مطياف الكتلة لاستخدامه في القياس الدقيق لكتل النظائر .

وفي عام 1931 تم اكتشاف نظير الهيدروجين المسمي الديوتريوم أو الهيدروجين الثقيل علي يدي الأمريكي هارولد يوري H.Urey (1893-1981) وكل من فرديناند بريكويد F.Brickwedde (1903-1989) وجورج مورفي G.Murphy (1903-1968) ، كما استطاع هؤلاء العلماء الحصول علي أول كمية من الماء الثقيل الذي يدخل نظير الديوتريوم في تركيبه.

وفي عام 1934 تم الحصول علي نظير آخر للهيدروجين أثقل من الديوتريوم علي يد الإنجليزيان ماركوس أوليفانت M.Oliphant (1901-2000) ويول هارتيك P.Harteck (1902-1985) وأطلق عليه اسم التريتيوم .

كما كان الجهاز الذي اخترعه هارولد يوري عام 1932 لفصل النظائر بجامعة كولومبيا بالولايات المتحدة ، من أهم الأجهزة التي تم اختراعها في تلك الفترة .

أما أهم اكتشاف تم في منتصف الثلاثينيات (عام 1934) هو اكتشاف النشاط الإشعاعي الصناعي للعناصر علي يدي الفرنسيان فردريك چوليو F.Joliot (1900-1958) وإيرين كوري I.Curie (1897-1956) وهي ابنة مدام كوري التي اكتشفت النشاط الإشعاعي الطبيعي ودرست خواصه مع هنري بيكريل في السنوات الأولى من القرن العشرين .

وكان من أهم الإنجازات هو اكتشاف وتصنيع عناصر مشعة جديدة لم تكن معروفة من قبل، فبعد اكتشاف النشاط الإشعاعي لعنصر اليورانيوم (ورقمه الذري 92) علي يدي هنري بيكريل في نهاية القرن التاسع عشر(عام 1896)، واكتشاف عنصرين مشعين جديدين هما الراديوم (ورقمه الذري 88) والبولونيوم ورقمه الذري 84 علي يدي بيريگوري وزوجته ماري كوري (عام 1898) ثم اكتشاف عنصر الأكتينيوم المشع ورقمه الذري 89 عام 1899 علي يدي أندريه ديبرن A.Debierne (1874-1949) ، واكتشاف عنصر الرادوان المشع ورقمه الذري

86 علي يدي أرنست دورن E.Dorn (1848-1916) ، ثم اكتشاف عنصر البروتو أكتينيوم المشع (ورقمه الذري 91) عام 1917 علي يدي الألماني أوتوهان O.Hahn (1879 - 1968) والنمساوية ليزميتر L.Meitner (1878-1968)، وقيام جون كوكروفت وأرنست والتون بإجراء أول تحول نووي صناعي بقذف نويات عنصر الليثيوم (3) بالبروتونات عاليه الطاقه فنتج لهم عنصر البريليوم (4) ، وذلك سنة 1932 .

فقد استطاع الايطاليان إميليو سيجري E.Segre (1905-1989) وكارل بيرير C.Perrier (1886-1948) من اكتشاف أول عنصر صناعي (ليس موجودا في الطبيعة) مشع وأطلق عليه إسم التكنيتيوم ورقمه الذري 43 وذلك عام 1937.

وفي عام 1939 اكتشفت الفرنسية مرجريت بيرري M.Perey (1909-1975) عنصر الفرانسيوم المشع ورقمه الذري 87 ، وفي عام 1940 تم اكتشاف نظير مشع لعنصر الكربون هو النظير (14) وذلك علي يدي الأمريكيين صمويل روبين 5.Ruben (1900-1988) ومارتن كامن M.Kamen (1913-2002) ، وقد استخدم ويلاريلبي W.Libby (1908-1980) هذا النظير في عملية التأريخ لتحديد أعمار العينات الأثرية والجيولوجية وذلك عام 1949 .

وإبتداء من عام 1940 تم في معمل الاشعاع (معمل لورنس) بجامعة كاليفورنيا إكتشاف العناصر فوق اليورانيوميه (التي ارقامها الذرية فوق الرقم الذري لليورانيوم وهو 92) وهي عناصر مشعة صناعيه ذات فترة عمر قصير للغاية وتتحلل فور تكونها إلي عناصر أخرى أقل منها في الرقم الذري ، وفي الجدول الآتي نذكر المكتشف من هذه العناصر حتي الآن وأسمائها وأسماء مكتشفها (أو من قاموا بتصنيعها) ، ويجدر بالذكر هنا أن هناك ثلاثة أماكن تخصصت في إنتاج تلك العناصر هي :

- 1) معمل لورنس للاشعاع بجامعة بيركلي في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية
 - 2) معهد الأبحاث النوويه السوفييتيه في دوبرنا بالقرب من موسكو بجمهورية روسيا الاتحاديه
 - 3) مختبر دار مشنات للأبحاث النوويه بمنطقة (هيسيا) بجمهورية ألمانيا الاتحاديه
- ويقترح كل مختبر من تلك المختبرات إسما للعنصر المكتشف بواسطة علمائه ويتم عرض هذا الاسم علي الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية لاقرار هذا الاسم أو عدم الأخذ به والمطالبه بوضع إسم جديد للعنصر ، وتأخذ هذه العمليه وقتا طويلا حتي يتأكد هذا الاتحاد من إنتاج هذا العنصر ومن خواصه المعلنه ثم الاسم المقترح .

وكأمثله علي ذلك :

- 1) اكتشاف العنصر رقم (104) عام 1964 وقد توصل إلي هذا الكشف مجموعتين :
مجموعة معمل لورنس بكاليفورنيا واقترحت الاسم (رذرفورديوم) علي إسم رائد العلوم النوويه في الغرب إرنست رذرفورد ، ومجموعة دوبرنا في روسيا واقترحت الاسم (كورشا توفيوم) علي إسم رائد العلوم النوويه في روسيا إيجور كورشا توف I.Kurchatov (1903-1960) .

وقد أقرت اللجنة الدولية للتسمية الكيميائية الاسم الأول (رذرفورديوم) بالاجماع وذلك عام 1997.

(2) اكتشاف العنصر رقم (105) ، وتوصل إليه نفس المجموعتين عام 1970 واقتُرحت مجموعة معمل لورنس الاسم هانيوم (نسبة إلى أوتوهان رائد الانشطار النووي) واقتُرحت مجموعة دونا الأسم نيلزبوروم (نسبة إلى نيلزبوهر) أو دوبينيوم (نسبة إلى دونا التي يتم بها تحضير تلك العناصر) ، وقد تم إقرار الاسم: دوبينيوم وذلك عام 1997 أيضا .

(3) اكتشاف العنصرين رقم (110) عام 1994 ورقم (111) عام 1995 بمختبر دار مشتات وأعطى العنصران اسمين مؤقتين هما: يوتونيوم (110) ويوتونيوم (111) وقد تم إقرار الاسمين النهائيين في اللجنة الدولية للتسمية الكيميائية وذلك عامي 2003، 2004 وأصبح الاسمان المعترف بهما لهذين العنصرين هما :

للعنصر 110: دار مشتاتيوم (نسبة إلى دار مشتات) ، وللعنصر 111: رونتجنيوم (نسبة إلى العالم رنتجن).
(4) اكتشاف العنصر رقم (112) عام 1996 في مختبر دار مشتات وأعطى الاسم المؤقت يوتونيوم ، ثم أقر الاسم الحالي : كوبرنيسيوم (نسبة إلى العالم : كوبرنيكس) من الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية في فبراير 2010 .

(5) اكتشاف العنصرين رقم (114) عام 1999 ، (116) عام 2000 بواسطة علماء معهد دونا للأبحاث النووية في روسيا ، واقتُرِح مكتشفوهما الاسمين :

للعنصر 114 : فليروفيوم (نسبة إلى العالم الروسي الرائد في كشف تلك العنصر جورجي فليروف)

للعنصر 116 : موسكوفيوم (نسبة إلى العاصمة موسكو عاصمة الاتحاد الروسي)

وقد أقر الاتحاد الدولي مؤخرا (مايو 2012) الاسمين الأتيين لهذين العنصرين:

العنصر 114 : فليروفيوم (نسبة إلى العالم الروسي جريجوري فليروف رائد تصنيع هذه العناصر)

العنصر 116 : ليفرموريوم (نسبة إلى معمل لورنس القومي بليفرمور بكاليفورنيا)

جدول بالعناصر فوق اليورانيوم

الرقم الذري للعنصر	اسم العنصر ورمزه الكيميائي	العدد الكتلي لأكثر النظائر استقرار	تاريخ الاكتشاف	المكتشفون
93	نبتونيوم - (Neptunium) (Np)	237	1940	إدوين ماكملان (1907-1991) فليب أبلسون (1913-2004)
94	بلوتونيوم - (Plutonium) (Pu)	242	1941	جلين سيبورج (1912-1999) إدوين ماكملان (1907-1999) أرثرواهل (1917-2006) جوزيف كنيدي (1916-1957)
95	أمريكيوم - (Americium) (Am)	243	1944	جلين سيبورج (1912-1999) ألبرت جيورسو (1910-2010) رالف جيمس (1920-1973)
96	كوريوم - Curium (Cm)	247	1944	جلين سيبورج، ألبرت جيورسو، رالف جيمس
97	بيركليوم - Berkelium (Bk)	249	1949	جلين سيبورج، ألبرت جيورسو، ستانلي طومسون (1912-1976)
98	كاليفورنيوم - Californium (Cf)	251	1950	ألبرت جيورسو، جلين سيبورج، ستانلي طومسون، كنيث ستريت (1920-2006)
99	أينشتينيوم - Einsteinium (Es)	252	1952	جلين سيبورج، ألبرت جيورسو، ستانلي طومسون، وآخرين،
100	فيرميوم - Fermium (Fm)	257	1953	جلين سيبورج، ألبرت جيورسو، ستانلي طومسون، وآخرين،
101	مندلفيوم - Mendelevium (Md)	258	1955	ألبرت جيورسو، جلين سيبورج، ستانلي طومسون، وآخرين

المكتشفون	تاريخ الاكتشاف	العدد الكتلي لاكثر النظائر استقرار	اسم العنصر ورمزه الكيميائي	الرقم الذري للعنصر
ألبرت جيورسو، جلين سيبورج ، توريون سيكلاند (1923- 2014)	1958	259	نوبليوم - Nobelium (No)	102
ألبرت جيورسو ، ومعاونوه (كاليفورنيا) جورجي فليروف (1913- 1990) ومعاونوه (دوبنا)	1961 1962	266	لورنسيوم - Lawrencium (Lr)	103
ألبرت جيورسو ، ومعاونوه (كاليفورنيا) جورجي فليروف (ومعاونوه (دوبنا)	1968 1964	267	رذرفورديوم - (Rf) Rutherfordium	104
ألبرت جيورسو ، ومعاونوه (كاليفورنيا) جورجي فليروف (ومعاونوه (دوبنا)	1970 1968	268	دوبنيوم - Dubnium (Db)	105
ألبرت جيورسو، جلين سيبورج ومعاونوهما (كاليفورنيا)	1974	269	سيبورجيم - Seaborgium (Sg)	106
جوتفريد مونزنبرج (1940- -- بيتر أرمبراستر (1931- -- (مختبر دار مشتات بألمانيا)	1981	270	بوهريوم - Bohrium (Bh)	107
جوتفريد مونزنبرج ، بيتر أرمبراستر (مختبر دار مشتات بمقاطعه هاسيا بألمانيا)	1984	269	هاسيوم - Hassium (Hs)	108
جوتفريد مونزنبرج بيتر أرمبراستر (مختبر دار مشتات)	1982	278	ميترنيوم - Meitnerium (Mt)	109
سيجاردهو فمان (1944- -- جوتفريد مونزنبرج ، بيتر أرمبراستر (دار مشتات)	1994	281	دار مشتاتيوم - (Ds) Darmstadtium	110

111	رونجنيوم - Roentgenium (Rg)	282	1994	سيجاردهو فمان ، جو تفريد مونزنجرج ، بيترأرمير استر (دار مشتقات)
-----	-----------------------------	-----	------	---

112	كوبرنيسيوم - Copernicium (Cn)	285	1996	سيجاردهو فمان، جو تفريد مونزنجرج ، بيترأرمير استر (دار مشتقات)
114	فليروفيوم - Flerovium (Fl)	289	1999	يوري أوجانسكيان (1933) -- (- ومعاونوه (دوبينا - روسيا)
116	ليفرموريوم - Livermorium (Lv)	293	2000 2000	يوري أوجانسكيان (1933) -- (- ومعاونوه (دوبينا - روسيا) ألبرت جيورسو ومعاونوه (معمل لورنس بليفرمور - كاليفورنيا)

ملحوظة :- مازالت العناصر 113، 115، 117، 118 تحت الاختبار بواسطة مجموعتين :معهد الأبحاث النووية بدوبينا ومعمل لورنس بليفرمور - كاليفورنيا ، حيث تم إجراء تجارب لإنتاج هذه العناصر في الفترة (2002-2010) ومازالت البحوث مستمرة لإنتاج تلك العناصر ، وإقرار أسماء لها .

(v) اكتشاف النماذج النووية (Nuclear Models):

كان أول نموذج وضع لتفسير التركيب أو البناء النووي هو نموذج قطرة السائل (Liquid drop model) ، وقد اقترحه في البدايه (عام 1935) كارل فيتساكر C.Weizsacker (1912 - 2007) ، وهو نموذج تقريبي لبناء نواة الذرة ، ويمثلها بقطرة سائل أو مائع يتكون من بروتونات ونيوترونات ، وبينهما قوي الكتروستاتيكيه داخلية تتناسب مع عدد البروتونات (المشحونه) ، وباعتبار البروتونات والنيوترونات جسيمات فيرمي (فيرميونات) فان النواه يمكن اعتبارها قطره في مائع يطلق عليه اسم مائع فيرمي (Fermi Fluid) .

أما النموذج الثاني للبناء النووي فهو النموذج القشري أو نموذج الأغلفه النوويه (Shell model) ، وقد اقترح هذا النموذج عام 1949 الألمانيه ماريامير M.Mayer (1906-1972) ، وفي نفس الوقت اقترح هذا النموذج الألمانيان هانز جنسن H.Jensen (1907-1973) ، وأتوهاكسيل O.Haxel (1909-1998) والنمساي إدوارد سويس E.Suess (1909-1993) ، وفي هذا النموذج تشغل النكليونات (البروتونات والنيوترونات) أغلفه نوويه ، وكذلك فطبقا لهذا النموذج فانه يوجد جهد وسيط يضمن حركة النكليونات وينشأ هذا الجهد عن النكليونات نفسها ، وعن طريق اختبار صورة هذا الجهد وحله رياضيا نحصل علي حلول علي هيئة مستويات للطاقه منفصله أو أغلفه (Shells) كما هو الحال بالنسبه للالكترونات في الأغلفه أو المدارات الذريه، ولكن مستويات الطاقه بالنسبه للنكليونات (البروتونات والنيوترونات) تختلف اختلافا بسيطا عن تلك التي للالكترونات وذلك بسبب أن شحنة البروتون تتسبب في قوة تنافر بينهم مما يجعل مستويات طاقة البروتونات أعلي قليلا عن مستويات طاقة

النيوترونات .

وقد عمم الدنمركيان اجي بوهر A.Bohr (إبن نيلز بوهر) (1923- 2009) وبين موتيلسون B.Mottelson (1926- --)

نظرية الأغلفة النووية حيث وضعها عام 1952 نظرية النموذج القشري الموحد للنواة الذي يفترض فيه قلب نووي لأكروي ، وقد اقترح إمكانية وجود هذا القلب الأمريكي جيمس رينووتر J.Rainwater (1917- 1986) عام 1950 .

وقد أجرى الأمريكي روبرت هوفشتاتر R.Hofstadter (1915- 1990) سلسلة من التجارب عام 1953 لتقدير توزيع الشحنات وتركيب النويات والنكليونات ، وحصل على نتائج مهمة بالنسبة لبناء النوي .

(vi) تطور الأبحاث الخاصة بظاهرة الانشطار النووي :

بدأت الأبحاث الخاصة بالانشطار النووي عام 1938 علي يدي إيرين كوري واليوجسلا في باقل سافيتش P.Savitch (1909- 1994) حيث لاحظا وجود عنصر اللانثانوم بعد قذف عنصر اليورانيوم بحزمة من النيوترونات ، وفي نفس ذلك الوقت (عام 1938) اكتشف الألمانيان أوتوهان O.Hahn (1879- 1968) وفريتز شتراسمان F.Strassmann (1902- 1980) ان قذف اليورانيوم بحزمة نيوترونات ينتج عناصر قلوبه ارضيه، وسميت الظاهرة بالانشطار النووي من قبل الفيزيائيين النمساويين ليزميتنر L.Meitner (1878- 1968) وأوتوفريش O.Frisch (1904- 1979) للذين اقترحا (عام 1938) حدوث انشطار (أو انفلاق) لنواة اليورانيوم بواسطة النيوترونات وذلك لتفسير نتائج أوتوهان وشتراسمان ، وتنبأ الاثنان بحدوث كميات هائلة من الطاقة نتيجة هذا الانشطار .

وقد قام نيلنر بوهر والأمريكي جون هويلر J.Wheeler (1911- 2008) بتطوير نظرية الانشطار النووي وذلك عام 1939 .

وفي نفس ذلك العام (1939) أوضح العلماء الأمريكيين جون راي دننج J.R.Dunning (1907- 1975) ويوجين بوث E.Booth (1912- 2004) وارسندجروس A.Grosse (1905- 1985) وأوتونبير O.Nier (1911- 1994) أن النظير 235 لعنصر اليورانيوم هو الذي ينشطر عند قذفه بحزمة من النيوترونات البطيئة ، وقد توصل الأمريكي موريس جولدهابر M.Goldhaber (1911- 2011) عام 1940 من اكتشاف أن عنصر البريليوم يمكن استخدامه كمهدى لسرعة النيوترونات وبذلك يمكن التوصل إلي تفاعل نووي انشطاري يمكن التحكم فيه ، وقد تمكن انريكوفيرمي والفيزيائي المجري ليوزيلارد L.Szilard (1898- 1964) من بناء أول مفاعل نووي انشطاري للاستخدامات السلميه وذلك بعد ان توصلوا إلي تفاعل نووي متسلسل يمكن التحكم فيه بتهدئة سرعة النيوترونات باستخدام البريليوم ، وبدأ ذلك المفاعل عمله في ديسمبر 1942 بشيكاغو .

وقد تطور العمل في المفاعلات الانشطارية حتي عام 1951 حين تمكن الأمريكي والتر زين W.Zinn (1906- 2000) علي رأس فريق بحث علمي من صنع أول مفاعل مولد (لانتاج الوقود) استخدام فيه عملية الانشطار النووي المتحكم فيه .

وفي عام 1945 اشرف روبرت أوبنهايمر R.Oppenheimer (1904-1967) علي صنع أول قنبله نوويه
بنبني عملها علي ظاهرة الانشطار النووي وذلك بمعامل لوس الاموس العلميه ، وتم تفجير تلك القنبله في
الماجورد بصحراء نيومكسيكو في 16 يوليو عام 1945.

الثالث- فيزياء الجسيمات الأولية

إحياديات البحث في فيزياء الجسيمات الأولية في النصف الأول من القرن العشرين :

لقد كان اكتشاف الإلكترون (أول جسيم من الجسيمات الأولية) عام 1897 علي يدي السير جون طومسون هو المؤشر الفعلي لبداية فيزياء الجسيمات الأولية ، ثم تلي ذلك اكتشاف وجود نواة الذرة علي يدي إرنست رذرفورد ومعانوه عام 1911 ، ثم اكتشاف البروتون كأحد مكونات نواة الذرة علي يدي رذرفورد أيضا وذلك عام 1919 ، ومع حلول عام 1921 كان الفيزيائيون قدبنوا نموذجا نوويا علي الشكل التالي :تحتوي النواه علي عدد من البروتونات يساوي عدد الإلكترونات المدارية .

وظهرت مشكلة هي أن كتلة النواة كانت تزيد كثيراً عن مجموع كتلة البروتونات المكونه لها بحوالي الضعف تقريباً ، ففي نواة الهليوم مثلاً : يوجد بروتوتان في حين أن كتلة النواة تعادل (4) وحدات تقريباً ، فمم تتكون بقية كتلة النواه إذن ، وظهرت تفسيرات متناقضه لحل هذا الاشكال حتي عام 1932 حين تم اكتشاف جسيم جديد (هو الجسيم الأولي الثالث) داخل النواه لا يحمل أي شحنة كهربية (أي أنه متعادل كهربائياً) وكتلته قريبة جدا من كتلة البروتون ، وقد أطلق عليه مكتشفه جيمس شادويك إسم النيوترون ، وباكتشاف النيوترون أصبح الوضع كالتالي : تتكون النزه من نواه وحوله الكتررنات (سالبة الشحنة) وتتكون النواه من نوعين من الجسيمات هما البروتونات (موجبة الشحنة) والنيوترونات

(المتعادلة) ، وبشكل مجموع عددي البروتونات والنيوترونات داخل النواه ما يسمي بالعدد الكتلتي للنزه ، وهو مؤشر لكتلة الذرة عموماً ، نظر الضالة كتلة الإلكترونات .

ومنذ عام 1932 تطورت البحوث والدراسات والاكتشافات في مجال الجسيمات الأولية تطوراً كبيراً ، وتم اكتشاف عشرات الجسيمات ، بعضها تمت معرفة أهمية وجوده في البناء النووي والآخر مايزال مجهولاً برغم اكتشافه ومعرفة خواصه ، غير أن دوره في التركيب النووي ما زال تحت الدراسة والبحث .

وتعتبر الأشعة الكونية التي تم اكتشافها في بدايات القرن العشرين مصدراً خصياً وهاماً للدراسات الخاصه بالكشف عن الجسيمات الأولية الموجودة في الطبيعه .

وطبقاً للعالم الانجليزي بول ديراك في نظريته الكمية النسبيه عام 1928 ، أن هناك ما يسمي بالاجسام المضادة

(Anti particles) ، وقد استطاع ديراك بنظريته تلك تفسير مفهوم ما يعرف باللف (spin) أو الحركة المغزلية

للجسيمات الذي طرحه الفيزيائيان الشابين جورج أولنبك G.Ulenbeck (1900-1988) وصمويل جاودسميت

S.Gaudsmit (1902-1978) عام 1925 حيث قالا : أن لكل جسيم توجد خاصيه كميه ترتبط بالدوران الذاتي للإلكترون حول ذاته وتسمي بالدوران الذاتي أو اللف المغزلي

وقد اتضح لديرارك أن لكل جسيم اتجاهين متضادين للفرع أحدهما للجسيم نفسه والآخر للجسيم المضاد له ،
ويتطبيق

هذا المفهوم علي الالكترتون (السالب الشحنة) نجد أنه لابد (طبقاً لنظريه ديرارك) أن يكون جسيم له مضاد (موجب الشحنة) وله نفس كتلة الالكترتون .

وهذا الجسيم يكون له لف مخالف في الاتجاه للفرع الالكترتون ، وأطلق علي هذا الجسيم المضاد للالكترتون إسم البوزترون ، واتجه العلماء بعد ذلك للكشف علي هذا الجسيم عملياً ، وقد تم اكتشاف وجود هذا الجسيم (البوزترون) كأول جسيم مضاد يتم اكتشافه في علم الفيزياء ، عام 1932 أثناء إجراء الفيزيائي الأمريكي كارل أندرسون C.Anderson (1905-1991) دراساته علي الأشعة الكونية .

وكان لفرانج باولي قد وضع نظرية التفاعلات الضعيفة عام 1931 والخاصة بالعملية المسماة (انحلال بيتا) والتي ينحل فيها النيوترون إلي بروتون و إلكترون ، وافترض باولي انبعاث جسيم متعادل صغير مع كل الكترتون ينتج عن انحلال بيتا وأطلق فيرمي علي هذا الجسيم إسم النيوترينو (أي المتعادل الصغير ، حيث أنه متعادل الشحنة أيضاً) وذلك عام 1934 ، وكانت المشكله هي البحث عن هذا الجسيم واكتشاف وجوده .

أيضاً ففي عام 1935 وضع الياباني يوكاوا نظريته في القوي النوويه التي تربط مكونات النواه ببعضها وافترض وجود جسيم افتراضي كتلته وبط بين الالكترتون والبروتون وأطلق عليه إسم الميزون (أي الجسيم المتوسط) ، وكانت المشكله هنا أيضاً هي البحث عن هذا الجسيم واكتشاف وجوده .

وبعد الاكتشاف العملي للبوزترون (مضاد الالكترتون) اتجه العلماء إلي عملية تكوين زوج من الالكترتون - البوزترون ، وقد تنبأ الفيزيائي الكرواتي ستيفان موروفيسيك S.Mohorovicic (1890-1980) عام 1934 بأن النقاء الالكترتون مع البوزترون يؤدي إلي تكوين عنصر لحظي منهما (أطلق عليه بعد ذلك إسم البوزترونيوم) ثم فناء هذا العنصر (أو الزوج) بعد تكونه مباشرة .

وقد استطاع الانجليزي باتريك بلاكيت P.Blackett (1897-1974) والايطالي جوزيبي أوكنيا لينى G.Occhialini (1907-1993) من الحصول علي أول صور لعملية إنتاج زوج الالكترتون - البوزترون

، وذلك عام 1933 ، كما استطاع في نفس العام الفرنسيان فرديريك چوليو وچين ثيباود J.Thibaud (1901-1960) من ملاحظه إشعاع ناتج عن عملية فناء زوج الالكترتون - بوزترون ، حيث تتحول كتلة هذا الزوج إلي فوتونات تصدر علي هيئة إشعاع ، كما بينا أيضاً أن كتلة البوزترون تساوي كتلة الالكترتون .

وقد تم عام 1951 الاثبات العملي لوجود البوزترونيوم (والذي يعرف بأنه حاله مقيد من زوج الالكترتون - بوزترون ذات فترة عمر قصير للغاية)

وذلك علي يدي النمساوي مارتن دويتش M.Deutsch (1917-2002) محققاً بذلك افتراضيه وجود هذا التكوين المسمى بوزترونيوم .

2- الاكتشافات المتتالية للجسيمات الأولية حتى منتصف القرن العشرين :

بدأت هذه الاكتشافات عام 1936 باكتشاف الجسيم الذي افترضه يوكاوا في نظريته حول القوي النووية وهو

الجسيم ذو الكتلته الوسط بين الالكترن والبروتون ، وقد تم هذا الاكتشاف علي يدي كارل أندرسون (مكتشف البوزترون)

وزميله سيث ندرماير S.Neddermeyer (1907-1988) خلال دراستهما للأشعة الكونية في تجارب أجريها بمعمل الأشعاع التابع لجامعه بيركلي في كاليفونيا ، وقد تأكد اكتشاف هذا الجسيم (الميزون) في تجارب تمت عام 1937 باستخدام غرفة ويلسون السحابيه بجامعة هارفارد علي يدي الفيزيائيين جابيز ستريت J.Street (1906-1989) ، وإدوارد ستيفنسون E.Stevenson (1907-2002) .

وفي عام 1940 استطاع الفيزيائي الفرنسي لبرنس - رنجو L.Ringuet (1901-2000) الحصول علي أول صور فوتوغرافيه بالغرفه السحابيه لتصادم الميزون مع الالكترن، واستنتج منها كتلة هذا الميزون والتي كانت حوالي 207 مره قدر كتلة الالكترن .

ومن الإنجازات الهامه الحصول علي أول إنتاج للميزونات في المعمل بعد أن كان مقصوراً وجودها علي الأشعه الكونية ، وتم ذلك عام 1948 علي يدي الأمريكي يوجين جاردنر E.Gardner (1913-1950) والبرازيلي سيزار لاتيس C.Lattes (1924-2005) .

وقد اعتقد العلماء أن الميزون الذي اكتشفه أندرسون وندرماير عام 1936 هو الجسيم المسؤول عن القوي النوويه الذي اقترحه يوكاوا عام 1935، غير أن الحسابات وتطبيق قوانين حفظ الكتله وكمية الحركه واللف المغزلي أثبتت أنه لم يكن هو الجسيم الذي افترضه يوكاوا والذي حدد يوكاوا كتلته بحوالي 273 مره قدر كتلة الالكترن . وفي عام 1947 تم اكتشاف هذا الجسيم في الأشعه الكونية وتطابقت خواصه مع خواص جسيم يوكاوا وتم ذلك علي يدي الانجليزي سيسل بول C.Powell (1903-1969) بمساعدة جوزيب أوكياليني وسيزار لاتيسي .

وللتمييز بين هذين الميزونين ، أطلق علي الميزون الأول (وكتلته 207) إسم ميزون ميو (أو الميون)

وأطلق علي الثاني (وكتلته 273) إسم ميزون باي (أو البيون) .

وهناك ميزون آخر هو الميزون K (أو الكاونون - Kaon) وكانت أول إشاره لوجوده عام 1944 على يدي الفرنسي ليرنس رنجو الذي كان أول من حدد كتلة الميزون ميوبحوالي 207 كتلة الإلكترون عام 1940 ، وكانت معظم المعلومات الأولى عن ميزون K من الأعمال التي تمت أثناء دراسة الاشعه الكونيه بعدد من المراكز العلميه والجامعيه الشهيرة مثل مجموعة جامعة مانشستر بانجلترا حيث حصل الفيزيائيين جورج روشستر G.Roschester (1908-2002) وكليفورد بتلر C.Butler (1922-1999) على أول إثبات عملي لوجود ميزونات K في الاشعه الكونيه وذلك عام 1947.

وأكد هذا الكشف مجموعة بريستول بانجلترا عام 1949 برناسة سيسل باول .

وكان ميزون K المكتشف في تلك الدراسات ينحل إلي ثلاثة ميزونات باي (بيونات) ، وفي عام 1954 وفي جامعة دبلن بايرلندا تمكنت مجموعه برناسة كورماك أو كيلاي C.Oceallaigh (1912-1996) من اكتشاف أحد ميزونات K ينحل إلي ميزونين فقط من ميزونات باي .

وأطلق علي الميزون الذي ينحل إلي 3 بيونات إسم $K_{3\pi}$ والذي ينحل إلي بيونين إسم $K_{2\pi}$.

ووجد أن فترة العمر (أي الفترة التي ينحل بعدها الميزون) لميزونات $K_{3\pi}$ أقصر من فترة عمر $K_{2\pi}$ فأطلق علي الأولى ميزونات K_S والثانيه ميزونات K_L ، وكانت كتلة ميزون k المكتشفة عملياً تبلغ حوالي 970 مرة قدرة كتلة الإلكترون .

3- فيزياء الجسيمات الأولية في النصف الثاني من القرن العشرين وحتى اليوم:

(1) اكتشاف الرنينيات

بعد اكتشاف سلسلة الجسيمات السابق ذكرها، اتجه العلماء للكشف عن باقي الجسيمات المفترض وجودها وأولها الجسيم الذي اقترحه باولي في نظرية التفاعلات الضعيفة عام 1931 وأطلق عليه اسم النيوتريون، وكذلك بدأ العلماء يبحثون عن الجسيمات المضادة للبروتون (الانتي بروتون) والنيوترون (الانتي نيوترون) وكذلك الجسيمات المضادة لكل الجسيمات التي تم افتراضها أو تم اكتشافها، مثل مضاد النيوتريون (الانتي نيوتريون)، ومضادات الميون والبيون والكاون.

وقد شجعهم على ذلك اكتشاف البوزترون (مضاد الإلكترون) على يدي كارل اندرسون عام 1932، وقد حدث تقدم كبير في الاكتشافات في مجال الجسيمات الأولية في النصف الثاني من القرن العشرين، حيث تم في البداية (عام 1952) الكشف عن مجموعة الجسيمات الرنينية (أو الرنينيات - Resonances)، على يدي فيرمي ومعاونون بجامعة شيكاغو بالولايات المتحدة الأمريكية وذلك أثناء دراسة تشتت (أو استطارة) البيونات المشحونة ذات الطاقة العالية بواسطة هدف من البروتونات حيث لاحظ فيرمي أنه عند طاقة معينة تبدأ البيونات فجأة بالاستطارة بشدة بواسطة البروتونات ثم يعقب ذلك عودة الأمور إلى ما كانت عليه بازدياد طاقة البيونات تدريجياً، وتشبه هذه الظاهرة (ومؤداها استطارة الجسيم بدرجة شديدة جداً في زمن قليل جداً يقدر بحوالي 10^{-23} ثانية تقريباً) ظاهرة معروفة في الفيزياء التقليدية هي ظاهرة الرنين، ولذلك أطلق فيرمي على تلك الظاهرة اسم الرنين وينتج عنها تولد جسيم (أو كيان رنيني) يتميز بصفات تكافئ صفات الجسيمات العادية، ويمكن اعتبارها حالات مثارة (excited states) غير مستقرة وسريعة التحلل إلى أقصى حد ممكن.

(2) اكتشاف الهيبرونات:

أما الجسيمات المعروفة بالهيبرونات (hyperons) وتعني الجسيمات ذات الكتلة الفائقة فقد ظهرت أول مرة حين اكتشاف الإنجليزيان روشستر وبتلر (أول من لاحظا الميزون K أو الكاون) آثارا في الأشعة الكونية تشبه حرف V وهي لجسيم مشحون كتلته تبلغ نحو 1000 مرة قدر كتلة الإلكترون، واتضح لهما أن تلك الآثار للكاون، وأثناء عملية الرصد لاحظ هذان العالمان جسيم متعادل ثقيل تبلغ كتلته أكثر من 2000 مرة قدر كتلة الإلكترون أي أنه أثقل من البروتون (البروتون أثقل من الإلكترون 1836 مرة تقريباً)، ووجد أن هذا الجسيم يتحلل إلى جسيمين مشحونين أحدهما هو البروتون والآخر هو البيون السالب وقد أطلق على هذا الجسيم إسم هيبرون لأمدا المتعادل، وقد أثبت وجوده مجموعة الباحثين بجامعة ملبورن في استراليا برئاسة البروفيسور فيكتور هوبر V.Hopper (1913-2005) وذلك أثناء دراسة تفاعلات الأشعة الكونية وذلك عام 1950.

وفي عام 1952 وفي تجارب للأشعة الكونية أيضا تم اكتشاف الهيبرون الثاني (إكساي المشحون) بواسطة مجموعة باحثين بجامعة مانستسر ببريطانيا برئاسة العالم الأسباني الأصل رافائيل أرمنتيروس R. Armenteros (1922-2004)، كما تمكنت مجموعة بجامعة كاليفورنيا برئاسة هيربرت يورك H.York (1921-2009) من الكشف عن الهيبرون إكساي السالب عام 1952 وكانت كتلته حوالي 2580 مرة كتلة الإلكترون ويتحلل في 1.2×10^{-10} ثانية إلى هيبرون لأمدا المتعادل، وبيون سالب.

أما الهبيرون إكساي المتعادل فقد اكتشفته مجموعة بمعمل لورنس بيركلي برئاسة كلايد كوان C.Cowan (1919-1974) وذلك عام 1954 ووجد أن كتلته تساوي 2565 كتلة الإلكترون وينحل إلى هبيرون لامدا وبيون متعادل.

وفي عام 1964 وفي تجارب باستخدام سنكروتون معمل بروكهافن القومي تمكن العلماء من اكتشاف الهبيرون أوميغا السالب والذي وجد أن كتلته تبلغ 3296 مرة قدر كتلة الإلكترون وفترة عمرة حوالي 10^{-10} ثانية وينحل إلى هبيرون إكساي متعادل وبيون سالب أو إلى هبيرون إكساي سالبا وبيون متعادل، وكان هذا الاكتشاف على يدي مجموعة من جامعة كاليفورنيا برئاسة وليام فاوئر W.Fowler (1911-1995) ونيكولا ساميوس N.Samios (1932-2000)، وفيرجل بارنز F.Barnes (1935-2000).

(3) اكتشاف مضادات البروتون والنيوترون والنيوترينو:

اقترحت نظرية ديراك عام 1928 وجود جسيمات مضادة للإلكترون والبروتون والنيوترون، وقد تم اكتشاف أول هذه الجسيمات وهو مضاد الإلكترون أو البوزترون بعد أربع سنوات من ذلك على يدي كارل أندرسون (عام 1932)، وظل البحث جاريا لاكتشاف مضادي البروتون والنيوترون لمدة طويلة زادت عن الربع قرن حتى استطاعت مجموعة معمل لورنس بيركلي من الحصول على البروتون المضاد (الانتي بروتون) عام 1955 وكانت المجموعة مكونة من العلماء: إميليوسيجري E.Segre (1905-1989)، أوين شامبرلاين O.Chamberlain (1920-2006)، كلايد ويجاند C.Wiegand (1915-1996)، توماس ييسيلانتز T.Ypsilantis (1928-2000)، كما قاموا بإنتاج زوج (البروتون - البروتون المضاد) أيضا ، وهو ثاني زوج بعد زوج (الإلكترون - بوزترون) .

أما النيوترينون المضاد (الانتي نيوترينون) فقد تم الكشف عنه في العام التالي (1956) على يدي مجموعة العلماء: بروس كورك B.Kork (1915-1994) وأورست بيسيوني O.Piccioni (1915-2002) ، ووليام ونزل W.Wenzel (1924-2000) بمعمل لورنس بكاليفورنيا أيضا .

أما النيوترينو ومضاده فقد تم الكشف عنهما كالآتي:-

في عام 1956 تم اكتشاف النيوترينو المضاد (الانتي نيوترينو) أولاً على يدي كلايد كوان وفرديريك راينز F.Reins (1918-1998)، وبعد ثلاث سنوات تم اكتشاف النيوترينو نفسه عملياً على يدي مجموعة من الباحثين

بمعمل بروكهافن القومي برئاسة رايموند دافيز R.Davis (1914-2006) وذلك عام 1959.

وكانت المفاجأة عام 1962 على يدي الأمريكيين ليون ليدرمان L.Lederman (1922-2000) وملفين شوارتز M.Schwartz (1932-2006)، هو الكشف عن وجود نوعين من النيوترينو، أحدهما يصاحب التفاعلات الخاصة بالإلكترون وسمي بالنيوترينو الإلكتروني، والثاني يصاحب التفاعلات الخاصة بالميون وسمي بالنيوترينو الميوني، وبالطبع فإن لكل منهما يوجد الجسيم المضاد (الانتي) له، وقد حصل هذان العالمان على هذا الكشف على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1988.

وبالنسبة للاكتشافات الخاصة بالنيوترينو في لسنوات الأخيرة من القرن العشرين فقد تم عام 1991 اكتشافين هامين هما:-

العثور على النيوترينو الشمسي (Solar neutrino) وهو نيوترينو إلكتروني ناتج عن التفاعلات الحادثة في الشمس والنجوم ، وتم ذلك على يدي رايموند دافيز (مكتشف النيوترينو نفسه) ، ومعه الياباني ماساتوشي كوشيبا M.Koshiba (1926- 0000) وهما رائدان من رواد الفيزياء الفلكية، وقد حصل الاثنان لهذا الكشف علي جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2002.

والاكتشاف الهام الثاني في نفس العام أيضا (1991) على يدي الأمريكي ميشيل ترنر M.Terner (1949-0000) هو اكتشاف نيوترينو ثقيل (كثلته أخف من كتلة الإلكترون بحوالي 300 مرة) وكان المعتقد قبل هذا الكشف أن كتلة النيوترينو أخف بالآلاف المرات من كتلة الإلكترون ، أو أن كتلته منعدمة تقريبا حسب بعض النظريات .

و في عام 1998 قام كوشيبا بجامعة طوكيو بإجراء تجربة أثبت فيها وجود ما يسمى بذبذبة النيوترينو (neutrino oscillation)، ويعني ذلك التحقق من وجود كتلة لنيوترينو ، وسنعود للحديث عن ذلك فيما بعد .

(4) تصنيف الجسيمات الأولية (Classification of elementary particles):

(1) بعد أن زاد عدد الجسيمات المكتشفة زيادة كبيرة، قامت محاولات كثيرة لترتيب أو تصنيف هذه الجسيمات ترتيباً سهلاً للباحثين دراستها تبعاً لتنظيم واحد ولمبدأ واحد وكان أول تقسيم للجسيمات حسب خاصية اللف الذاتي (spin) إلي:-

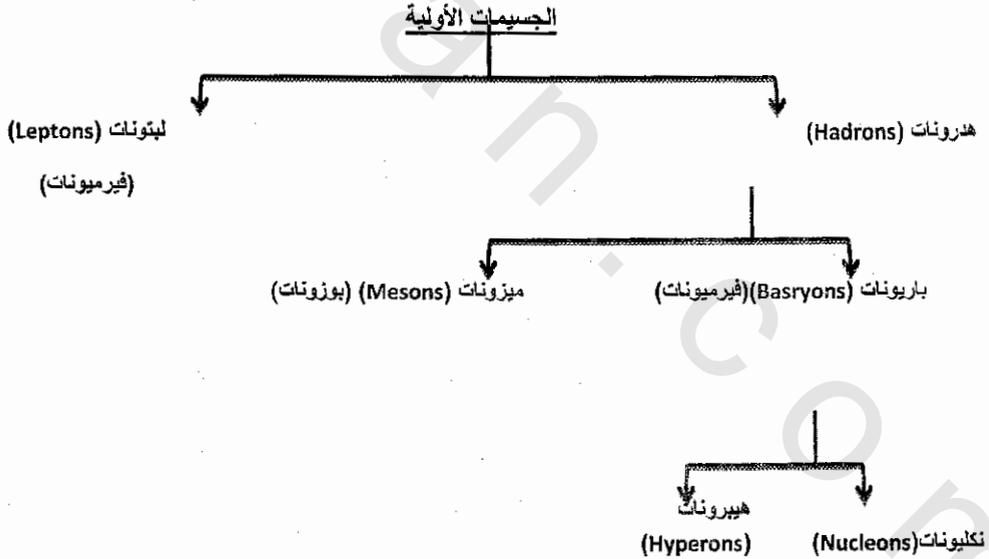
1- فيرميونات fermions (ذات لف عدد كسري $\frac{1}{2}$ ، $\frac{3}{2}$ ،) وتخضع لمبدأ باولي للاستبعاد الذي وضعه ولفجانج باولي عام 1924 وموداه أنه من المستبعد (أو من غير الممكن) أن يوجد أكثر من جسيم في مستوى طاقة واحد

(أي في نفس المستوي من الطاقة)، وتصنف الفيرميونات بأنها تخضع لإحصاء فيرمي – ديراك الكمي (Fermi-Dirac statistic).

2- بوزونات Bosons (ذات لف صفر أو عدد صحيح) ولا تخضع لمبدأ باولي استبعاد بمعنى أنه من الممكن وجود أكثر من جسيم في نفس المستوي الواحد للطاقة ، وتصنف بأنها تخضع لإحصاء بوز – ايشتين الكمي (Bose-Einstein statistic) الذي وضعه كل من الفيزيائي الهندي ساتندراتات بوز S.Bose (1894-1974) وألبرت أنيشتين عام 1924.

وكان التقسيم التالي هو تقسيم الجسيمات حسب كتلتها إلى ثلاثة أصناف:-

- لبتونات (Leptons) وهي جسيمات خفيفة الكتلة.
 - ميزونات (Mesons) وهي جسيمات متوسطة الكتلة.
 - باريونات (Baryons) وهي جسيمات ثقيلة - ذات كتلة كبيرة، والباريونات تشمل عائلتين فرعتين:-
النكليونات (Nucleons) (وهي البروتونات والنيوترونات)، والهيبرونات، (Hyperons) وهي جسيمات ذات كتلة فائقة أكبر من كتلة النكليونات.
 - وطبقاً لنوع التفاعلات التي تشترك فيها الجسيمات الأولية يمكن تقسيم الجسيمات أيضاً إلى عائلتين (أو فصليين كبيرين هما):-
 - 1- جسيمات تدخل في التفاعلات الضعيفة (التي تتميز بفترة عمر 10^{-8} - 10^{-10} ثانية) وهي اللبتونات (Leptons)، واللبتونات كلها فيرميونات أي أن اللف الذاتي لكل لبيتون يساوي $(\frac{1}{2})$ ، وليس لأي لبيتون تركيب أو بناء داخلي.
 - 2- جسيمات تدخل في التفاعلات القوية أو الشديدة (التي تتميز بفترة عمر 10^{-23} ثانية تقريباً) وتسمى بالهدرونات (Hadrons)، وتشمل الهدرونات: الميزونات والباريونات.
 - والهدرونات يمكن أن تكون بوزونات (أي ذات لف صفر أو عدد صحيح) مثل الميزونات، أو أن تكون فيرميونات (أي ذات لف عدد نصف صحيح أو كسري) مثل الباريونات، وتتميز الهدرونات بأن لها بناء (أو تركيب) داخلي.
- ونلخص ما ورد في هذه الفقرة في الرسم التوضيحي التالي:-



(ii) اللبتونات:

وهي جسيمات خفيفة (في كتلتها) تتميز بلف ذات يساوي $(\frac{1}{2})$ أي أنها فيرميونات (تخضع لمبدأ باولي للاستبعاد) وتشارك في التفاعلات التي تنتمي إلى المجالات الضعيفة (التفاعلات الضعيفة)، ولا تشارك في التفاعلات القوية (أو الشديدة) سواء فيما بينها أو بينها وبين الجسيمات الأخرى، وعدد اللبتونات المعروفة حالياً ستة لبتونات إضافة إلى ستة جسيمات مضادة .

واللبتونات هي ثلاثة جسيمات (e^- ، μ^- ، τ^-) وثلاثة نيوتريونات مصاحبة لها (ν_e ، ν_μ ، ν_τ) فأما الجسيمات فهي:

- 1- الإلكترون (e^-) واكتشفه طومسون عام 1897، ومضاده : البوزترون (e^+) واكتشفه أندرسون عام 1932.
- 2- الميون (μ^-) والميون بالمضاد (μ^+) واكتشفهما أندرسون وندراير عام 1937، وكتلة كل منهما 207 مرة قدر كتلة الإلكترون.
- 3- التاؤون (τ^-) والتاؤون المضاد (τ^+) وهو أثقل لبتون وكتلته حوالي 3490 قدر كتلة الإلكترون، واكتشفه عام 1976 الأمريكي مارتن بيرل M.Pert (1927-2014) على رأس مجموعة من الباحثين بجامعة ستانفورد، بالولايات المتحدة ويمثل هذا الجسيم في خواصه كلا من الإلكترون والميون من حيث الشحنة واللف والاشتراك في التفاعلات الضعيفة ، في مجال الجسيمات الأولية .
قد حصل بيرل على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1995 على هذا الكشف الهام.
وأما النيوتريونات المصاحبة فهي:
- 1) النيوترينو الإلكتروني (ν_e) وتم الكشف عنه بواسطة دافيز ومعاونوه عام 1959، ومضاده ($\bar{\nu}_e$) وقد اكتشف أولاً قبل الجسيم (ν_e) نفسه على يدي كوان وراينز عام 1957.
- 2) النيوترينو الميوني (ν_μ): ومضاده ($\bar{\nu}_\mu$) ، وقد اكتشفهما ليون ليد رمان ومعاونوه بجامعة كولومبيا بالولايات المتحدة عام 1962 .
- 3) النيوترينو التاؤوني (ν_τ)، ومضاده ($\bar{\nu}_\tau$)، وقد حصل مارتن بيرل في البداية (عام 1977) على أدلة تثبت وجود هذين الجسمين في تجاربه بجامعة ستانفورد، وتأكد وجود الجسمين بالفعل في تجارب أجريت بمعمل فيرمي بجامعة شيكاغو وذلك عام 2000.

(iii) الميزونات:

عندما اكتشف الميزون ميو (أو الميون) عام 1937 وجد أنه يشبه الإلكترون في كثير من صفاته حيث أنه فيرميون ويشترك في التفاعلات الضعيفة، فتم وضعه في عائلة اللبتونات.
وفي عام 1947م تم اكتشاف الميزون باي (أو البيون) ووجد أنه يمتلك خواص مختلفة تماماً عن خواص

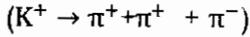
الإلكترون والميون (فهو ليس لبتون إذا) فهو يمتلك لف ذاتي يساوي صفر (أي أنه بوزون وليس فيرميون) وأنه يشترك

في تفاعلات من نوع التفاعلات القوية أو الشديدة ، وبذلك تم وضعه كأول جسيم في مجموعة سميت بالميزونات

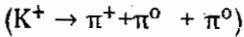
(وهي نوع من عائلة الهدرونات) والميزونات كلها بوزونات (أي أنها ذات لف يساوي صفر أو عدد صحيحاً) ولا تخضع لمبدأ باولي للاستبعاد بمعنى أنه من الممكن لأي عدد منها أن يشغل نفس مستوي الطاقة.

وكان البيون هو أول أفراد عائلة الميزونات، ويوجد في ثلاث صور، صورتان مشحونتان (π^- ، π^+) اكتشفهما باول وأوكياليني ولا تيز عام 1947، والصورة الثالثة هي البيون المتعادل (π^0) واكتشفه عام 1950 بورك ومعاونوه عام 1950.

أما الميزون الثاني المكتشف في عائلة الميزونات فهو ميزون K (أو الكاونون - Kaon) وتم اكتشافه على يدي باول ومعاونوه بجامعة بريستول (في بريطانيا) عام 1949، وكان ينحل إلى ثلاثة جسيمات كالاتي:

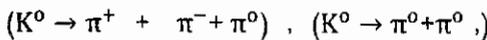


وفي عام 1953 اكتشفت مجموعة أخرى في جامعة برنستون برئاسة الأمريكي أبراهام بايس (A.Pais 1918-2000) نفس الجسيم ولكن بطريقة انحلال مختلفة :



وفي عام 1954 اكتشف أوكيلاي ومعاونوه بجامعة دبلن في إيرلندا ميزونا من تلك الميزونات ينحل إلى جسيمين فقط $K^+ \rightarrow \pi^0 + \pi^+$ ، وسمي الميزون الذي ينحل إلى ثلاثة جسيمات $K_{\pi 3}$ ، والذي ينحل إلى جسيمين $K_{\pi 2}$

وقد تم اكتشاف جسيم K المتعادل عام 1954 حيث اتضح وجود طريقتين لانحلال هذا الجسيم هما:



والمعروف الآن أن ميزون K (أو الكاونون) يظهر في أربع صور هي : الكاونون المشحون (K^- , K^+) وكتلته 967

مرة كتلة الإلكترون ، ويتحلل في 1.2×10^{-8} ثانية، الكاون المتعادل (K^0, \bar{K}^0) وكتلته 974 من كتلة الإلكترون، ويتحلل في 0.89×10^{-10} ثانية (الميزون $K_{\pi 2}$) أو في 5.2×10^{-8} (الميزون $K_{\pi 3}$).

(iv) الباريونات:

وهي كما قلنا تشمل على:

1- النكليونات: وهي الجسيمات الأساسية في تركيب نواة الذرة ، وهما البروتون وهو موجب الشحنة وكتلته 1836 كتلة الإلكترون، النيوترون وهو متعادل الشحنة وكتلته 1839 كتلة الإلكترون ، وكلاهما فيرميون (له الذاتي $\frac{1}{2}$)، والبروتون جسيم مستقر بينما النيوترون فهو جسيم غير مستقر (حين يكون حرا) وينحل في حوالي 925 ثانية إلى بروتون وإلكترون وأنتي نيوتريو إلكتروني وقد أثبت ذلك الفيزيائي الكندي أرثر سنل (A.Snell 1989-1909) وساعده بعمل أوك ريج القومي بالولايات المتحدة، وذلك عام 1950، وقد أثبت ذلك في نفس الوقت الفيزيائي الإنجليزي جون رويسون J.Robson (1920-2000) ومعاونوه بمعمل (شوك ريفر) باتجلترا، كما تم اكتشاف البروتون المضاد (\bar{p}) والنيوترون المضاد (\bar{n}) كما سبق أن ذكرنا عامي 1955, 1956.

2- الهبيرونات: وهي الجسيمات ذات الكتلة الفائقة، وكان أولها اكتشافا هيبرون لامدا المتعادل (Λ^0) عام 1947، كما تم اكتشاف هيبرون لامدا المضاد ($\bar{\Lambda}^0$) عام 1951، وكتلة كل منهما 2182 مرة قدرة كتلة الإلكترون، وكان ثاني هيبرون مكتشف عام 1953 هو هيبرون سيجما الموجب (Σ^+) ومضاده ($\bar{\Sigma}^+$) وكتلة كل منهما 2327 مرة قدر كتلة الإلكترون، وينحل في 0.8×10^{-10} ثانية إلى بروتون وبيون متعادل .
أما هيبرون سيجما السالب (Σ^-) ومضاده ($\bar{\Sigma}^-$) فقد تم اكتشافهما عام 1954، وكتلة كل منهما 2340 مرة قدر كتلة الإلكترون وينحل في حوالي 1.6×10^{-10} ثانية إلى نيوترون (أو نيوترون مضاد) وبيون سالب.
وفي عام 1955 تم اكتشاف هيبرون سيجما المتعادل (Σ^0) ومضاده ($\bar{\Sigma}^0$) ووجد أنه ينحل في أقل من 10^{-11} ثانية إلى هيبرون لامدا المتعادل مع انطلاق فوتون .

أما هيبرون اكساي فقد تم اكتشافه في تلك الفترة أيضا، ففي عام 1952 تم اكتشاف هيبرون إكساي السالب (Ξ^-) ومضاده ($\bar{\Xi}^-$) وكتلة كل منهما حوالي 2580 كتلة الإلكترون وينحل في 1.2×10^{-10} ثانية إلى هيبرون لامدا المتعادل (أو المتعادل المضاد) وبيون سالب .

وكان آخر الهبيرونات المكتشفة في فترة الخمسينات هو هيبرون اكساي المتعادل (Ξ^0) ومضاده ($\bar{\Xi}^0$) وكتلة كل منهما 2565 كتلة الإلكترون وينحل في 2.9×10^{-10} ثانية إلى هيبرون لامدا المتعادل وبيون متعادل .

ويلاحظ أن الهبيرونات السابقة جميعا تتميز بأن لفها الذاتي $= \frac{1}{2}$.

وفي عام 1964 تم الكشف عن هيبرون جديد ذي لف ذاتي $\frac{2}{3}$ (فهو فيرميون أيضا) وسمي هيبرون أوميغا السالب (Ω^-) كما تم الكشف عن الجسيم المضاد له ($\bar{\Omega}^-$) ووجد أن كتلته تبلغ 3296 كتلة الإلكترون وينحل إلى هيبرون

لامدا المتعادل وكاوون (K^-) أو إلى هيبرون إكساي المتعادل وبيون سالب (π^-).
وهكذا نرى أن عدد الباريونات الأساسية هي تسعة باريونات هي على الترتيب:-

$$p, n, \Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0, \Xi^-, \Xi^0, \Omega^-$$

والجسيمات المضادة لها عددها تسعة أيضا هي على الترتيب:

$$\bar{p}, \bar{n}, \bar{\Lambda}^0, \bar{\Sigma}^+, \bar{\Sigma}^-, \bar{\Sigma}^0, \bar{\Xi}^-, \bar{\Xi}^0, \bar{\Omega}^-$$

ويلاحظ أنه لا يوجد هيبرون إكساي موجب (Ξ^+)، وقد كان يظن أن Ξ^+ هو الجسيم المضاد (للهيبرون Ξ^-) ،

كما أن الهيبرون سيجما الموجب (Σ^+) ليس هو الجسيم المضاد للهيبرون سيجما السالب (Σ^-) ، كما أن الجسيم

المضاد للهيبرون أوميغا السالب (Ω^-) هو ($\bar{\Omega}^-$) وليس (Ω^+) حيث لم يكتشف هيبرون أوميغا موجب.

وتلخص انحلالات الهبيرونات المختلفة فيما يلي:

$$(1) \Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-, \Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0$$

$$(2) \Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0, \Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$$

$$(3) \Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$$

$$(4) \Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$$

$$(5) \Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$$

$$(6) \Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$$

$$(7) \Omega^- \rightarrow \Lambda^0 + K^-, \Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$$

(5) نموذج الكواركات (Quark's Model):

لقد كان البحث في البناء الداخلي للجسيمات الأساسية الموجودة في الكون، من الأمور التي شغلت بال العلماء في النصف الثاني من القرن العشرين، وعندما تم تقسيم الجسيمات إلى عائلتين (لبتونات وهادرونات) ، كان هذا التقسيم على أساس أن البناء الداخلي لعائلة اللبتونات ليس له وجود فهي جسيمات نقطية حتى عند الطاقات العالمية، فقد أثبتت التجارب أنه ليس لها تركيب أو بناء داخلي، بينما أثبتت الدراسات أن عائلة الهادرونات تتميز كل أفرادها بأن لها بنية داخلية، وكان أول من أشار إلى ذلك الفيزيائي الياباني شويشي ساكاتا S.Sakata (1911-1970) من جامعة كيوتو عام 1956 حيث وضع نموذجا سمي باسمه (Sakata Model) لتركيبة الهادرونات

افترض فيه أن هناك ثلاثة جسيمات أساسية وذات امتياز خاص، هي البروتون (p) والنيوترون (n) وهبيرون لامدا (Λ) وجسيماتها المضادة بالطبع، تتكون الهدرونات الموجودة في الطبيعة (بما فيها الميزونات والباريونات) من هذه الجسيمات الأساسية، فمثلاً: يتكون النيون الموجب (π⁺) من بروتون ونيوترون مضاد: (p, π⁺)، في حين يتكون النيون السالب (π⁻) من نيوترون وبروتون مضاد: (n, π⁻)، ويتكون الميزون K الموجب من بروتون وهبيرون لامدا المضاد (p, Λ⁰)، وهكذا بالنسبة لميزون K⁻ = (p̄, Λ⁰)، أما الباريونات فيتكون كل باريون من ثلاثة جسيمات أساسية فمثلاً: الهبرون: Σ⁺ يتكون من باريونات أساسيان هما p و Λ⁰، وباريون مضاد هو n̄: Σ⁺ = (p, Λ⁰, n̄) وهكذا.

ومع اكتشاف أعداد أجزئي من الهدرونات بدأ للعلماء صعوبة تطبيق نموذج ساكاتا، وبدأ العلماء في إيجاد نموذج بديل، وكان هذا النموذج هو نموذج الكواركات (Quark's Model) الذي اقترحه الأمريكيان موري جيلمان M.Gell-mann (1929-2000) وجورج زفايج G.Zweig (1937-2000) كل على حدة عام 1964، وقد نال عليه جيلمان جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1969.

وفي هذا النموذج تتكون كل الهدرونات من ثلاثة جسيمات أساسية ذات لف ذاتي يساوي (1/2) (فهي فيرميونات) وذات شحنة كسرية (جزء من شحنة الإلكترون)، وهذه الجسيمات أطلق عليها جيلمان اسم الكواركات. وهذه الكواركات الثلاثة تكافئ الجسيمات p, n, Λ⁰ في نموذج ساكاتا، ولذلك أعطاها جيلمان الرموز الثلاثة: q_p، q_n، q_Λ، ثم أبدلها بالرموز u (يعني الكوارك الفوقي أو العلوي up quark)، d (يعني الكوارك التحتي أو السفلي down quark)، s (يعني الكوارك الغريب strange quark).

ويوجد لكل كوارك ضديد أو أنتي كوارك هي $\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}$ ، وتتمتع الكواركات ومضاداتها بلف ذاتي (spin) يساوي 1/2 بينما الشحنة تكون كالتالي:-

$$u (+\frac{2}{3}), d (-\frac{1}{3}), s (-\frac{1}{3}), \bar{u}(-\frac{2}{3}), \bar{d}(+\frac{1}{3}), \bar{s}(+\frac{1}{3})$$

وكأمثلة على البناء أو التركيب الكواركي (quark structure) لبعض الهدرونات نذكر الآتي:

1- البروتون: (p): يتكون من 2 كوارك علوي (u) وكوارك سفلي (d) بحيث تكون شحنته تساوي (1+)

التركيب: $P = u u d$

الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$

2- النيوترون: (n): يتكون من كوارك علوي (u) و2 كوارك سفلي (d) بحيث تكون شحنته (صفر)

التركيب: $n = u d d$

الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

3- الأنتي بروتون: (\bar{p})

التركيب: $\bar{p} = \bar{u} \bar{u} \bar{d}$
 الشحنة: $Q = -\frac{2}{3} - \frac{2}{3} + \frac{1}{3} = -1$

4- الأنتي نيوترون: (\bar{n})

التركيب: $\bar{n} = \bar{u} \bar{d} \bar{d}$
 الشحنة: $Q = -\frac{2}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 0$

5- ميزون: (π^+)

التركيب: $\pi^+ = u \bar{d}$
 الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = +1$

6- ميزون: (π^-)

التركيب: $\pi^- = \bar{u} d$
 الشحنة: $Q = -\frac{2}{3} - \frac{1}{3} = -1$

7- ميزون: (π^0)

التركيب: $\pi^0 = u \bar{u}$
 الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} - \frac{2}{3} = 0$

8. ميزون: (k^+)

التركيب: $k^+ = u \bar{s}$
 الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = +1$

9 ميزون: (k^-)

التركيب: $k^- = s \bar{u}$
 الشحنة: $Q = -\frac{1}{3} - \frac{2}{3} = -1$

10- ميزون: (k^0):

التركيب: $k^0 = d \bar{s}$
 الشحنة: $Q = -\frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 0$

11- ميزون: (\bar{k}^0):

التركيب: $\bar{k}^0 = s \bar{d}$
 الشحنة: $Q = -\frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 0$

12- هيرون: (Λ^0):

التركيب: $\Lambda^0 = u \bar{d} s$
 الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

13- هيرون: (Σ^+):

التركيب: $\Sigma^+ = u u s$
 الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$

14- هيرون: (Σ^-):

التركيب: $\Sigma^- = d \bar{d} s$
 الشحنة: $Q = -\frac{1}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = -1$

15- هيرون: (Σ^0):

التركيب: $\Sigma^0 = u \bar{d} s$
 الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

16- هيبرون: (Ξ^-):

التركيب: $\Xi^- = d \quad s \quad s$
 الشحنة: $Q = -\frac{1}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = -1$

17 - هيبرون: (Ξ^0):

التركيب: $\Xi^0 = u \quad s \quad s$
 الشحنة: $Q = +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

18- هيبرون: (Ω^-):

التركيب: $\Omega^- = s \quad s \quad s$
 الشحنة: $Q = -\frac{1}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = -1$

وهكذا نرى أن نموذج الكواركات الثلاثة نجح نجاحاً كبيراً في وصف التركيب الداخلي للهدرونات (سواء الميزونات أو الباريونات)، وقد أثار هذا النجاح اهتمام العلماء وبدأوا يبحثون عنهما في الطبيعة، وفي التجارب المعملية، مع اعتبار أن الكواركات هي جسيمات ذات شحنات كهربائية كسرية، وكتل كبيرة، ويمكن تولدها بواسطة الأشعة الكونية واستخدام غرفة ويلسون السحابية، وفي عام 1969 وباستخدام المعجل الخطي الكبير بجامعة ستانفورد وبواسطة علماء جامعة ستانفورد تمكنت مجموعة من الباحثين من الكشف عن وجود الكواركات داخل الهدرونات وليس بصورة منفردة، وقد كشفت التجارب عن البناء الداخلي للبروتون حيث استطاع العلماء مشاهدة ما بداخل البروتون ورؤية الكواركات، وكان ذلك دليلاً قاطعاً على وجود تلك الجسيمات.

وكان نموذج الكواركات الثلاثة الذي يستخدم ثلاث نكهات (Flavors) للكواركات (علوي u وسفلي d وغريب s) يفسر الهدرونات الموجودة حتى عام 1974 حين تم اكتشاف نوع جديد من الهدرونات ذي خواص لا يمكن تفسيرها باستخدام نموذج الكواركات الثلاثة وكان شلدون جلاشو S.Glashow (1932-0000) وجيمس بجوركن J.Bjorken (1934-0000) قد اقترحا عام 1964

(في نفس الوقت الذي اقترح فيه جيلمان وزفايخ نموذج الكواركات الثلاثة) وجود كوارك رابع حتى يمكن به شرح بعض التفاعلات الخاصة بالتفاعلات الضعيفة، وأطلقا على هذا الكوارك الرابع اسم

الكوارك الرائع (charm quark) وأعطوه الرمز (c)، وقد وضع جلاشو ومعاونوه جون إيڤيولوس J.Illipoulos

(1940-0000) ولوسيانو ماياتي L.Maiani (1941-0000) نظرية لشرح ميكانيكية التفاعلات الضعيفة تضمنت وجود هذا الكوارك الرابع، وكان ذلك عام 1970، وفي عام 1973 اقترح الفيزيائيان اليابانيان ماكوتو كوباياشي M.Kobayashi (1944-0000) وتوشيدا ماسكاو T.Maskawa (1940-0000) وجود زوج من الكواركات (الخامس والسادس) وذلك لتفسير تجربة أجريها خاصة بملاحظة ما يعرف بحرق قانون تماثل الشحنة - الندبة (charge - parity violation) وقد أطلق الفيزيائي الإسرائيلي حاييم هراري H.Harari في مقال نشره بعنوان (نموذج كواركي جديد للهدرونات) عام 1975 على هذين الكواركين اسم: الكوارك القاع (الكوارك الخامس) bottom quark والكوارك القمة (الكوارك السادس) top quark ويقي الإثبات العملي لوجود الكواركات الثلاثة الجديدة

(الرابع c والقاع b ، والقمة t) قيد البحث حتى عام 1974 حين تم اكتشاف الكوارك الرابع (الرابع - c) بواسطة مجموعتين : الأولى في SLAC (بستانفورد) برئاسة يوتون ريشتر B.Richter (1931-0000) والثانية في معمل بروكهافن القومي برئاسة صمويل تنج S.Ting (1936-0000) حيث شاهدوا كوارك الروعة مرتبطا بكوارك روعة مضاد (\bar{c} , c) في ميزون جديد أطلق عليه ريشتر اسم الميزون Ψ ، وأطلق عليه تنج إسم الميزون J وقد منح كل من ريشتر وتنج جائزة نوبل لعام 1976 علي هذا الكشف ، ويعرف هذا الجسيم الآن بالميزون (J/Ψ).

وبعد ثلاثة أعوام (أي في عام 1977) تم اكتشاف الكوارك الخامس (القاع - b) في مجموعة معمل فيرمي بجامعة بيركلي برئاسة ليون ليدرمان (مكتشف النيوتريوميو) حيث اكتشفوا الجسيم أيسيلون (Υ) وكتلته تقرب من عشرة أمثال كتلة البروتون، ويتكون الميزون أيسيلون من حالة مترابطة من كوارك قاع (b) وكوارك قاع مضاد (\bar{b}) بالصورة:

$$\Upsilon = (b \bar{b}) \text{ ، وقد لوحظ أن شحنة الكوارك } b = -\frac{1}{3} \text{ ، وشحنة الكوارك } \bar{b} = +\frac{1}{3}$$

وقد تم اكتشاف العديد من الميزونات والهيبرونات المحتوية علي الكواركين الرابع (c) والخامس (b) في الثمانينيات وأوائل التسعينيات من القرن العشرين وأعطيت أسماء مختلفة منها **مثلا:** الهيبرون (Λ_b^0) وتركيبه ($u b d$) $\Lambda_b^0 = (u b d)$ المكون من كوارك علوي (u) وكوارك قاع (b) وكوارك سفلي (d) وتم اكتشافه عام 1981 بالمركز الأوروبي للأبحاث النووية (CERN)، ومنها الميزون (B) وهو أول ميزون يدخل في تركيبه الكوارك b وتم اكتشافه عام 1983

ووجدت منه :

أربعة ميزونات هي $B^+ = (\bar{b} u)$ ، $B^- = (b \bar{u})$ ، $B^0 = (\bar{b} d)$ ، $B^{\bar{0}} = (b \bar{d})$ ، وشحناتها حسب التركيب الكواركي هي :-

$$Q(B^+) = +\frac{1}{3} + \frac{2}{3} = 1$$

$$Q(B^-) = -\frac{1}{3} - \frac{2}{3} = -1$$

$$Q(B^0) = +\frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

$$Q(\bar{B}^0) = -\frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 0$$

وقد جرت محاولات جادة لاكتشاف الكوارك السادس (القمة- t) أو اكتشاف أي جسيمات جديدة بدخل هذا الكوارك في تركيبها، وكللت تلك المحاولات باكتشاف هذا الكوارك عام 1994 في مختبر فيرمي للأبحاث النووية بالقرب من شيكاغو بمجموعة ضخمة من العلماء ينتمون إلى عدة دول، وقد تم نشر نتيجة تلك الأبحاث في مجلة خطابات المراجعات الفيزيائية (Physical Review Letters) العدد 74 بتاريخ 1995 تحت عنوان (ملاحظة إنتاج الكوارك القمة t) في تصادمات ($P\bar{P}$) باستخدام كاشف التصادم بمعمل فيرمي، وكان من بين فريق العمل الذي اكتشف هذا الكوارك البروفيسور ليون ليدرمان (مكتشف الكوارك الخامس - القاع عام 1977) والبروفيسور برتون ريشتر (مكتشف الكوارك الرابع - الرابع عام 1974) وكلاهما من الحاصلين على جائزة نوبل.

وفي ختام هذه الفقرة نورد ملخصًا بخواص الكوارك السبعة:

الشحنة	الكوارك المضاد
$-\frac{2}{3}$	\bar{u}
$+\frac{1}{3}$	\bar{d}
$+\frac{1}{3}$	\bar{s}
$-\frac{2}{3}$	\bar{c}
$+\frac{1}{3}$	\bar{b}
$-\frac{2}{3}$	\bar{t}

الشحنة	الكوارك
$+\frac{2}{3}$	علوي (u) up
$-\frac{1}{3}$	سفلي (d) down
$-\frac{1}{3}$	غريب (s) strange
$+\frac{2}{3}$	رائع (c) charm
$-\frac{1}{3}$	قاع (b) bottom
$+\frac{2}{3}$	قمة (t) top

(5) النموذج العياري (standard model) للجسيمات الأولية:

وضع هذا النموذج كل من العالم البريطاني من أصل باكستاني محمد عبد السلام M.Abdus-salam (1926-1996) والأمريكي ستيفن فينبرج S.winberg (1933 - ...) عام 1967 في محاولتهم توحيد المجالين الكهرومغناطيس والضعيف للجسيمات الأولية في مجال واحد هو المجال الكهروضعيف، ومن المعروف أن الجسيمات الحاملة للمجال الكهرومغناطيس في الفوتونات (photons) (γ) وأن الجسيمات الحاملة للمجال الضعيف هي بوزونات W^{\pm} (المشحونة) والنيوزون (Z) المتعادل، وأن الجسيمات الأساسية في هذا النموذج هي اللبتونات والكواركات، ويقرر النموذج العياري تساوي أعداد الكواركات وأعداد اللبتونات كشرط ضروري لصحة النموذج، ويشمل النموذج العياري على ثلاث صور أو أنسال (generations) أو عائلات من اللبتونات هي: عائلة الإلكترونات (e^-e^+) والميونات ($\mu^- \mu^+$) والتاويونات ($\tau^- \tau^+$) وكذلك العائلات الثلاثة المناظرة من النيوترونات وهي: عائلة النيوتريو الإلكتروني ($\bar{\nu}_e, \nu_e$) والنيوتريو الميوني ($\bar{\nu}_\mu, \nu_\mu$) والنيوتريو التاويوني ($\bar{\nu}_\tau, \nu_\tau$) وهي في مجموعها 12 لبتون.

ويشتمل النموذج أيضاً على عدد متساو من الكواركات أي على ثلاث عائلات من الكواركات هي: عائلة الكواركين (علوي - سفلي) أو (u, d)، عائلة الكواركين (غريب - رائع) أي (s, c) وعائلة الكواركين (قاع - قمة) أو (b, t) إضافة إلى الجسيمات المضادة وهي (\bar{d}, \bar{u})، (\bar{c}, \bar{s})، (\bar{t}, \bar{b}) ومجموع تلك الكواركات 12 كوارك منها 6 أصلية و 6 مضادة، وهو نفس عدد اللبتونات الموجودة في النموذج، وتربط البوزونات الحاملة للمجال الكهروضعيف (γ, Z, W^{\pm}) الفيرميونات المكونة للنموذج (وهي اللبتونات والكواركات)، فمثلا البوزون W المشحون يربط بين الكواركات العلوية (u) والسفلية (d)، وهكذا.

وقد كان اكتشاف الكوارك السادس (t) ومضادة (\bar{t}) تأكيداً لصحة النظرية وصدق النموذج ويلاحظ أن التجارب العملية (1994) أوجدت كتلة الكوارك القمة (t) بقيم تتفق تماماً مع القيم النظرية المعتمدة على النموذج العياري والذي حدد كتل وصفات تلك الجسيمات نظرياً وتتفاعل اللبتونات والكواركات مع بعضها من خلال وسيط هو عبارة عن مجموعة من الجسيمات أطلق عليها اسم الجليونات (Gluons) وكلمة الجليون تعني الغراء (glue) وعلى ذلك فإن دور هذه الجليونات هو العمل على تماسك الجسيمات (وخاصة الكواركات) مع بعضها، والجليونات هي جسيمات متعادلة وكتلة ضئيلة يمكن اعتبارها صفراء، وهي أيضاً من البوزونات لأن لها لف ذاتي يساوي الواحد.

والجليون في الواقع يشبه الفوتون (كم المجالات الكهرومغناطيسية) في كتلته الصفرية وشحنه المتعادلة وله الذاتي المساوي للوحدة، والجليون بهذا الاعتبار هو كم المجالات القوية التي تعمل بين الهدرونات (التي تتكون من كواركات) وبعد اكتشاف جسيم أبسيلون (Υ) عام 1977 اتجه العلماء لإثبات وجود تلك الجليونات عملياً، ففي عام 1980 تم إجراء عدد من التجارب لإثبات وجود الجليونات، وأسفرت تلك التجارب عن إثبات وجود تلك الجسيمات كنواتج إنحلال الميزون Υ الذي لوحظ انحلاله إلى ثلاث حزم من الجليونات الرابطة بين الكواركات في هذا

الميزون، وأطلق على كل حزمه من تلك الحزم اسم النفاث الجليوني (gluon Jet).

أما البوزونات (أو الجسيمات) الحاملة والمسئولة عن التفاعلات الضعيفة (Z ، W^\pm) فقد تم اكتشافها عملياً عام 1984، على يدي الإيطالي كارلو روبيا C.Rubbia (1934-2000) والهولندي سيمون فان دير مير S.Vander Meer (1925-2011)، وكان هذا الاكتشاف من أكيز التددعيمات التي نالها النموذج العياري ونظرية توحيد المجالات لعبد السلام – فينبرج والتي افترضت وجود هذه الجسيمات قبل اكتشافها بنحو 17 عاماً (عام 1967).

6) آخر الإنجازات في فيزياء الجسيمات الأولية – اكتشاف بوزون هيجز (Higg's Boson) عام 2012:

تلعب التماثلات أو التناظرات (symmetries) دوراً أساسياً في فيزياء الجسيمات الأساسية، وترتبط قوانين الحفظ (أو البقاء) عادة بقاعدة تماثل (أو عدم تغير) ويستخدم لفظ التماثل عادة في الفيزياء بمعنى أن المنظومة أو الحالة المستخدمة تبقى غير متغيرة نتيجة إجراء عملية معينة أو مجموعة متتالية من العمليات.

ويؤدي عدم التغير هذا إلى عدد من قوانين البقاء منها: عملية حفظ أو بقاء ما يعرف بالندية أو المماثلة (parity) ويرمز لها بالرمز (p)، وعملية تماثل الترافق الشحني (charge conjugations) يرمز لها بالرمز c، وهناك عمليات مركبة تأتي من دمج هذه العمليات فهناك مثلاً مبدأ عدم التغير في الندية والترافق الشحني (cp) وهي عملية تبقى الفضاء متماثلاً تماماً، وينتقل هذا التماثل إلى الجسيمات المحتواه داخل هذا الفضاء.

وقد كان العلماء يظنون أن قوانين البقاء أو الحفظ للعمليات السابقة (أي عدم تغيرها) هي قوانين عامة تنطبق على كل التفاعلات إلا أنه في عام 1956 تم اكتشاف مبدأ كسر أو انتهاك (violation) عملية التماثل (p) في التفاعلات الضعيفة، وذلك على يدي العالمين الصينيين تسنج لي T.Lee (1926-2000) وشن يانج C.Yang (1922-2000) وحصل العالمان على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1957، وفي عام 1978 اكتشف العالمان الأمريكيان فال فيتش V.Fitch (1923-2015) وجيمس كرونين J.Cronin (1931-2000) انكسار مبدأ التماثل في عملية (cp) أيضاً بالنسبة لتفاعلات ميزون K، وحصل الاثنان أيضاً على جائزة نوبل لعام 1980.

ويسعى العلماء دائماً إلى البحث عن كيفية تطبيق مبدأ التماثل أو التناظر في عمليات الجسيمات الأولية ومن هنا كان إدخال النموذج العياري لشرح كيفية حدوث هذا الكسر اللحظي في التماثل بالنسبة للعمليات الكهروضعيفة، ومن هنا جاء اقتراح وجود مجال جديد (غير موجود أصلاً) هو مجال كوني عديم الكتلة لشرح ظاهرة الانكسار في عملية (cp) على وجه الخصوص، ولما كان أي مجال له جسيم حامل لخواصه (أو كم المجال) مثل الفوتون هو الكم الحامل لخواص المجال الكهرومغناطيسي، ومثل البوزونات Z, W الحاملة للمجال الضعيف والجليونات الحاملة للمجال القوي (أو الشديد) الفاعل بين الكواركات، فإن هذا المجال الجديد لابد أن يكون له جسيم يحمل خواصه، وقد كان أول من اقترح وجود هذا الجسيم وهذا المجال هو العالم البريطاني الأستاذ بجامعة أدنبره باسكتلندا بيتر هيجز P.Higgs (1929-2000).

عام 1964، ولذلك أطلق على المجال إسم مجال هيجز، وعلى الجسيم إسم بوزون هيجز (Higgs Boson) ولم يكن هيجز فقط أول من اقترح وجود هذا الجسيم، ولكن كان هناك مجموعتين من العلماء اقترحوا ذلك في نفس الوقت (عام 1964)، وهم:

(1) البلجيكي فرانسوا إنجليرت F.Englert (1932-0000) وزميله روبرت بروت R.Brout (1928-2011) وهما أستاذان بجامعة بروكسل.

(2) الأمريكيان جبرالنيك G.Guralnik (1936-2014) من جامعة براون، كارل هاجن C.Hagen (1937-0000) من جامعة روشستر، والبريطاني توم كيبل T.Kibble (1932-0000) من الكلية الملكية بلندن، وعرفت نظريتهم في ميكانيكة (أو آلية) وجود البوزون هيجز بنظرية (GHK) بالحروف الأولى من أسمائهم.

وقد حاز هيجز وإنجليرت على جائزة نوبل في الفيزياء مؤخراً (عام 2013) لاكتشافهم ميكانيكية (أو آلية) وجود البوزون هيجز والمجال هيجز.

ولمعرفة ميكانيكيه هيجز نقول :

إن أبسط نظرية الكيفية حدوث آلية هيجز في الطبيعة هي : لو أن نوعا معيناً من المجالات (مجال هيجز) تخلل الفراغ، وكان بإمكانه التفاعل مع الجسيمات الأساسية بطريقة معينة فإن ذلك سينتج حولنا الظاهرة التي نسميها الكتلة (أي مقدار المادة الموجودة في الجسيم)، وعلى هذا فإن الجسيم الحامل لهذا المجال (جسيم هيجز) يمكن اعتباره مصدر الكتلة في كل الجسيمات ذوات الكتل، وينتمي هذا الجسيم إلى فصيلة البوزونات، وهو جسيم أساسي في النموذج العياري للجسيمات الأساسية، وإذا تأكد وجود هذا الجسيم فسوف يكون ذلك آخر دليل على صحة النموذج، وفي نفس الوقت الإجابة على السؤال الهام: من أين تأتي كتلة الجسيمات المكتشفة، أو لماذا تمتلك تلك الجسيمات كتلة.

ويمكن القول أن كل الجسيمات الأساسية مثل الكواركات واللبتونات تحصل على كتلة من خلال آلية (أو ميكانيكية هيجز)، إلا أن بوزون هيجز وكتلة كبيرة للغاية، حيث تتطلب النموذج العياري (في صورته الرياضية) أن أي آلية قادرة على توليد كتل الجسيمات الأولية يجب أن تكون ذات طاقة أعلى من 1.4 تريليون إلكترون فولت (1.4 تيفا إلكترون فولت) ، ولذلك فإن بوزون هيجز يحتاج لاكتشافه إلى معجلات ضخمة تنتج طاقة كافية لمعادلة كتلة هذا البوزون، وبعد افتتاح المصادم الهادروني الكبير (LHC) في مركز GERN عام 2008 وهو أقوى معجل للجسيمات وينتج طاقة عالية للغاية نتيجة تصادمات بين حزم من الجسيمات (البروتونات مثلا) تصل إلى 14 تيفا إلكترون فولت، وقد تم بناؤه أساساً للكشف عن وجود بوزون هيجز .

وفي يوليو عام 2012 أعلن الفيزيائيون العاملون في المصادم الهادروني الكبير عن اكتشاف البوزون هيگز، والتأكيد رسمياً عن وجوده ، وهو ذو كتلة حوالي 125 بليون (125 جيجا) إلكترون فولت (أي نحو 133 مرة قدر كتلة البروتون) أو في نطاق (10²⁵- كيلوجرام).

وكان هذا الكشف هو خاتمة المطاف لإثبات صحة النموذج العياري، وصحة آلية هيگز التي اقترحت عام 1964 لتفسير كيفية حصول الجسيمات الأولية على كتلتها ، وقد تم الوصول إلي هذا الكشف بعد 48 عاما من إعلانه نظرياً .

8) جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2015- اكتشاف نبتة النيوترينو :-

بدأ ظهور النيوترينو في علم الفيزياء عام 1931 حينما وضع ولفجانج باولي نظرية انحلال بيتا التي تتخلص في انحلال النيوترون (المتعادل) إلي بروتون (موجب) وإلكترون (سالب) ، وينطبق قانون حفظ كمية الحركة اللغية علي هذا التحلل، وجد أنه من اللازم إنبعاث جسيم متعادل (ذو كتلة ضئيلة للغاية) إضافة إلي البروتون والإلكترون ، وقد أطلق عليه فيرمي إسم النيوترينو ، وطبقا لنظرية ديراك في وجود الجسيمات المضادة ، فان النيوترينو أيضا يجب أن يكون له مضاد النيوترينو (الأنتي نيوترينو) .

وقد اجتهد العلماء في الكشف عن النيوترينو ومضاده ، وفي عام 1956 استطاع كلايدكوان وفردريك رايزر من اكتشاف النيوترينو المضاد عمليا (قبل اكتشاف النيوترينو نفسه) ، وبعد ثلاث سنوات وفي عام 1959 إستطاع ريموند ديفيز (1914-2006) من اكتشاف النيوترينو نفسه عمليا .

وفي عام 1962 أثبت ليون ليدرمان وملفين شوارتز وجود نوعين مختلفين من النيوترينو (النيوترينو الالكتروني وينبعث في التفاعلات التي يشترك فيها الالكترون) ، والنيرترينو الميوني وينبعث في التفاعلات التي يشترك فيها الميون .

وفي عام 1968 وضع فينبرج وجلاشو بالاشتراك مع البريطاني من الأصل الباكستاني محمد عبد السلام (1926-1996) النموذج العياري (Standard Model) للجسيمات الأولية مقسما الجسيمات إلي مجموعتين : اللبتونات والهدرونات ، وتتكون مجموعة اللبتونات طبقا لهذا النموذج من جسيمات ستة هي : الالكترون ، الميون ، التاوون ، النيوترينو الالكتروني ، النيرترينو الميوني ، النيوترون التاووني .

وقد اجتهد العلماء مرة ثانية للكشف عن جسيم الناورون والنيوترينو المصاحب لتفاعلاته (النيوترينو الناوروني) ، وتوصل مارتن بيرل لاكتشاف الناورون (وهو أثقل اللبتونات) عام 1975، ثم اكتشف النيرترينو الناوروني عام 1977 . وكان المعتقد أن جسيمات النيوترينو الثلاثة ذات كتل ضئيلة للغاية أو تكاد تكون صفراً ، وطبقاً للنموذج العياري فإن تلك الجسيمات (ومضاداتها) يجب أن تكون عديمة الكتلة .

وكانت المفاجأة عام 1991 حين اكتشف ميشيل تيرنر M.Turner (1949- ----) ومعاونوه بجامعة شيكاغو وجود نيوترينو ثقيل (ذو كتلة) ، وفي نفس العام اكتشف دافيز والياباني كوشيبا (1926- ----) وجود النيوترينو الشمسي (Solar Neutrino) وهو نيوترينو الكتروني ناتج عن تفاعلات الشمس والنجوم .

وشغلت مسألة هل للنيوترينوات كتلة أم لا بال العلماء ، حتي عام 1998 حين اكتشف الياباني تاكاكي كاجيتا T.Kajita (1959- ----) تلميذ كوشيبا من جامعة طوكيو في دراسته علي نيوترينوات الاشعة الكونية ما يعرف ببذبذبة النيوترينو (Neutrino Oscillation) ، التي تعني أن للنيوترينو كتلة ، وأن النيوترينوات الثلاثة تمتلك كتلا مختلفة، وقد أكد وجود بذبذبة النيوترينو الكندي أرثر ماك دونالد A.Mc Donald (1943- ----) الاستاذ بجامعة أونتاريو أثناء دراسته للنيوترينوات القادمة من الشمس ، وتحدث ماك دونالد عن أن ذلك يعني وجود كتلة للنيوترينو ولكن أقل من مليون مرة من كتلة الالكترون .

وقد حاز العالمان كاجيتا وماكدونالد علي هذا الاكتشاف لجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2015.

وأهمية هذا الكشف تكمن في أنه وضع النموذج العياري في مأزق ، وأن هذا النموذج ليس هو النظرية الكاملة في وصفه للجسيمات الاساسيه في بناء الكون .

رابعاً: فيزياء المادة المكثفة

(i) نشأة مصطلح المادة المكثفة (Condensed matter):

لم يكن أحد يسمع مصطلح المادة المكثفة في بدايات القرن العشرين ، ولكن كان هناك إسم الحالة الصلبة أو الجامدة (Solid State) حيث كانت تدرس فيها خواص الجوامد أو المواد الصلبة منفردة علي أسس كلاسيكية صرفه . وقد تطورت فيزياء الجوامد أو الحالة الصلبة تطوراً كبيراً بدءاً من عام 1912 ، وامتدت لكي تشمل علي فيزياء الزجاج والسيراميك ، وفيزياء السوائل الكمية (مثل الهليوم السائل 3،4) ، كما أضيف إليها عدد من الظواهر الميكروسكوبية الجديدة مثل ظاهرتي التوصيل الفائق (Superconductivity) والميوعة الفائقة (Superfluidity) ، واللتان تحدثان في الغالب عند درجات الحرارة المنخفضة حيث يكون للظواهر الكمية (أي التي يمكن شرحها علي أسس ميكانيكا الكم) تأثيرات واضحة .

وإزاء هذا التطور ظهر إسم المادة المكثفة التي أصبحت تشمل الآن الجوامد (Solids) بأنواعها ، السوائل (Liquids)

بأنواعها ، البوليمرات (polymers) ، وهي أشكال مركبة للمادة تتركب من جزيئات كبيرة ومتكررة ومتوافقة وعديدة الذرات ، بأنواعها سواء كانت بوليمرات عادية (تستخدم في صنع البلاستيكات والمواد المطاطة واللاصقة وغيرها) أو حيوية (مثل البروتينات والأحماض النووية) .

ونتيجة للتطور الكبير في فيزياء المادة المكثفة ظهرت التطبيقات المميزة للترانزستورات والدوائر المتكاملة (integrated circuits) التي هي أساس الأجهزة الحاسوبية الحديثة (الحواسب أو الكمبيوترات) .

وإذا رجعنا إلي التقسيم الدولي لموضوعات الفيزياء والذي ورد في مجلة الملخصات الفيزيائية (Physics Abstracts)

ونشره المعهد الأمريكي للفيزياء (AIP) بنيويورك فإن علم الفيزياء ينقسم إلي عشرة موضوعات هي :

الفيزياء العامة ، فيزياء الجسيمات الأولية والمجالات ، الفيزياء النووية ، الفيزياء الذرية والجزيئية ، الفيزياء الكلاسيكية الموائع والبلازما ، المادة المكثفة (الخواص الحرارية والميكانيكية) ، المادة المكثفة (الخواص الكهرومغناطيسية والالكترونية والبصرية) ، الفيزياء وتطبيقاتها التكنولوجية ، فيزياء الأرض والفيزياء الفلكية .

ومن ذلك نجد أن فيزياء المادة المكثفة تشمل موضوعين كاملين من موضوعات الفيزياء، وتندرج تحت تلك الموضوعات العامة موضوعات فرعية متخصصة نذكر منها في فيزياء المادة المكثفة بالذات الموضوعات الآتية :-

- (1) - تركيب (أبناء) السوائل والجوامد والخواص الميكانيكية والسمعية واللزوجيه للماده المكثفه
- (2) - الخواص الحراريه والانتقاليه الالكترونييه للماده المكثفه
- (3) - الموانع والجوامد الكمييه : الهليوم السائل والصلب
- (4) - البناء الالكتروني والانتقالات الالكترونييه في الماده المكثفه
- (5) - التوصيل الفائق والميوعه الفائقه .
- (6) - الخواص المغنطيسييه للماده المكثفه - تأثير موسباور .
- (7) - الخواص البصريه للماده المكثفه، التفاعلات بين الماده والجسيمات والاشعاع
- (8) - الانبعاث الالكتروني والأبوني بواسطه السوائل والجوامد .

(ii) مخلص لأهم الإنجازات في المادة المكثفه قبل ظهور نظرية الكم :-

يمكن القول بان أهم الموضوعات في فيزياء المادة المكثفه التي شغلت بال العلماء نظريا وعمليا قبل ظهور نظرية الكم هي :-

- (1) - إسالة الغازات :- وهو أحد أقدم الموضوعات حيث بدأ البحث فيه في نهايات القرن التاسع عشر وعلي وجه التحديد عام 1887، حيث استطاع الصناعي الفرنسي لويس كليليه L.Cailletet (1832-1931) إسالة غازي الاكسوجين والنيتروجين للمرة الأولى في تاريخ الفيزياء ، وفي السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر وعلي وجه التحديد عام 1898 استطاع الأنجليزي جيمس ديوار J. Dewar (1842-1923) ولأول مرة من الحصول علي 20 سم³ من سائل الهيدروجين وفي عام 1901، حصل ديوار علي خمسة لترات من الهيدروجين السائل ، وكان ذلك إنجازا كبيرا في تاريخ الفيزياء.

وتوصف تلك السوائل التي تم الحصول عليها من الغازات بأنها سوائل عادية أو تقليديه أو كلاسيكيه حيث أن

التأثيرات الكمييه (التي ظهرت بعد نشأة نظرية الكم) فيها تكون ذات قيمه غير محسوسة ، وقد وجد أن السائل الوحيد الذي يمكن الحصول عليه وتكون فيه التأثيرات الكمييه محسوسة قبل تجمده هو الهليوم السائل ، الذي تم الحصول عليه (قبل اكتشاف نظرية الكم) وعلي وجه التحديد عام 1908

علي يدي الفيزيائي الهولندي كامرانج - أونز K.Onnes (1853-1926) في تجاربه حول خواص المواد عند

درجات الحرارة المنخفضة والتي أدت به إلى اكتشاف ظاهرة التوصيل الفائق أيضا ، وذلك عام 1911، ونال كامرلنج - أونز بذلك جائزة نوبل للفيزياء لعام 1913 .

ولم يستطع العلماء تفسير ظاهرة الحصول على الهليوم السائل أوظاهرة التوصيل الفائق علي أسس كمية في ذلك الوقت لعدم التوصيل إلى اكتشاف ميكانيكا الكم آنذاك.

وكان أحد الانجازات الهامة في فيزياء الجوامد قبل ظهور نظرية الكم الحديثه هو المحاولة لوضع نظرية تعتمد علي فرض بلانك الكمي (الذي يطلق عليه نظرية الكم القديمه أو التقليديه) وذلك لتفسير سلوك الحرارة النوعيه للمواد الصلبه عند درجات الحرارة المنخفضه ، وكان هذا السلوك للحراره النوعيه قد تم كشفه بعد العمليات الناجحه لاسالة الغازات علي يدي ديوار وكامرلنج - أونز ، وكانت محاولة إيجاد النظرية الكمية التقليديه للحراره النوعيه للجوامد قد تمت علي يدي كل من العالمين :

بيتر ديبياي (1884-1996) عام 1911، ألبرت أينشتين عام 1913 .

(2) - دراسة التركيب البلوري للمواد باستخدام أشعة إكس :-

وبدأت تلك الدراسات عام 1913 حين اكتشف السير هنري براج وإبنة لورنس براج المقياس الطيفي (السبكترومتر)

الخاص باشعة إكس ، وذلك عقب اكتشاف الألماني ماكس فون لاو M.VonLaue (1879-1960) حيود تلك الاشعه بواسطة البلورات واكتشاف الطبيعه الموجيه لتلك الاشعه وذلك عام 1912 .

واستخدم براج هذا المقياس الطيفي في دراسة التركيب الداخلي للبلورات ، وكانت أشعة إكس بذلك هي المفتاح الذي تم بواسطته البحث عن تركيب وبنية المواد الصلبه .

وقد حصل ماكس فون لاو علي جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1914، ونال السير هنري براج وإبنة لورنس براج تلك الجائزة في العام التالي (1915) .

(iii) - أهم الانجازات في المادة المكثفه بعد ظهور نظرية الكم :-

ظهرت نظرية الكم الحديثه كما ذكرنا سابقا - علي يدي مجموعة من العلماء في الفترة منذ عام 1924 ، وحتى عام 1930، وقد اكتشف كل من الايطالي إنريكو فيرمي والانجليزي بول ديراك ماعرف باسم إحصاء فيرمي - ديراك عام 1926 والذي يطبق علي الجسيمات المسماه بالفيرميونات (ذات اللف المغزلي نصف عدد صحيح) .

كما اكتشف ولفجانج باولي عام 1926 أن إحصاء فيرمي - ديراك هو الاحصاء المناسب للتطبيق علي البنية الداخليه للمعادن ، وذلك عند دراسة سلوك الالكترونات عند أسطح تلك المواد .

ومنذ بداية الثلاثينات أصبحت فيزياء المادة المكثفه مجالا خصبا لتطبيق ميكانيكا الكم المكتشفه حديثا في ذلك الوقت ، فظهرت ابحاث عديدة أدت إلى اكتمال ظهور ما عرف بالنظرية الكمية للجوامد (Quantum Theory of solids)

علي يدي العلماء الأتية أسماؤهم :

- (1) - الألماني أرنولد سومر فيلد الذي وضع نموذج الغاز الالكتروني الحر للمعادن (عام 1931)
- (2) - الأمريكي فليكس بلوخ F.Bloch (1905-1983) الذي وصف نظريا وجود مايعرف بحزم الطاقة (energy bands) في الجوامد (عام 1932)
- (3) - الفرنسي ليون بريلوين L.Brillouin (1889-1969) الذي وضع التفسير النظري المبني علي وجود حزم الطاقة لمسألة اختلاف أنواع الجوامد ، أي وجود بعضها علي صورة معادن (موصلات) ، والأخر علي صورة عوازل ، والثالث علي صورة أشباه موصلات (SemiConductors) وذلك عام 1933، وظهرت علي يديه ما عرف باسم مناطق بريلوين (Brillouin zones) .
- (4) - الأمريكيان فرديريك سايتز F.Seitz (1911-2008) وبيوجين فجنر E.Wigner (1902-1995) وقد وضعوا أول نظريه لحزم الطاقة في المعادن القلوية (مثل الصوديوم والبيوتاسيوم) ، وذلك عام 1934، وقد ادخل فجنر في نفس العام مفهوم البلازما الكمية (quantum plama) والتي هي عبارة عن مجموعه من الالكترونات المتفاعلة والمتحركة بحرية في وسط منتظم من الشحنات الأيونيه الموجبه .
- (5) - الأمريكي جون باردن J.Barden (1908-1991) الذي ادخل عام 1937 مفهوم حجب (Screening) حركة الأيونات بواسطة الالكترونات المتحركة داخل المادة ، وذلك في معرض وصفه لتفاعل الالكترونات مع أشباه الجسيمات (quasiparticles) المسماه بالفونونات (phonons) في المعادن ، وكان كل من ماكس بورن ،المجري تيودور فون كارمان T.Von Karman (1881-1963) قد أدخلوا مفهوم الفونون إلي نظرية الجوامد عام 1912.
- كما كان الروسي چاكوب فرينكل J.Frenkel (1894-1952) قد قدم أبحاثه عام 1933 حول وجود ما أسماه بأشباه الجسيمات (أو الاثارات الأولية - elementary excitations) الحادثه في المواد العازلة وفي أشباه الموصلات .
- (6) - الأمريكي فريترز لندن F.London (1900-1954) ، الذي قدم أبحاثه عام 1938 حول ما أسماه بظاهرة الميوعة الفائقة (Superfluidity) ، واكتشاف تلك الظاهرة في الهليوم - 4 السائل علي يدي الروسي بيتر كابيتزا P.Kapitsa (1894-1984) في نفس هذا العام .
- وكان شرح فريترز لندن لهذه الظاهرة هو أول شرح لظاهرة كمية (أي ظاهرة لايمكن شرحها علي أسس كلاسيكيه) علي المقياس الماكروسكوبي .
- (7) - الروسي ليف لانداو L.Landau (1908-1968) ،الذي قدم إسهامات كبيرة لفهم الحالات المكثفه للمواد ،

وأهمها وضعه لنموذج المائعين (Two Fluid Model) عام 1940 ، وتفسيره للنظرية الكمية للهليوم في حالته فوق السائلة (superfluid) عام 1941 .

(8) - وبعد الحرب العالمية الثانية (40- 1945) عادت الأبحاث في فيزياء المادة المكثفة للظهور بعد أن توقفت

خلال فترة الحرب ، وظهر عام 1947 أول وأهم تطبيق عملي في فيزياء المادة المكثفة باختراع ترانزستور الاتصال النقطي (الترانزستور) علي يدي العلماء الأمريكيين الثلاثة :- جون باردين ، ووليام شوكلي W.Shockley (1910- 1989) ووالتر براتين W.Bratain (1902- 1987) المتخصصين في دراسة المواد المعروفة بأشياء الموصلات، وقد حاز العلماء الثلاثة علي اكتشافهم الترانزستور لجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1956، ويعتبر الترانزستور التوام العلمي المعاصر للكمبيوتر (الحاسوب) حيث يعتبر الاثنان من أهم الانجازات في الكترونياات المادة المكثفة ، ولا يمكن لأحدهما أن يكون في غني عن الآخر ، وقد تم في عام 1946 بناء أول جهاز كمبيوتر (حاسب آلي) (الالكتروني ذي حجم كبير وأطلق عليه اسم (إنسيك) وذلك علي يدي المهندسين الأمريكيين جون موكلي J.Mauchly (1907- 1980) و جون إيكرت J.Eckert (1919- 1995).

وكان هوارد أيكن H.Aiken (1900- 1973) قام قبل ذلك بعامين (1944) بتصميم أول كمبيوتر رقمي (digital)

نو ذاكرة أتوماتيكية ، وأطلق عليه اسم (مارك) ، وفي عام 1947 تم إدخال مفهوم تخزين البرامج في الكمبيوتر علي يدي الأمريكي جون فون نيومان J.VonNeuman (1903- 1957) ، وفي عام 1951 تم تصميم أول كمبيوتر آلي علي يدي جون إيكرت وأسماه (يونيفاك) ، كما تم في نفس العام اختراع أول كمبيوتر ذي حجم صغير (ميني كمبيوتر) علي يدي الأمريكي كين أولسن K.Olsen (1927- 2011) .

وفي عام 1953 طبق علماء شركة تكساس للأجهزة (Texas Instruments Com) اختراع ترانزستور الاتصال النقطي لتصميم أول جهاز راديو ترانزستور .

(9) - وفي بداية النصف الثاني من القرن العشرين ، ظهر أحد التطبيقات الهامة في فيزياء المادة المكثفة وهو اكتشاف أشعة الميزر (Maser) وهي اختصار لكلمة تعني تكبير أو تضخيم الموجات الميكرويه (Microwave) وذلك بالانبعاث الإشعاعي ، علي يدي العالم الأمريكي تشارلز تاونز C.Townes (1915- 2015) والروسيان نيكولا باسوف N.Basov (1922- 2001) والسكندر بروكوفوف A.Prochorov (1916- 2002) ، وذلك عام 1954 .

كما تم اكتشاف اشعة الليزر (Laser) وهي اختصار لكلمة تعني تكبير الموجات الضوئية بالانبعاث الإشعاعي وإنتاجها علي يدي العلماء الأمريكيين آرثر شاولو A.Schawlow (1921- 1999) وتيودر مايمان T.Maiman (1927- 2007) ، وجودون جولد G.Gould (1920- 2005) ، وذلك عام 1960 .

وفي عام 1957 تم وضع النظرية الكمية الحديثه لتفسير ظاهرة التوصيل الفائق علي يدي العلماء الأمريكيين الثلاثة جون باردين ، ليون كوبر L.Cooper (1930- ---) و جون شريفر J.Schrieffer (1931- ---) ، كما تم الكشف عن مايعرف بتأثير موسباور (Mossbauer effect) ويعني وجود أشعة جاما الحرة المرتدة من قبل نواة ذرة في أحد البلورات وذلك علي يدي العالم الألماني رودلف موسباور R.Mossbauer (1929- 2013) وقد استخدم

موسباور هذا التأثير بنجاح في قياس الخواص المغنطيسيه للبلورات ، أما الدوائر المتكامله (integrated circuit) التي أفادت كثيرا في تطوير الكمبيوتر فقد اخترعها عام 1959 الامريكيان جاك كيلبي (1923- 2005) وروبرت نويس R.Noyce (1927-1990) ، وقد حصل كيلبي علي جائزة نوبل في الفيزياء علي ذلك عام 2000 .

(10) - وفي العقدين الأخيرين من القرن العشرين تم الحصول علي عدد كبير من المواد فائقة التوصيل لم تكن معروفة من قبل وذلك بفضل التقدم الهائل في علوم وتكنولوجيا المواد وبفضل تعاظم دور الحاسبات واستخدامها في تحليل المعلومات والبيانات المعطاه وبفضل إنتاج أجهزة متقدمه أمكن بواسطتها إجراء قياسات دقيقه ومنفصله عن تلك المواد، ففي عام 1986 تم اكتشاف مواد فائقة التوصيل جديده تتحمل درجات حراره عاليه للغاية ، وذلك علي يدي العالمين السويسري كارل مولر K.Muller (1927- ---) والألماني جورج بدنورز G.Bednorz (1950- ---) وحصل الاثنان علي جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1987، كما تم تطوير ساعة السيزيوم الذريه ذات الدقه البالغه عام 1989 علي يدي الألماني ولفجانج بول W.Paul (1913-1993) والامريكي نورمان رمزي N.Ramsey (1915-2011) ، ونال الاثنان بذلك جائزة نوبل في الفيزياء لذلك العام .