الباب الثالث

التطور التاريخي لفروع الفيزياء الحديثة

فيزياء القرن العشرين وبدايات الحادي والعشرين

تمهيد:-

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

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

وفي هذا الباب سوف نقدم باختصار الانجازات التي تمت في القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين وحتي اليوم في مختلف الموضوعات الفيزيائية وذلك في إطار تاريخي موثق مبني علي أحدث المراجع والنشرات العلمية المعاصرة حتي يتثني للقارئ الاطلاع علي التطور التاريخي لفروع الفيزياء الحديثة والمعاصرة منذ بدايات القرن العشرين وحتي اليوم .

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

أولا: الفيزياء النظرية (النظرية النسبية وميكانيكا الكم ونظرية المجالات الكمية)

1- النظرية النسبية (Theory of Relativitly)

(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 بمعني أنه يجب أن تنسب 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 الالكتروديناميكا 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 اينشتين A.Einstein(1879-1955) أن يضع عام 1905 فرضين بني عليهما نظريته النسبية ، وبواسطة أولي تلك الفروض وتحويلات معادلات لورنتز تم التطبيق بنجاح علي قوانين الميكانيكا والألكتروديناميكا بل وسائر القوانين الطبيعية بحيث أن تلك القوانين تكون محتفظه بنفس الشكل مهما اختلف نظام الرصد الذي ترصد فيه تلك القوانين

أيضا فقد كانت هناك مشكلة أخري 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 أختلف الراصد أو مكان الرصد ، وأدي هذا التناقض إلي أن يضع اينشتين فرضا ثانيا قرر فيه ثبوت سرعة الضوء مهما اختلفت منظومة الرصد التي تقاس فيها تلك السرعة أو هكذا نشأت النظرية النسبية لتتلاشي فيها تلك المشكلات التي كانت مثار قلق لعلماء الفيزياء في بداية القرن العشرين .

يمكن صياغة فرضى اينشتين 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 300ألف كيلومتر في الثانيه) .

(ii) نتائج النسبية الخاصة :

(1) ـ وكان للنظرية النسبية الخاصة نتائج مذهلة كان من اهمها 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 المعروفه علي العديد من التجارب التي تمت في نهاية القرن التاسع عشر ولم يكن لها تفسير معقول، غيرأن تطبيق الصيغة الجديده التي أوجدها آينشتين أوجدت تفسيرا مناسبا لتلك التجارب ، (ومنها مثلا تجربة فيزو لإيجاد سرعة الضوء ، تجربة مكيلسون – مورلي لنفس الغرض) .

(2) – ومن النتائج الهامة للنظرية النسبية نتائج خاصة بالكتلة والطاقة ،وأهمها قانون تغير الكتلة بتغيرالسرعة 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 لإحداهما كيان منفصل عن الأخري ، وبصيغة أخري فإن الكتلة والطاقة مظهرين لحقيقة واحدة .

ومن نتائج هذا الأعتبار أن الجسم إذا تشعع منه بعض طاقته كما يحصل في المواد المشعة فإن ذلك يكون حتما مقرونا بنقص في الكتلة ويمكن حساب هذا النقص بإستخدام 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 بالقنبله الذريه) والإندماج (الخاصه بالقنبله 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 تسمي 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 النسبيه الخاصه أيضا نشوء فكرة المتصل (أو الفضاء) ذى الأبعاد الأربعة على يدى العالم الألمانى(من أصل لتوانى) هيرمان منكوفسكى H.Minkowiki (1864-1909)عام 1908 والذى اعتبر أول تفسير هندسى للنظريه النسبيه الخاصة ، ومؤدى هذا التفسير أن أى حادث فى الكون لايتم تحديده بتحديد المكان الذى يحدث فيه فقط بل يلزم تحديد زمن حدوثه أيضا، وقد اتضح هذا لمنكوفسكى من معادلات لورنتز التى

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 الاربعه(ثلاثه للموضع أو المكان ورابعه للزمان) فى معادلة واحده مضغوطه (مختصرة) باستخدام أحد الموضوعات الرياضية المتقدمه وهو تحليل الممتدات (Tensor Analysis) .

(iii)ظهور النسبيه العامة:

وفى عام 1916 نشر أيشتين نظريته المعروفة بالنظريه النسبيه العامه ، والتى يمكن اعتبارها النظريه الحديثه للجاذبيه ، حيث أدخل أيشتين قوة الجاذبيه فى الاعتبار عند دراسته لحركة الجسيمات فى الفضاء، وكانت تلك القوى مهمله فى النظرية النسبية الخاصه ، وفى النسبيه العامه تتحرك الاجسام فى متصل رباعى الأبعاد هو اشبه بسطح منحنى، حيث يكون وجود الاجسام محدداً بخطوط منحنية وليست مستقيمه ، ومعادلات هذه المنحنيات تتوقف على نوع المتصل (أى المعادله الرياضية التى تصفه) ، ومقدار انحناؤه، وعوامل أخرى.

وقد دلت المشاهدات الفلكية التى أجريت فى العشرينيات من القرن الماضى على صحة فروض ومعادلات النسبيه العامة مما كان له أكبر الأثر فى نجاح النظريه وفروضها .

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

وكانت النظريه النسبيه العامه مقدمة لعلم من أهم علوم القرن العشرين ألا وهوعلم الكونيات (الكوزمولوجيا) cosmology والذى وضع أسسه أولا كل من الالمانى البرت أيشتين والهولندى وليام دى سيتر W.deSitter (1872-1934) عام 1919، وذلك بوضع نماذج رياضية للكون على أساس أنه كون إستاتيكى (مستقر)، وتمت مقارنة النتائج الهندسية والفيزيائيه لكون أيشتين وكون دى سيتر بالكون الفعلى بناء على نتائج فلكية رصديه محدده ، وتطورت البحوث فى علم الكوزمولوجيا حيث ظهر نموذج الكون اللاإستاتيكى (او الديناميكي) على يدى العالم الروسى الكسندر فريد مان A.Fredman (1888-1925) عام 1922 ، والذى يظهر الكون على أنه كون غير مستقر يتمدد (أو يتسع) باستمرار وكان هذا أول إشاره إلى وجود نظرية تمدد الكون أو اتساعه .

وفى عام 1929لاحظ الفلكى الأمريكى إدوين هابل E.Hubble(1889-1953) من خلال تجاربه تباعد المجرات المستمر عن بعضها البعض مما يعنى أن الكون فى حاله تمدد حجمى أواتساع مستمر ، وكان ذلك اشاره لتأكيد نظريه الكون اللاإستاتيكي لفريد مان (نظرية تمدد الكون أواتساعه)، وتطورت البحوث حتي حين عام 1950 قام الفيزياني 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 فى بداية القرن العشرين عالما جديدا هو عالم ما فى أعماق الماده من ذرات ونوى الذرات والجسيمات التى تدخل فى تركيب تلك الذرات والنويات ومنها الالكترونات والبروتونات والنيوترونات وغيرها.

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

واذا عرفنا هذا العلم الجديد بأنه فرع من فروع الفيزياء ندرس فيه عالم الاشياء (أو المظومات) المتناهيه فى الصغر كالجزئيات 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، فان البعض يسمى هذا العلم أيضا (فيزياء الكم) Quantum Physics.

وقد بدأت نظريه الكم فى الظهور عام 1900 بافتراض الفيزيائى الألمانى ماكس بلانك M.Planck (1858-1947) وجود عنصر الكم للاشعاع الحرارى ، حيث افترض أن هذا الاشعاع ينبعث على هيئة نبضات منفصله من الطاقه كل منهما يسمى بالكم أوالكونتم (Quantum) ، ويعتبر وحدة الطاقه المتبعثه كاشعاع من الاجسام الساخنه . وقد عمم ألبرت أينشتين فكرة بلانك تلك على أشعة الضوء فوضع النظريه الكميه للضوء عام 1905 ومؤداها أن الضوء ينبعث على هيئة كمات (وحدات منفصله) من الطاقه تسمى الفوتونات، فالفوتونات إذن هى كمات الاشعه (أو الطاقه) الضوئيه.

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

(ii)تطور الأبحاث فى ميكانيكا الكم:

وفى عام 1923 وضع الفيزيائى الفرنسى لويس دى برولى L.DeBroglie (1892-1987) فرضيته الجريئة حيث أدخل الخاصيه الموجية للجسيمات المتناهية فى الصغر (كالالكترونات) بمعني أن لتلك الجسيمات وجهين : أحدهما تمثله الخواص الجسيميه لتلك الجسيمات (الكتله ، السرعه ، كميه الحركه ،....) والأخر 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 محدده .

وقد ظل المعنى الدقيق للداله الموجية غير واضح حتى اقترح الألمانى ماكس بورن M.Born(1882-1970) الصفه 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 ــ الموجية تمكن النمساوى إروين شرودنجرE.Schrodinger (1887-1961) من وضع المعادلة الاساسيه التى تصف حركة الالكترونات ، وذلك عام 1926، وكانت تلك المعادلة التفاضلية هى أساس ماعرف باسم الميكانيكا الموجية (Wave Mechanics) .

وفى نفس الوقت ظهر العديد من الابحاث فى الميكانيكا الجديده ، حيث وضع الالمانى فرنر هيزنبرج W.Heisenberg(1901-1976) ماعرف بميكانيكا المصفوفات(Matrix Mechanics) وهى صورةأخرى لدراسة تلك الميكانيكا الجديده .

وكانت الميكانيكا الموجيه (لشرودنجر) وميكانيكا المصفوفات (لهيزنبرج) تختصان بدراسة حركة المنظومات الذريه ذات السرعات المعتاده ، وفى عام 1927 أدخل الانجليزى بول ديراك P.Dirac (1902-1984) النظريه النسبيه لدراسة الميكانيكا الجديدة 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 النسبية لدراسة خواص الاشعاع وذلك عام 1928 وفى عام 1929.

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

وقد توالت تطبيقات ميكانيكا الكم بفرعيها غيرالنسبى (شرودنجر وهيزنبرج) والنسبى (ديراك) على مسائل الاشعاع والتصادمات الذريه والقوى النوويه وتفسير التفاعلات وخواص المجالات الحادثه بين الجسيمات وبعضها ، وتم ذلك على يدى مجموعة من العلماء الشبان فى تلك الفترة نذكر منهم: الألمانى فالترجوردون W.Gordon(1893-1939)،السويدى أوسكار كلاين O.Klein (1894-1977) ،النمساوى ولفجانج باولى W.Pauli(1900-1958) ،الالمانى باسكال جوردان P.Jordan (1902-1980) والالمانى فالترهايتلر W.Heiter (1904-1981) ، الألمانى هانز بيث H.Bethe (1906-2005) وغيرهم .

3- نشأة نظرية المجالات الكميه (QuantumFieldTheory) محاولات توحيد المجالات

(i)انواع المجالات الموجودة فى الطبيعة :

كان المجالان المشهوران فى الطبيعه فى بدايات القرن العشرين هما المجال الكهرومغنطيسى والمجال التثاقلى (او التجاذبى) ، وفى الثلاثينيات من القرن العشرين ظهر نوعين جديدين من المجالات هما المجال الضعيف (WeakField) وتم إدخاله عام 1931 على يدى الايطالى إنريكوفيرمى E.Fermi(1901-1954) ، النمساوى ولفجانج باولى ، وهو المجال المسؤول عن بعض العمليات الانحلاليه داخل نواه الذرة وبعض العمليات النوويه الأخرى المسماة بالعمليات الضعيفه (WeakProcesses)، 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 النوويه ثم تطور بعد ذلك وأصبح مسئولا عن بعض العمليات النوويه الخاصة بالجسيمات المسماه الهدرونات (Hadrons) والتى تتفاعل مع بعضها بتأثير المجال القوى (أو الشديد) .

(ii)ظهور الكتروديناميكا الكم:-

ومنذ بداية القرن العشرين حاول ألبرت آينشتين محاولات متعدده ولفترات طويله امتدت حتى عام 1953 لتوحيدالمجالين الكهرومغنطيسى والتجاذبى فوضع نظرية المجالات الموحدة(unified field theory) واستخدم فيها أدوات رياضية متقدمه ، 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 المتعلقه بالمجالات والاشعاع من خلال دراسة التفاعل الحادث بين الفوتونات والالكترونات وذلك بهدف الحصول على نظريات محدده لوصف الظواهر الخاصة بالمجالات المكتشفة، وتأسس بذلك فرع جديد هو الكتردنياميكا الكم (Quantum Electrodynamics) واختصاره (QED) الذى ندرس فيه التفاعل بين الفوتون (وهوالجسيم الحامل أو الناقل للمجال الكهرومغنطيسى) والجسيمات الأخرى مثل الالكترون ، وقد قام بوضع المبادئ الاساسية لهذا العلم سنة 1948، العلماء الثلاثة :

الياباني شينتروتوموناجا S.Tomonaga (1906-1979) والأمريكيين رتشارد فينمان R.Feynman(1918-1988) وجوليان شوينجر J.Schwinger (1918-1994) ونال العلماء الثلاثة علي ذلك جائزة نوبل في الفيزياء عام 1965.

(iii) بدايات نظريه الكم للمجالات:

وكان هذا الفرع الجديد (الكترودنيامكا الكم) هو أول الغيث فى ظهور نظرية المجالات الكمية وهى النظريه التى تطبق فيها خواص الجسيمات فى ميكانيكا الكم على المجالات المختلفه بوصف تلك المجالات منظومات مثل منظومة الجسيمات والذرات، وقد امتد تكوين نظريةالمجالات الكمية منذ ظهورالكترودينامكا الكم والمختصه بتكميم Quantization المجال الكهرومغنطيسي أى تطبيق ميكانيكا الكم على هذا المجال إلي تكميم المجالات الأخرى (الضعيفه ، إلقويه ، التثاقليه) فظهرت نظرية الكم للمجالات الضعيفه على يدى ولفجانج بأولي الذى افترض عام 1931 وجود جسيم متعادل صغير للغايه ينبعث مع الاكترونات فى عملية انحلال بيتا ، وفى عام 1934 طور إنريكوفيرمى نظرية باولى وأطلق على هذا الجسيم المتعادل إسم النيوترينو.

ثم ظهرت نظرية الكم للمجالات القوية (على يدى الأمريكى موراى جيلمان M.Gill - Mann (1929-000) 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 نظريه لتوحيد المجالين الكهرومغنطيسى 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) والامريكيان ستيفن فينبرج S.Weinberg (1933-0000) وشلدون جلاشو S.Glashpw (1932-0000) ولقيت هذه النظريه نجاحات كبيره ، وقد حصل هؤلاء العلماء الثلاثه علي جائزة نوبل في الفيزياء علي هذا العمل وذلك سنة 1979وجرت 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 Unifcation Theory) واختصارًا (GUT) استخدم فيها الفيزيائيون فرعا رياضيا متقدما هو نظرية الزمر (Group Theory) وذلك لاستغلال خاصية التماثلات التى تتمتع بها تلك النظريه 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 – 0000) من جامعة مريلاند أدت آلى ظهور فرع جديد من فروع الفيزياء هو الديناميكا اللونيه الكميه (Quantum Chromodynamic) واختصارها (QCD) وكذلك ظهورنظرية الأوتار الفائقه (Superstrings) لتفسير التفاعلات الحادثه بين الجسيمات والمجالات ، وكان ذلك فى البدايه عام 1971 على يدى اليابانى يوشيرو نامبو Y.Nambu(1921-2015) ،

والأمريكى جون شوارز J.Schwarz (1941-000)

، ثم إعادة صياغة أو اكتشاف تلك النظريه ، وتطبيقها فى توحيد مجالات الجسيمات الأوليه كنظريه شامله لكل المجالات ، وتم ذلك على يد جون شوارزنفسه والانجليزى ميشيل جرين M.Green(1946-000) وذلك عام 1984 .

ويتحدث العلماء حاليا عن النظريه النهائية الخاليه من التعقيدات والمشكلات الرياضيه والسهلة فى التطبيق والتى تصف كافة التفاعلات الحادثه بين الجسيمات والتى أطلق عليها إسم نظرية كل شئ (Theory Of Everthing) والمعروفه اختصارات (TOE) .

وتجدر الاشارة هنا إلى أن واضع هذا الاسم هوالبرو فيسور جون شوارز صاحب نظرية الأوتار الفائقة حيث قال فى أحد كتاباته :" آن تلك النظريه ـ فى اعتقادى ـ قد تكون هى الصيغة النهائية للنظريات الكونيه أو هى نهاية المطاف فى توحيد المجالات ،" وبالرغم من ذلك فان هناك بعض العلماء يتحفظون على هذا الرأى ويقولون أنه من اللازم توافر برهان تجريبى قاطع لتلك النظريه ، وقد عبر عن ذلك البروفيسور شلدون جلاشو الاستاذ بجامعة هارفارد فى مقال كتبه فى مجلة (الفيزياء اليوم) فى مايو 1986 حيث قال :

" لقد بذل عدد كبير من العقول اللامعه جهودا مضنية فى تلك النظريه لسنوات طويله ، ولكن لم يتوافر أى تنبؤ قابل للتحقيق ، وقد لا يتوافر مثل هذا التنبؤ فى المستقبل القريب ".

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

ويمكن الرجوع إلي كتابي (الانجازات العلمية الحديثه والمعاصرة في الفيزياء) ـ دار الفكر العربي (2000م) لمعرفة المزيد عن تلك النظريات الحديثه لمن يهمه معرفة ذلك .

ثانيا : - فيزياء الذرة والنواة

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

بدأت الأبحاث الخاصة بفيزياء الذرة والنواه بالتجربه التى أجراها هنرى بيكريل عام 1900 وأثبت فيها أن أشعة بيتا الصادرة من العناصر المشعه ماهى إلا الكترونات مماثله لتلك التى تكون أشعة المهبط (الكاثود) ، وفى نفس العام تمكن الفرنسى بول فيلارد P.Villard (1860-1934) اكتشاف أشعة جاما التى تنبعث من المواد المشعه وأثبت أنها تتكون من موجات كهرومغنطيسيه تسير بسرعه الضوء، وفى عام 1903 أثبت الفيزيائى البريطاني اللامع إرنست رذرفورد E.Rutherfor (1871-1937) والملقب بأبي الذرة ومساعده فردريك صودى F.Soddy(1877-1956) أن عمليات النشاط الاشعاعى (انبعاث إشعاعات ألفا وبيتا وجاما) من العناصر المشعه تتسبب فى تحويلات العناصر إلى عناصر أخرى، وفى عام 1909 تمكن رذرفورد بمساعدة توماس رويدزT.Royds (1884 -1955) من إثبات أن أشعة ألفا الصادره من المواد المشعه ما هى إلا ذرات هليوم متأينة (أو نويات هليوم) ، وقد تمكن الأمريكى روبرت مليكان R.Millikan (1868-1953) من القياس الدقيق لشحنة الألكترون (المكون لأشعة بيتا) عام 1909 أيضا .

وقامت الدراسات حول الأطياف الذريه للعناصر والتى تم تفسيرها بعد ذلك على أنها ناتجه عن انتقالات الالكترونات بين المدارات المختلفه داخل الذرة ، واستطاع الألمانى فردريك باشن F.Paschen(1865-1947) عام 1908من التحقق عمليا من وجود سلاسل لطيف ذرة الهيدروجين فى المنطقة تحت الحمراء ، وأطلق عليها إسم سلاسل باشن الطيفيه ، وكان الأمريكى تيودور ليمان T.Lyman(1874-1954)

قد اكتشف وجود سلاسل لطيف الهيدروجين فى المنطقة فوق البنفسجية من الطيف قبل ذلك بعامين (أي عام1906) وأطلق عليها إسم سلاسل ليمان .

(ii) اكتشاف نواة الذرة ووجود البروتون :

وحتى عام 1911 لم يفطن 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 جدا وكتلة كبيرة جدا وقاموا بتحديد حجم هذه الكتله المركزه فى قلب الذرة وأطلق عليها إسم النواة ، واتضح لهم أن حجم النواه صغير للغايه بالنسبة إلى حجم الذرة ككل ، ووضع رذر فورد على أثر ذلك نموذجا للذرة سمى بالنموذج الكوكبى نظرا لتشابهه مع النموذج المعروف لتركيب المجموعة الشمسيه وفيه الشمس كنواه ويدور حولها عدد من الكواكب فى مدارات

محدده ، وطبقا النموذج رذر فورد هذا :

تتكون الذرة من نواة ذات حجم صغير جدا وتحمل شحنه موجبه ونصف قطر من مرتبه (10^{-15}) متر وتتركز في هذه النواه كتلة الذرة ، وتدورحول النواه 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 رذر فورد أيضا أول تجربة لتحويل العناصر ، ومنها أعلن رذر فورد اكتشافه لجسيم داخل النواه يحمل شحنه موجبه وكتله كبيرة جدا بالمقارنه مع كتلة الالكترون ،وأطلق على هذا الجسيم إسم البروتون وكان المعتقد وجود البروتون في نواة ذرة الهيدروجين فقط ، غير أن التجارب التي أجراها وذرفورد 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 المميزة للعناصر عام 1908 وذلك على يد الانجليزى 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 السويدى كارل سيجبان K.Siegbahn(1886-1978) عام 1914 باجراء سلسله طويله من الأبحاث الرائده في أطياف أشعة إكس ، توجها عام 1925 باكتشاف انكسار أشعة اكس عند مرورها من وسط لأخرونال بذلك جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1924.

(iv) **اكتشاف الاشعة الكونيه :**

ومن العلامات المميزه في تلك الفترة أيضا إعلان اكتشاف الاشعة 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 بالغرفه السحابيه (Cloud Chamber) التي اخترعها الانجليزى تشارلز ويلسون C.Wilson (1869-1959) عام 1911لاستخدامها في تصوير مسارات الجسيمات الدقيقه ، وقد حصل على تلك الصور الفيزيائي الروسي ديمترى سكوبلتزن(D.Skobeltsyn) (1892- 1990) عام 1928 ، وبينت تلك الصور أن الاشعه الكونيه تتكون من جسيمات عاليه الطاقه ، وفي العام التالى (1929)

تمكن كل من الألماني فالتر بوث W.Bothe(1891-1957) مع فرنر كولهورستر(أحد مكتشفي تلك الاشعة) من

استخدام أحد أجهزة الكشف عن الجسيمات والاشعاعات المعروف باسم عداد جيجر- مولرفي صنع ماعرف بعدادات التطابق واستخدموها بنجاح فى دراسة الاشعة الكونيه ، وأعطت تلك العدادات نتائج باهرة كشفت عن خواص تلك الاشعة ومكوناتها، وقد أصبحت تلك الاشعة مصدرا هاما لاكتشاف والحصول على الجسيمات الأوليه المختلفه كما سنرى فيما بعد .

وكان هانز جيجر (تلميذ رذر فورد) قد تمكن عام 1928 بمساعدة فالترمولر W.Muller (1905-1979) من تطوير العداد الذى اخترعه جيجر عام 1913 للكشف عن المواد المشعه ، بحيث أصبح عداد جيجر- مولر من الأدوات الفعاله فى الكشف عن الاشعه الكونيه ومكوناتها.

(v) نشأة المعجلات (Accelerators) لتسريع الجسيمات:

ومن الموضوعات المرتبطه بمجال الذره والنواه والجسيمات المكونه لها موضوع المعجلات أو مسرعات الجسيمات ، وتأتى أهمية هذه الأجهزه فى أنها كانت الطريق المباشر الذى مكن العلماء من الاكتشافات الحديثه والهامه بخصوص البناء الذرى والنووى والجسيمات الأوليه التى تدخل فى هذا البناء ، والهدف من وراء هذه الاجهزه هو تعجيل أو تسريع (زيادة السرعة أو إعطاء طاقه) لتلك الجسيمات ثم توجيهها نحو بعضهما أو نحو بعض النويات الذريه لاحداث تفاعلات معينة تعطينا المزيد من الصفات التركيبيه عن البناء الداخلى للمادة .

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

وبالعودة إلى نشأة المعجلات نجد أنه فى عام 1931 قام الانجليزى جون كوكروفت J.Cockroft (1897-1967) والايرلندى إرنست والتون E.Walton (1903-1995) بمعمل كافندش التابع لجامعة كمبردج بانجلترا ببناء أول معجل عرف باسمهما فى انجلترا ويعطى طاقه نحو 300 ألف الكترون فولت ، وبواسطة هذا الجهاز تمكن الانجليزى جيمس شادويك J.Chadwick (1891-1974) عام 1932 من اكتشاف جسيم جديد داخل نواة الذرة (إلى جوار البروتون) وكتلته قريبه جدا من كتلة البروتون ولكنه لايحمل أى شحنه كهربيه (أى أنه متعادل كهربائيا) وأطلق عليه اسم (النيوترون) .

وهكذا أصبح نموذج الذرة بأنها تتكون من نواة موجبة الشحنه بها بروتونات (موجبة) ونيوترونات (متعادله)، ويدورحولها الكترونات سالبة الشحنه بحيث تكون الذرة فى مجملها متعادلة (نواه موجبه

والكترونات سالبه) .

وفى نفس عام ظهور معجل كوكروت والتون (1931) ثم اختراع أول مولد الكتروستاتيكى ذى جهد عالى 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 الأمريكيان إرنست لورنس E.Lawrence (1901- 1958)

وملتون لفنجستون M.Livingston (1905 -1986) وكان يعطى حزمة من البروتونات طاقتهما تصل إلى مليون الكترون فولت في البداية.

وفى عام 1937 نشر العالمان الألمانى هانزبيث H.Bethe (1906– 2005) والامريكى ألبرت روز A.Rose (1910-1990) بحثا بعنوان (الطاقة القصوي 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 أعلي .

وتطورت المعجلات تطورا مذهلا ، ومن أشهر تلك المعجلات ،جهاز البيتاترون الذى بناه الأمريكى دونالدكيرست D.Kerst (1911-1993) عام 1940 ، وكذلك جهاز السنكروترون الذي تم بناؤه فى المركز الأوربي للأبحاث النوويه المعروف اختصارا باسم (CERN) في جنيف ومقره (بسويسرا) وكان يعطي طاقة 28 بليون الكترون ڤولت ، وذلك في بداية الستينات وكان الأمريكي إدوين ماكميلاين E.McMillan (1907-1991)

والروسى فلادمير فكسلر V.Veksler (1907 – 1966) كل على حدة قد اقترحا أساس عمل السنكروترون عام 1945، ثم الجهاز المسمي السنكروترون البروتوني الفائق ويرمز له اختصار (SPS) في عام 1982 وطاقة تصل إلي حوالي 500 بليون الكترون ڤولت (أو500 جيجا الكترون ڤولت) كما تم بناء معجل ضخم تحت إسم التيڤاترون (Tevatron) في معمل فيرمي القومي للمعجلات في باتافيا بولاية إلينوي بالولايات المتحده والمعروف إختصار (.Fermi Lab) ويعطي هذا الجهاز طاقه تصل إلي ألف بليون (أو واحد تيڤا الكترون ڤولت) .

وفي التسعينيات ، بدأت مجموعه من الدول في بناء أكبر معجل في العالم في مركز (CERN) واسمه المصادم الهادروني الكبير (Large Hadron Collider) واختصار (LHC) ويعطي طاقه تصل إلي 14 تيڤا الكترون ڤولت)، 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 المشعه الصناعيه :

في عام 1913 اكتشف فردريك صودي تلميذ رذرفورد ، وجود أشكال مختلفه لنفس العنصر تحمل نفس الرقم الذري في الجدول الدوري، ولكنها تختلف في وزنها الذري (أو ما يعرف بعددها الكتلي) ، وأطلق عليها إسم النظائر (isotopes) ، وقد أدخل الانجليزي هنري موزلي H.Moseley (1884-1915) عام 1914 إسم الرقم الذري أو العدد الذري للعناصر في الجدول الدوري بدءا 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 استخدما 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 الكتله لاستخدامه في القياس الدقيق لكتل النظائر .

وفي عام 1931 تم اكتشاف نظير الهيدروجين المسمي الديوتريوم أو الهيدروجين الثقيل علي يدي الأمريكي هارولديوري 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 كميه من الماء الثقيل الذي يدخل نظير الديوتريوم في تركيبه.

وفي عام 1934 تم الحصول علي نظير آخر للهيدروجين أثقل من الديوتريوم علي يد الانجليزيان ماركوس أو ليفانت M.Oliphant (1901-2000) وبول هارتيك P.Harteck (1902-1985) وأطلق عليه إسم التريتيوم .

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

أما أهم اكتشاف تم في منتصف الثلاثينيات (عام 1934) هو اكتشاف النشاطا لاشعاعي الصناعي للعناصر علي يدي الفرنسيان فردريك جوليو F.Jaliot (1900-1958) وإيرين كوري I.Curie (1897-1956) وهي إبنة مدام كوري التي اكتشفت النشاط الاشعاعي الطبيعي ودرست خواصه مع هنري بيكريل في السنوات الأولي من القرن العشرين .

وكان من أهم الانجازات هو اكتشاف وتصنيع عناصر مشعة جديدة لم تكن معروفه من قبل، فبعد اكتشاف النشاط الاشعاعي 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 بييركوري وزوجته ماري كوري (عام 1898) ثم اكتشاف عنصر الأكتنيوم 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 أكتنيوم المشع (ورقمه الذري 91) عام 1917 علي يدي الألماني أوتوهان O.Hahn (1879- 1968) والنمساوية ليزميتنر L.Meitner (1878-1968)، وقيام چون كوكروفت وأرنست والتون باجراء أول تحول نووي صناعي بقذف نوبات عنصر الليثيوم (3) بالبروتونات عاليه الطاقه فنتج لهم عنصر البريليوم (4) ، وذلك سنة 1932 .

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

وفي عام 1939 اكتشفت الفرنسيه مرجريت بيري 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 استخدام ويلاردليبي W.Libby (1908-1980) هذا النظير في عملية التأريخ لتحديد أعمار العينات الأثريه والجيولوجيه وذلك عام 1949 .

وإبتداء من عام 1940 تم في معمل الاشعاع (معمل لورنس) بجامعة كاليفورنيا إكتشاف العناصر فوق اليورانيوميه (التي ارقامها الذريه فوق الرقم الذري لليورانيوم وهو92) وهي عناصر مشعة صناعيه ذات فترة عمر قصير للغايه وتتحلل فور تكونها إلي عناصر أخري أقل منها في الرقم الذري ، وفي الجدول الآتي نذكر المكتشف من هذه العناصر حتي الآن وأسمائها وأسماء مكتشفيها (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 المتحده الأمريكيه
2) معهد الأبحاث النوويه السوفيتيه في دوبنا بالقرب من موسكو بجمهورية روسيا الاتحاديه
3) مختبر دار مشتات 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 البحثه والتطبيقيه لاقرار هذا الاسم أو عدم الأخذبه والمطالبه بوضع إسم جديد للعنصر ، وتأخذ هذه العمليه وقتا طويلا حتي يتأكد هذا الاتحاد من إنتاج هذا العنصر ومن خواصه المعلنه ثم الاسم المقترح .

<u>وكأمثله علي ذلك :</u>

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 دوبنا في روسيا واقترحت الاسم (كورشا توفيوم) علي إسم رائد العلوم النوويه في روسيا إيجور كورشا توف I.Kurchatov (1903-1960) .

وقد أقرت اللجنه الدوليه للتسميه الكيميائيه الاسم الأول (رذرفورديوم) بالاجماع وذلك عام 1997.

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

3) اكتشاف العنصرين رقم (110) عام 1994 ورقم (111) عام 1995 بمختبر دار مشتات وأعطي العنصران إسمين مؤقتين هما: يونونيليوم (110) ويونونينيوم (111) وقد تم إقرار الاسمين النهائيين في اللجنه الدوليه للتسمية الكيميائيه وذلك عامي 2003،2004 وأصبح الاسمان المعترف بهما لهذين العنصرين هما :

للعنصر 110: دار مشتاتيوم (نسبة إلي دار مشتات) ، وللعنصر 111: رونتجنيوم (نسبة إلي العالم رنتجن).

4) اكتشاف العنصر رقم (112) عام 1996 في مختبر دار مشتات وأعطي الاسم المؤقت يونونبيوم ،ثم أقرالاسم الحالي : كوبرنيسيوم (نسبة إلي العالم : كوبرنيكس) من الاتحاد الدولي للكيمياء البحته والتطبيقيه في فبراير 2010 .

5) اكتشاف العنصرين رقم (114) عام 1999 ، (116) عام 2000 بواسطة علماء معهد دوبنا للأبحاث النوويه في روسيا ، واقترح مكتشفوهما الاسمين :

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

للعنصر 116 : موسكوفيوم (نسبة إلي العاصمه موسكو عاصمة الاتحاد السوفيتي)

وقد أقر الاتحاد الدولي مؤخرا (مايو2012) الاسمين الآتيين لهذين العنصرين:

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

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

جدول بالعناصر فوق اليورانيوميه

الرقم الذري للعنصر	إسم العنصر ورمزه الكيميائي	العدد الكتلي لاكثر النظائر استقرار	تاريخ الاكتشاف	المكتشفون
93	نبتونيوم – (Np) (Neptunium)	237	1940	إدوين ماكميلان (1907-1991) فليب أبيلسون (1913-2004)
94	بلوتونيوم – (Pu) (Plutonium)	242	1941	جلين سيبورج (1912-1999) إدوين ماكميلان (1907-1999) أرثرواهل (1917-2006) جوزيف كنيدي (1916 – 1957)
95	أمريكيوم – (Am) (Americium)	243	1944	جلين سيبورج (1912-1999) ألبرت جيورسو (1915-2010) 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	آينشتينيوم – 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

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

111	رونتجنيوم – Roentgenium (Rg)	282	1994	سيجارد هو فمان ، جو تفريد مونزنبرج ، بيترأرمبر استر (دار مشتات)
112	كوبرنسيوم – Copernicum (Cn)	285	1996	سيجارد هو فمان، جو تفريد مونزنبرج ، بيترأرمبر استر (دار مشتات)
114	فليروفيوم – Flerovium (Fl)	289	1999	يوري أوجانسيان (1933- - - -) ومعاونوه (دوبنا – روسيا)
116	ليفرموريوم –Livermorium (Lv)	293	2000 2000	يوري أوجانسيان (1933- - - -) ومعاونوه (دوبنا – روسيا) ألبرت جيورسو ومعاونوه (معمل لورنس بليفرمور - كاليفورنيا)

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

(v) اكتشاف النماذج النوويه (Nuclear Models):

كان اول نموذج وضع لتفسير التركيب أو البناء النووي هو نموذج قطرة السائل (Liguid drop model) ، وقد اقترحه في البدايه (عام 1935) كارل ڤيتساكر C.Weizsacker (1912 - 2007) ، وهو نموذج تقريبي لبناء نواة الذرة ، ويمثلها بقطرة سائل أو مائع يتكون من بروتونات ونيوترونات ، وبينهما قوي الكتروستاتيكيه داخليه تتناسب مع عدد البروتونات (المشحونه) ، وباعتبار البروتونات والنيوترونات جسيمات فيرمي (فيرميونات) فان النواه يمكن اعتبارها قطره في مائع يطلق عليه إسم 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 ماريا ماير M.Mayer (1906-1972) ، وفي نفس الوقت اقترح هذا النموذج الألمانيان هانز جنسن H.Jensen (1907-1973) ، وأتوهاكسيل O.Haxel (1909- 1998) والنمساوي 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 أغلفة (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 ان 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) وبن موتيلسون B.Mottelson(1926- --)

نظرية الأغلفه النوويه حيث وضعا عام 1952 نظرية النموذج القشري الموحد للنواه الذي يفترض فيه قلب نووي لاكروي ، وقد اقترح إمكانيه وجود هذا القلب الأمريكي چميس رينووتر J.Rainwater (1917- 1986) عام 1950 .

وقد أجري الأمريكي روبرت هوفشتاتر R.Hofstadter (1915- 1990) سلسلة من التجارب عام 1953 لتقدير توزيع الشحنات وتركيب النويات والنكليونات ، وحصل علي نتائج مهمه بالنسبه للبناء النووي .

(vi) **تطور الأبحاث الخاصه بظاهرة الانشطار النووي :**

بدأت الابحاث الخاصه بالانشطار النووي عام 1938 علي يدي إيرين كوري واليوغسلا في باڤل ساڤيتش P.Savitch (1909- 1994) حيث لاحظا وجود عنصر اللانثانوم بعد قذف عنصر اليورانيوم بحزمه من النيوترونات ، وفي نفس ذلك الوقت (عام 1938) اكتشف الألمانيان أوتوهان O.Hahn (1879- 1968) وفريتز شتراسمان F.Strassmann (1902- 1980) ان قذف اليورانيوم بحزمه نيوترونات ينتج عناصر قلويه 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 النيونرنات وذلك لتفسير نتائج أوتوهان وشتراسمان ، وتنبأ الاثنان بحدوث كميات هائله من الطاقه نتيجه هذا الانشطار .

وقد قام نيلزبوهر والأمريكي چون هويلرJ.Wheeler (1911- 2008) بتطوير نظرية الانشطار النووي وذلك عام 1939.

وفي نفس ذلك العام (1939) أوضح العلماء الأمريكيين چون راي دننج J.R.Dunning (1907- 1975) ويوجين بوث E.Booth (1912-2004) وارستدجروس A.Grosse (1905- 1985)وأوتونيير O.Nier (1911-1994) أن النظير 235 لعنصر اليورانيوم هو الذي ينشطر عند قذفه بحزمة من النيوترونات البطيئه ، وقد توصل الأمريكي موريس جولدهابر M.Goldhaber (1911- 2011) عام 1940 من اكتشاف أن عنصر البريليوم يمكن استخدامه كمهدىء لسرعه النيوترونات وبذلك يمكن التوصل إلي تفاعل نووي انشطاري يمكن التحكم فيه ، وقد تمكن انريكوفيرمي والفيزياني المجري ليوزيلارد L.Szilard (1898- 1964) من بناء أول مفاعل نووي انشطاري للاستخدامات السلميه وذلك بعد ان توصلا 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 الانشطاريه حتي عام 1951 حين تمكن الأمريكي والترزين 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 أوبنها يمر R.Oppenheimer (1904- 1967) علي صنع أول قنبله نوويه ينبني عملها علي ظاهرة الانشطار النووي وذلك بمعامل لوس ألاموس العلميه ، وتم تفجير تلك القنبله في ألماجورد بصحراء نيومكسيكو في 16 يوليو عام 1945.

ثالثاً:- فيزياء الجسيمات الأوليه

1-بدايات البحث في فيزياء الجسيمات الأوليه في النصف الأول من القرن العشرين :

لقد كان اكتشاف الالكترون (أول جسيم من الجسيمات الأوليه) عام 1897علي يدي السيرچون طومسون هو المؤشر الفعلي لبداية فيزياء الجسيمات الأوليه ، 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 1921كان **الفيزيائيون قدبنوا نموذجا نووياًعلي الشكل التالي :**تحتوي النواه علي عدد من البروتونات يساوي عدد الالكترونات المداريه .

وظهرت مشكلة هي أن كتلة النواة كانت تزيد كثيراً عن مجموع كتلة البروتونات المكونه لها بحوالي الضعف تقريباً ، ففي نواة الهليوم **مثلا** : يوجد بروتونان في حين أن كتلة النواة تعادل (4) وحدات تقريبا ، 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 شحنه كهربيه (أي أنه متعادل كهربائيا) وكتلته قريبة جدا من كتلة البروتون ، وقد أطلق عليه مكتشفه چيمس شادويك إسم النيوترون ، وباكتشاف النيوترون أصبح الوضع **كالتالي** : تتكون الذره من نواه وحوله الكترونات (سالبة الشحنه) وتتكون النواه من نوعين من الجسيمات هما البروتونات (موجبة الشحنه) والنيوترونات

(المتعادلة) ، ويشكل مجموع عددي البروتونات والنيوترونات داخل النواه ما يسمي بالعدد الكتلي للذره ، وهو مؤشر لكتلة الذرة عموما ، نظر الضآلة كتلة الالكترونات .

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

وتعتبر الاشعه الكونيه التي تم اكتشافها في بدايات القرن العشرين مصدرا خصبا وهاما للدراسات الخاصه بالكشف عن الجسيمات الأوليه الموجودة في الطبيعه .

وطبقاً للعالم الانجليزي بول ديراك في نظريته الكميه النسبيه عام 1928، أن هناك ما يسمي بالاجسام المضادة (Anti particles) ، وقد استطاع ديراك بنظريته تلك تفسير مفهوم ما يعرف باللف (spin) أو الحركه المغزليه 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 للالكترون حول ذاته وتسمي بالدوران الذاتي أو اللف المغزلي

وقد اتضح لديراك أن لكل جسيم اتجاهين متضادين للف أرجع أحدهما للجسيم نفسه والآخر للجسيم المضاد له ، وبتطبيق

هذا المفهوم علي الالكترون (السالب الشحنه) نجد أنه لابد (طبقا لنظريه ديراك) أن يكون جسيم له مضاد (موجب الشحنه) وله نفس كتلة الالكترون .

وهذا الجسيم يكون له لف مخالف في الاتجاه للف الالكترون ، وأطلق علي هذا الجسيم المضاد للالكترون إسم البوزترون ، واتجه العلماء بعد ذلك للكشف علي هذا الجسيم عمليا ، وقد تم اكتشاف وجود هذا الجسيم (البوزترون) كأول جسيم مضاد يتم اكتشافه في علم الفيزياء ،عام 1932 أثناء إجراء الفيزيائي الأمريكي كارل أندرسونC.Anderson (1905-1991) دراساته علي الاشعه الكونيه .

وكان ولفجانج باولي قد وضع نظرية التفاعلات الضعيفه عام 1931 والخاصه بالعمليه المسماه(انحلال بيتا) والتي ينحل فيها النيوترون إلي بروتون و الكترون ، وافترض باولي انبعاث جسيم متعادل صغير مع كل الكترون ينتج عن انحلال بيتا وأطلق فيرمي علي هذا الجسيم إسم النيوترينو (اي المتعادل الصغير ، حيث أنه متعادل الشحنه أيضا) وذلك عام 1934، وكانت المشكله هي البحث عن هذا الجسيم واكتشاف وجوده .

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

وبعد الاكتشاف العملي للبوزترون (مضاد الالكترون) اتجه العلماء إلي عملية تكوين زوج من الالكترون – البوزترون ، وقد تنبأ الفيزيائي الكرواتي ستيفان موروفيسيك S.Mohorovicic (1890- 1980) عام 1934 بأن التقاء الالكترون مع البوزترون يؤدي إلي تكون 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 أوكيا ليني G.Occhialini (1907- 1993) من الحصول علي أول صور لعمليه إنتاج زوج الالكترون – البوزترون

، وذلك عام1933، كما استطاع في نفس العام الفرنسيان فردريك جوليو وچين ثيباود J.Thibaud (1901-1960) من ملاحظه إشعاع ناتج عن عملية فناء زوج الالكترون – بوزترون ، حيث تتحول كتلة هذا الزوج إلي فوتونات تصدر علي هيئة إشعاع ، كما بينا أيضا أن كتلة البوزترون تساوي كتلة الالكترون .

وقد تم عام1951 الاثبات العملي لوجود البوزترونيوم (والذي يعرف بأنه حاله مقيده من زوج الالكترون – بوزترون ذات فترة عمر قصير للغايه)

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

2- **الاكتشافات المتتاليه للجسيمات الأوليه حتي منتصف القرن العشرين :**

بدأت هذه الاكتشافات عام 1936 باكتشاف الجسيم الذي افترضه يوكاوا في نظريته حول القوي النوويه وهو الجسيم ذو الكتله الوسط بين الالكترون والبروتون ، وقد تم هذا الاكتشاف علي يدي كارل أندرسون (مكتشف البوزترون)

وزميله سيث ندرماير S.Neddermeyer (1907- 1988) خلال دراستهما للاشعه الكونيه في تجارب أجرياها بمعمل الاشعاع 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 1940استطاع الفيزيائي الفرنسي لبرنس – رنجو L.Ringuet (1901- 2000) الحصول علي أول صور فوتوغرافيه بالغرفه السحابيه لتصادم الميزون مع الالكترون، واستنبط منها كتلة هذا الميزون والتي كانت حوالي 207 مره قدر كتلة الالكترون .

ومن الانجازات الهامه الحصول علي أول إنتاج للميزونات في المعمل بعد أن كان مقصوراً وجودها علي الاشعه الكونيه ، 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 المسؤل 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 273مره قدر كتلة الالكترون .

وفي عام 1947 تم اكتشاف هذا الجسيم في الاشعه الكونيه وتطابقت خواصه مع خواص جسيم يوكاوا وتم ذلك علي يدي الانجليزي سيسل باول C.Powell (1903- 1969) بمساعدة جوزيب أوكياليني وسيزار لايتسي .

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

وأطلق علي الثاني (وكتلته273) إسم ميزون باي (أو البيون) .

وهناك ميزون آخر هو الميزون K (أو الكاوون – Kaon) وكانت أول إشاره لوجوده عام 1944علي يدي الفرنسي لبرنس رنجو الذي كان أول من حدد كتلة الميزون ميو بحوالي 207 كتلة الالكترون عام 1940 ، وكانت معظم المعلومات الأوليه 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.Roshester

(1908- 2002) وكليفورد بتلر C.Butler (1922- 1999) علي أول إثبات عملي لوجود ميزونات K في الاشعه الكونيه وذلك عام 1947.

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

وكان ميزون K المكتشف في تلك الدراسات ينحل إلي ثلاثه ميزونات باي (بيونات) ، وفي عام 1954وفي جامعة دبلن بايرلندا تمكنت مجموعه برئاسه 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 على الأولي 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 وحتي 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 النيوترينو، 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 النيوترينو (الانتي نيوترينو) ، ومضادات الميون والبيون والكاون .

وقد شجعهم علي ذلك اكتشاف البوزترون (مضاد الالكترون) 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 فميرمي 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 البيونونات فجأة بالاستطارة بشدة بواسطة البروتونات ثم يعقب ذلك عودة الأمور إلى ما كانت عليه بازدياد طاقة البيونوتات 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 (أوكيان رنيني) يتميز بصفات تكافئ صفات الجسيمات العادية، ويمكن اعتبارها حالات مثارة (excited states) غير مستقرة وسريعة التحال إلى أقصي حد ممكن .

2) اكتشاف الهيبرونات:

أما الجسيمات المعروفة بالهيبرونات (hyperons) وتعني الجسيمات ذات الكتلة الفائقة فقد ظهرت أول مرة حين اكتشف 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 الالكترون 1836مرة تقريبا)، ووجدا أن هذا الجسيم يتحلل إلى جسمين مشحونين أحدهما هو البروتون والآخر هو البيون السالب وقد أطلق على هذا الجسيم إسم هيبرون لامدا المتعادل، وقد أثبت وجوده مجموعة الباحثين بجامعة ملبورن في استراليا برئاسة البروفسيور 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 مانشستر ببريطانيا برئاسة العالم الأسباني الأصل رفائيل أرمنتيروس R. Armenteros (1922-2004) ، كما تمكنت مجموعة بجامعة كاليفورنيا برئاسة هربرت 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 لامدا المتعادل، وبيون سالب.

أما الهيبرون 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 هيبرون لامدا وبيون متعادل.

وفي عام 1964 وفي تجارب باستخدام سنكروتون معمل بروكهافن القومي تمكن العلماء من اكتشاف الهيبرون أوميجا السالب والذي وجد أن كتلته تبلغ 3296 مرة قدر كتلة الإلكترون وفترة عمرة حوالي 10^{-10} ثانية وينحل إلى هيبرون إكساي متعادل وبيون سالب أو إلى هيبرون إكساي سالبا وبيون متعادل، وكان هذا الاكتشاف على يدي مجموعة من جامعة كاليفورنيا برئاسة وليام فاولر W.Fowler (1911-1995) ونيكولا ساميوس N.Samios (1932 -0000)، وفيرجل بارنز F.Barnes (1935- 000).

3) <u>اكتشاف مضادات البروتون والنيوترون والنيوترينو:</u>

اقترحت نظرية ديراك عام 1928 وجود جسيمات مضادة للإكترون 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 يبسيلانتز T.Ypsilantis (1928-2000)، كما قاموا بإنتاج زوج (البروتون – البروتون المضاد) أيضا ، وهو ثاني زوج بعد زوج (الالكترون – بوزترون) .

أما النيوترون المضاد (الانتي نيوترون) 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 (1924-000) بمعمل لورنس بكاليفورنيا أيضا .

أما النيوترينو ومضاده فقد تم الكشف عنهما كالآتي:-

في عام 1956 تم اكتشاف النيوترينو المضاد (الانتي نيوترينو) أولاً علي يدي كلايد كوان وفردريك راينز F.Reins (1918- 1998)، وبعد ثلاث سنوات تم اكتشاف النيوترينو نفسه عمليًا 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 (1922-0000) وملفين شوارتز M.Schwarts (1932-2006)، هو الكشف عن وجود نوعين من النيوترينو، أحدهما يصاحب التفاعلات الخاصة بالإلكترون وسمي بالنيوترينو الإلكتروني، والثاني يصاحب التفاعلات الخاصة بالميون وسمي بالنيوترنيو الميوني، وبالطبع فإن لكل منهما يوجد الجسيم المضاد (الانتي) له، وقد حصل هذان العالمان على هذا الكشف علي 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 neutino) 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 تيرنر M.Terner (1949-0000) هو اكتشاف نيوترينو ثقيل (كتلته أخف من كتلة الإلكترون بحوالي 300 مرة) وكان المعتقد قبل هذا الكشف أن كتلة النيوترنيو أخف بآلاف 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 يسمي ذبذبة النيوترنيو(neutrino oscillation)، ويعني ذلك التحقق من وجود كتلة لنيوترنيو ، وسنعود للحديث عن ذلك فيما بعد .

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

(i)بعد أن زاد عدد الجسيمات المكتشفة زيادة كبيرة، قامت محاولات كثيرة لترتيب أو تصنيف هذه الجسيمات ترتيباً يسهل 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 ومؤداه أنه من المستبعد (أو من غير الممكن) أن يوجد أكثر من جسيم في مستوي 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 ستبعاد بمعني 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 ساتندرانات 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.

وطبقًا لنوع التفاعلات التي تشترك فيها الجسيمات الأولية يمكن تقسيم الجسيمات أيضا إلى عائلتين (أو فصيلين كبيرين هما):-

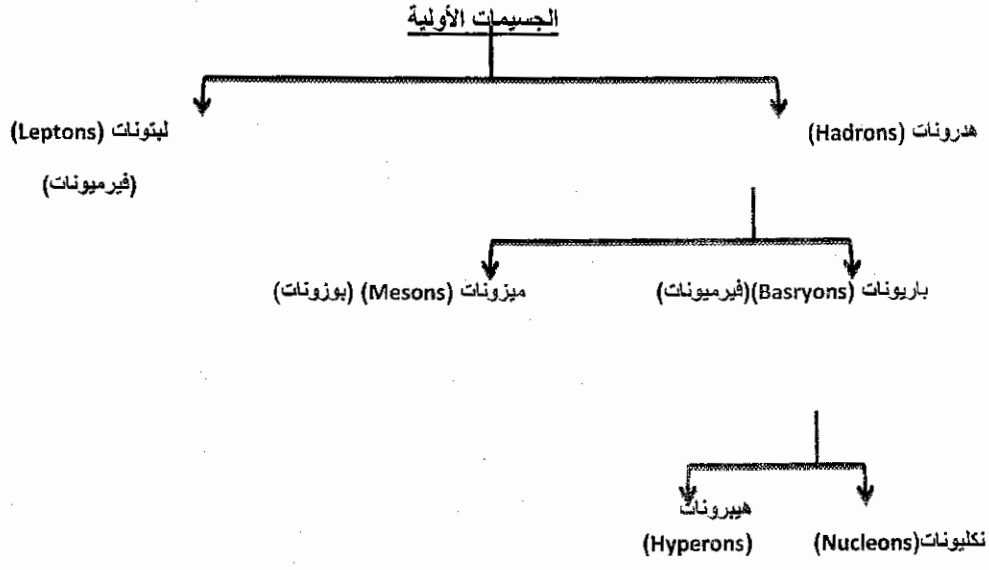
1- جسيمات تدخل في التفاعلات الضعيفة (التي تتميز بفترة عمر 10^{-8} - 10^{-10} ثانية) وهي اللبتونات (Leptons)، واللبتونات كلها فيرميونات أي أن اللف الذاتي لكل ليبتون يساوي ($\frac{1}{2}$)، وليس لأي ليبتون تركيب أو بناء داخلي.

2- جسيمات تدخل في التفاعلات القوية أو الشديدة (التي تتميز بفترة عمر 10^{-23} ثانية تقريباً) وتسمي 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) تتمير بلف ذات يساوي ($\frac{1}{2}$) أي أنها فيرميونات (تخضع لمبدأ باولي للاستبعاد) وتشترك في التفاعلات التي تنتمي إلى المجالات الضعيفة (التفاعلات الضعيفة)، ولا تشترك في التفاعلات القوية

(أو الشديدة) سواء فيما بينها أو بينها وبين الجسيمات الأخري، وعدد اللبتونات المعروفة حالياً ستة لبتونات إضافة إلى ستة جسيمات مضادة .

واللبتونات هي ثلاثة جسيمات (e^- ، μ^- ، τ^-) وثلاثة نيوترينوات 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 وندرماير عام 1937، وكتلة كل منهما 207 مرة قدر كتلة الإلكترون.
3- التاوون (τ^-) والتاوون المضاد (τ^+) وهو أثقل لبتون وكتلته حوالي 3490 قدر كتلة الإلكترون، واكتشفه عام 1976 الأمريكي مارتن بيرل M.Perl (1927-2014) على رأس مجموعة من الباحثين بجامعة ستانفورد، بالولايات المتحدة ويماثل 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 النيوترينوات المصاحبة فهي:

1) النيوترينو الإلكتروني (ν_e) وتم الكشف عنه بواسطة دافيز ومعاونوه عام 1959، ومضادة ($\bar{\nu}_e$) وقد اكتشف أولاً (قبل الجسيم (ν_e) نفسه) على يدي كوان وراينز عام 1957.
2) النيوترنيو الميوني (ν_μ): ومضاده ($\bar{\nu}_\mu$) ، وقد اكتشفهما ليون ليد رمان ومعاونوه بجامعة كولومبيا بالولايات المتحدة عام 1962 .
3) النيوترينو التاووني (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 بمعني 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^o) واكتشفه عام 1950 يورك ومعاونوه عام 1950.

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

$$(K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-)$$

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

$$(K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^o + \pi^o)$$

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

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

$$(K^o \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^o) \ , \ (K^o \rightarrow \pi^o + \pi^o ,)$$

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

مرة كتلة الإلكترون ، ويتحلل في 1.2×10^{-8} ثانية، الكاوون المتعادل ($K^o, \overline{K}^o$) 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 تشتمل 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 ، وكلاها فيرميون (لفه 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 نيوترنيو إلكتروني وقد أثبت ذلك الفيزيائي الكندي أرثرسنل A.Snell (1909-1989) وساعدوه بعمل أوك ردج القومي بالولايات المتحدة، وذلك عام 1950، وقد أثبت ذلك في نفس الوقت الفيزيائي الإنجليزي جون روبسون J.Robson (1920-2000) ومعاونوه بمعمل (شوك ريفر) بانجلترا،كما تم اكتشاف البروتون المضاد ($\overline{p}$) والنيوترون المضاد ($\overline{n}$) كما سبق أن ذكرنا عامي 1955, 1956.

2- **الهيبرونات:** وهي الجسيمات ذات الكتلة الفائقة، وكان أولها اكتشافا هيبرون لامدا المتعادل (Λ^o) عام 1947، كما تم اكتشاف هيبرون لامدا المضاد ($\overline{\Lambda}^o$) عام 1951، وكتلة كل منهما 2182 مرة قدرة كتلة الإلكترون، وكان ثاني هيبرون مكتشف عام 1953 هو هيبرون سيجما الموجب (Σ^+) ومضاده ($\overline{\Sigma}^+$) وكتلة كل منهما 2327 مرة قدر كتلة الالكترون، وينحل في 0.8×10^{-10} ثانية إلى بروتون وبيون متعادل .

أما هيبرون سيجما السالب (Σ^-) ومضاده ($\overline{\Sigma}^-$) 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^o) ومضاده ($\overline{\Sigma}^o$) 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 ($\overline{\Xi}^-$) 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 الهيبرونات المكتشفة في فترة الخمسينات هو هيبرون اكساي المتعادل (Ξ^o) ومضاده ($\overline{\Xi}^o$) وكتلة كل منهما 2565 كتلة الإلكترون وينحل في 2.9×10^{-10} ثانية إلى هيبرون لامدا المتعادل وبينون متعادل .

ويلاحظ أن الهيبرونات 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 أوميجا السالب (Ω^-) كما تم الكشف عن الجسيم المضاد له ($\overline{\Omega^-}$) ووجد أن كتلته تبلغ 3296 كتلة الإلكترون وينحل إلى هيبرون لامدا المتعادل وكاون (K^-) أو إلى هيبرون إكساي المتعادل وبيون سالب (π^-) .

وهكذا نري أن عدد الباريونات الأساسية هي تسعة باريونات هي على الترتيب:-

$$p\ ,\ n\ ,\ \Lambda^o\ ,\ \Sigma^+\ ,\ \Sigma^-\ ,\ \Sigma^o\ ,\ \cong^-\ ,\ \cong^o\ ,\ \Omega^-$$

والجسيمات المضادة لها عددها تسعة أيضا هي على الترتيب:

$$\overline{p}\ ,\ \overline{n}\ ,\ \overline{\Lambda^o}\ ,\ \overline{\Sigma^+},\ \overline{\Sigma^-},\ \overline{\Sigma^o},\ ,\ \overline{\cong^-},\ \overline{\cong^o},\ \overline{\Omega^-}$$

ويلاحظ أنه لا يوجد هيبرون إكساي موجب ($\cong^+$)، وقد كان يظن أن $\cong^+$ هو الجسيم المضاد (للهيبرون $\cong^-$) ، كما أن الهيرون سيجما الموجب (Σ^+) ليس هو الجسيم المضاد لهيبرون سيجما السالب (Σ^-) ، كما أن الجسيم المضاد لهيبرون أوميجا السالب (Ω^-) هو ($\overline{\Omega^-}$) وليس (Ω^+) حيث لم يكتشف هيبرون أوميجا موجب.

<u>ونلخص انحلالات الهيبرونات المختلفة فيما يلي:</u>

(1) $\Lambda^\circ \longrightarrow\ p + \pi^-\ ,\ \Lambda^o \longrightarrow\ n + \pi^o$

(2) $\Sigma^+ \longrightarrow p + \pi^o,\ \Sigma^+ \longrightarrow n + \pi^+$

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

(4) $\Sigma^o \longrightarrow \Lambda^o + \gamma$

(5) $\cong^o \longrightarrow \Lambda^o + \pi^o$

(6) $\cong^- \longrightarrow \Lambda^o + \pi^-$

(7)$\Omega^- \longrightarrow \Lambda^o + K^-, \Omega^- \longrightarrow \cong^o + \pi^-$

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 وهدرونات) ، 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 الهدرونات 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) لتركيب الهدرونات

افترض فيه أن هناك ثلاثة جسيمات أساسية وذات امتياز خاص، هي البروتون (p) والنيوترون (n) وهيبرون لامدا (Λ) وجسيماتها المضادة بالطبع، تتكون الهدرونات الموجودة في الطبيعة (بما فيها الميزونات والباريونات) من هذه الجسيمات الأساسية ، **فمثلا**: يتكون البيون الموجب (π^+) من بروتون ونيوترون مضاد: $\pi^+ = (p , \overline{n})$ ، في حين يتكون البيون السالب (π^-) من نيوترون وبروتون مضاد : $\pi^- = (n,\overline{p})$ ، ويتكون الميزون K الموجب من بروتون وهيبرون لامدا المضاد ($K^+ = (p , \overline{\Lambda^o})$ ، وهكذا بالنسبة لميزون K^- : $K^- = (\overline{p}, \Lambda^o)$ ، أما الباريونات فيتكون كل باريون من ثلاثة جسيمات أساسية فمثلا: الهبرون: Σ^+ يتكون من باريونات أساسيان هما p ، Λ^o ، وباريون مضادٍ هو $\overline{n}$: $\Sigma^+ = (p,\Lambda^o, \overline{n})$ وهكذا .

ومع اكتشاف أعداد أخري من الهدرونات بدا للعلماء صعوبة تطبيق نموذج ساكاتا، وبدأ العلماء في إيجاد نموذج بديل، وكان هذا النموذج هو نموذج الكواركات (Quark's Model) الذي اقترحه الأمريكيان موراي جيلمان M.Gell-mann (1929– 0000) وجورج زفايج G.Zweig (1937–0000) 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 ($\frac{1}{2}$) (فهي فيرميونات) وذات شحنة كسرية (جزء من شحنة الإلكترون)، وهذه الجسيمات أطلق عليها جيلمان اسم الكواركات.

وهذه الكواركات الثلاثة تكافيء الجسيماتΛ^o,n, p في نموذج ساكاتا، **ولذلك أعطاها جيلمان الرموز الثلاثة** :

q_p ، q_n ، q_Λ، ثم أبدلها بالرموز u (ويعني الكوارك الفوقي أو العلوي up quark)، d (ويعني الكوارك التحتي أو السفلي down quark)، s (ويعني الكوارك الغريب strange quark).

ويوجد لكل كوارك ضديد أو أنتي كوارك هي$\overline{u}$, $\overline{d},\overline{s}$ وتتمتع الكواركات ومضاداتها بلف ذاتي (spin) يساوي $\frac{1}{2}$ بينما الشحنة **تكون كالتالي:**–

$$u\ (+\tfrac{2}{3})\ ,\ d\ \ (-\tfrac{1}{3})\ ,\ s\ \ (-\tfrac{1}{3})\ ,\ \overline{u}(-\tfrac{2}{3}),\ \overline{d}(+\tfrac{1}{3}),\ \overline{s}(+\tfrac{1}{3})$$

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 شحنه تساوى (+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: $(\overline{p})$

التركيب : $\overline{p} = \overline{u} \quad \overline{u} \quad \overline{d}$

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

4- الانتي نيوترون: $(\overline{n})$:

التركيب : $\overline{n} = \overline{u} \quad \overline{d} \quad \overline{d}$

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

5- ميزون: (π^+):

التركيب: $\pi^+ = u \quad \overline{d}$

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

6- ميزون: (π^-):

التركيب: $\pi^- = \overline{u} \quad d$

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

7- ميزون: (π^o):

التركيب: $\pi^o = u \quad \overline{u}$

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

8 . ميزون: (k^+):

التركيب: $k^+ = u \quad \overline{s}$

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

9. ميزون: (k^-):

التركيب: $k^- = s \quad \overline{u}$

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

10 - ميزون: (k^o):

التركيب: $k^o = d \quad \bar{s}$

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

11- ميزون: $(\bar{k}^o)$:

التركيب: $\bar{k}^o = s \quad \bar{d}$

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

12- هيبرون: (Λ^o):

التركيب: $\Lambda^o = u \quad d \quad s$

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

13- هيبرون: (Σ^+):

التركيب: $\Sigma^+ = u \quad u \quad s$

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

14- هيبرون: (Σ^-):

التركيب: $\Sigma^- = d \quad d \quad s$

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

15- هيبرون: (Σ^o):

التركيب: $\Sigma^o = u \quad d \quad s$

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

16- هيرون: (Ξ^-):

التركيب: $\Xi^- = d \quad s \quad s$

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

17 - هيرون: (Ξ^o):

التركيب: $\Xi^o = u \quad s \quad s$

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

18- هيرون: (Ω^-):

التركيب: $\Omega^- = s \quad s \quad s$

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

وهكذا نري أن نموذج الكواركات الثلاثة نجح نجاحا كبير 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 كهربية 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 (Flavers) 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 وزفايج 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 إليوبولوس J.Illipoulos

(1940–0000) ولوسيانو مايايني 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 أجرياها خاصة بملاحظة ما يعرف بخرق قانون تماثل الشحنة – الندية (charge – parity violation) وقد أطلق الفيزيائي الإسرائيلي حاييم هراري H.Harari في مقال نشرة بعنوان (نموذج كواركي جديد للهدرونات) عام 1975 على هذين الكواركين اسم: الكوارك القاع (الكوارك الخامس) bottom quark والكوارك القمة (الكوارك السادس) top quark وبقي الإثبات العملي لوجود الكواركات الثلاثة الجديدة

(الرائع c والقاع b ، والقمة t) قيد البحث حتي عام 1974حين تم اكتشاف الكوارك الرابع (الرائع – c) بواسطة مجموعتين : الأولي في SLAC (بستانفورد) برئاسة بورتون 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 (c , $\overline{c}$) في ميزون جديد أطلق عليه ريشتر اسم الميزونΨ ، 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 النيوترينوميو) حيث اكتشفوا الجسيم أبسيلون (Y) وكتلته تقترب من عشرة أمثال كتلة البروتون، ويتكون الميزون أبسيلون من حالة مترابطة من كوارك قاع (b) وكوارك قاع مضاد ($\overline{b}$) **بالصورة:**

$Y = (b\ \overline{b})$، **وقد لوحظ** أن شحنة الكوارك $b = -\frac{1}{3}$ ، وشحنة الكوارك b المضاد $(\overline{b}) = +\frac{1}{3}$.

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^o) وتركيبه Λ_b^o = (u b d) المكون من كوارك علوي (u) وكورك قاع (b) وكوارك سفلي (d) وتم اكتشافه عام 1981 بالمركز الأوربي للأبحاث النووية (CERN)، ومنها الميزون (B) وهو أول ميزون يدخل في تركيبه الكوارك b وتم اكتشافه عام 1983

ووجدت منه :

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

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

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

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

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

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 في مجلة خطابات المراجعات الفيزيائية (Physical Review Letters) العدد 74 بتاريخ 1995 تحت عنوان (ملاحظة إنتاج الكوارك القمة (t) في تصادمات $(\overline{P}P)$ 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 – الرائع عام 1974) وكلاهما من الحاصلين على جائزة نوبل.

وفي نهاية هذه الفقرة نورد ملخصا بخواص الكواركات الستة:

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

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

5) النموذج العياري (standard model) للجسيمات الأولية:

وضع هذ 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 الكهرومغنطيس والضعيف للجسيمات الأولية في مجال واحد هو المجال الكهروضعيف، ومن المعروف أن الجسيمات الحاملة للمجال الكهرومغنطيس في الفوتونات (photons) (γ) وان الجسيمات الحاملة للمجال الضعيف هي بوزونات $W^{\pm}$ (المشحونة) والبوزون (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 ($\mu^{-}\mu^{+}$) والتاوينوات ($\tau^{-}\tau^{+}$) وكذلك العائلات الثلاثة المناظرة من النيوترونات وهي: عائلة النيوترينو الإلكتروني (ν_e ، $\overline{\nu}$) والنيوترينو الميوني (ν_μ ، $\overline{\nu_\mu}$) والنيوترنيو التاووني (ν_τ $\overline{\nu_\tau}$) وهي في مجموعها 12 لبتون.

ويشتمل النموذج أيضا على عدد متساو من الكواركات أي على ثلاث عائلات من الكواركات هي: عائلة الكواركين (علوي – سفلي) أو (u , d)، عائلة الكواركين (غريب – رائع) اي (s, c) وعائلة الكواركين (قاع – قمة) أو (b, t) إضافة إلى الجسيمات المضادة وهي ($\overline{d},\overline{u}$)، ($\overline{c},\overline{s}$)، ($\overline{t},\overline{b}$) ومجموع تلك الكواركات 12 كوارك منها 6 أصلية و 6 مضادة، وهو نفس عدد اللبتونات الموجودة في النموذج، وتربط البوزونات الحاملة للمجال الكهروضعيف ($W^{\pm}$ ، Z ، γ) 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 ($\overline{t}$) تأكيد لصحة النظرية وصدق النموذج ويلاحظ أن التجارب العملية (1994) أوجدت كتلة الكوارك القمة (t) بقيم تتفق تماما 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 صفرا، وهي أيضا من البوزونات لأن لها لف ذاتي يساوي الواحد.

والجليون في الواقع يشبه الفوتون (كم المجالات الكهرومغنطيسية) في كتلته الصفرية وشحنته المتعادلة ولفه الذاتي المساوي للوحدة، والجليون بهذا الاعتبار هو كم المجالات القوية التي تعمل بين الهدرونات (التي تتكون من كواركات) وبعد اكتشاف جسيم أبسيلون (Y) عام1977 اتجه العلماء لإثبات وجود تلك الجليونات عملياً، ففي عام 1980 تم إجراءا عدد من التجارب لإثبات وجود الجليونات، وأسفرت تلك التجارب عن إثبات وجود تلك الجسيمات كنواتج إنحلال الميزون Y 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 ($W^{\pm}$ ، Z) فقد تم اكتشافها عمليًا عام 1984، على يدي الإيطالي كارلو روبيا C.Rubbia (1934-0000) والهولندي سيمون فان دير مير S.Vander Meer (1925-2011)، وكان هذا الاكتشاف من أكبر التدعيمات 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 أساسيًا في فيزياء الجسيمات الأساسية ، وترتبط قوانين الحفظ (أو البقاء) عادة بقاعدة تماثل (أو عدم تغير) ويستخدم لفظ التماثل عادة في الفيزياء بمعني أن المنظومة أو الحالة المستخدمة تبقي 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 conjagations) يرمز لها بالرمز c، وهناك عمليات مركبة تأتي من دمج هذه العمليات فهناك مثلاً مبدأ عدم التغير في الندية والترافق الشحني (cp) وهي عملية تبقي 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 عل 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 (1926–0000) وشن يانج C.Yang (1922–0000) 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 (1931–0000) انكسار مبدأ التماثل في عملية (cp) أيضا بالنسبة لتفاعلات ميزون K، وحصل الاثنان أيضا على جائزة نوبل لعام 1980.

ويسعي العلماء دائما 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 أصلا) 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 الكهرومغنطيسي، 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 –0000) .

عام 1964، ولذلك أطلق علي المجال إسم مجال هيجز، وعلي 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 جيرالدجورالنيك 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 الأولي 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 معينا من المجالات (مجال هيجز) تخلل الفراغ، وكان بإمكانه التفاعل مع الجسيمات الأساسية بطريقة معينة فإن ذلك سينتج حولنا الظاهرة التي نسميها الكتلة (اي 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 نحصل على كتلة من خلال آلية (أو ميكانيكية هيجز)، إلا أن بوزون هيجز وكتلة كبيرة للغاية، حيث تطلب النموذج العياري (في صورته الرياضية) أن أي آلية قادرة على توليد كتل الجسيمات الأولية يجب أن تكون ذات طاقة أعلي من 1.4 تريليون الكترون فولت (1.4 تيفا الكترون 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 CERN عام 2008 وهو أقوي معجل للجسيمات وينتج طاقة عالية للغاية نتيجة تصادمات بين حزم من الجسيمات (البروتونات مثلا) تصل إلى 14 تيفا إلكترون فولت، وقد تم بناؤه أساسًا للكشف عن وجود بوزون هيجز.

وفي يوليو عام 2012 أعلن الفيزيائيون العاملون في المصادم الهادروني الكبير عن اكتشاف البوزون هيجز، والتأكيد رسيماً عن وجوده ، وهو ذو كتلة حوالي 125 بليون (125 جيجا) إلكترون فولت (أي نحو 133 مرة قدر كتلة البروتون) أو في نطاق(10^{-25} كيلوجرام).

وكان هذا الكشف هو خاتمة المطاف لإثبات صحة النموذج العياري، وصحة آلية هيجز 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 2105- إكتشاف ذبذبة 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) والكترون (سالب) ، وبتطبيق قانون حفظ كمية الحركة اللفية علي هذا التحلل، وجد أنه من اللازم إنبعاث جسيم متعادل (ذو كتلة ضئيلة للغايه) إضافة إلي البروتون والالكترون ، وقد أطلق عليه فيرمي إسم النيوترينو ، وطبقا لنظرية ديراك في وجود الجسيمات المضادة ، فان النيوترينو أيضا يجب أن يكون له مضاد النيوترنيو (الأنتي نيوترينو) .

وقد اجتهد العلماء في الكشف عن النيوترينو ومضاده ، وفي عام 1956استطاع كلايدكوان وفردريك رايتر 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 1968وضع فينبرج وجلاشو بالاشتراك مع البريطاني من الأصل الباكستاني محمد عبد السلام (1926–1996) النموذج العياري (Standard Model) للجسيمات الأوليه مقسما الجسيمات إلي مجموعتين :

اللبتونات والهدرونات ، وتتكون مجموعة اللبتونات طبقا لهذا النموذج من جسيمات ستة هي : الالكترون ، الميون، التاون ، النيوترينو الالكتروني ، النيرترينو الميوني ، النيوترنون التاووني) .

وقد اجتهد العلماء مرة ثانية للكشف عن جسيم التاوون والنيوترينو المصاحب لتفاعلاته (النيوترينوالتاووني) ، وتوصل مارتن بيرل لاكتشاف التاوون (وهو أثقل اللبتونات)عام 1975، ثم اكتشاف النيرترينو التاووني عام 1977 .

وكان المعتقد أن جسيمات النيوترنيو الثلاثة ذات كتل ضئيلة للغايه أو تكاد تكون صفراً ، وطبقا للنموذج العياري فان تلك الجسيمات (ومضاداتها) يجب أن تكون عديمة الكتله .

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 كاچيتا T.Kajita (1959– -----) تلميذ كوشيبا من جامعة طوكيو في دراسته علي نيوترينوات الاشعه الكونيه ما يعرف بذبذبة النيوترينو(Neutrino Oscillation) ، التي تعني أن للنيوترينو كتلة ، وأن النيوترينوات الثلاثة تمتلك كتلا مختلفه، وقد أكد وجود ذبذبة النيوترينو الكندي أرثرماكدونالد A.Mc Donald (1943– ----) الاستاذ بجامعة أونتاريو أثناء دراسته للنيرترينوات القادمة من الشمس ، وتحدث ماكدونالد عن أن ذلك يعني وجود كتلة للنيوترينو ولكن أقل من مليون مرة من كتلة الالكترون .

وقد حاز العالمان كاچيتا 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 النظريه الكاملة في وصفه للجسيمات الاساسيه في بناء الكون .

رابعا:فيزياء المادة المكثفه

(i) نشاة مصطلح المادة المكثفه (Condensed matter):

لم يكن أحد يسمع مصطلح المادة المكثفه في بدايات القرن العشرين ، ولكن كان هناك إسم الحاله الصلبه أو الجامدة (Solid State) حيث كانت تدرس فيها خواص الجوامد أو المواد الصلبة منفردة علي أسس كلاسيكيه صرفه .

وقد تطورت فيزياء الجوامدأو الحاله الصلبة تطورا كبيرا بدءا من عام 1912، وامتدت لكي تشتمل علي فيزياء الزجاج والسيراميك ، وفيزياء السوائل الكميه (مثل الهليوم السائل 3،4) ، كما أضيف إليها عدد من الظواهر الميكروسكوبيه الجديده مثل ظاهرتي التوصيل الفائق (Superconductivity) والميوعة الفائقة (Superfluidity)، واللتان تحدثان في الغالب عند درجات الحرارة المنخفضه حيث يكون للظواهر الكميه (أي التي يمكن شرحها علي أسس ميكانيكا الكم) تأثيرات واضحة .

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

بأنواعها ، البوليمرات (polymers) ، وهي أشكال مركبه للماده تتركب من جزيئات كبيرة ومتكررة ومتوافقه وعديدة الذرات ،بأنواعها سواء كانت بوليمرات عاديه (تستخدم في صنع البلاستيكات والمواد المطاطه واللاصقه وغيرها)

أو حيويه (مثل البروتينات والآحماض النووية).

ونتيجة للتطور الكبير في فيزياء الماده المكثفه ظهرت التطبيقات المميزة للترانزستورات والدوائر المتكامله (integrated circuits) التي هي أساس الأجهزه الحاسبه الحديثه (الحواسب أو الكمبيوترات) .

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

ونشره المعهد الأمريكي للفيزياء (AIP) بنيورك فان *علم الفيزياء ينقسم الي عشرة موضوعات هي :*

الفيزياء العامه ، فيزياء الجسيمات الأوليه والمجالات ،الفيزياء النوويه ،الفيزياء الذريه والجزيئيه ،الفيزياء الكلاسيكيه الموائع والبلازما ، الماده المكثفه (الخواص الحراريه والميكانيكيه) ، الماده المكثفه (الخواص الكهرومغنطيسيه والالكترونيه والبصريه) ، الفيزياء وتطبيقاتها التكنولوجيه ، فيزياء الأرض والفيزياء الفلكيه .

ومن ذلك نجد أن فيزياء الماده المكثفه تشمل موضوعين كاملين من موضوعات الفيزياء، وتندرج تحت تلك الموضوعات العامة موضوعات فرعيه متخصصه **نذكر منها في فيزياء الماده المكثفه بالذات الموضوعات الأتيه** :-

(ا) ـ تركيب (أوبناء) السوائل والجوامد والخواص الميكانيكيه والسمعيه واللزوجيه للماده المكثفه

(2) ـ الخواص الحراريه والانتقاليه الالكترونيه للماده المكثفه

(3) ـ الموائع والجوامد الكميه : الهليوم السائل والصلب

(4) ـ البناء الالكتروني والانتقالات الالكترونيه في الماده المكثفه

(5) ـ التوصيل الفائق والميوعه الفائقه .

(6) ـ الخواص المغنطيسيه للماده المكثفه ـ تاثيرموسباور .

(7) ـ الخواص البصريه للماده المكثفه، التفاعلات بين الماده والجسيمات والاشعاع

(8) ـ الانبعاث الالكتروني والأيوني بواسطة السوائل والجوامد .

(ii) **مخلص لأهم الانجازات في الماده المكثفه قبل ظهور نظرية الكم : ـ**

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

(1) ـ **إسالة الغازات : ـ** وهو أحد أقدم الموضوعات حيث بدأ البحث فيه في نهايات القرن التاسع عشر وعلي وجه التحديد عام 1887،حيث استطاع الصناعي الفرنسي لويس كيلتيه L.Cailletet (1832- 1931) إساله غازي الاكسوجين والنيتروجين للمرة الأولي في تاريخ الفيزياء ، وفي السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر وعلي وجه التحديد عام 1898استطاع الأنجليزي جميس ديوار J. Dewar (1842- 1923) ولأول مرة من الحصول علي 20 سم^3 من سائل الهيدروجين وفي عام 1901، حصل ديوار علي خمسة لترات من الهيدروجين السائل ، وكان ذلك إنجازا كبيراً في تاريخ الفيزياء.

وتوصف تلك السوائل التي تم الحصول عليها من الغازات بأنها سوائل عاديه أو تقليديه أو كلاسيكيه حيث أن التأثيرات الكميه (التي ظهرت بعد نشأة نظرية الكم) فيها تكون ذات قيمه غير محسوسة ، وقد وجد أن السائل الوحيد الذي يمكن الحصول عليه وتكون فيه التأثيرات الكميه محسوسة قبل تجمده هو الهليوم السائل ، الذي تم الحصول عليه (قبل اكتشاف نظرية الكم) وعلي وجه التحديد عام 1908

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

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

ولم يستطع العلماء تفسيرظاهرة الحصول علي الهليوم السائل أوظاهرة التوصيل الفائق علي أسس كمية في ذلك الوقت لعدم التوصيل إلي اكتشاف ميكانيكا الكم آنذاك.

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

بيتر ديباي (1884- 1996) عام 1911، ألبرت آينشتين عام 1913 .

(2) – **دراسة التركيب البللوري للمواد باستخدام أشعة إكس :-**

وبدأت تلك الدراسات عام 1913 حين اكتشف السير هنري براج وإبنه 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 وإبنه لورنس براج تلك الجائزة في العام التالي (1915) .

(iii) – **أهم الانجازات في الماده المكثفه بعد ظهور نظرية الكم : –**

ظهرت نظرية الكم الحديثه كما ذكرنا سابقا – علي يدي مجموعة من العلماء في الفترة منذ عام 1924 ، وحتي عام 1930، وقد اكتشف كل من الايطالي إنريكوفيرمي 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 البنيه الداخليه للمعادن ، وذلك عند دراسة سلوك الالكترونات عند أسطح تلك المواد .

ومنذ بداية الثلاثينات أصبحت فيزياء الماده المكثفه مجالا خصبا لتطبيق ميكانيكا الكم المكتشفه حديثا في ذلك الوقت ، فظهرت ابحاث عديدة أدت إلي اكتمال ظهور ما عرف بالنظريه الكميه للجوامد *(Quantum Theory ofsolids)*

علي يدي العلماء الآتية أسماؤهم :

(1) – **الألماني أرنولد سومر فيلد** الذي وضع نموذج الغاز الالكتروني الحر للمعادن (عام 1931)

(2) – **الآمريكي فليكس بلوخ F.Bloch** (1905- 1983) الذي وصف نظريا وجود مايعرف بحزم الطاقه (energy bands) في الجوامد (عام 1932)

(3) – الفرنسي ليون بريلوين L.Brillouin (1889-1969) الذي وضع التفسير النظري المبني علي وجود حزم الطاقه 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 فردريك سايتز F.Seitz (1911- 2008) **ويوچين فجنر E.Wigner** (1902- 1995) وقد وضعا أول نظريه لحزم الطاقه في المعادن القلويه (مثل الصوديوم والبوتاسيوم) ، 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) – الامريكي چون باردين 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 أدخلا 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 بـأشباه الجسيمات (أو الاثارات الأوليه – elementary excitations) الحادثه في المواد العازلة وفي أشباه الموصلات .

(6) – الأمريكي فريتز لندن F.London (1900- 1954) ، الذي قدم ابحاثه عام 1938 حول ما أسماه بظاهرة الميوعه الفائقه (SperFluidity) ، واكتشاف تلك الظاهرة في الهليوم - 4 السائل علي يدي الروسي بيتر كابتزا P.Kapitsa (1894- 1984) في نفس هذا العام .

وكان شرح فريتز 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 للنظريه الكميه للهليوم في حالته فوق السائله (superfluid) عام 1941 .

(8) ـ وبعد الحرب العالميه الثانيه (40- 1945) عادت الأبحاث في فيزياء الماده المكثفه للظهور بعد أن توقفت خلال فترة الحرب ،وظهر عام 1947أول وأهم تطبيق عملي في فيزياء الماده المكثفه باختراع ترانزستور الاتصال النقطي (الترانزستور) علي يدي العلماء الأمريكيين الثلاثه :ـ جون باردين ، ووليام شوكلي W.Shockley (1910- 1989) ووالتربراتين W.Bratain (1902- 1987) المتخصصين في دراسة المواد المعروفه باشباه الموصلات، وقد حاز العلماء الثلاثه علي اكتشافهم الترانزستور لجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1956، ويعتبر الترانزستور التوأم العلمي المعاصر للكمبيوتر (الحاسوب)حيث يعتبر الاثنان من أهم الانجازات في الكترونيات الماده المكثفه ، ولايمكن لأحدهما أن يكون في غني عن الاخر ، وقد تم في عام 1946 بناء أول جهاز كمبيوتر (حاسب آلي) الكتروني ذي حجم كبيروأطلق عليه إسم (إنسياك) 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)

ذو ذاكرة أتوماتيكيه ، وأطلق عليه إسم (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 للأجهزه (Texas Instroments Com) اختراع ترانزستور الاتصال النقطي لتصميم أول جهاز راديو ترانزستور .

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

كما تم اكتشاف اشعة الليزر (Laser) وهي اختصار لكلمه تعني تكبيرالموجات الضوئيه بالانبعاث الاشعاعي وإنتاجها علي يدي العلماء الأمريكيين أرثرشاولو A.Schawlow (1921-1999) وتيودرمايمان T.Maiman(1927-2007) ، وجودون جولد G.Gould (1920-2005) ، وذلك عام 1960 .

وفي عام 1957 تم وضع النظريه الكميه الحديثه لتفسير ظاهرة التوصيل الفائق علي يدي العلماء الأمريكيين الثلاثة جون باردين ، ليون كوبر L.Cooper (1930- ---) وجون 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 cirauit) التي أفادت كثيرا في تطوير الكمبيوتر فقد اختراعها 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 معروفه من قبل وذلك بفضل التقدم الهائل في علوم وتكنولوجيا المواد وبفضل تعاظم دور الحاسبات واستخدامها في تحليل المعلومات والبيانات المعطاه وبفضل أنتاج أجهزه متقدمه أمكن بواسطتها إجراء قياسات دقيقه ومنفصله عن تلك المواد، ففي عام 1986تم اكتشاف مواد فائقة التوصيل جديده تتحمل درجات حراره عاليه للغايه ،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 السيز يوم الذريه ذات الدقه البالغة عام 1989 علي يدي الالماني ولفجانج بول W.Paul (1913-1993) والامريكي نورمان رمزي N.Ramsey (1915-2011) ، ونال الاثنان بذلك جائزة نوبل في الفيزياء لذلك العام .