

Quelle est la vitesse limite ?

Objectif : exploiter les résultats de l'expérience de Bertozzi (1964)

Document 1 : Texte de la publication de Bertozzi

<http://www.spiff.rit.edu/classes/phys314/lectures/re/mom/bertozzi.html> (texte complet de publication)
(se limiter aux deux premières pages... extraits ci-dessous)

Extrait 1 :

Extrait de l'article publié par W. Bertozzi dans : American Journal of Physics, Volume 32, Issue 7, pp. 551-555 (1964).

« Speed and Kinetic Energy of Relativistic Electrons »

William Bertozzi

*Department of Physics and Laboratory for Nuclear Science,
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts
(Received 6 January 1964)*

“The experiment made use of the electron linear accelerator facility at MIT to provide electrons with kinetic energies between 0.5 and 15 MeV. The speed of the electrons was determined from a measurement of the time required for the electrons to traverse a given distance. The kinetic energy of the electrons determined from the measurement of accelerating electric fields and potentials was also directly measured by calorimetry.”

“... Measuring the time interval between these two signals gives the time required by the electron burst to traverse the 8.4 m length of the drift tube.
This time of flight is determined from the separation of these two signals as displayed on an oscilloscope...”

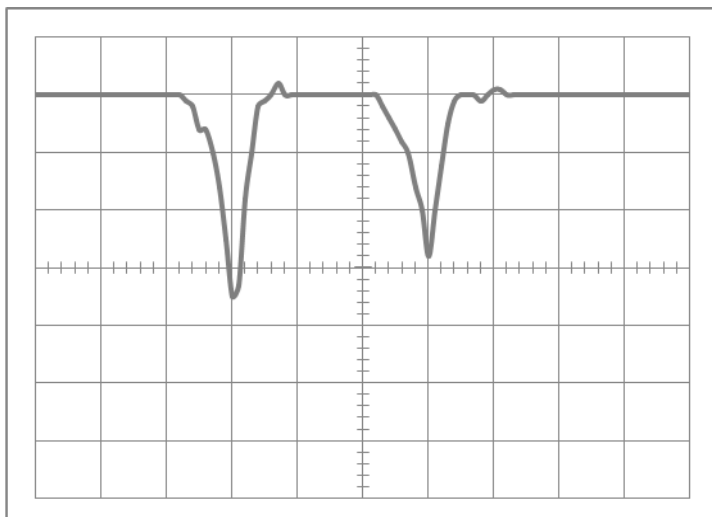
Extrait 2 :

Extrait de l'article publié par W. Bertozzi dans : American Journal of Physics, Volume 32, Issue 7, pp. 551-555 (1964).

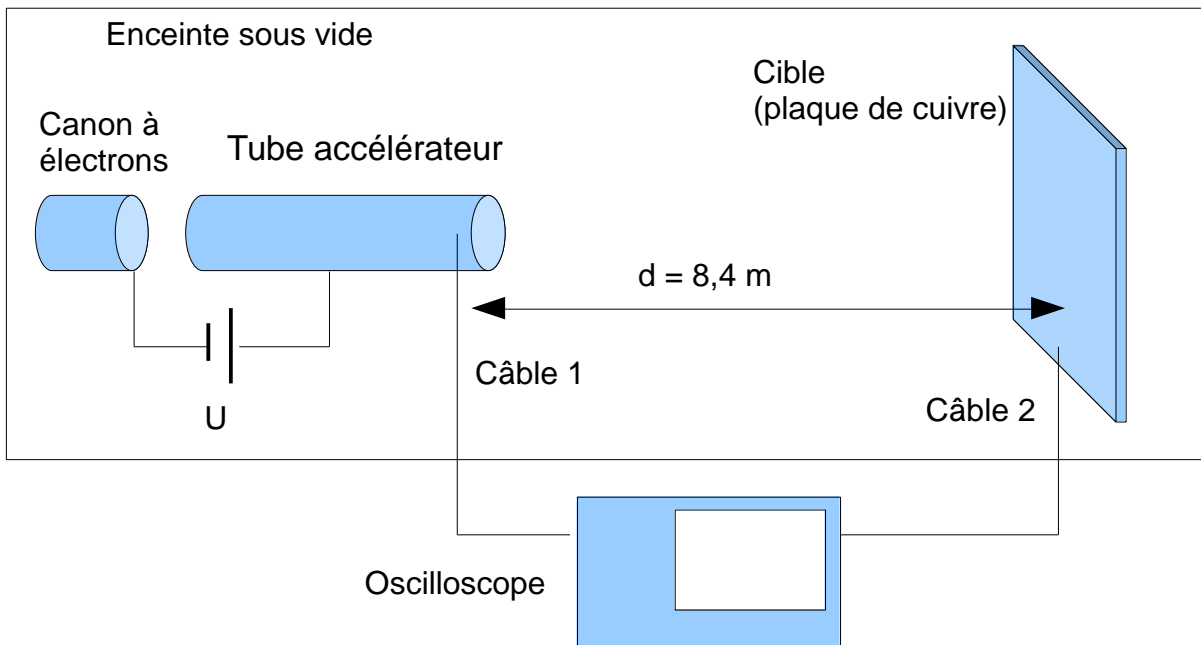
A sample photograph of the face of the oscilloscope is shown for the time-of-flight measurements. Each large division (1cm) on the grid of the oscilloscope face represents $0,98 \times 10^{-8} s$.

The separation between the two signals on the oscilloscope represents the time of flight of the electron burst with an absolute error of less than $7 \times 10^{-10} sec$.

(E = 1,5Mev)



Document 2 : Schéma simplifié du dispositif



Données : pour l'électron $m_e = 9.109\ 382\ 91 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$ charge élémentaire $e = 1.602\ 176\ 565 \cdot 10^{-19}\text{ C}$
 célérité de la lumière $c = 299\ 792\ 458\text{ m s}^{-1}$

Tableau de mesures (issus de la publication de Bertozzi) et à compléter

U /MV	τ / ns	$v_{\text{exp}} / 10^8\text{ m.s}^{-1}$	$v_{\text{class}} / 10^8\text{ m.s}^{-1}$	v_{exp}/c
0,0100	144			
0,0500	67,7			
0,100	51,2			
0,500	32,3			
1,00	30,8			
1,50	29,2			
4,50	28,4			
10,0	28,2			
15,0	28,1			

Questions

- 1) Quelle est la nature du mouvement des électrons dans le tube accélérateur ?
- 2) Quelle est la nature du mouvement des électrons après la sortie du tube accélérateur ?
- 3) En admettant que les électrons quittent le canon à électrons avec une vitesse quasi nulle, préciser la formule de calcul de la vitesse des électrons après la sortie du tube accélérateur, puis compléter les colonnes v_{exp} et v_{exp}/c du tableau (par exemple dans un tableur)

Terminale S

- 4) Etablir la relation entre la tension accélératrice U et la vitesse v_{class} puis compléter la colonne v_{class} du tableau
- 5) Tracer les courbes, $v_m = f(U)$ et $v_{\text{class}} = f(U)$ sur le même graphe

.... puis les courbes $v_m = f(\sqrt{U})$ et $v_p = f(\sqrt{U})$ (sur le même graphe mais un graphe différent du précédent).

- 6) Comparer l'évolution des deux vitesses en fonction de U et montrer l'existence d'une vitesse limite pour les électrons.
- 7) Dans quelle gamme de vitesse peut-on considérer que l'expression classique de l'énergie cinétique est valable ?

On admettra qu'en mécanique relativiste, la relation entre l'énergie cinétique et la tension accélératrice est la même qu'en mécanique classique.

Par contre, en mécanique relativiste, l'énergie cinétique a pour expression :

$$E_K = (\gamma - 1) \cdot m \cdot c^2 \quad \text{avec} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- 8) Montrer que, lorsque $\frac{v}{c} \ll 1$, on retrouve l'expression de la mécanique classique de l'énergie cinétique.
- 9) Montrer qu'en mécanique relativiste, la relation entre v et U est de la forme :

$$v = A \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{(1 + B \cdot U)^2}} \quad \text{et déterminer les expressions de A et B}$$

- 10) En utilisant soit Synchronie, soit Regressi, soit Excel avec l'Outil Solver, modéliser la courbe $v_{\text{exp}}^2 = f(U)$ et vérifier que les valeurs des paramètres A et B correspondent bien aux valeurs issues des expressions de la question précédente.