الفصل الأول

نشأة المادة والكون

عندما نتناول موضوع نشأة المادة والكون يخطر على بالنا العديد من التساؤلات من أهمها ما هو مركز وتاريخ الكون ؟ وكم يبلغ عمر الكون حتى الآن ؟ وهل للكون بداية وبالتالى يصبح له نهاية ؟ وهل للكون حدود ؟ أم أنه غير محدد وبالتالى فهو وجد منذ الأزل هكذا ؟ وما هو مستقبل الكون ؟

دعنا بداية نجيب على التساؤل عن عمر الكون. هناك من علماء الطبيعة من مدرسة داروين يجعلوننا نعتقد أن الكون وجد هكذا دائماً، وأن السبيل الوحيد لمعرفة حقيقة الكون هو اكتشاف كيفية تواجد المادة. هؤلاء المؤمنون بنظرية التطور يمكنهم فرضاً شرح جميع الظواهر خلال هذا الكون، وكما قال العالم «كارل ساجان» فى هذا الموضوع «أن كل شيء قد

حدث وما سوف يحدث هو أصلاً مرتبط بوجود المادة».

وحتى الآن، لم يستطع العلماء تحديد تاريخ بداية الكون؟ والمحاولات المتاحة حالياً لتحديد عمر الكون يعتمد أساساً على تقدير الإنسان لعمر الأرض . بالفعل هناك رغبة شديدة لدى الإنسان لمعرفة كم يبلغ عمر الكون. وهناك تناقض بين التقدير المبنى على التفسير الحرفى كما جاء فى سفر التكوين الذى يقدر عمر الكون بحوالى ٦٠٠٠ عام والتقدير الأولى الحالى عن عمر الأرض الذى قدر بين ١٠ إلى ٢٠ بليون عام.

وهناك حقائق فى القواعد الحديثة لعلم الفلك تدعم بشدة أن الكون محدد، وبالتالى يكون له بداية ونهاية ! وخلال القرن العشرين وضع الفلكيون الصيغ الرياضية للنظريات الكونية وهى:

(أ) نظرية الانفجار العظيم للكون.

(ب) نظرية وضع الاستقرار الكونى.

(جـ) نظرية تذبذب الكون.

(أ) نظرية الانفجار العظيم :

تفرض هذه النظرية على أن الكون بدأ بانفجار هائل نتج عن ذلك إرسال جسيمات المادة فى جميع الاتجاهات. وكما نرى فى تكوين الشموس والكواكب والمجرات، وجميعها ينتقل بعيداً بعيداً فى الفضاء، وبالتالى فإن الكون يتمدد لا نهائياً. ويؤمن علماء الفيزياء الفلكية، بأن ٩٩,٩٧ ٪ من جميع المواد فى الكون قد تواجدت فجأة فى أقل من جزء من الثانية. هذه اللحظة تعرف «بحادثة خلق الانفجار العظيم». وإن جميع المجرات لا يمكن أن تعود مرة أخرى إلى مركز نشأتها الافتراضى ، وبناءً على ذلك ، تعتبر لحظة الانفجار العظيم هى نقطة بداية الكون وجميع المواد والطاقة وخلق كون الفراغ والزمن.

ويدعم العالم هذه النظرية، التى وضع فروضها عالم الرياضيات الروسى «الكسندر فريدمان» عام ١٩٢٢ م، حيث تنبأ بتمدد الكون. وبعد ثمانى سنوات أثبت العالم الإنجليزى «أدوين هابل» صحة هذا التنبؤ بواسطة الحيود الضوئى فى المدى الطيفى للضوء الأحمر. بعد ذلك دعم العالمان الإنجليزيان

هوكنج وبنروز عام ١٩٦٨ م فكرة تمدد الكون من خلال نظريات الإنفرادية. هذه النظريات أدت من خلال انعكاس الزمن إلى اختزال الكون عند نقطة البداية عند الزمن فى الماضى السحيق. وقبل هذه اللحظة كان الكون غير متواجداً ! والجدير بالذكر، أنه فى عام ١٩٦٥ م، نجح الباحثان فى معمل بل الأمريكى «أرنو بنزياس» و«روبرت ويلسون» من اكتشاف خلفية إشعاعية للكون فى المدى الطيفى للموجات الدقيقة، واعتبرت هذه الخلفية الإشعاعية محيا للكون القديم فى حالته الكثيفة جداً وشديدة السخونة. وبالطبع ما زالت هذه المشاهدات تحتاج إلى المزيد من التأكيد.

وفى عام ١٩٨٩ وضعت وكالة ناسا الأمريكية لعلوم الفضاء القمر الاصطناعى «كوب» المصحوب بتلسكوب هابل. وفى إبريل عام ١٩٩٢ استطاع الفلكيون من تحقيق أحد أهم الاكتشافات العظيمة على مر العصور. هذا الاكتشاف العظيم جاء مؤيداً لنظرية الانفجار العظيم من خلال : **أولاً** : تأكيد تمدد المجرات فى الكون وابتعادها عن بعضها البعض . **وثانياً** : تأكيد وجود الخلفية الإشعاعية الكونية فى المدى الطيفى

للموجات الدقيقة. هذا الإشعاع هو ما تبقى من لحظة خلق الانفجار العظيم. إن نظرية الانفجار العظيم لم تشرح نشأة المادة والسبب الذى أدى إلى نشأة الانفجار. لقد بين العالم الفيزيائى «آلان جوث» أن الانتروبى (مقياس درجة الفوضى فى علم الديناميكا الحرارية) تفرض أن قدرة الطاقة لبذل شغل قد تقل كل دورة تذبذبية تتابعية. وبناء على هذا الفرض قد يكون الكون قد وصل إلى حالة تسمى «توازن الإلغاء» Nullfying منذ زمن بعيد وأن جميع المواد قد تكتلت وأصبحت فى نقطة متناهية الصغر.

(ب) نظرية العوالم المتعددة للكون :

لقد جاء علماء التطور الطبيعى بنظرية العوالم المتعددة للكون لمناهضة نظرية الانفجار العظيم التى تقر بأن للكون بداية وهذا يتطلب بادئ. أن هذه النظرية تفرض وجود المادة دائماً، والتى صممت لكى تفسر كيف تواجد الكون بطرق طبيعية. ويعتقد هؤلاء العلماء بأن الكون يعيد توليد ذاته. ولذلك فرضوا الملايين والملايين المختلفة من الأكوان أو العوالم، كل منها

يختلف فى وضع النسب الأساسية والثوابت الكونية والتى يؤدى إلى فرصة الارتباط الصريح الذى يؤدى إلى ولادة كون جديد. ومن غرائب هذه النظرية أن هؤلاء العلماء يؤمنون بأن كوننا وحياتنا على هذه الأرض قد حدث بمحض الصدفة، وتعترف هذه النظرية بعدم وجود أى أدلة علمية لتواجد أى من الأكوان الأخرى والتى ترتبط بعالمنا. وتسمح هذه النظرية لكوننا بالتواجد على هذه الهيئة التصميمية بلا أى فروض أو معنى أو ذكاء أنها عملية عشوائية وأن التصميم ينبع من داخل الكون ذاته، هذا الفرض وُضِعَ بوضوح بواسطة العالم «چوليان هوكسلى» وهو حفيد العالم «الدوس هوكسلى» الذى كان شديد الارتباط بالعالم «تشارلز داروين» فقد صرح هوكسلى عام ١٩٥٩م فى احتفالية جامعة شيكاغو بنشر كتاب داروين بعنوان «أصل الأنواع» «أن الكون وجد وسوف يستمر فى الوجود تحت اتجاه الانتخاب الطبيعى لفرصة حدوث عمليات». أن هذه النظرية فى الحقيقة ما هى إلا «قصة الخلق». وفى الحقيقة وحتى الآن، لا يوجد أى تدعيم علمى لهذه النظرية.

مما سبق وطبقا لنظرية الانفجار العظيم فإن الكون بدأ منذ

أربعة عشر ألف مليون سنة بالانفجار العظيم. هذا الانفجار الهائل جعل الكون متواجداً. وقبل الانفجار العظيم لم تتواجد أى قوانين فيزيائية، ولم يوجد الزمن ولم تتواجد الجسيمات. عند البداية تواجدت كمية من الطاقة على شكل إشعاع، حيث أن الجسيمات الأولية قد ولدت من هذه الطاقة الإشعاعية وبعد الانفجار ظهرت الجسيمات الأولية وهى الكواركات واللبتونات. إلا أن الكون الابتدائى سرعان ما تبدل كلما تمدد وبرد. فلم تعد تتواجد الكواركات معزولة ولكنها تجمعت معاً من خلال البروتون والنيوتوون وهايدرونات أخرى تكونت على مدار ١٤ بليون عام.

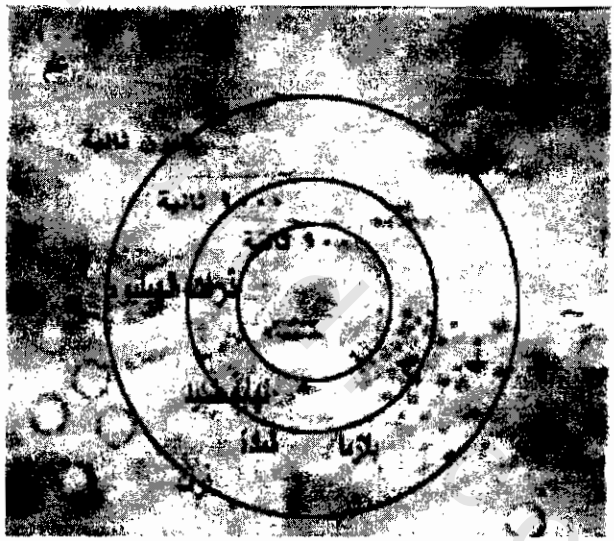
فى اللحظات القليلة التى تقدر ببضعة من النانوثانية (انانوثانية = $١٠^{-٩}$ من الثانية)، كان الكون الابتدائى لا يشبه ما نعرفه اليوم. لقد كان صغيراً للغاية وشديد السخونة، لقد كان الكون فى حجم الذرة أو حتى نواة الذرة ولنا أن نتخيل كيف يكون الكون كله شديد الكثافة وفى هذا الحجم متناهى الصغر. بالطبع لم توجد المادة الاعتيادية بل كان الكون مملوء بجسيمات غريبة مثل الكواركات واللبتونات والبوزونات. لقد صنعت هذه

الجسيمات ما يسمى «بالحساء الأصلى» وكانت درجة حرارة هذا الحساء ما يقرب من عشرة آلاف مليون المليون من الدرجات المئوية، لقد كانت الجسيمات تتحطم وتتداخل مع بعضها بفعل هذه الطاقة الهائلة. وبعد مرور نانوثانية واحدة (أى جزء من ألف مليون جزء من الثانية) بدأ الكون فى التمدد واستمر فى التمدد طيلة ١٤ بليون عام. وكلما تمدد الكون فهو يبرد، حيث أن الجسيمات تفقد طاقة حركتها. وعملية التبريد تسمح بتكوين جسيمات جديدة دون أن تتحطم بفعل الاصطدام بطاقة عالية. وبعد مرور عشرة نانوثانية انخفضت الحرارة ووصلت درجتها إلى مليون المليون من الدرجات المئوية، حينذاك، بدأت البروتونات والنيوترونات فى التكوين. وكانت جميع هذه الجسيمات فى حالة تصادم والعديد من الجسيمات الجديدة وضديداتها بدأت فى التكوين.

نشأة المادة :

شهد الكون تطوراً هاماً بعد مرور ٠,١ من الثانية، عندما بدأت البروتونات والنيوترونات تمتزج معاً لتشكل ذرات الهليوم

ونظيره الديوتيريوم. لقد كانت الحرارة عندئذ مرتفعة وتقدر درجة الحرارة بخمسة آلاف مليون درجة مئوية، ولكن هذا المقدار كان كافياً للسماح بهذه النوى للاستمرار. لقد استمر هذا الاندماج إلى ما بعد خمسمائة ثانية من حدوث الانفجار العظيم. ويستخدم هذا الاندماج الذى حدث فى ذلك لوقت



المادة والكون

لتقدير كميات الهيدروجين والهليوم فى الكون الآن. وعلى الرغم من أن النوى التى تكونت كانت ساخنة ولم تسمح بتكوين الذرات، حيث أن الإلكترونات التى كانت تمسك من النواة سرعان ما تسبح بعيداً. إن الإلكترونات والنوى المشحونة بشحنة موجبة تشكل الغاز ولكنها تكون فى حالة انفصال هذه الجسيمات نطلق عليها اسم (البلازما)، فى هذه الحالة كانت درجة الحرارة كافية للاحتفاظ بتكوين البلازما لمدة ثلاثمائة ألف عام. والجدير بالذكر أن البلازما تمتص الأشعة الكهرومغناطيسية، ونظراً لأن جسمياتها مشحونة، لذلك كان من المستحيل مشاهدة الكون عند هذه اللحظة.

وبعد مرور بضعة مئات من الثوانى الأولى، عادة تتقابل الجسيمات الأولية مع ضديداتها ويتلاشيان معاً ، وتنبعث أشعة كهرومغناطيسية، فى هذه الحالة سوف يتكون الكون من أشعة ولا يحتوى على أى مادة. إذ كيف صنعت المادة فى الكون ؟

من المعروف أن المادة وضديداتها تتكون أساساً من كميات محددة من الجسيمات الأولية وضديداتها، إلا أنه لحسن حظنا،

كانت هناك جسيمات غريبة ذوات طاقة عالية، وكان معدل إنحلالها غير متماثل، وكان ٥٠,٣٥ ٪ منها يتحلل وينتج المادة، بينما ٤٩,٦٥ ٪ ينحل وينتج عنه ضديد المادة. وبناء على ذلك كان هناك اختلاف بسيط بين مقدار المادة وضديداتها وهذا الاختلاف يكفى لتطور الكون. وطبقًا لهذه النظرية فإن نسبة تواجد الإشعاع فى الكون أكبر من نسبة تواجد المادة. هذا الإشعاع قد تواجد بفعل عمليات الإفناء بين المادة وضديداتها. والجدير بالذكر أنه بعد مرور عدة مئات من الثوانى الأولى لم يتواجد فى الطبيعة أى ضديد للجسيمات.

عندما بدأت تتشكل الذرات كان عمر الكون ثلاثمائة ألف عام وكانت درجة حرارة الكون خمسة آلاف درجة مئوية. لقد كانت هذه الدرجة كافية لكى تسمح ببقاء الإلكترونات حول النواة. فى هذه الحالة تواجد عنصرين هما الهيدروچين والهليوم. وما زالا حتى الآن. وحتى ذلك الوقت كانت الجسيمات المشحونة فى البلازما تمتص الأشعة الكهرومغناطيسية، إلا أن تواجد الجسيمات المتعادلة لم تمتص هذه الأشعة، وانتشرت الموجات عبر الكون، حيث يمكن

رصدها الآن على هيئة الخلفية المرجعية الإشعاعية للموجات الدقيقة الكونية. وأن خريطة هذه الأشعة بينت لنا أن الكون الابتدائى كان غير منتظماً، حيث تكونت عناقيد من المادة عملت على تغيير فى شدة الكثافة الإشعاعية.

وعندما كان الكون عند عمر بين مائة مليون وألف مليون عام، بدأ تكوين أول النجوم. وما زالت تتوالد النجوم إلى اليوم (بعد انقضاء ١٤ بليون عام من حدوث الانفجار العظيم). إلا أن هناك ملايين من النجوم قد ماتت منذ حدوث هذا الانفجار العظيم. لقد تبين أن النجوم المحتضرة تحتوى فى تكوينها على عناصر ثقيلة مثل الكربون والحديد. ومثل هذه العناصر تدخل ضمن محتويات الكواكب التى تدور حول النجوم مثل شمسنا.

والجدير بالذكر، أن الذرات بأجسامنا قد صنعت من خلال التفاعل الاندماجى للأفران النووية للنجوم المحتضرة منذ ما يقرب من ثمانى بليون عام مضت. فى هذا الوقت كانت معظم هذه الذرات إما لعنصر الهيدروچين أو لعنصر الهليوم. هذا بالإضافة إلى وجود الكواركات واللبتونات التى كانت فى

حالة غليان بعد حدوث الانفجار العظيم بجزء ضئيل من الثانية. وتعتبر هذه الجسيمات الأولية الأساس للنموذج المثالى لنشأة المادة.

النموذج القياسى :

يعتبر النموذج القياسى هو التصور المقبول لفيزياء الجسيمات. هذا النموذج يصف الجسيمات الأولية والقوى بينها والطريقة التى تتحد بها لتكوين جسيمات أخرى جديدة. وبالرغم أن أسماء تلك الجسيمات يبدو جديداً وغريباً، إلا أن النموذج القياسى يعتبر أبسط النماذج الذى يقول أن المادة العادية لابد أن تكون مصنعة من عائلتين من الجسيمات الأولية هما اللبتونات والكواركات (انظر الجدول ١) وأن المادة تتماسك معاً (أو تنفصل) بفعل تأثير أربعة قوى أساسية (انظر الجدول ٢).

جدول ١ : الجسيمات

العائلة	الجسيم	استشعار القوى
كوارك	أعلى أسفل	جاذبية كهرومغناطيسية شديدة ضعيفة
لبتون	إلكترون نيوترينو	كهرومغناطيسية شديدة ضعيفة

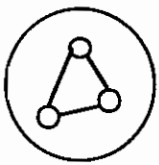
obeikandl.com

جدول ٢ : القوى

القـــــوة	تأثيرها على
الجاذبية	أى شىء له كتلة
كهرومغناطيسية	أى شىء له شحنة
النووية الشديدة	الكواركات والبروتونات والنيوترونات
القوة الضعيفة	جميع الجسيمات الأولية

obeikandl.com

جدول ٣ : الكواركات العلوية والسفلية التى تتحد فى حالة ثلاثية لصنع بروتونات ونيوترونات . اندماجها معاً والتقاط إلكترونات يعمل على تكوين الذرات والتى ترتبط معاً لتكوين الجزئ ، والذى يمكن أن يتشكل على هيئة خلية وخلق الكائنات .

النيكلون	الجسيم	استشعار القوى
البروتون	أعلى أعلى أسفل	
النيوترون	أعلى أسفل أسفل	

عائلة المواد :

تختلف اللبتونات والكواركات فيما بينها بعدة طرق من أهمها ما يلى :

* تتواجد اللبتونات بنفسها بينما تتواجد الكواركات متحدة مع بعضها وتكوين الهايدرونات.
* تشعر الكواركات بالقوة النووية الشديدة، بينما لا تشعر بها اللبتونات.

وعلى الرغم أن المادة الاعتيادية تتكون أساساً من هذه الجسيمات الأولية الأربعة، إلا أن النموذج القياسى تضمن جسيمات أخرى عديدة. وكل عائلة لها أربعة جسيمات إضافية، وكل جسيم مرتبط بضديد الجسيم. فقد تتحد كواركات زائدة مع بعضها البعض ومع ضديد الكواركات لتكوين هايدرونات عديدة جديدة. وبعيداً عن البروتونات والنيوترونات، فإن جميع الهايدرونات تكون غير مستقرة وتنحل خلال واحد بالمائة من الثانية، ولا يتكون أى جزء من المادة الاعتيادية . إلا أن هذه الجسيمات والكواركات تكون على درجة كبيرة من الأهمية للفيزيائيين وذلك للمساعدة فى وضع تصور كامل لإيجاد نظريات توحيد القوى (التى تسمى نظريات كل شىء).

المادة المظلمة :

مما سبق تبين لنا كيف استطاع العلماء فهم العديد من الظواهر الفيزيائية خاصة تلك الاكتشافات العلمية التى حدثت خلال القرنين الماضيين. ففى القرن التاسع عشر كان فهمنا للظاهرة الكهرومغناطيسية رائداً . خاصة ذلك الربط بين الظواهر الكهربية والمغناطيسية وأن الضوء ما هو إلا أحد أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية . وبعد تطور اكتشاف العناصر واستكمال الجدول الدورى فى بداية القرن العشرين فهم العلماء أن العناصر تتكون من ذرات. وهذه الذرات هى أصغر قطعة من المادة الصلبة. ومع اكتشاف الإلكترونات والتى تبين فيما بعد أنها جزء من الذرة، بدأت تظهر صورة جديدة للمادة خاصة بعد بزوغ ميكانيكا الكم. وعزى العلماء اختلاف الخصائص الكيميائية للعناصر لاختلاف الشحنة الكهربية بالذرة. هذه الشحنات الكهربائية هى المسئولة عن توليد الضوء . وفى الوقت الحالى تمكن العلماء بواسطة الأجهزة العلمية الحديثة من اكتشاف المجرات البعيدة وتم اكتشاف والتحقق من وجود ما يسمى «بالمادة المظلمة». ورصد المادة المظلمة يتم بطريقة غير

مباشرة، خلال المشاهدات المرتبطة بتأثير جاذبيتها. ونظراً لأن المادة المظلمة لها كتلة، فإن جاذبيتها تسحب المادة المرئية نحوها. وبالنظر إلى الفضاء الذى يحيط بنا ورصده بأحدث المعدات والأجهزة، يمكن للمرء مشاهدة تأثير جاذبية المادة المظلمة على المادة المرئية. وبهذه الطريقة أمكن مشاهدة التأثير القوى للجاذبية على النجوم البعيدة، وسحب الغاز والسديم والمجرات والأجرام السماوية الأخرى. ولكننا لم نستطع رؤية المادة، التى تنتج كل شىء مؤثر. ويبدو أن القصة الحقيقية للكون تكمن فى المادة المظلمة. عند هذه اللحظة فإن المادة المظلمة يمكن الإشارة إليها بأنها أى مادة ويمكن رصدها بسهولة.

ولتفسير وجود المادة المظلمة، يجب أن نستطيع معرفة كيف تحترق النجوم والثقوب السوداء والثقوب القزمة. وقد بينت الاكتشافات الحديثة أن ٩٠٪ من الكون يتكون من المادة المظلمة ويبدو أنه أكثر استقراراً.

المعجلات :

فى عام ١٩١٠ استطاع العالم «أرتست راذرفورد» من اكتشاف التركيب الذرى بواسطة قذفها بجسيمات ألفا.

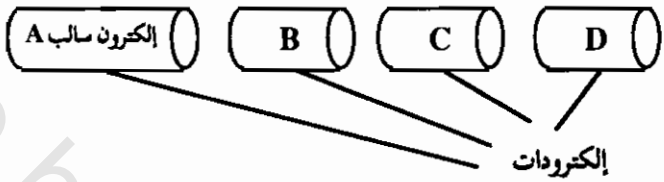
وحالياً، تمكن الفيزيائيون من معرفة التركيب للجسيمات دون الذرية وأيضاً يمكنهم من تخليق جسيمات جديدة وذلك باستخدام معجلات الجسيمات الضخمة، وبواسطة هذه المعجلات يمكن وصف تركيب البروتونات والنيوترونات، خاصة بعد أن طور الفيزيائيون نظرية الكواركات التى تفسر تكوين جميع الجسيمات التى تدخل فى تركيبها، فكيف تعمل هذه المعجلات ؟

يتم تشغيل المعجلات بنفس مبادئ تشغيل أنابيب الشعاع الكاثودى المستخدمة فى أجهزة التلفزيون : وعمل هذه الأنابيب الكاثودية يعتمد على الإلكترونات المشحونة بشحنة سالبة والتى تتنافر مع الإلكترود السالب وتنجذب نحو الإلكترود الموجب. والفولطية بين هذين الإلكترودين (الكاثود والأنود) يكون عادة بصفة آلاف من الفولطات. هذه الفولطية تعطى

طاقة للإلكترون تكون كافية لإحداث وهج صغير وينبعث الوميض من شاشات التلفزيون، وفى الفيزياء نحتاج إلي إلكترونات ذات طاقة عالية، لذا نحن فى حاجة إلى فولطية مرتفعة لدفع الإلكترونات بقوة وزيادة طاقاتهم الحركية. ونظراً أن زيادة الفولطية عن بضعة آلاف من الفولطات يؤدى إلى تحطم الإلكترودات وتتولد الشرارة الكهربية. وبالتالى لا يمكننا زيادة الفولطية مرة واحدة، ولكن يمكن عمل سلسلة من الدفعات الصغيرة لتدبير الفولطية اللازمة. وهذه الطريقة تتبع فى «المعجل الخطى».

قاذفة الإلكترون العملاقة :

فى المعجل الخطى، تمر الإلكترونات عبر سلسلة من الإلكترودات، فإذا رغبنا فى زيادة تسارع الإلكترونات لابد أن تتجه الإلكترونات نحو الالكترود الموجب، ولذلك فإن الفولطية بين الالكترودين لابد أن تتحول كلما مر خلالها الإلكترون (انظر الشكل المرفق).



(١) الإلكترود A يكون سالباً والإلكترود B يكون موجباً، وبالتالى يتسارع الإلكترون نحو اليمين.

(٢) قبل أن يمر الإلكترون فى الإلكترود B، يصبح سالباً أو الإلكترود C يكون موجباً للاحتفاظ بشد الإلكترون إلى اتجاه اليمين.

(٣) تتحول الفولطية للخلف مرة أخرى، حتى يصبح الالكترود D موجباً والإلكترود C سالباً لذلك نرى أن الإلكترون ينجذب نحو اليمين.

وخلال المعجلات الخطية تكون سرعة الإلكترونات متقاربة من سرعة الضوء بمقدار ٣٠٠,٠٠٠ كيلو متر/ ثانية لذلك يجب أن يتم تحويل الفولطية بسرعة جداً. وأن تكون الفولطية ذات تردد عالى يصل إلى بضعة من مئات الكيلو هرتز. ومع ملاحظة إن الإلكترود D يكون أطول من الإلكترود B، فإن

الإلكترونات تنتقل أسرع خلال الفترة التى تعبر فيها إلى هذا الإلكترود.

والجدير بالذكر أن أطول معمل خطى موجود فى ستانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية. ويبلغ طول المعمل حوالى ٣ كيلو متر وله فولطية تسارع مؤثرة تبلغ 30 GV (حوالى ٣٠ جيجا فولت). ولكى نحصل على تسارع أكبر، فهذا يتطلب معجلات أطول كما يحتاج إلى مكان كبير، وبدلاً عن ذلك يمكن استخدام معجل خطى منحنى حول نفسه وهذا النوع من المعجلات يسمى السنكروترون.

وإذا تم قذف الإلكترونات داخل مجال مغناطيسى فإنها تنحرف. ونظراً لأن القوة تأخذ دائماً اتجاه الزاوية القائمة على حركة الإلكترونات، لذا فإنها تتحرك على قوس الدائرة، وإذا غطى المجال المغناطيسى مساحة كبيرة كافية، فإن الإلكترونات تتحرك على مسار دائرة كاملة. ويمكن الآن وضع بعض الإلكترودات التى تعجل الإلكترونات كلما دارت. هذه هى فكرة عمل معجل السنكروترون. والجدير بالذكر، أن معجل السنكرترون يمكن استخدامه فى جميع أنواع الجسيمات. وفى حالة الجسيمات الموجبة مثل البروتونات، يجب تبادل المجال

المغناطيسى والتأكد أن الجسيمات دائماً تترك الإلكترود الموجب. وفى كل مرة تسير البروتونات فى مسار دائرى، فإن الإلكترودات تعطيهم دفعة وتعجلهم، مثل المعجلات الخطية تماماً. والڤولطية لهذه الإلكترودات تكون فى حالة تبادل مستمرة، حيث يترك البروتون الإلكترود الموجب ويتجه نحو الإلكترود السالب. فى هذه الحالة يكون معدل تبادل الڤولطية غير ثابت، كلما زادت سرعة البروتونات، فإنهم يمثلوا فترة قصيرة بين الإلكترودات . لذا لابد أن تتبادل الڤولطية بمعدل أسرع. وأيضاً يجب زيادة المجال المغناطيسى نظراً لأننا نحتاج لقوة أكبر للحفاظ على سرعة الإلكترونات فى نفس المدار. ونظراً لتزامن زيادة تردد تبادل الڤولطية مع زيادة المجال المغناطيسى مع سرعة البروتونات ، من هنا جاءت تسمية هذا النوع من المعجلات بالسنكرترون. والجدير بالذكر أن أكبر سنكرترون موجود حالياً فى المعمل الأوروبى للجسيمات الأولية المعروف باسم «سيرن». هذا المعجل يلتف خلال نفق تحت الحدود بين فرنسا وسويسرا. ويبلغ محيط المعجل ٢٧ كيلو متر ويوفر تسارع ڤولطى بفعالية ١٠٠ جيجا ڤولط (أى مائة ألف مليون ڤولط).