

القسم الثاني : الفيزياء الحديثة

شهد الثلث الأول من القرن العشرين تطورين فيزيائيين كبيرين هما نظرية النسبية ونظرية الكم . وبواسطتهما أمكن شرح الظواهر الطبيعية سألقة الذكر . كما ساهما فى ابتكارات واكتشافات جديدة وبناء الفهم الفيزيائى المعاصر للظواهر الطبيعية التى نعرفها اليوم .

(أ) النظرية النسبية :

١-٣) النظرية النسبية ونظرية الكم

يمكننا تبسيط الحركة النسبية إذا قارنا بين حالتين لشخص (A) يسير بسرعة (v) داخل قطار يسير بدوره بسرعة (u) . الحالة الأولى ، إذا نظر شخص آخر (B) وهو فى حالة سكون على الأرض ، فإن سير السرعة النسبية للشخص (A) بالمقدار $V = v + u$.

والحالة الثانية ، يكون فيها القطار ساكناً والشخص (B) هو الذى يتحرك بسرعة (u) فى عكس اتجاه الشخص (A) الذى يتحرك بسرعة v . فى هذه الحالة تكون السرعة النسبية للشخص (A) هى نفس المقدار فى الحالة الأولى $V = v + u$.
بالمثل ، إذا نظر شخص إلى التوقيت فى ساعتين متواجدين فى حالة سكون ، وفى نفس المكان سيكون الزمن متساوياً فى كلتا الساعتين . هذا الزمن يتغير إذا تغيرت إحدى الساعتين بسرعة نسبية للساعة الأخرى . ونفس الشئ يحدث إذا وجد قضيبان لهما نفس الطول وفى حالة سكون . فيحدث تغير فى الأحوال عندما يتحرك أحد القضيبان بالنسبة للآخر . وقد فرض اينشتين أن سرعة الضوء فى الفراغ يجب أن تكون ثابتة . كما وضع تصوراً عن ارتباط الفراغ بالزمن وبين نقص المفاهيم حولهما . ووجد اينشتين أنه لا بد للربط بينهما فى أربعة احداثيات متصلة بإضافة بعد الزمن إلى أبعاد الفراغ الثلاثة (الطول والعرض والارتفاع) .

ومن أهم النتائج لنظرية النسبية ما يلى :

(أ) مكافئ الكتلة والطاقة .

(ب) محدودية سرعة الضوء فى المواد المختلفة .

وقد فرض اينشتين أنه لا يوجد أى جسم يمكنه التحرك بسرعة تساوى أو أكبر من سرعة الضوء فى الفراغ .

أما العلاقة الهامة بين الكتلة والطاقة فقد ارتبطا فى النظرية النسبية بالعلاقة الشهيرة $E = mc^2$ حيث $m =$ كتلة الجسم ، $E =$ طاقته ، $c =$ سرعة الضوء .

ونظراً لأن سرعة الضوء كبيرة للغاية، لذلك فإن مكافئ الطاقة لكتلة ما يكون هائلاً.

والتفسير في مقدار الكتلة يتبعه تحول في مقدار الطاقة. هذا المفهوم يكون ملحوظاً في التفاعلات النووية. كما هو الحال في المفاعلات أو الأسلحة النووية. أما في حالة النجوم، يؤدي فقد الكتلة بها إلى انبعاث طاقة رهيبه.

والجدير بالذكر أنه في عام ١٩٠٥ صاغ العالم الأمريكي «ألبرت اينشتين» الفروض الأولى لنظرية النسبية التي عرفت «بالنسبية الخاصة». وتحدد هذه النظرية بإطارات مرجعية تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضها البعض، كما هو الحال في حالة القطار سالفة الذكر. وفي عام ١٩١٥م وضع اينشتين فروض لنظرية النسبية العامة تكون الأنظمة المرجعية بها متسارعة بالنسبة لبعضها البعض. وقد بينت هذه النظرية ظهور الجاذبية كنتيجة للهندسة الزمكانية (الفراغ-الزمني). كما تنبأت بانحناء الضوء عندما يقترب في مساره من الأجسام الثقيلة جداً مثل النجوم. هذا التأثير تم مشاهدته عام ١٩١٩م. وللنسبية العامة الفضل الكبير في فهم التركيب والتطور الكوني.

ب) نظرية الكم:

أثار المأزق المتعلق بمشاهدة الأطياف المنبعثة من الأجسام الصلبة اهتمام العلماء. وحاول العالم الألماني «ماكس بلانك» تفسير هذه الظاهرة. وطبقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية، يمكن للجزيئات في المادة الصلبة التذبذب بسعة موجية تعتمد على مقدار درجة الحرارة. وتتحول الطاقة الحرارية باستمرار إلى شعاع كهرومغناطيسي كلما استمر امداد المادة الصلبة بالطاقة.

وكان ذلك مناقضاً لما يظهر في المشاهدات العملية. وقد وضع «بلانك» فرض جذري مضمونه أن الجزيء المتذبذب قد يشع موجيات كهرومغناطيسية، ويتم ذلك على هيئة حزم منفصلة يسمى كل منها «كوانتا» أو (فوتون)، (الفوتون يمثل كمية من الطاقة الكهرومغناطيسية النقية)، ويتميز كل فوتون بطول موجي محدد. وتزداد طاقته بزيادة التردد وتعطى بالعلاقة $E = hf$ ، حيث E تمثل طاقة الفوتون و f تمثل تردده و h يمثل ثابت عام يسمى ثابت بلانك، ووجد أن قيمته تساوي 6.625×10^{-27} أرج-ثانية. أما الطول الموجي (λ) فيرتبط بالتردد بالعلاقة $\lambda f = C$ ، حيث أن C تمثل سرعة الضوء.

ويقاس التردد بوحدة الهرتز (١ هرتز = دورة كاملة / ثانية) وبذلك استطاع بلانك ادخال العلاقة الازدواجية في النظرية الضوئية والتي ظلت لقرن من الزمان يعتقد أنها شبيهة الموجة فقط.

٢-٣) الكهربية الضوئية والأشعة السينية

أ) الكهربية الضوئية:

الظاهرة الكهروضوئية تتعلق بإمكانية انبعاث شحنات سالبة (عرفت فيما بعد بأنها الكترونات) من سطح المعدن عند سقوط أشعة كهرومغناطيسية عليه وبطول موجي مناسب ووجد ما يلي :

(١) معدل الانبعاث الإلكتروني منبعث من سطح المعدن يعتمد على كثافة الأشعاع الكهرومغناطيسي الساقط .

(٢) الطاقة لكل الكترون منبعث من سطح المعدن تعتمد على قيمة التردد الموجي للأشعة الساقطة .

ولم يتمكن العلماء من تفسير هذه الظاهرة طبقاً لنظرية ماكسويل الضوئية . وفي عام ١٩٠٥م فرض اينشتين أن عملية الامتصاص للضوء تحدث فقط في كميات منفصلة تسمى «كوانتا» أو «فوتون»، حيث يختفي الفوتون بعد عملية الامتصاص بكامل طاقته التي مقدارها $E = hf$.

هذا المقدار من الطاقة يكتسبه الإلكترون داخل المعدن .

وبهذه الطريقة البسيطة استطاع اينشتين تطوير نظرية الكم لبلاانك . وهذا بالطبع إضافة هامة على ازدواجية طبيعية الضوء الموجية والجسيمية . والجدير بالذكر أنه في عام ١٩٢٤م منح اينشتين جائزة نوبل على هذا الاكتشاف المثير .

ب) الأشعة السينية:

اكتشفت هذه الأشعة لأول مرة عام ١٩١٢م بواسطة العالمان الألمانيان «رونجن وماكس ثيودور فيلكس وأعضاء فريقه البحثي» . وتتميز هذه الأشعة بموجاتها الكهرومغناطيسية ذو طول موجي قصير ، وبالتالي لها قدرة فائقة على اختراق المواد المختلفة ، ولهذه الأشعة تأثير كمي ، وفي عام ١٩١٤م استطاع الفيزيائي الإنجليزي «هنري جوان جيفريز موزلي» من استخدام الأشعة السينية في الدراسات الطيفية لعدد من العناصر المختلفة ونجح في تصميم مطياف ذري .

وفي عام ١٩٢٣م ، درس الفيزيائي الأمريكي «أرثر هوللي كمبتون» النظرية الفوتونية للأشعة الكهرومغناطيسية واكتشف ما سمي «بتأثير كمبتون» . هذا التأثير يوضح عملية التشتت الفوتوني ، عندما يتصادم فوتون ساقط على الكترون في حالة سكون .

أ) فيزياء الإلكترون:

تنبأ العلماء في القرن التاسع عشر بوجود جسيمات متناهية الصغر تحمل الشحنات الكهربائية . فيما بعد ، أوضحت التجارب هذا المفهوم خاصة تجارب

٣-٣) فيزياء الإلكترون والنماذج الذرية

التحليل الكيميائي الكهربائي. وقد أدت التجارب على التوصيل الكهربائي للغازات تحت ضغوط منخفضة الى اكتشاف نوعين من الأشعة هما: أشعة الكاثود التي تأتي من الالكترود السالب في أنابيب التفريغ الكهربائي، وأشعة القناة التي تأتي من الالكترود الموجب.

وفي عام ١٨٩٥م، تمكن الفيزيائي «جوزيف جون طومسون» من قياس النسبة بين الشحنة "q" وكتلة الجسم الحامل للشحنة "m" للأجسام المنبعثة من سطح المعدن بواسطة الانبعاث الكهروضوئي. هذه الأشعة تتطابق تماماً مع أشعة الكاثود. وفي عام ١٨٨٣م لاحظ المخترع الأمريكي «توماس إلفا أديسون» أن السلك الساخن يولد تياراً كهربياً، وهذه الطريقة سميت «الانبعاث الحراري»، وفيما بعد أطلق العلماء عليها «تأثير أديسون». وفي عام ١٨٩٩م بين «طومسون» أن هذا النوع من الكهربية يتكون من جسيمات متشابهة في مقدار الشحنة والكتلة. وفي عام ١٩١١م تمكن العالم «ميليكان» بنجاح من تعيين مقدار الشحنة الكهربية ووجد أنها تمثل عدداً صحيحاً من قيمة الوحدة الأساسية للشحنة "e". وتم تعيين مقدار الشحنة "e" بالقيمة 1.602×10^{-19} كولوم من معرفة النسبة بين الشحنة الكلية "q" والكتلة "m" وبمساواة "q" بالشحنة "e". وسمى الجسم حامل الشحنة "e" بالالكترود، ووجد أن كتلة الالكترود تساوي 9.11×10^{-31} كيلوجرام. وأخيراً، بين طومسون وآخرون أن الأشعة الموجبة تتكون من جسيمات تحمل الشحنة "e" ولكنها موجبة. هذه الجسيمات تعرف الآن «بالأيونات الموجبة».



العالم روبرت اندروس ميليكان

(١٨٦٨-١٩٥٣م)

حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٢٣م

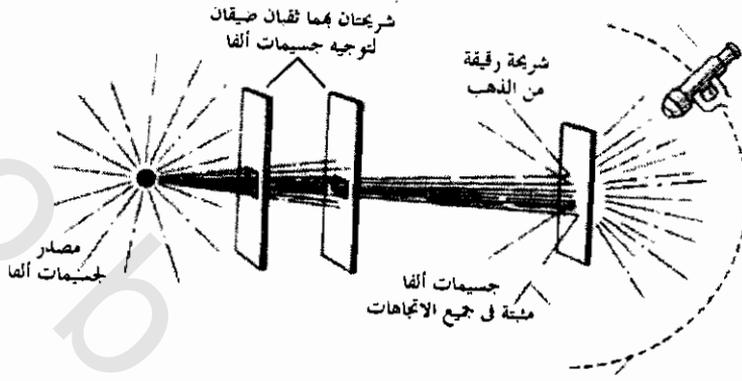
هذه الأيونات تنتج بعد إزالة الكترون أو أكثر من الذرة المتعادلة كهربائياً. ووجد أن هذه الأيونات ثقيلة جداً بالمقارنة بكتلة الالكترتون، كما أن أصغر أيون موجب هو أيون الهيدروجين. ومن مفهوم طبيعة التحكم للشحنة والزمن أمكن التمييز بين جسمين مختلفين متواجدين في الحالة دون الذرية هما الالكترتون سالب الشحنة والبروتون موجب الشحنة.

ب) النماذج الذرية:

في عام ١٩١٣م اكتشف الفيزيائي النيوزلندي «إنجليزى المولد» «أرنست رادرفورد» النشاط الاشعاعى لبعض المواد المشعة. وكان «طومسون» قد وضع في وقت مبكر نموذجاً لتصوير الشكل الذرى واصفاً إياه كجسم متناهى الصغر ومتعادل كهربائياً. وطبقاً لهذا النموذج تصبح فكرة التوزيع المنتظم للشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة واهية ولا يمكن حدوثها. إلا أن نجاح «رادرفورد» في إجراء تجربته الشهيرة لدراسة تشتت جسيمات الفا الثقيلة موجبة الشحنة عند سقوطها على شريحة معدنية رقيقة من الذهب، اتضح أن قليلاً من جسيمات الفا فقط قد انحرف عن المرور خلال الشريحة. أما العدد الأعظم منها فقد نفذ بسهولة من الشريحة دون أى تأثير. من هنا وضع «رادرفورد» نموذجاً جديداً للشكل الذرى. تتكون الذرة في هذا النموذج من مركز ثقيل يحتوى على شحنة موجبة ويحوم حول هذا المركز وفي مدارات خاصة الالكترونات سالبة الشحنة. وتستقر الالكترونات فى مداراتها بفعل قوة الجاذبية الكهربائية بينها وبين الشحنات الموجبة فى المركز. ويشبه هذا النموذج به النظام الشمسى».



العالم أرنست رادرفورد
(١٨٧١ - ١٩٣٧م)
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٠٨م



جهاز التشتت الذي استعمله رادفورد في وضع نموذج الذرة.

والجدير بالذكر أن هذا النموذج لم يصمد طويلاً وسرعان ما تعارض مع «نظرية ماكسويل» للإشعاع المغناطيسي حيث إن دوران الإلكترون يؤدي إلى انبعاث أشعة كهرومغناطيسية تجعل القوة الكلية للنظام تنهار في وقت قصير. وبالتالي يعود الوضع إلى نموذج «طومسون» السابق.

عند هذه النقطة تعارضت أسس الفيزياء الكلاسيكية مع النماذج الذرية التي تحدد الشكل الذري للعناصر.

وفيما بعد، فرض الفيزيائي الدانماركي «نيل هنريك دافيد بوهر» إمكانية تواجد الذرات، بحيث تتحرك الكتروناتها في مدارات خاصة دون أى انبعاث للأشعة الكهرومغناطيسية، هذه المدارات المسموح بها تسمى «حالات الاستقرار». وترتبط هذه العملية بقيود الحركة، حيث إن كمية الحركة الدورانية للإلكترون (J) تأخذ قيمة تساوى عدداً صحيحاً من مضاعفات ثابت بلانك h مقسوماً على 2π (حيث إن II تمثل النسبة بين محيط الدائرة وقطرها وهي نسبة ثابتة = $\frac{22}{2\pi}$). أى أن $J = \frac{nh}{2\pi} = nt$ و $\frac{h}{2\pi} = h$ ، n تمثل العدد الكمي ويأخذ القيم 1، 2، 3، ... إلى آخره. وتمكن بوهر من حساب انصاف اقطار المدارات ومناسيب طاقتها المختلفة. وفي عام 1913م نجح العالمان الأمريكى (ألماني المولد) «جيمس فرنك» والألماني «جوستاف هرتز» في التأييد العملى لنموذج بوهر.

بعد ذلك طور «بوهر» نموذج الذرة ونجح في تفسير انبعاث الضوء وأنواع أخرى من الأشعة الكهرومغناطيسية من الذرات. وفرض إمكانية تهيج الإلكترونات بالذرة من مستوى الاستقرار (المستوى الأرضي) الأقل طاقة، وانتقاله إلى أعلى في مدارات متتهيجة ذات طاقة أكبر. وعندما يسقط الإلكترون من المنسوب الأعلى إلى المنسوب الأسفل بالذرة، فإن فوتوناً ينبعث طاقته تساوى

الفرق بين مقدار الطاقة في النسوب الأعلى وفي النسوب الأسفل . على سبيل المثال في طيف ذرة الهيدروجين وعندما يهبط الإلكترون المتتهيج في المدار رقم ٣ إلى المدار رقم ١ ، فإن الفوتون الناتج يختلف عن الفوتونين المتولدتين من هبوط الإلكترون . أولاً من المدار ٣ إلى المدار ٢ ثم من المدار ٢ إلى المدار ١ ، بهذه الطريقة البسيطة استطاع «بوهر» تفسير طيف ذرة الهيدروجين وهو يختلف عن أسس الفيزياء الكلاسيكية .

ومن المعروف الآن ، أن نموذج بوهر الذي كان محدوداً خاصة عند تفسير طيف الذرات متعددة الإلكترونات . كما أنه لم يعط أية حسابات لشدة خطوط الطيف وتحديد ألوانها إلا في حالة ذرة الهيدروجين فقط . ومحدودية هذا النموذج الذري في التنبؤ بالنتائج العملية ظل غير مقنعاً للفيزيائيين النظريين .

(أ) ميكانيكا الكم :

٤-٣ (ميكانيكا الكم والفيزياء النووية

في الفترة بين ١٩٢٤ - ١٩٣٠م اهتم الفيزيائيون بتطوير منهج ديناميكي نظري للمساعدة في دراسة سلوك الأجسام دون الذرية . وفي عام ١٩٢٤م فرض الفيزيائيان الفرنسيان «لويس فيكتور» والأمريكي «دي برولي» أن الأجسام المادية لها خاصية موجبة مثل الأشعة الكهرومغناطيسية . هذا الفرض كان مدخلاً لما يسمى الآن «بميكانيكا الكم» أو «ميكانيكا الموجات» . وبناء على ذلك فإن الطول الموجي لما يسمى موجات المادة يعطى بالعلاقة $\lambda = \frac{h}{p}$ حيث إن $(mv = p)$ تمثل كمية الحركة للجسم الذي كتلته m وسرعته v . وموجات المادة تمثل موجات إرشادية عن حركة الجسم .

وقد اهتم الفيزيائيون الألمان «ويرنر هييزنبرج» و«ماكس بورن» و«أرنست ياسكوال» والنمساوي «ايروين شرودنجر» بالنتيجة التي توصل إليها دي برولي عن الخاصية (المادية - الموجية) للأجسام . وساهم هؤلاء جميعاً في تطوير فكرة دي برولي بطريقة رياضية قادرة على التعامل مع عدد من الظواهر الفيزيائية التي لم تعالج بقواعد الفيزياء الكلاسيكية . وبفضل ميكانيكا الكم ، أمكن التأكد من نجاح نموذج بوهر للذرة عن طريق تكتم مناسب الطاقة بالذرة . وأيضاً أمكن تركيب أكثر الذرات تعقيداً كما أمكن الدخول في عالم الفيزياء النووية . وبالرغم أن ميكانيكا الكم تعتبر في غاية الأهمية على المستوى إلا أن هناك تأثيرات محددة على المستوى الماكروسكوبى مثل خصائص لتبلور في المواد الصلبة أمكن تفسيرها استناداً على قواعد ميكانيكا الكم .



العالم ويرنر هييزنبرج
ولد عام ١٩٠١م
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٢م

وهناك قواعد إضافية ساهمت في خلق صورة واضحة عن ميكانيكا الكم مثل اكتشاف أن للإلكترون مغناطيسية مستديمة وله كمية حركة دورانية ويرم ذاتي. وقد تبين أن خاصية البرم الذاتي موجودة في معظم الجسيمات دون الذرية الأخرى. وفي عام ١٩٢٥م وضع الفيزيائي النمساوي «ولفجانج باولي» مبدأ الاستثناء والذي ينص على أنه لا يوجد الكترونين بالذرة لهما نفس الأعداد الكمية. ونظراً أن هناك أربعة أعداد كمية لازمة لوصف حالة الإلكترون بالذرة، فإن مبدأ باولي يعتبر حيويًا جداً لفهم التركيب في العناصر وتصنيفها في الجدول الدوري.

وفي عام ١٩٢٨م نجح الفيزيائي الإنجليزي «پاول أدريان موريس ديراك» في تخليق ميكانيكا الكم والنسبية التي إديا إلى التنبؤ بوجود جسيم البوزيترون كضديد للإلكترون له نفس كتلته ولكن يصاده في الشحنة. وقد جعل «ديراك» ميكانيكا الكم في أوجها.



العالم **باول أدريان ديرال**
ولد في إنجلترا عام ١٩٠٢م وتوفي عام ١٩٨٤م
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٣م



صورة تذكارية التقطت للمؤلف مع العالم **باول أدريان موريس ديبارك**
عام ١٩٧٩م

وكنتيجة لأفكار «بوهر» تطورت أفكار إحصائية عديدة أدت إلى تطوير مفاهيم الفيزياء الحديثة. وارتبطت هذه الأفكار بنظرية الاحتمالات التي سادت في الدراسات المتعلقة بالفيزياء الذرية والجزيئية وعلى المستوى دون الذرى.

ب) الفيزياء النووية:

فى عام ١٨٩٦م، اكتشف «بيكرل» النشاط الاشعاعى لعنصر اليورانيوم الخام. وتبين فى وقت لاحق، أن النشاط الاشعاعى للعناصر غير المستقرة يتكون من ثلاثة أنواع من الأشعة المنبعثة هى :

(أ) أشعة الفا : اكتشف «راذرفورد» أنها جسيمات تمثل نوى ذرات الهليوم.

(ب) أشعة بيتا : عبارة عن إلكترونات سريعة جداً.

(ج) أشعة جاما : أحد أطراف الأشعة الكهرومغناطيسية ذات طول موجى قصير.

وفى عام ١٨٩٨م نجحت الفيزيائية الفرنسية «مارى بيير كورى» من فصل عنصرين نشطين هما الراديوم والبولونيوم من عنصر اليورانيوم الخام.

وفى عام ١٩٠٣م، تمكن كل من «راذرفورد» والكيميائى الفيزيائى الانجليزى «فريدريك سودى» تحويل عنصر إلى آخر عن طريق انبعاث أشعة ألفا أو بيتا.

والجدير بالذكر أن العمليات الإشعاعية فى العناصر غير المستقرة وجد أنها تخضع بالكامل إلى الميكانيكا الإحصائية، ولا توجد أية طريقة أخرى يمكن استخدامها لمعرفة أى من الذرات فى العناصر المشعة قد تتحلل وفى أى وقت بالضبط. كما تبين أن نوى الذرات الثقيلة جداً تكون ذات نشاط اشعاعى مرتفع. وفى عام ١٩١٩م، تمكن راذرفورد من تحويل ذرات الهيدروجين إلى ذرات الأوكسجين عن طريق قذفها بجسيمات الفا. وبالتالى أمكن انتاج عناصر جديدة بطريقة صناعية.

وفى نفس الوقت، ازدادت معرفة العلماء حول طبيعة ووفرة النظائر خاصة بعد تصميم جهاز مطياف الكتلة. كما وضع نموذج نهائى يوضح الشكل الذرى، بحيث تحتوى النواة فى الذرة على شحنة موجبة وتتركز بها معظم كتلة الذرة. وسميت حوامل الشحنة الموجبة بالنواة بالبروتونات، (وفيما عدا ذرة الهيدروجين) فإن كتلة النواة تتضمن وجود أجسام إضافية لها، تكون غير مشحونة. وفى عام ١٩٣٢م، اكتشف الفيزيائى الانجليزى «سير جيمس كادويك» النيوترون، وهو جسيم نووى عديم الشحنة وتزيد كتلته قليلاً عن كتلة البروتون ومقدارها 1.675×10^{-27} كيلوجرام. والآن نعرف أن نوى الذرات تتكون من بروتونات ونيوترونات أطلق عليها اسم «نيكلونات». والعدد الذرى الذى يميز نوى العناصر المختلفة يمثل ببساطة عدد البروتونات بالنواة. أما عدد النظير أو العدد الكتلى الذرى فهو مجموع عدد البروتونات وعدد النيوترونات بالنواة. على

سبيل المثال، ذرات الأكسجين، لها عدد ذرى يساوى 8 (أى أن نواتها تحتوى على ثمانى بروتونات) إلا أن الأكسجين له ثلاثة نظائر مختلفة هي O^{16} ، O^{17} ، O^{18} . تحتوى نوى كل منها على عدد ثمانى وتسع وعشر من النيوترونات على الترتيب. ونظراً أن الشحنات الكهربائية الموجبة تتنافر ويترد بعضها بعض، فقد توقع العلماء أن نوى الذرات (ماعداهيدروجين) التى تحتوى على أكثر من بروتون قد تتناثر إلى أجزاء صغيرة بفعل قوة التنافر الكهربائية. إلا أن هذا لم يحدث وذلك بسبب وجود قوة جاذبة شديدة بالنواة، تسمى القوة النووية الشديدة تجعل النيكلونات بها متماسكة مع بعضها. ووجد أن الطاقة المرتبطة بالقوة النووية الشديدة تكون هائلة وتقدر بملايين المرات ضعف طاقة الإلكترونات المقيدة فى مدارات مختلفة بالذرة. ولذلك يحتاج انبعاث جسيم ألف (يتكون من بروتونين ونيوترونين) إلى كمية من الطاقة تكون كافية للتغلب على قوة التجاذب النووى. وفى عام 1928م، استطاع الفيزيائيون الأمريكيون «ادوارد يو. كوندن» و«جورج جاموا» و«رونالد ويلفريد جورناى» من تطبيق قواعد ميكانيكا الكم وتفسير عملية انبعاث أشعة الفا وبيتا. وتبين أن الطبيعة الإحصائية الاحتمالية تسمح لجسيمات الفا بالهروب من النوى النشطة حتى إذا كانت قيمة متوسط طاقتهم غير كافية للتغلب على القوة النووية الشديدة، أما انحلال بيتا فقد وجد أنه نتيجة لحدوث اضطراب للنيوترونات بالنواة. فالنيوترون يتحول بالنواة إلى إلكترون (جسيم بيتا) وبروتون. ويترد الإلكترون فوراً خارج النواة بينما يبقى البروتون بها، مما يزيد عدد البروتونات فى النواة الأصلية (النواة الأم) واحداً عن العدد الأسمى بها وبذلك تتكون نواة وليدة تسمى (النواة الابنة). وبذلك يزداد العدد الذرى ويتغير ترتيب العنصر الوليد فى الجدول الدورى للعناصر.

وقد وجد أن عملية انبعاث أشعة الفا أو بيتا تكون مصحوبة عادة بانبعاث أشعة جاما (فوتون) حيث إن تلك العملية تترك النواة الوليدة فى حالة زائدة من الطاقة. والجدير بالذكر أنه فى جميع العمليات النووية تنطلق طاقة كبيرة يحدد مقدارها من علاقة اينشتين $E = mc^2$. وفى نهاية عملية التحويل النووى تكون كتلة النوى الناتجة أقل من كتلة النوى الأصلية، والفرق فى الكتلة ينطلق على هيئة طاقة.

خلال العقود القليلة الماضية، شهد علم الفيزياء توسعاً كبيراً فى عدة مجالات استناداً على الانجازات الباهرة واكتشاف القواعد والنظريات الفيزيائية الأساسية فى الثلث الأول من القرن العشرين، كما ذكر سلفاً. والتوسع الحالى فى علم

٥-٣) تطور الفيزياء منذ
عام 1920م

الفيزياء ارتبط بمجال التكنولوجيا المتقدمة التي أثرت على نمط الحياة العصرية للإنسان مثل تكنولوجيا الكمبيوتر والإلكترونيات الدقيقة وتطبيقات الطاقة النووية وصناعة المفاعلات النووية والمعجلات والليزر... وخلافه.

فيما يلي سوف نلقى الضوء على بعض من هذه التكنولوجيات..

(أ) المعجلات:

كانت البحوث الأولية عن خصائص نواة الذرة التي أجراها «راذرفورد» وآخرين محددة بانبعثات الطاقة العالية من العناصر الطبيعية المشعة، بغرض التدقيق في التركيب الذري لهذا العناصر.

وفي عام ١٩٣٢م، نجح الفيزيائي الإنجليزي «سير جون دوجلاس كوكروفت» ولأول مرة من إنتاج انبعثات اشعاعية ذو طاقة عالية. وفي نفس العام تمكن الفيزيائي الإنجليزي «أرنست توماس سنتون والتون» من استخدام مولد للثقلونات العالية في تعجيل البروتونات بطاقة تقدر بـ ٧٠٠,٠٠٠ إلكترون فولت (٧٠٠ كيلو إلكترون فولت). هذه البروتونات المعجلة تم قذفها على ذرات الليثيوم بغرض تحويلها إلى ذرات الهليوم.

(مع العلم بأن واحد إلكترون فولت يمثل مقدار الطاقة التي يكتسبها إلكترون واحد عندما يعجل بجهد كهربائي مقداره واحد فولت). وهذه الطاقة تكافئ: ١.٦×١٠^{-١٩} جول.

والمعجلات الحديثة تنتج طاقات عالية تقدر بملايين من الإلكترون فولت أو بلايين من الإلكترون فولت وحتى تصل إلى تريليون من الإلكترون فولت وتكتب بالوحدات MeV، أو GeV، أو TeV.. وهكذا.

وفي عام ١٩٣٢م اخترع الفيزيائي الأمريكي «روبرت ج. فان دي جراف» أول معجل الذي سمه بأسمه تبع ذلك اختراع معجل السيكلوترون بواسطة الفيزيائيان الأمريكيان «أورلاندو لورانس» و«ميلتون ستانلى ليفنجستون».

وفي معجل السيكلوترون يستخدم المجال المغناطيسى فى انحناء مسارات الشحنات الكهربائية وجعلها تسير فى دوائر.

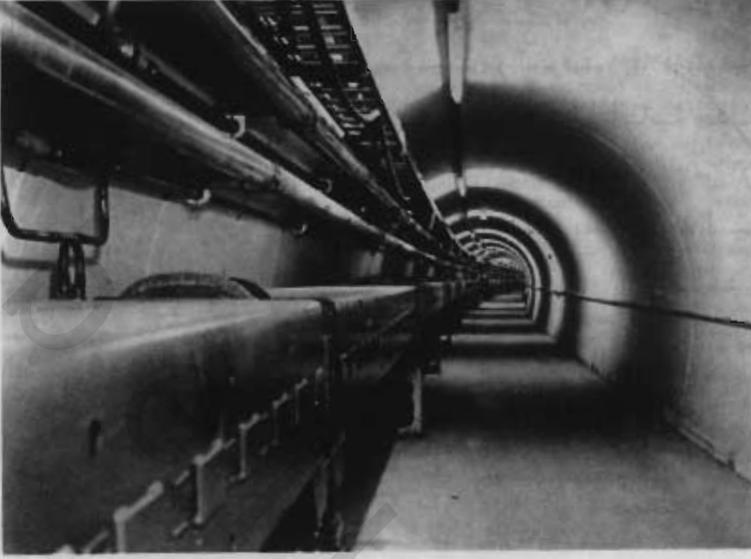
وتكتسب هذه الشحنات بمعدل نصف دورة ركلة كهربية تزيد من طاقتها، وفى النهاية تتراكم هذه الطاقات حتى تصل إلى القيمة العالية المطلوبة. وأمكن تعجيل البروتون بواسطة معجل السيكلوترون بطاقة 10 MeV (عشرة ميغا إلكترون فولت).

وفي الفترة من ١٩٣٩ - ١٩٤٥ م نجح الفيزيائيان الأمريكي «ادولفين ماتيسون ماكميلان» و«السوفيتي «فلاديمير فيكسلير» من تصميم معجل السنكروترون. وبعد انتهاء الحرب العالمية الثانية حدث تطور كبير في مجال صناعة المعجلات التي تستخدم في تعجيل حزم من الإلكترونات أو البروتونات أو الديوتريونات أو الأيونات الثقيلة وأيضاً الأشعة السينية.

على سبيل المثال، المعجل الخطى في مدينة ستانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية يستخدم في تعجيل الإلكترونات لمسافة ٣,٢ كيلومتر لتكتسب طاقة مقدارها ٢٠ جيجا إلكترون فولت (٢٠ × ٩١٠ إلكترون فولت).



معجل أمريكي في مدينة ستانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية



انحناءات مغناطيسية بالمعجل للتحكم في مسار البروتونات .



جهاز تغذية كهربية بالمعجل بقدرة كهربية تقدر بـ ٧٥٠,٠٠٠ فولت ، يستخدم في توليد البروتونات واعطاؤها طاقة معجلة ابتدائية قبل دخولها في المعجل .

والجدير بالذكر أن المعجلات ذوات الطاقة المنخفضة تستخدم في التطبيقات الصناعية وفي الدراسات المعملية الخاصة بتركيب الجسيمات الكونية الأولية. وللحصول على معلومات تفصيلية في هذا الموضوع يجب استخدام مقذوفات نووية ذو طاقة عالية. ولذلك شيدت معجلات كبيرة الحجم. وفي عام ١٩٥٠م أنشئ معجل بطاقة ٣ ميغا إلكترون فولت في المعمل القومي ببروكهافن بولاية نيويورك الأمريكية.

وفي الوقت الحالى يتوفر فى العالم أكبر المعجلات البروتونية بطاقة تقدر بواحد تيرا إلكترون فولت (١ × ١٢١٠ إلكترون فولت)، ويوجد أحد هذه المعجلات العملاقة فى معمل «فيرمى» القومى بالقرب من مدينة بتافيا بولاية الينوى الأمريكية. والمعجل الآخر موجود بالمعمل الأوروبى فى سيرن بمدينة جنيف بسويسرا.

(١) الكاشفات النووية:

توجت لأول مرة عملية رصد وتحليل الجسيمات الأولية بعد معرفة قدرة هذه الجسيمات وتأثيرها الفوتوغرافى للمستحلبات، وكذلك تنشيط المواد الومضية. وصمم الفيزيائى الإنجليزى «شارلز طومسون ريز ويلسون» غرفة السحاب، حيث تتكثف قطرات الماء على الأيونات خلال مرورها فى الغرفة. وبواسطة المجال الكهربى أو المغناطيسى تنحنى مسارات هذه الأيونات التى تعطى معلومات عن مقدار الشحنة وكمية الحركة.

وفى عام ١٩٥٢م، طور الفيزيائى «دونالد آرثر جلاسون» غرفة السحاب تلك ونجح فى تصميم غرفة الفقاعة، حيث استخدام الهيدروجين السائل بدلاً من الهواء. والأيونات المنتجة بواسطة الأجسام السريعة تصبح مركز للغليان، وتترك الفقاعات المتولدة مسارات ملحوظة. وتتميز غرفة الفقاعة بحدوث تفاعلات أخرى لا تحدث فى غرفة السحاب، كما أن الفقاعات تنتشر أسرع من قطرات الماء ويسمح ذلك بحدوث دورات متكررة للأيونات.

وفى عام ١٩٥٠م تم تصميم غرفة الشرارة. وفى هذا الجهاز تستخدم ألواح عديدة متوازية ومحفوظة عند فولتية كهربائية مرتفعة، وفى جو غازى مناسب. وتتم الأيونات الوليدة بين اللوحين محدثة شرارة كهربية خلال الغاز.

والجدير بالذكر أن الفيزيائى الألمانى «هانس جيجر» ابتكر عداد التفريغ الكهربى الذى طوره الفيزيائى الأمريكى «ولتر ميللر»، والآن يسمى هذا العداد «جيجر - ميللر». وفى عام ١٩٤٧م اكتشف الفيزيائى الأمريكى «هارتموت ياول

ب- الكاشفات النووية والأشعة الكونية :

كلمان، وآخرين العداد الوميضي، حيث تستطيع الأيونات عند مرورها خلال بلورات عضوية خاصة أو في السوائل من إنتاج ومضة ضوئية.

(٢) الأشعة الكونية:

في عام ١٩١١م، سبق أن اكتشف الفيزيائي النمساوي الأمريكي «فيكتور فرانز هيس» الأشعة الكونية المتواجدة خارج الغلاف الجوي الأرضي. ووجد أن هذه الأشعة تتكون من شحنات موجبة معظمها بروتونات وبطاقة تتراوح بين ١ جيجا إلكترون فولت إلى ١١٠ جيجا إلكترون فولت (لاحظ مقارنة ذلك بمقدار أعلى طاقة معجلة للبروتون وهي ٣٠ جيجا إلكترون فولت المنتجة بواسطة المعجلات)، وفي عام ١٩٥٩م وبواسطة القمر الصناعي اكتشف الفيزيائي الأمريكي «لقان ألين» أن الأشعة الكونية حبيسة في مدارات حول الأرض وسمى الحزام الإشعاعي بحزام «لقان ألين». كما اكتشف جسيمات ثانوية عديدة تنتج عن تصادم البروتونات النشطة مع نوى غاز النيتروجين أو الأوكسجين. وتنتشر هذه الجسيمات الثانوية خلال الرذاذ الإشعاعي الكوني. وحتى الآن لم يتمكن العلماء من فهم طبيعة الأشعة الكونية البروتونية. إلا أن هناك بعض المعلومات التي تأتي إلينا من الشمس أو النجوم الأخرى ترجح احتمال وجود مجالات كونية شديدة تعمل خلال فترات زمنية طويلة على تعجيل البروتونات في المادة الكونية والتي تتحرك بسرعة في اتجاه الأرض.

(ج) الجسيمات الأولية:

بالإضافة إلى الجسيمات الأولية المعروفة كالإلكترون والبروتون والنيوترون والفوتون توجد أنواع عديدة أخرى من هذه الجسيمات الأولية. ففي عام ١٩٣٢م اكتشف العالم الأمريكي «كارل دافيد أندرسون» ضد الإلكترون الذي سمي بـ«البوزيترون» الذي تنبأ بوجوده الفيزيائي «ديراك» عام ١٩٢٨م. ولاحظ أندرسون تخليق زوج من الإلكترون والبوزيترون عند إيقاف أشعة جاما الكونية بالقرب من نواة ثقيلة. كما أمكن افناء زوج من الإلكترون والبوزيترون عندما يلتقيان ويتولد فوتون من الطاقة الكهرومغناطيسية النقية.

في عام ١٩٣٥م، طور الفيزيائي الياباني «يوكاوا هيدكي» نظرية فيزيائية لشرح تماسك النواة. فبدلاً من التناثر المتبادل لبروتونات النواة فرض «يوكاوا» وجود جسيم وسيط تتراوح كتلته بين قيمة كتلة الإلكترون والبروتون.

اكتشاف الميون



العالم الياباني يوكاوا هيدكى
ولد عام ١٩٠٧م
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٤٧م

وفى عام ١٩٣٦م اكتشف «أندرسون» وشركاؤه جسيم جديد تساوى كتلته ٢٠٧ مرة ضعف كتلة الإلكترون كشعاع كوني ثانوى، ويعرف هذا الجسيم الآن باسم «ميو-ميزون». وفى بادئ الأمر اعتقد «يوكاوا» أن هذا الجسيم يعمل كلاصق نووى، إلا أن الفيزيائى الإنجليزى «سيسل فرنك پاول» وآخرين اكتشفوا جسيم آخر كتلته ٢٧٠ مرة ضعف كتلة الإلكترون يسمى الآن «باى-ميزون» (يمكن الحصول عليه أيضاً من الأشعة الكونية الثانوية). هذا الجسيم يعتبر الحلقة المفقودة فى نظرية «يوكاوا».

وقد ساهمت المعجلات الكبيرة فى اكتشاف جسيمات أولية عديدة، بعضها ثقيل وتسمى هيدروونات وتعمل على ترابط النوى كنتيجة للتفاعلات النووية الشديدة، وتشمل الهيدروونات أنواع أخرى مثل الهيبروونات وميزونات ثقيلة تتراوح كتلتها من ١-٣ ضعف كتلة البروتون، وأيضاً بوزونات حاملة للقوة النووية الضعيفة.

ووجد أن هذه الأجسام الأولية قد تكون متعادلة كهربياً أو مشحونة بشحنة موجبة أو سالبة ومقدار شحنتها لا يتعدى الشحنة الأولية "e". وتحلل هذه الجسيمات الثقيلة إلى أجسام أخرى خفيفة فى فترة زمنية قصيرة تقدر بـ 10^{-14} إلى 10^{-16} ثانية.

والجدير بالذكر أن كل جسيم له ضد له مساو له فى الكتلة ولكنه يصاده فى الشحنة ويحمل بعض من كمية الحركة الدورانية ويتبعون جميعاً قانون البقاء الفيزيائى.

ومن أجل شرح الفشل الظاهري في تحقيق مبدأ البقاء في الطاقة وكمية الحركة فرض الفيزيائي «باولي» عام ١٩٣١م وجود جسيم متعادل كهربائياً ذو كتلة صفرية. هذا الجسيم يحمل طاقة وله كمية حركة (مثل جسيم الفوتون). واستكمل الفيزيائي الأمريكي (إيطالي المولد) «اينريكو فيرمي» هذه الدراسات وبالفعل اكتشف وجود هذا الجسيم الذي يعتبر الحلقة المفقودة وأطلق عليه اسم «النيوترينو»، وهو جسم غير مشحون ومتناهي الصغر، ويمكنه الهروب بسهولة من الأشعة الكونية واختراقه طبقات الأرض الداخلية مع احتمال قوى لأسره واحتوائه.

وفي الفترة بين ١٩٤٠ - ١٩٥٠م أجريت أبحاث عديدة على الأشعة الكونية بفرض اكتشاف أجسام أولية جديدة لم يتوقع بوجودها أحد. هذه الأجسام أطلق عليها اسم «الأجسام الغريبة». وفي عام ١٩٦٥م استخدمت المعجلات الكبيرة في اكتشاف أجسام أولية جديدة، بالإضافة إلى الأجسام الأولية المعروفة الإلكترونيات والبروتونات والنيوترونات والفوتونات... وغيرها.

وقد وجد مؤخراً أن هذه التسمية «أجسام أولية» تكون غير دقيقة، حيث اكتشف أن للبروتون تركيب داخلي معقد. والجدير بالذكر أن مجال فيزياء المواد الأولية يعنى أساساً بالتركيب الداخلي للنوى المختلفة في الذرات، وأيضاً دراسة التفاعلات النووية بين الأجسام الأولية المشتركة في التشكيل النووي.

وفي الوقت الحالى يبذل الفيزيائيون الجهود المضنية لتعلم المبادئ الأساسية في «علم المواد». وفي عام ١٩٦٤م وضع الفيزيائيان الأمريكيان «موراى جيل - مان» و«جورج زوانج» نظرية جديدة تنبأت بوجود أجسام أولية جديدة أطلق عليها اسم «الكواركات» وهى دون جسمية ولها شحنة مقدارها جزء (كسرى) من قيمة الشحنة الأساسية "e". وطبقاً لهذا النظرية لابد وأن يتكون البروتون من عدد ثلاثة كواركات. وحتى الآن لم يشاهد عملياً وجود الكوارك في حالة منفردة. ووجوده مرتبط بتوافر الشروط الأساسية التى توافرت أثناء خلق الكون في الأزمنة السحيقة. وفي عام ١٩٧٤م فرضت النظرية وجود ثلاثة أنواع مختلفة من الكواركات.

(د) نظرية المجال الموحد :

من المعروف أن دراسة التفاعلات بين الأجسام الأولية والكواركات «في حالة وجودها» تعتبر من أصعب البحوث في مجال علوم المواد. ومن أجل فهم لطبيعة هذه التفاعلات وضع العلماء فروض نظرية تعتمد على التناظر بين أى نوعين من الأجسام المتفاعلة وسميت هذه النظرية «نظرية المقياس» "Gauge theory"، على سبيل المثال يؤدي التناظر بين النيوترون والبروتون إلى عدم تغيير القوة النووية

الشديدة بينهما. وأيضاً وجد أن التفاعلات الكهربائية والمغناطيسية للأجسام المشحونة المتفاعلة لا تتأثر بحدوث أى توليفة بين الجهود الكهربائية والمغناطيسية.



صورة تذكارية للمؤلف مع العالم الباكستاني عبدالسلام عام ١٩٧٩م الحاصل على جائزة نوبل فى الفيزياء فى نفس العام.

وفى عام ١٩٦٨م وضع الفيزيائيان الباكستاني «عبدالسلام» والأمريكى «ستيفان وينبرج» فروض نظرية المقياس القوية، وبالتالى تمكنا من دمج التفاعلات النووية الضعيفة مع القوة الكهرومغناطيسية. وقد طبقت هذه النظرية بنجاح على «اللبتونات» ضعيفة التفاعل (وتشمل الإلكترونات والنيوترينوات وميزونات - ميو وضديداتها). ومؤخراً أمكن تطبيق هذه النظرية على الهيدرونات (الأجسام شديدة التفاعل). وعموماً يمكن تطبيق نظرية المقياس على أى مجال للقوة يسمح باتمام التفاعل. أى يمكن جمع القوى المؤثرة على الأجسام المختلفة فى «نظرية المجال الموحد». وحتماً يعتمد ذلك على قواعد التناظر بين الأجسام التى ترتبط بالمعضلة الرياضية المعقدة، مما أثر على وضع مفهوم واضح حول طبيعة تكون المواد. والجدير بالذكر أن العلماء فرضوا وجود ما يسمى «بالتناظر الفائق» الذى يربط مباشرة العلاقة بين الفيرمونات والبوزونات بعضهما بالآخر. والآن لدينا منهج نظرى لمعالجة هذه القضية يعرف باسم «نظرية الوتر»، فى هذه النظرية فرض أن الأجسام الأساسية تتحرك كالأوتار فى بعد واحد طوله لا يتعدى ١٠^{-٣٥} متر. وقد عاجلت هذه النظرية عدداً من قضايا المجال الموحد، وما زال الوضع فى إطار متقدم للتصور النظرى لحقيقة مفهوم القوة الكونية الموحدة.

فى عام ١٩٣١م، اكتشف الفيزيائى الأمريكى «هارولد كلايتون يورى» عنصر الديوتيريم كنظير لعنصر الهيدروجين، ويستخدم الديوتيريم فى إنتاج الماء الثقيل، وهو يتكون من بروتون واحد ونيوترون واحد، ويستخدم كمقدوف نووى فعال

(و) المفاعلات النووية:

لإنتاج التفاعل النووي. وفي عام ١٩٣٣م تمكن الفيزيائيان الفرنسيان (إرين وفريدريك جوليت كوري)، من إنتاج نوى صناعية ذو نشاط اشعاعي. وفي عام ١٩٣٤م أمكن إنتاج النظائر المشعة التي تستخدم في العديد من التطبيقات في المجالات الطبية والبيولوجية والكيميائية، وفي مجال المحافظة على الآثار، وفي العديد من العلوم الأخرى.

وقد حاول الفيزيائي «فيرمي» وآخرون إجراء سلسلة من التجارب بهدف إنتاج عناصر أخرى نتيجة لقذف عنصر اليورانيوم الثقيل بالنيوترونات. وبعد أن كللت جهودهم بالنجاح، تابع العديد من العلماء هذه الجهود مثل الألمانيان «أتوهاهن» و«فريتز ستراسمان» والنمساوي «ليز ميتنار» والإنجليزي «أتو روبرت فريش». وتبين أن نوى اليورانيوم تنقسم إلى جزئين، هذه الظاهرة تسمى «الانشطار النووي». وتصاحب عملية الانشطار تحرير طاقة هائلة وإنتاج بعض النيوترونات، وبذلك يتحقق مبدأ بقاء الكتلة للنوى قبل التفاعل وبعده. هذه النتيجة فرضت إمكانية حدوث تفاعل إنشطاري ذاتي متسلسل.



العالم الإيطالي اينريكو فيرمي (١٩٠١-١٩٥٤م) وسط الصورة حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٨م...
على يمين الصورة العالم ف. بلوك وعلى يسار الصورة العالم ج. أولنبيك.

وفي عام ١٩٤٢م، نجح «فيرمي» ومجموعته البحثية في تشييد أول مفاعل إنشطاري نووي. أدى ذلك إلى إنتاج القنبلة الذرية الأولى عام ١٩٤٥م تحت إشراف الفيزيائي الأمريكي «ج. روبرت أوبنهايمر». وفي عام ١٩٥٦م تم استخدام أول مفاعل نووي في إنجلترا لتوليد الطاقة الكهربائية بقدرة ٧٨ مليون واط.

وبعد النجاح فى دراسة توليد الطاقة فى النجوم، تمكن الفيزيائى الألمانى - الأمريكى «هانس البرشت بيتا» من بيان أن هذه الطاقة تصاحب عمليات الاندماج النووى فى النجم عند درجات حرارة مرتفعة جداً تقدر بملايين الدرجات المتوية . فى هذا التفاعل تندمج أربع نوى من عنصر الهيدروجين لتتحول إلى نواة عنصر الهليوم . وينتج عن ذلك توليد زوج من اليوزيترونات ، وانبعاث كمية هائلة من الطاقة للحفاظ على مبدأ بقاء الكتلة .

وفى عام ١٩٥٢م ، تطورت تكنولوجيا الاندماج النووى واستطاع الفيزيائى المجرى - الأمريكى «ادوارد تيلور» من تصميم القنبلة الهيدروجينية التى تفوق قوتها القنبلة النووية الإنشطارية . والجدير بالذكر أن تفجير القنبلة الهيدروجينية يحتاج إلى تفجير نووى إنشطارى بداخلها لتوليد درجات الحرارة المرتفعة لحدوث الاندماج .

ومنذ ذلك الوقت ، يبذل العلماء الجهود المضنية بحثاً عن طريقة لإنتاج الطاقة النظيفة بدلاً من إنتاج طاقة التدمير . ومن المعروف أن التكنولوجيا النووية الاندماجية أكثر أماناً وأقل خطورة إشعاعية عنها فى حالة المفاعلات النووية الإنشطارية . كما أنها تعتبر مصدراً لا نهائياً للطاقة نظراً لتوافر عنصر الهيدروجين فى المخزون المائى الأرضى الهائل .

والجدير بالذكر أن الباحثين فى جامعة برنستون الأمريكية تمكنوا من إنتاج طاقة نووية إندماجية نظيفة باستخدام مفاعل «توكاماك» . وأمكن إنتاج قدرة كهربية مقدارها ٦, ٥ مليون واط . إلا أن مفاعل توكاماك يعتبر غير اقتصادى كمصدر لتوليد الطاقة الكهربائية ، حيث يستهلك طاقة عالية فى تشغيله تفوق الطاقة المنتجة .

فى المواد الصلبة ، تكون الذرات مترتبة ومتقاربة بعضها لبعض ، مما يؤدي إلى وجود قوة تفاعلية شديدة بينها يكون لها مؤثرات جانبية على خواص المواد لا يمكن مشاهدتها فى الحالة الغازية (حيث تكون الجزيئات متباعدة عن بعضها وتحرك باستقلالية) . مما يكسب المواد الصلبة خصائص ميكانيكية وكهربائية ومغناطيسية وحرارية ، وأيضاً خصائص بصرية مميزة . وحتى الآن ، مازالت دراسة هذه الخصائص بطريقة نظرية صعبة للغاية .

ومن أهم الخصائص المميزة لمعظم المواد الصلبة «التركيب البللورى» ، حيث ترتب الذرات على هيئة مجاميع هندسية منتظمة ومكررة دورياً ، ويتم ذلك تحت

(ز) فيزياء المواد الصلبة :

تأثير قوى مختلفة، على سبيل المثال فى حالة ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) تكون القوة تحت تأثير الرابطة الأيونية، وتنتج عن تجاذب الشحنات بين الأيونات المكونة للمادة. أما فى حالة «الماس» تكون القوة ناتجة عن الرابطة التساهمية، حيث تشارك الإلكترونات بعضها داخل الذرات المكونة للمادة. أما فى حالة المادة الخاملة مثل النيون فإن القوة بين الذرات لاتتبع أى من هذه الروابط لكنها تكون نتيجة مايسمى «بقوة فان دى رفال» حيث سميت باسم الفيزيائى الهولندى «يوهانسن ديدريك فان دى رفال». هذه القوى تتواجد بين الجزيئات المتعادلة كهربائياً كنتيجة للاستقطاب الكهربى. ومن ناحية أخرى يتكون فى المعادن رابطة تسمى «الإلكترون الغازى» أو الإلكترونات الحرة التى تنتقل بين مدارات الذرات الخارجية، وتشارك فى جميع ذرات المعدن مما ينعكس على خصائص المعدن الكهربائية والمغناطيسية والحرارية.

وبينما تتميز الذرات فى الغازات بمناسيب طاقة حدية، تصبح هذه المناسيب الطاقية متسعة كلما تقاربت الذرات مع بعضها فى حالة المادة الصلبة. وتحدد الخصائص الفيزيائية للمادة الصلبة بمدى اتساع الأنطقة الطاقية بها والتواصل بينها. والفواصل بين الأنطقة الطاقية يسمى «النطاق المنوع»، حيث لايمكن أن يتواجد به أى إلكترون، وذلك يضع قيوداً على حركة الإلكترون بين الأنطقة الطاقية. مما يجعل للمادة خصائص عازلة للكهرباء أو للحرارة.

وإذا كان الفاصل بين الأنطقة الطاقية صغير ارتبط ذلك بسهولة حركة الإلكترونات التى يمكنها القفز من نطاق إلى آخر، وتكتسب المادة خاصية التوصيل الكهربى والحرارى. وهناك مواد صلبة شبه موصلة، ويوجد منها نوعان أحدهما يكون من نوع -n وتكون أنطقة الطاقة به منخفضة نتيجة لإضافة بعض الشوائب مثل: إضافة عنصر الأرسنيك إلى مادة السليكون. فى هذه الحالة تصبح المادة مانحة "donor" للإلكترونات. والنوع الآخر يكون من نوع -P كما هو الحال فى مادة الجاليوم. هذا النوع يكون مستقبلاً (acceptor) للإلكترونات، ويحتوى على فراغات «أو ثقوب» تتحرك كشحنة موجبة مميزة للتمثيل الإنشائى للإلكترونى.

والجدير بالذكر أن الفيزيائى الأمريكى «جون بارددين» طور العديد من الأجهزة الحديثة مثل الترانزستورات التى تعتمد أساساً على مواد أشباه الموصلات.

أما الخاصية المغناطيسية فى المواد الصلبة فتنشأ من إمكانية تمثيل الإلكترونات بها كأقطاب مغناطيسية. كما أن اليرم الذاتى للإلكترون حول نفسه يلعب دوراً

كبيراً في الخصائص المغناطيسية للمواد. ومن المعروف أن المواد الكهرومعدنية مثل الحديد والنيكل تفقد المغناطيسية المثبتة العادية بها عند درجة حرارة عالية ومميزة تسمى «درجة حرارة كوري».

كما أن المقاومة الكهربائية للمواد الصلبة عادة تقل مع تقليل درجة الحرارة. وبعض من المواد الصلبة تتميز بخاصية التوصيل الكهربى الفائق، حيث تصبح مقاومتها الكهربائية منخفضة أو شبه معدومة عند درجات حرارة منخفضة جداً. هذه الخواص والظواهر تعتمد على نظرية التكمم، ويمكن وصفها عن طريق جسيمات فعالة مثل «الفوتونات» و«البلورونات» و«المفونات».

اكتشف العلماء أن بعض المواد يكون لها سلوكاً مدهشاً عند درجات الحرارة المنخفضة. وفي بداية القرن العشرين طور الفيزيائي الهولندي «هايك كامرلينجز أوناس» طريقة مبتكرة لبلوغ درجات حرارة منخفضة. كما اكتشف خاصية التوصيل الفائقة لعنصر الزئبق الذى يفقد مقاومته الكهربائية عند درجة حرارة حوالى أربعة درجات مطلقة. والآن، لدينا العديد من العناصر والسبائك والمركبات المختلفة التى تتميز بخاصية التوصيل الفائق عند درجة حرارة صفر مطلق تقريباً.

وتستخدم هذه المواد كموازل مغناطيسية. وفي العقدين السابقين اهتم العديد من العلماء بهذه الظاهرة، حيث طور الفيزيائيون الأمريكيون «جون بارددين» و«ليون كوبر» و«جون روبرت شريفير» طرق نظرية لمعالجة ظاهرة التوصيل الفائق المعقدة التى تتضمن معاناة الإلكترونات فى الشبكة البلورية للمادة والجدير بالذكر أن العلماء قدموا اكتشافات رائعة فى هذا المجال، حيث وجدوا أن الهليوم السائل لا يتجمد عند درجة الحرارة اثنى درجة مطلقة كما كان معروفاً، بل أن السائل الاعتيادى للهليوم I يتحول عند هذه القيمة إلى مائع فائق للهليوم II. ويتميز هذا المائع الفائق بانعدام اللزوجة وقدرته العالية للتوصيل الحرارى التى تقدر بـ ١٠٠٠ مرة ضعف التوصيل الحرارى للفضة. كما أنه يكتسب خاصية التسرب والتغلغل خلال المعادن مثل البلاتينوم. ومازالت الأبحاث جارية حتى الآن لشرح هذه الظاهرة.

البلازما تمثل تواجد المادة (عادة الغازات) فى حالة تأين تام بعد فقد ذراتها إلكترونات أو أكثر. ونظراً لتواجد الإلكترونات الحرة فى الحيز الحجمى للغاز تكون البلازما متعادلة كهربائياً. وتعتمد عملية التأين على مقدار الطاقة الخارجية المؤثرة عن طريق قذف المواد بمقدوفات إلكترونية خارجية أو تشعيعها بضوء الليزر المنتخب أو عن طريق تسخين الغاز عند درجات حرارة مرتفعة. وتتأثر الجسيمات

(ن) فيزياء الحرارة المنخفضة :

(ك) فيزياء البلازما :

البلازمية الأيونية بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية، وبالتالي يمكن التحكم بها ومعالجتها بطرق فيزيائية.

وتتواجد المادة في حالة بلازمية في أنابيب التفريغ الكهربى فى مصادر الضوء التقليدية كمصابيح النيون. كما أنها تتواجد فى الطبيعة فى الطبقات النجمية الداخلية (مثل الشمس) حيث تتوافر درجات الحرارة المرتفعة التى تجعل الهيدروجين (الوقود النجمى) فى حالة تأين تام. هذه العملية تكون ذات الصلة بعملية الاندماج النووى التى تمد النجوم بالطاقة، حيث تندمج نوى الهيدروجين وتحولها إلى نوى عناصر ثقيلة. هذه العملية تحتاج إلى طاقة تكون كافية للتغلب على قوة الطرد الكهربى المتبادل بين النوى الهيدروجينية. ومن أجل إتمام عملية الاندماج النووى المحكم (أو التفاعل النووى الحرارى) يجب توليد البلازما داخل وعاء مغناطيسى. وتعتبر هذه الطريقة معضلة تكنولوجية معقدة مرتبطة بتطور مجال الهيدروديناميكا المغناطيسية.

(ف) فيزياء الليزر:

فى الفترة بين ١٩٥٠ - ١٩٦٠م وبفضل الجهود المضنية التى بذلها العلماء مثل المخترع الأمريكى «جوردن جولد» والفيزيائيون الأمريكيون «شارلز هارديتاونس» و«ت. ه. ميامان» و«أرثر شاولو» و«على جافان» أمكن تطوير تكنولوجيا صناعة الضوضاء المميز الذى أطلق عليه اسم «الليزر». وكلمة ليزر مشتقة من المصطلح الإنجليزي

“LASER” (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

ويعنى باللغة العربية «التضخم الضوئى بواسطة الإنبعاث التحريضى للإشعاع».

وفى أجهزة الليزر تستخدم المواد الفعالة فى حالتها المختلفة الغازية أو السائلة أو الصلبة، حيث تهيج ذرات تلك المواد بعد ضخها بالطاقة اللازمة لتمدد فى مناسب طاقة مرتفعة. وعند عودة هذه الذرات المثيعة إلى مناسب طاقة منخفضة تنبعث عنها أشعة ضوئية يمكن تضخيمها بطرق بصرية. وتتميز أشعة الليزر بأربعة خصائص هى:

- (١) ارتفاع الكثافة الضوئية.
- (٢) قدرة فائقة على التوجيه الضوئى.
- (٣) أحادية الطول الموجى.
- (٤) التوافق الضوئى.

ومصادر الليزر نوعان هما:

(أ) مصادر الليزر ذو الشعاع المستمر بقدرة ضوئية تقدر ببضعة مئات من الواط.

(ب) مصادر الليزر ذو النبضات بقدرة ضوئية تقدر بملايين من الواط وفي فترة قصيرة.

وفي الوقت الحالى، لدينا العديد من أجهزة الليزر التي تستخدم كأداة في البحث العلمى وفي التطور التكنولوجى للعديد من التطبيقات ، وفي شتى المجالات :
الطبية والزراعية والصناعية، وفي مجال الاتصالات والعلوم الأساسية والعسكرية، وفي علوم المواد والطاقة وأبحاث الفضاء.

جدول يوضح مجال الدراسات الفيزيائية

- (١) الفيزياء السمعية : تتعلق بدراسة خواص الصوت .
- (٢) الفيزياء الذرية : تتعلق بدراسة تركيب وخواص الذرة .
- (٣) فيزياء الحرارة المنخفضة : تتعلق بدراسة خواص المواد عند درجات حرارة منخفضة .
- (٤) الفيزياء الكهرومغناطيسية : تتعلق بدراسة المجالات الكهربائية والمغناطيسية والشحنات الكهربائية التي تولد هذه المجالات .
- (٥) فيزياء المواد الأولية : يطلق عليه اسم «فيزياء الطاقة العالية» وتشمل أبحاث الجسيمات الكونية الأولية .
- (٦) فيزياء ديناميكا الموائع : تعنى بدراسة سلوك وحركة السوائل والغازات .
- (٧) الجيوفيزياء : تطبيقات الفيزياء لدراسة سلوك الأرض وتشمل علم المواد والمحيطات وفيزياء الكوراث كالزلازل والبراكين .
- (٨) الفيزياء الرياضية : وصف الظواهر الفيزيائية فى الطبيعة بطرق رياضية .
- (٩) فيزياء ميكانيكية : تتعلق بوصف ومسببات حركة الأجسام المختلفة .
- (١٠) الفيزياء الجزيئية : تتعلق بدراسة التركيب الدقيق والخواص الجزيئية .
- (١١) الفيزياء النووية : تتعلق بدراسة تركيب نوى الذرات والتفاعلات النووية وتطبيقاتها .
- (١٢) الفيزياء البصرية : تتعلق بدراسة إنتشار الضوء .
- (١٣) فيزياء البلازما : تتعلق بدراسة سلوك الأيونات (الشحنات الكهربائية) فى الغازات .
- (١٤) فيزياء الكم : تتعلق بدراسة النظم الصغيرة وتكمم الطاقة وقيود الحركة .
- (١٥) فيزياء الجوامد : تسمى فيزياء المواد الكثيفة، وتعنى بخواص المواد الصلبة .
- (١٦) فيزياء إحصائية : تتعلق بدراسة النظم التى تحتوى على أجسام مختلفة .
- (١٧) فيزياء الديناميكا الحرارية : تتعلق بدراسة الحرارة وتحويل الطاقة من شكل إلى آخر .
- (١٨) فيزياء الليزر : تتعلق بدراسة الأطياف الليزرية للمواد المختلفة فى حالتها البلازمية والغازية والسائلية والصلبة .