

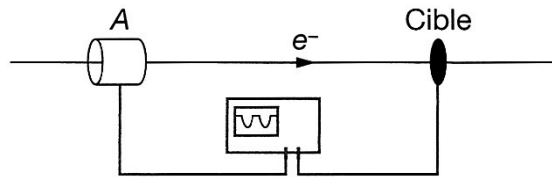
XII-2 Approche documentaire

Questions :

- 1°) Quelle est la vitesse classique correspondant à une énergie de 15MeV dans l'expérience de Bertozzi. Conclure sur le caractère relativiste de l'expérience.
- 2°) A partir de quelle vitesse doit-t-on utiliser la formule relativiste de l'énergie cinétique. A quel facteur de γ cela correspond-t-il ?
- 3°) Quel est le rôle du sélecteur de vitesse dans la deuxième expérience.
- 4°) Quelle est la conséquence de ces nouvelles formules sur le principe fondamental de la dynamique par exemple.

Document 1 : Expression relativiste de l'énergie cinétique

En 1963, l'américain William Bertozzi a réalisé l'expérience pédagogique suivante. Des paquets d'électrons ont été accélérés par une tension U puis envoyés dans un tube de 8,4 m de long avant de percuter une cible en aluminium. Une électrode A (cylindre creux) placée à l'entrée du tube ainsi que la cible C sont reliés à un oscilloscope par des fils de même longueur, ce qui permet de mesurer la durée du trajet, et donc la vitesse des électrons.



Cinq expériences ont été réalisées avec cinq tensions accélératrices différentes. Des mesures calorimétriques concernant l'échauffement du disque d'aluminium ont montré que l'énergie des électrons était conforme à la valeur attendue $\Delta E_c = eU$ à 10 % près, précision usuelle pour des mesures calorimétriques.

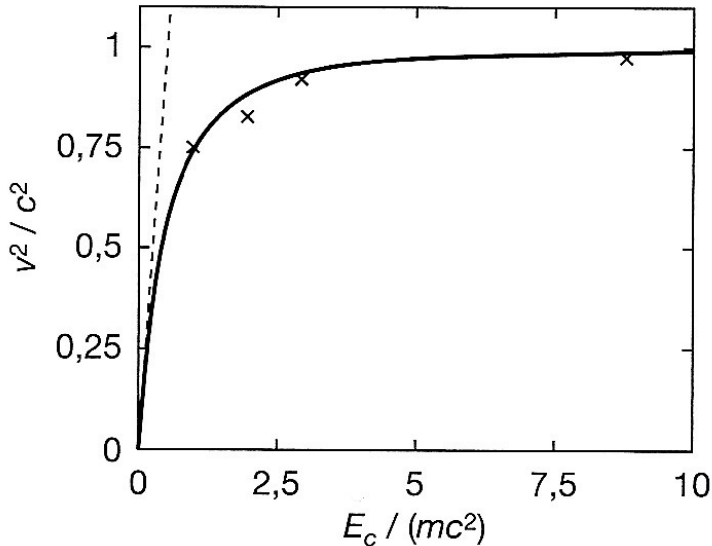
Les résultats des expériences sont indiqués ci-dessous :

$eU (= E_c)$ (MeV)	0,5	1	1,5	4,5	15
v/c	0,867	0,910	0,960	0,987	1,00

Ces données infirment clairement les lois de la mécanique classique.

Les résultats de l'expérience suggèrent une saturation de la vitesse à c , vitesse de la lumière dans le vide. Plus précisément, la figure suivante indique les variations de $\frac{v^2}{c^2}$ en fonction du rapport de l'énergie cinétique E_c , par mc^2

- Pour les points expérimentaux de Bertozzi (croix)
- Pour l'expression newtonienne $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ (ligne en pointillés)
- En utilisant l'expression : $E_c = (\gamma - 1)mc^2$ où $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ (ligne en traits pleins)

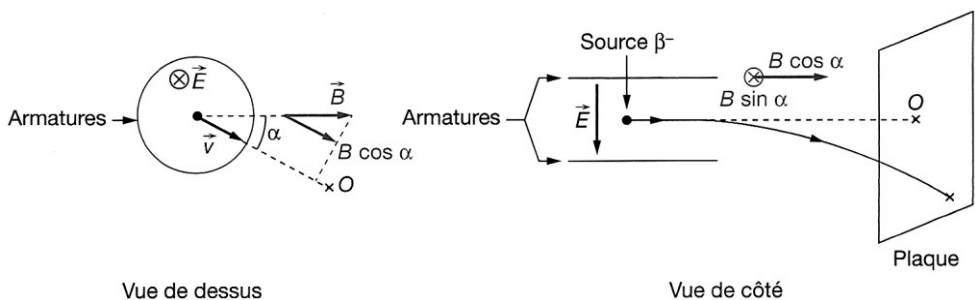


On admet en général que $\beta = \frac{v}{c} = 0,1$ est la valeur limite entre mécanique classique et mécanique relativiste.

Document 2 : Expression relativiste de la quantité de mouvement

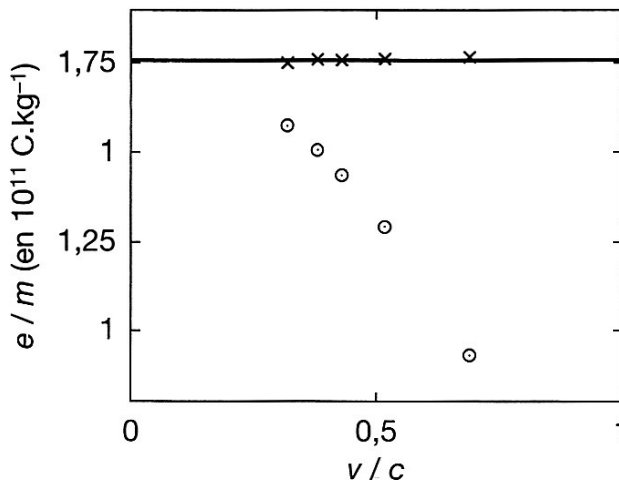
L'expression de l'énergie cinétique d'une particule en fonction de sa vitesse diffère donc de sa détermination newtonienne aux vitesses élevées. Il paraît fort possible qu'il en soit de même de la quantité de mouvement. Alfred Bucherer a mené en 1908 une expérience permettant de valider la formule relativiste $\vec{p} = \gamma m \vec{v}$ de la quantité de mouvement.

Un échantillon de radium (source radioactive β^- , c'est-à-dire émettrice d'électrons) est placé au centre d'un condensateur avec des armatures en forme de disque créant un champ électrique interarmatures uniforme \vec{E} , le tout à l'intérieur d'un solénoïde engendrant un champ magnétique \vec{B} uniforme parallèle aux armatures. Les électrons émis par la source possèdent une large gamme de vitesses, en norme et direction, mais toutefois contenues dans le plan horizontal. Il faut alors réaliser un sélecteur de vitesse.



Les électrons sortant du condensateur dans la direction α sont ceux possédant cette direction initialement et pour lesquels les forces électrique et magnétique se compensent. La connaissance des valeurs des champs et de l'angle α permet de déduire la vitesse v des électrons. Après être sortis du condensateur, les électrons sont soumis uniquement au champ magnétique, et suivent une trajectoire portée par une hélice d'axe le champ magnétique et de rayon $R = \frac{mv}{eB} \sin \alpha$

selon les lois de la mécanique newtonienne (seule la composante de la vitesse perpendiculaire au champ magnétique intervient dans le rayon), où e est la charge élémentaire et m la masse de l'électron. L'électron sort alors du plan de la vue de côté de la figure. En mesurant sa position sur une plaque photographique, il est possible de déduire le rayon R et d'en tirer le rapport e/m à partir des valeurs des champs et de l'angle α . Les résultats de l'expérience sont indiqués sur la figure 30 par des cercles. Le résultat est clairement non compatible avec les lois classiques, le rapport e/m de l'électron semble dépendre de la vitesse. En mécanique relativiste, l'expression donnant le rayon de la trajectoire reste valable, mais en utilisant la quantité de mouvement $p = \gamma m v$ au numérateur au lieu de mv :



Tout se passe donc comme si la masse m était remplacée par le produit γm . Selon cette formule, Bucherer a donc mesuré $\frac{e}{\gamma m}$. En prenant cet aspect en compte, les résultats corrigés sont indiqués par des croix sur la figure. L'expérience privilégie donc la mécanique relativiste par rapport à la mécanique newtonienne. La valeur actuellement admise pour le rapport e/m est indiquée par une ligne horizontale.