القسم الثانى : الفيزياء الحديثة

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

٢ـ١) النظرية النسبية ونظرية الكم

أ) النظرية النسبية:

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 متواجدتين 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 لابد 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 لايوجد 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 هائلا.

والتغيير 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، يؤدى فقد الكتلة بها إلى انبعاث طاقة رهيبة.

والجدير بالذكر أنه في عام ١٩٠٥ صاغ العالم الأمريكي «البرت 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 ـ 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 مضمونة أن الجزئ 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 تساوى $٦,٦٢٥ \times ١٠^{-٢٧}$ أرج ـ 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 الالكتروني منبعث من سطح المعدن يعتمد على كثافة الاشعاع 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 لبلانك. وهذا بالطبع إضافة هامة على ازدواجية طبيعة 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 «رونتجن 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 هولي كمبتون» النظرية الفوتونية للأشعة الكهرومغناطيسية واكتشف ما سمي «بتأثير كمبتون». هذا التأثير يوضح عملية التشتيت الفوتوني، عندما يتصادم فوتون ساقط على الكترون في حالة سكون.

٣.٣) فيزياء الإلكترون والنماذج الذرية

أ) فيزياء الإلكترون:

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

التحليل الكيميائى الكهربائى. وقد أدت التجارب على التوصيل الكهربائى للغازات تحت ضغوط منخفضة الى اكتشاف نوعين من الأشعة هما: أشعة الكاثود التى تأتى من الالكترود السالب فى أنابيب التفريغ الكهربائى، وأشعة القناة التى تأتى من الالكترود الموجب.

وفى عام ١٨٩٥م، تمكن الفيزيائى «جوزيف جون طومسون» من قياس النسبة بين الشحنة "q" وكتلة الجسم الحامل للشحنة "m" للأجسام المنبعثة من سطح المعدن بواسطة الانبعاث الكهروضوئى. هذه الأشعة تتطابق تماماً مع أشعة الكاثود. وفى عام ١٨٨٣م لاحظ المخترع الأمريكى «توماس إلفا أديسون» أن السلك الساخن يولد تياراً كهربياً، وهذه الطريقة سميت «الانبعاث الحرارى»، وفيما بعد أطلق العلماء عليها «تأثير أديسون». وفى عام ١٨٩٩م بين «طومسون» أن هذا النوع من الكهربية يتكون من جسيمات متشابهة فى مقدار الشحنة والكتلة. وفى عام ١٩١١ 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 ـ١,٦٠٢ × ١٠$^{-١٩}$ كولوم من معرفة النسبة بين الشحنة الكلية "q" والكتلة "m" وبمساواة "q" بالشحنة "e". وسمى الجسيم حامل الشحنة "e" بالالكترون، ووجد أن كتلة الالكترون تساوى ٩,١١ × ١٠$^{-٣١}$ كيلوجرام. وأخيراً، بين طومسون وآخرون أن الأشعة الموجبة تتكون من جسيمات تحمل الشحنة "e" ولكنها موجبة. هذه الجسيمات تعرف الآن «بالأيونات الموجبة».

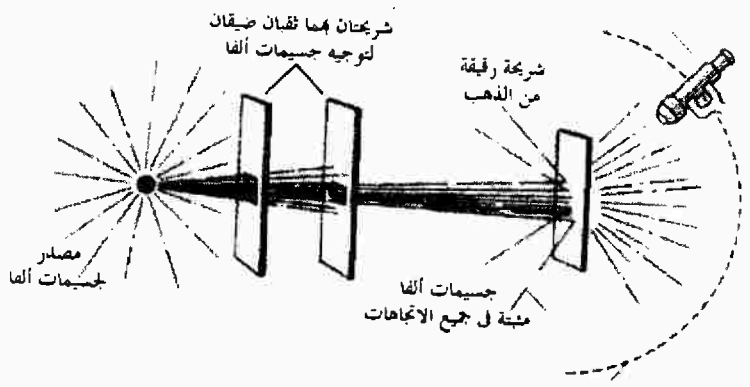
العالم روبرت اندروس ميليكان
(١٨٦٨ ـ ١٩٥٣م)
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٢٣م

هذه الأيونات تنتج بعد إزالة الكترون أو أكثر من الذرة المتعادلة كهربائياً. ووجد أن هذه الأيونات ثقيلة جداً بالمقارنة بكتلة الالكترون، 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 الالكترون سالب الشحنة والبروتون موجب الشحنة.

ب) النماذج الذرية:

في عام ١٩١٣م اكتشف الفيزيائي النيوزلندي «إنجليزي المولد» «أرنست راذرفورد» النشاط الاشعاعي لبعض المواد المشعة. وكان «طومسون» قد وضع في وقت مبكر نموذجاً لتصور الشكل الذري واصفاً إياه كجسم متناهي الصغر ومتعادل كهربائياً. وطبقاً لهذا النموذج تصبح فكرة التوزيع المنتظم للشحنات الكهربية الموجبة والسالبة واهية ولايمكن حدوثها. إلا أن نجاح «راذرفورد» 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 أي تأثير. من هنا وضع «راذرفورد» نموذجاً جديداً للشكل الذري. تتكون الذرة في هذا النموذج من مركز ثقيل يحتوى على شحنة موجبة ويحوم حول هذا المركز وفي مدارات خاصة الإلكترونات سالبة الشحنة. وتستقر الإلكترونات في مداراتها بفعل قوة الجاذبية الكهربائية بينها وبين الشحنات الموجبة في المركز. ويشبه هذا النموذج بـ«النظام الشمسي».

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



جهاز التشتت الذى استعمله راذفورد فى وضع نموذجه الذرى.

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

عند هذه النقطة تعارضت أسس الفيزياء الكلاسيكية مع النماذج الذرية التى تحدد الشكل الذرى للعناصر.

وفيما بعد، فرض الفيزيائى الدانيماركى «نيل هنريك دافيد بوهر» إمكانية تواجد الذرات، بحيث تتحرك الكتروناتها فى 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 وهى نسبة ثابتة = $\frac{22}{2\pi}$). أى أن $J = \frac{nh}{2\pi} = nt$ و $\frac{h}{2\pi} = h$ ، n تمثل العدد الكمى ويأخذ القيم ١، ٢، ٣، .... إلى آخره. وتمكن بوهر من حساب انصاف اقطار المدارات ومناسيب طاقتها المختلفة. وفى عام ١٩١٣م نجح العالمان الأمريكى (ألمانى المولد) «جيمس فرنك» والألمانى «جوستاف هرتز» فى التأييد العملى لنموذج بوهر.

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

الفرق بين مقدار الطاقة فى المنسوب الأعلى وفى المنسوب الأسفل. على سبيل المثال فى طيف ذرة الهيدروجين وعندما يهبط الإلكترون المتهيج فى المدار رقم ٣ إلى المدار رقم ١، فإن الفوتون الناتج يختلف عن الفوتونين المتولدين 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 الذى كان محدوداً خاصة عند تفسير طيف الذرات متعددة الإلكترونات. كما أنه لم يعط أية حسابات لشدة خطوط الطيف وتحديد ألوانها إلا فى حالة ذرة الهيدروجين فقط. ولمحدودية هذا النموذج الذرى فى التنبؤ بالنتائج العملية ظل غير مقنعاً للفيزيائيين النظريين.

٣ـ٤) ميكانيكا الكم والفيزياء النووية

أ) ميكانيكا الكم:

فى الفترة بين ١٩٢٤ ـ ١٩٣٠م اهتم الفيزيائيون بتطوير منهج ديناميكى نظرى للمساعدة فى دراسة سلوك الأجسام دون الذرية. وفى عام ١٩٢٤م فرض الفيزيائيان الفرنسيان «لويس فيكتور» والأمريكى «دى برولى» 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 الموجى لما يسمى موجات المادة يعطى بالعلاقة $\lambda = \frac{h}{P}$ حيث إن ($mv = P$) تمثل كمية الحركة للجسم الذى كتلته m وسرعته v). وموجات المادة تمثل موجات إرشادية عن حركة الجسم.

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

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

وهناك قواعد إضافية ساهمت فى خلق صورة واضحة عن ميكانيكا الكم مثل اكتشاف أن للإلكترون مغناطيسية مستديمة وله كمية حركة دورانية وبرم ذاتى. وقد تبين أن خاصية البرم الذاتى موجودة فى معظم الجسيمات دون الذرية الأخرى. وفى عام ١٩٢٥م وضع الفيزيائى النمساوى «وولفجانج باولى» مبدأ الاستثناء والذى ينص على أنه لايوجد الكترونين بالذرة لهما نفس الأعداد الكمية. ونظراً أن هناك أربعة أعداد كمية لازمة لوصف حالة الإلكترون بالذرة، فإن مبدأ باولى يعتبر حيوياً جداً لفهم التركيب فى العناصر وتصنيفها فى الجدول الدورى.

وفى عام ١٩٢٨م نجح الفيزيائى الإنجليزى «پاول أدريان موريس ديراك» فى تخليق ميكانيكا الكم والنسبية التى إديا إلى التنبؤ بوجود جسيم البوزيترون كضديد للإلكترون له نفس كتلته ولكن يضاده فى الشحنة. وقد جعل «ديراك» ميكانيكا الكم فى أوجها.

العالم پاول أدريان ديرال
ولد فى إنجلترا عام ١٩٠٢م وتوفى عام ١٩٨٤م
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٣م

صورة تذكارية التقطت للمؤلف مع العالم پاول أدريان موريس دياراك
عام ١٩٧٩م

وكنتيجة لأفكار «بوهر» تطورت أفكار إحصائية عديدة أدت إلى تطوير مفاهيم الفيزياء الحديثة. وارتبطت هذه الأفكار بنظرية الاحتمالات التى سادت فى 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.

(جـ) أشعة جاماً : أحد أطياف 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 الإنجليزى «سير جيمس كادويك» النيوترون، وهو جسيم نووى عديم الشحنة وتزيد كتلته قليلاً عن كتلة البروتون ومقدارها ١,٦٧٥ × ١٠$^{-٢٧}$ 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 ٨ (أى أن نواتها تحتوى على ثمانى بروتونات) إلا أن الأكسجين له ثلاثة نظائر مختلفة هى O^{16}، O^{17}، O^{18} تحتوى نوى كل منها على عدد ثمانى وتسع وعشر من النيوترونات على الترتيب.

ونظراً أن الشحنات الكهربية الموجبة تتنافر ويطرد بعضها بعض، فقد توقع العلماء أن نوى الذرات (ماعدا الهيدروجين) التى تحتوى على أكثر من بروتون قد تتناثر إلى أجزاء صغيرة بفعل قوة التنافر الكهربية. 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 ١٩٢٨م، 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 الكترون (جسيم بيتا) وبروتون. ويطرد الإلكترون فوراً خارج النواة بينما يبقى البروتون بها، مما يزيد عدد البروتونات فى النواة الأصلية (النواة الأم) واحداً عن العدد الأصلى 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 الكتل ينطلق على هيئة طاقة.

٣ـ٥) تطور الفيزياء منذ عام ١٩٣٠م

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

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

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

أ) المعجلات:

كانت البحوث الأولية عن خصائص نواة الذرة التى أجراها «راذرفورد» وآخرين محددة بانبعاث الطاقة العالية من العناصر الطبيعية المشعة، بغرض التدقيق فى التركيب الذرى لهذا العناصر.

وفى عام ١٩٣٢م، نجح الفيزيائى الإنجليزى «سير جون دوجلاس كوكروفت» ولأول مرة من إنتاج انبعاث اشعاعى ذو طاقة عالية. وفى نفس العام تمكن الفيزيائى الإنجليزى «أرنست توماس سنتون والتون» من استخدام مولد للفولتات العالية فى تعجيل البروتونات بطاقة تقدر بـ ٧٠٠,٠٠٠ الكترون فولت (٧٠٠ كيلو الكترون فولت). هذه البروتونات المعجلة تم قذفها على ذرات الليثيوم بغرض تحويلها إلى ذرات الهليوم.

(مع العلم بأن واحد الكترون فولت يمثل مقدار الطاقة التى يكتسبها الكترون واحد عندما يعجل بجهد كهربائى مقداره واحد فولت). وهذه الطاقة تكافئ $١,٦ \times ١٠^{-١٩}$ 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.

وفى عام ١٩٣٢م اخترع الفيزيائى الأمريكى «روبرت ج. فان دى جراف» أول معجل الذى سمه بأسمه تبع ذلك اختراع معجل السيكلوترون بواسطة الفيزيائيان الأمريكيان «أورلاندو لورانس» و«ميلتون ستانلى ليفنجستون».

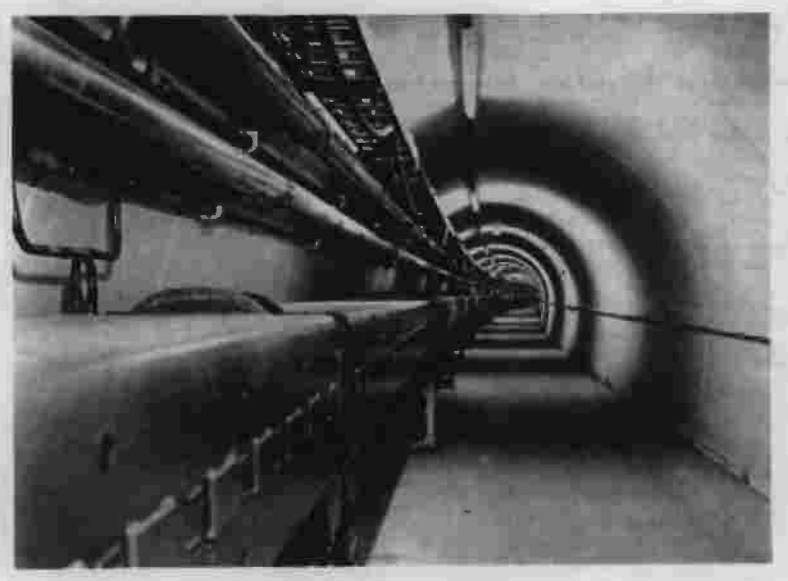
وفى معجل السيكلوترون يستخدم المجال المغناطيسى فى انحناء مسارات الشحنات الكهربية وجعلها تسير فى دوائر.

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 ميجا الكترون فولت).

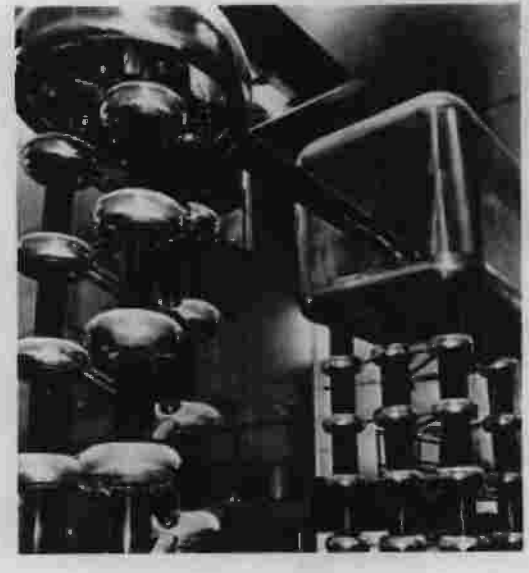
وفى الفترة من ١٩٣٩ ـ ١٩٤٥م نجح الفيزيائيان الأمريكى «ادولين ماتيسون ماكميلان» والسوفيتى «فلاديمير فيكسلير» من تصميم معجل السنكرترون. وبعد انتهاء الحرب العالمية الثانية حدث تطور كبير فى مجال صناعة المعجلات التى تستخدم فى تعجيل حزم من الإلكترونات أو البروتونات أو الديوترينات أو الأيونات الثقيلة وأيضاً الأشعة السينية.

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

معجل أمريكى فى مدينة استانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية



انحناءات مغناطيسية بالمعجل للتحكم فى مسار البروتونات.



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

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

وفى الوقت الحالى يتوفر فى العالم أكبر المعجلات البروتونية بطاقة تقدر بواحد تيرا إلكترون فولت (١×١٠^{١٢} 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.

ب- الكاشفات النووية والأشعة الكونية:

(١) الكاشفات النووية:

توجت لأول مرة عملية رصد وتحليل الجسيمات الأولية بعد معرفة قدرة هذه الجسيمات وتأثيرها الفوتوغرافى للمستحلبات، وكذلك تنشيط المواد الوميضية. 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 أرثر جلاسور» 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 لاتحدث 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. وتمر 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

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 الكترون فولت إلى ١٠ ١١ جيجا الكترون 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 «لڤان ألين» أن الأشعة الكونية حبيسة في مدارات حول الأرض وسمي الحزام الاشعاعي بحزام «لڤان ألين». كما اكتشف جسيمات ثانوية عديدة تنتج عن تصادم البروتونات النشطة مع نوى غاز النيتروجين أو الأوكسجين. وتنتشر هذه الجسيمات الثانوية خلال الرذاذ الاشعاعي 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 مسرعة 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» ضديد 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 واليوزيترون عندما يلتقيان ويتولد فوتون من الطاقة الكهرومغناطيسية النقية.

اكتشاف الميون

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

العالم اليابانى 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 كونى ثانوى، ويعرف هذا الجسيم الآن باسم «ميو ـ 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 ـ 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 هيدرونات وتعمل على ترابط النوى كنتيجة للتفاعلات النووية الشديدة، وتشمل الهيدرونات أنواع أخرى مثل الهيبرونات وميزونات ثقيلة تتراوح كتلتها من ١ ـ 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 لايتعدى الشحنة الأولية "e". وتتحلل هذه الجسيمات الثقيلة إلى أجسام أخرى خفيفة فى فترة زمنية قصيرة تقدر بـ $١٠^{-٨}$ إلى $١٠^{-١٤}$ ثانية.

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

ومن أجل شرح الفشل الظاهرى فى تحقيق مبدأ البقاء فى الطاقة وكمية الحركة فرض الفيزيائى «باولى» عام ١٩٣١م وجود جسيم متعادل كهربائياً ذو كتلة صفرية. هذا الجسم يحمل طاقة وله كمية حركة (مثل جسيم الفوتون). واستكمل الفيزيائى الأمريكى (إيطالى المولد) «اينريكو فيرمى» هذه الدراسات وبالفعل اكتشف وجود هذا الجسيم الذى يعتبر الحلقة المفقودة وأطلق عليه اسم «النيوترينو»، وهو جسم غير مشحون ومتناهى الصغر، ويمكنه الهروب بسهولة من الأشعة الكونية واختراقه طبقات الأرض الداخلية مع احتمال قوى لأسره واحتوائه.

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

وقد وجد مؤخراً أن هذه التسمية «أجسام أولية» تكون غير دقيقة، حيث اكتشف أن للبروتون تركيب داخلى معقد. والجدير بالذكر أن مجال فيزياء المواد الأولية يعتنى أساساً بالتركيب الداخلى للنوى المختلفة فى الذرات، وأيضاً دراسة التفاعلات النووية بين الأجسام الأولية المشتركة فى التشكيل النووى.

وفى الوقت الحالى يبذل الفيزيائيون الجهود المضنية لتعلم المبادئ الأساسية فى «علم المواد». وفى عام ١٩٦٤م وضع الفيزيائيان الأمريكيان «موراى چيل ـ مان» و«جورج زوايج» 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 فى حالة منفردة. ووجوده مرتبط بتوافر الشروط الأساسية التى توافرت أثناء خلق الكون فى الأزمنة السحيقة. وفى عام ١٩٧٤م فرضت النظرية وجود ثلاثة أنواع مختلفة من الكواركات.

(د) نظرية المجال الموحد: من المعروف أن دراسة التفاعلات بين الأجسام الأولية والكواركات «فى حالة وجودها» تعتبر من أصعب البحوث فى 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 يؤدى التناظر بين النيوترون والبروتون إلى عدم تغيير القوة النووية

الشديدة بينهما. وأيضاً وجد أن التفاعلات الكهربية والمغناطيسية للأجسام المشحونة المتفاعلة لاتتأثر بحدوث أى توليفة بين الجهود الكهربية والمغناطيسية.

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

وفى عام ١٩٦٨م وضع الفيزيائيان الباكستانى «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 ـ 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 لايتعدى $١٠^{-٣٥}$ متر. وقد عالجت هذه النظرية عدداً من قضايا المجال الموحد، ومازال الوضع فى إطار متقدم للتصور النظرى لحقيقة مفهوم القوة الكونية الموحدة.

(و) المفاعلات النووية:

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 كمقذوف نووى فعال

لإنتاج التفاعل النووى. وفى عام ١٩٣٣م تمكن الفيزيائيان الفرنسيان «إرين وفريدريك جوليت كورى» من إنتاج نوى صناعية ذو نشاط اشعاعى. وفى عام ١٩٣٤م أمكن إنتاج النظائر المشعة التى تستخدم فى العديد من التطبيقات فى المجالات الطبية والبيولوجية والكيميائية، وفى مجال المحافظة على الآثار، وفى العديد من العلوم الأخرى.

وقد حاول الفيزيائى «فيرمى» 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«فريتزستراسمان»، والنمساوى «ليزميتنار» والإنجليزى «أتو روبرت فريش». وتبين أن نوى اليورانيوم تنقسم إلى جزئين، هذه الظاهرة تسمى «الإنشطار النووى». وتصاحب عملية الإنشطار تحرير طاقة هائلة وإنتاج بعض النيوترونات، وبذلك يتحقق مبدأ بقاء الكتلة للنوى قبل التفاعل وبعده. هذه النتيجة فرضت إمكانية حدوث تفاعل إنشطارى ذاتى متسلسل.

العالم الإيطالى انريكو فيرمى (١٩٠١ ١٩٥٤م) وسط الصورة حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٨م..
على يمين الصورة العالم ف. بلوك وعلى يسار الصورة العالم ج. أولنبيك.

وفى عام ١٩٤٢م، نجح «فيرمى» ومجموعته البحثية فى تشييد أول مفاعل إنشطارى نووى. أدى ذلك إلى إنتاج القنبلة الذرية الأولى عام ١٩٤٥م تحت إشراف الفيزيائى الأمريكى «ج. روبرت أوبنهيمر». وفى عام ١٩٥٦م تم استخدام أول مفاعل نووى فى إنجلترا لتوليد الطاقة الكهربية 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 الإندماج النووى فى النجم عند درجات حرارة مرتفعة جداً تقدر بملايين الدرجات المئوية. 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 الإندماج 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 الإندماج.

ومنذ ذلك الوقت، يبذل العلماء الجهود المضنية بحثاً عن طريقة لإنتاج الطاقة النظيفة بدلاً من إنتاج طاقة التدمير. ومن المعروف أن التكنولوجيا النووية الإندماجية 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 ٥,٦ مليون واط. إلا أن مفاعل توكاماك يعتبر غير اقتصادى كمصدر لتوليد الطاقة الكهربية، حيث يستهلك طاقة عالية فى تشغيله تفوق الطاقة المنتجة.

(ز) فيزياء المواد الصلبة:

فى المواد الصلبة، تكون الذرات مترتبة ومتقاربة بعضها لبعض، مما يؤدى إلى وجود قوة تفاعلية شديدة بينها يكون لها مؤثرات جانبية على خواص المواد لا يمكن مشاهدتها فى الحالة الغازية (حيث تكون الجزيئات مبتاعدة عن بعضها وتتحرك 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

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 رڤال» 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 الكهربية والمغناطيسية والحرارية.

وبينما تتميز الذرات فى الغازات بمناسيب طاقة حدية، تصبح هذه المناسيب الطاقية متسعة كلما تقاربت الذرات مع بعضها فى حالة المادة الصلبة. وتتحدد الخصائص الفيزيائية للمادة الصلبة بمدى اتساع الأنطقة الطاقية بها والتواصل بينها. والفاصل بين الأنطقة الطاقية يسمى «النطاق الممنوع»، 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 ـ 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 ـ P كما هو الحال فى مادة الجاليوم. هذا النوع يكون مستقبلاً (acceptor) للإلكترونات، ويحتوى على فراغات «أو ثقوب» تتحرك كشحنة موجبة مميزة للتمثيل الإنشائى الإلكترونى.

والجدير بالذكر أن الفيزيائى الأمريكى «جون باردين» 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 فى الخصائص المغناطيسية للمواد. ومن المعروف أن المواد الكهروحديدية مثل الحديد والنيكل تفقد المغناطيسية المثبتة العادية بها عند درجة حرارة عالية ومميزة تسمى «درجة حرارة كورى».

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

(ن) فيزياء الحرارة المنخفضة:

اكتشف العلماء أن بعض المواد يكون لها سلوكا مدهشاً عند درجات الحرارة المنخفضة. وفى بداية القرن العشرين طور الفيزيائى الهولندى «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 كعوازل مغناطيسية. وفى العقدين السابقين اهتم العديد من العلماء بهذه الظاهرة، حيث طور الفيزيائيون الأمريكيون «جون باردين» و«ليون كوبر» و«جون روبرت شريفر» طرق نظرية لمعالجة ظاهرة التوصل الفائق المعقدة التى تتضمن معاناة الإلكترونات فى الشبيكة البلورية للمادة والجدير بالذكر أن العلماء قدموا اكتشافات رائعة فى هذا المجال، حيث وجدوا أن الهليوم السائل لايتجمد عند درجة الحرارة اثنين 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 البلاتنيوم. ومازالت الأبحاث جارية حتى الآن لشرح هذه الظاهرة.

(ك) فيزياء البلازما:

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

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

وتتواجد المادة فى حالة بلازمية فى 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 الإندماج 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 الإندماج 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 هاردتاونس» و«ت. هـ. ميامان» و«أرثر شاولو» و«على جافان» أمكن تطوير تكنولوجيا صناعة الضوء المميز الذى أطلق عليه اسم «الليزر». وكلمة ليزر مشتقة من المصطلح الإنجليزى

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) "LASER"

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

وفى أجهزة الليزر تستخدم المواد الفعالة فى حالتها المختلفة الغازية أو السائلة أو الصلبة، حيث تتهيج ذرات تلك المواد بعد ضخها بالطاقة اللازمة لتتمدد فى مناسيب طاقية مرتفعة. وعند عودة هذه الذرات المتهيجة إلى مناسيب طاقية 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 وفى فترة قصيرة.

وفى الوقت الحالى، لدينا العديد من أجهزة الليزر التى تستخدم كأداة فى البحث العلمى وفى التطور التكنولوجى للعديد من التطبيقات ، وفى شتى المجالات : الطبية والزراعية والصناعية، وفى مجال الاتصالات والعلوم الأساسية والعسكرية، وفى 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 الكهربية والمغناطيسية والشحنات الكهربية التى تولد هذه المجالات.

(٥) **فيزياء المواد الأولية** : يطلق عليه اسم «فيزياء الطاقة العالية» وتشمل أبحاث الجسيمات الكونية الأولية.

(٦) **فيزياء ديناميكا الموائع** : تعتنى 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 الكهربية) فى الغازات.

(١٤) **فيزياء الكم** : تتعلق بدراسة النظم الصغيرة وتكمم الطاقة وقيود الحركة.

(١٥) **فيزياء الجوامد** : تسمى فيزياء المواد الكثيفة، وتعتنى 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.