

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00100531

INSTITUT DE PHYSIQUE NUCLEAIRE DE LA SECTION SIBERIENNE
DE L'ACADEMIE DES SCIENCES D'URSS

Preprint

VANNES RAPIDES POUR INTRODUCTION PAR IMPULSION DE GAZ
DANS LES ENCEINTES A VIDE

par

G.I. Dimov


Novosibirsk - 1967

Traduit au CERN par A. Golovanoff
(Original : russe)

(CERN Trans. 68-8)

Genève
Juin 1968

Dans le cadre des expériences sur l'injection surchargée des protons dans les dispositifs d'accumulation pour les sources ioniques pulsées, les cibles gazeuses et les jets dans le vide, nous avons élaboré une série de vannes rapides à gaz, permettant d'obtenir des flux de gaz par impulsions de 10 μ sec à 2 μ sec.

La vanne expérimentale représentée sur la figure 1 fournit des flux de gaz d'une durée de 500 μ sec à 2 μ sec. L'électro-aimant de la vanne est enfermé dans le corps qui reçoit le gaz sous haute pression. Le noyau de l'électro-aimant, de forme  et l'ancre sont en tôles d'acier de 0,1 mm d'épaisseur. La partie centrale du noyau est recouverte d'un blindage à 3 couches de cuivre, afin de réduire les champs de fuite. Le corps en duralumin de l'ancre sert de soupape et obstrue de son plan inférieur poli, par l'intermédiaire d'un joint de téflon, l'orifice du vide. Le poids de l'ancre est $\sim 1,9$ g; ses dimensions 12 x 12 x 2 mm³. Le rappel de l'ancre s'effectue à l'aide de 4 rondelles de caoutchouc de 2 mm de diamètre et de 1 mm d'épaisseur, fixées sur des épaulements d'angle de l'ancre. Lors du montage de l'ancre, on assure une compression préliminaire de 0,1 + 0,2 mm. L'intervalle entre l'ancre et le noyau de l'électro-aimant s'établit entre 0,15 et 0,5 mm. Pour obtenir une impulsion de gaz, on décharge dans l'enroulement de l'électro-aimant (nombre de spires ~ 300), par l'intermédiaire d'un tyatron commandé, un condensateur de 2 à 10 μ F, chargé par une tension de 200 à 400 V. L'enroulement

est alors traversé par une impulsion de courant à peu près triangulaire, d'une durée de $0,5 \pm 1$ msec et d'une amplitude atteignant 5 a.

La durée de l'impulsion du flux gazeux est réglée par le degré de compression préliminaire de l'ancre et l'intervalle entre l'ancre et le noyau (environ d'un facteur 2) et par la variation de la capacité et de la tension du condensateur d'alimentation (environ d'un facteur 2).

La dépendance entre la durée de l'impulsion et les différents paramètres s'explique par les instabilités d'élasticité des rondelles de caoutchouc; par la dépendance de la force d'attraction de l'ancre, par le noyau, de l'intervalle qui existe entre eux; par la relation entre la loi de temps du mouvement oscillatoire de l'ancre, la durée de l'impulsion de courant qui alimente l'aimant et le temps d'allumage.

La figure 2 représente l'oscillogramme du flux gazeux de la vanne électromagnétique avec une ouverture de $\varnothing 2$ mm.

On obtient des flux gazeux d'une durée de moins de 500 μ sec à l'aide de vannes électrodynamiques. La figure 3 représente une vanne pour une impulsion de gaz de 200 à 500 μ sec. Le corps qui reçoit le gaz à haute pression contient un ressort formé de trois

plaquettes de bronze de 3 mm de largeur et de 0,4 mm d'épaisseur. Le ressort est fixé par ses extrémités à la base métallique du corps, et l'une de ces extrémités est isolée électriquement de cette base. L'intervalle entre le ressort et la base est de 0,2 à 0,3 mm. La longueur utile du ressort est de 60 mm. Au centre du ressort est fixé, à travers l'isolement, un clapet en duralumin à embout en téflon, d'un poids de 75 mg. Le ressort presse le clapet contre l'orifice de vide. Pour ouvrir la vanne, on fait passer dans le ressort une impulsion de courant d'une durée de 200 μ sec, avec une amplitude atteignant 6 kA. La figure 4 représente une vanne analogue, permettant d'obtenir des flux de gaz d'une durée de 15 à 100 μ sec. Le ressort de cette vanne est en acier à ressort d'une largeur de 2 mm, d'une épaisseur de 1 mm et d'une longueur utile de 32 mm. Cette vanne reçoit une impulsion de courant d'une durée de 50 μ sec et d'une intensité maximale de 10 kA. La figure 5 représente les oscillogrammes du flux gazeux, obtenu à l'aide de cette vanne, avec un orifice de dosage d'un diamètre de 0,1 mm pour différentes amplitudes de courant. Dans la variante avec un clapet allongé, représenté sur la figure 4, le corps du clapet est réalisé en invar pour réduire la dilatation thermique. Le poids du clapet dans ce cas est voisin de 0,5 g et approximativement égal au poids du ressort. L'alimentation des vannes électrodynamiques (Figs 3, 4) est assurée par des condensateurs du type MBGO d'une capacité totale de 1600 μ F, sous une tension de 400 V, à l'aide d'un ignitron I-20/1,5, permettant de commuter avec une

fiabilité suffisante des impulsions de courant atteignant 15 kA, d'une durée de 200 μ sec et d'une fréquence atteignant 1 Hz.

La figure 6 représente les vannes électrodynamiques les plus rapides, avec un temps d'ouverture de clapet de 10 à 30 μ sec. Dans cette vanne, le ressort est constitué par une membrane de bronze d'un diamètre de 12 mm, d'une épaisseur de 0,2 mm. La membrane constitue en même temps le clapet. La membrane est fixée sur une base isolée, formée d'une plaquette de cuivre de 3 x 6 mm² comportant un orifice de vide. Pour ouvrir le clapet, on fait passer dans la plaquette de cuivre une impulsion de courant d'une durée de 20 μ sec et d'une amplitude pouvant atteindre 30 kA.

On a observé une ouverture répétée des clapets lors du fonctionnement des vannes électrodynamiques, comme le représente la figure 7. L'ouverture répétée du clapet est réduite par l'augmentation de la compression préliminaire des ressorts. L'expérience a montré que l'on pouvait lutter efficacement contre cette répétition de l'ouverture d'un clapet en utilisant des ressorts à plusieurs lamelles, dans lesquels le frottement entre les plaquettes provoque un amortissement rapide des oscillations du ressort, ou bien en faisant appel à des amortisseurs spéciaux. Les expériences portant sur des vannes munies d'un ressort formé par une barre à une seule lamelle, d'une longueur supérieure à 50 mm, ont révélé la présence de modes d'oscillation supérieurs, dont l'amplitude dépassait le

mode fondamental. L'apparition des modes supérieurs est liée aux inuniformités de la pression électrodynamique le long du ressort, à la présence du clapet au milieu de la lame, aux inégalités de l'échauffement du ressort dans son épaisseur. L'excitation des modes supérieurs était accentuée lorsque la vanne était alimentée par une impulsion de courant d'une durée inférieure à la demi-période des oscillations propres. L'utilisation de ressorts à plusieurs lamelles a permis de même de se débarrasser de ces phénomènes gênants.

La durée de l'impulsion de gaz t est déterminée principalement par la demi-période des oscillations propres du clapet avec le ressort : T . Il est possible et avantageux de faire un clapet beaucoup plus léger que le ressort et sa masse peut être négligée. Pour un ressort à n lames, à extrémités pincées, d'une épaisseur totale c et d'une longueur l , on a :

$$T = 0,484 \frac{nl^2}{c} \sqrt{\frac{\gamma}{E}} \quad (1)$$

où γ est la densité, E est le module de Young.

Pour une membrane rigide à fixation rigide, d'épaisseur c et de diamètre d :

$$T = \frac{d^2}{4c} \sqrt{\frac{\gamma}{E}} \quad (2)$$

Pour une membrane souple, la demi-période T dépend de sa compression préliminaire h_0 et de l'amplitude du déplacement du clapet h :

$$T = \begin{cases} \frac{d^2}{3h} \sqrt{\frac{Y}{E}} & \text{pour } h \gg h_0; \\ \frac{d^2}{6h_0} \sqrt{\frac{Y}{E}} & \text{pour } h \ll h_0. \end{cases} \quad (3)$$

Pour une membrane claquante, la durée totale de claquage est voisine de la demi-période d'oscillation de la membrane rigide. Si le déplacement d'une telle membrane h est sensiblement supérieur au déplacement de claquage h_* , la demi-période de ces oscillations sera :

$$T \approx \frac{1}{3} \frac{d^2}{h-h_*} \sqrt{\frac{Y}{E}} \frac{h}{h-h_*} \quad (4)$$

Pour une barre et une membrane rigides, la durée t dépend aussi de la courbure initiale. Avec une impulsion de courant dans le ressort, d'une durée égale à la demi-période des oscillations propres :

$$\frac{t}{T} \approx \frac{2}{\pi} \arccos \frac{h_0}{h + h_0} \quad (5)$$

Par un choix convenable des dimensions des ressorts, on peut, en principe, obtenir n'importe quelle durée t . Toutefois, la réduction de t entraîne l'augmentation de la densité du courant qui traverse le ressort; son échauffement augmente et le déplacement du clapet, qui est borné par la limite d'élasticité du matériau du ressort, diminue. Le courant qui traverse le ressort est déterminé par la pression qu'il faut exercer :

$$p = \alpha \frac{\gamma_c}{T^2} (\beta h + h_0) \quad (6)$$

Supposons que le déplacement du ressort soit :

$$h + h_0 \leq k T \frac{\sigma}{\sqrt{E}} \quad (7)$$

où σ = limite d'élasticité.

Pour une barre, $\alpha = \pi^2$; $\beta = 0,5$; $k = 0,13$.

pour une membrane rigide ($h_0 + h < C$) $\alpha \approx 5,9$; $\beta = 0,5$; $k \approx 0,23$ (8)

pour une membrane souple ($h_0 + h > C$) pour $h \gg h_0$ $\alpha \approx 6,2$; $\beta = 0,25$; $k = 0,185$

Pour une membrane qui claque pour $h \gg h_*$, les valeurs α , β , k sont voisines des valeurs correspondantes pour une membrane souple. Pour une membrane claquante normale, la grandeur k est beaucoup plus petite que la valeur correspondante pour une membrane souple. Les valeurs des coefficients dynamiques β sont

données dans le cas d'impulsions de pression rectangulaires. La membrane souple est plus avantageuse du point de vue de la pression électrodynamique nécessaire; la membrane rigide est plus avantageuse par le déplacement admissible du ressort. Les matériaux les mieux adaptés pour les ressorts sont l'acier USA ou 65G, le bronze BrB-2 et le duralumin V95 ou DI6T. Pour l'acier, la valeur $\frac{\sigma}{\sqrt{\gamma E}} = 4,15 \cdot 10^3$ cm/sec est maximale et les ressorts d'acier donnent le déplacement maximal du clapet. Les ressorts en duralumin exigent un minimum de courant. Le bronze est voisin de l'acier par la courbure admissible et la pression nécessaire, mais l'échauffement est sensiblement réduit du fait de sa bonne conductivité.

Pour ouvrir le clapet, on envoie un courant dans le ressort ou dans la base du clapet. Le champ magnétique du courant doit être concentré principalement dans l'intervalle entre le ressort et la base. A cet effet, la largeur du ressort ou de la base doit être beaucoup plus grande que l'intervalle, compte tenu des effets de skin; de même, la résistance pour le flux magnétique de retour doit être petite. Le courant nécessaire augmente avec la largeur du ressort ou de la base. La pression électrodynamique sur le ressort est proportionnelle au carré de la densité superficielle de courant. Afin de réduire le courant nécessaire et l'échauffement du ressort, on peut utiliser un champ magnétique extérieur. Dans ce cas, la pression sur le ressort est multipliée par un facteur $1 + 1,6 H/J$, où H est le champ extérieur en oersted, J est la densité superficielle du courant dans le

ressort (a/cm^2). Souvent, dans les conditions expérimentales, il y a un champ magnétique externe. Pour une action plus efficace sur le ressort, la durée du courant qui le traverse doit être égale à la demi-période des oscillations propres du ressort. En diminuant la durée de l'impulsion de courant, on peut réduire à 50 % le temps t ; toutefois, on augmente ainsi l'amplitude nécessaire et l'on accentue l'excitation des modes supérieurs d'oscillation. En augmentant la durée du courant, on augmente quelque peu le temps t , et l'échauffement du ressort est plus important.

L'échauffement du ressort dépend du régime de travail et de la présence du champ magnétique externe. Avec des impulsions discrètes, l'échauffement du ressort est égal à :

$$\theta^{\circ} \cong \alpha \beta \rho \gamma \frac{h}{t} \text{ pour } H = 0 ; \quad \theta^{\circ} \cong \alpha^2 \beta^2 \rho^2 \gamma^2 \frac{h^2}{t^3} \text{ pour } H \gg j. \quad (9)$$

Pour un travail ininterrompu à fréquence élevée

$$\begin{aligned} \text{avec } H = 0 \quad \theta^{\circ} &\cong \beta \rho^2 \sqrt{\gamma E} \frac{h}{n} ; \\ \text{avec } H \gg j \quad \theta^{\circ} &\cong \alpha \beta^2 \rho^2 \gamma \sqrt{\gamma E} \frac{h^2 c}{t^3 n} \end{aligned} \quad (10)$$

(on remplace c par h pour une membrane souple).

Il résulte des relations précédentes que l'échauffement d'une membrane, en particulier si elle est souple, est dans certains cas beaucoup plus petit que celui d'une barre à une seule lame. Pour

un travail ininterrompu, l'échauffement est inversement proportionnel au nombre de lamelles du ressort. Dans certains cas, l'échauffement dépend du rapport de la largeur et de la longueur (diamètre) du ressort. L'échauffement dépend très fortement du matériau du ressort (en régime ininterrompu, l'échauffement de l'acier est de 50 à 100 fois plus grand que celui du bronze et du duralumin).

Au lieu des ressorts métalliques, on peut utiliser pour le rappel du clapet la pression du gaz ^{/3, 5/} et des amortisseurs en caoutchouc ^{/ 4 /}. Dans ces cas, la grandeur $\alpha\beta \sim 10 + 20$. Le déplacement du clapet avec utilisation de la pression du gaz est limité seulement par l'échauffement. En pratique, avec des impulsions discrètes, $h \leq 10^5$ ct. Cette valeur est supérieure d'un ordre de grandeur à celle qui est admissible pour des ressorts métalliques. Toutefois, cet avantage du rappel du clapet par la pression du gaz disparaît lors d'un fonctionnement ininterrompu. Le déplacement admissible du clapet, lorsque l'on utilise des amortisseurs en caoutchouc, est lié à la vitesse du son dans le caoutchouc et ne dépasse pas la valeur $\sim 10^3$ t.

A côté de la rapidité de fonctionnement, la quantité de gaz introduite par impulsion N présente une grande importance. Le flux de gaz est $N \sim \pi a h n_0 V_* t$

où a = diamètre du clapet

n_0 = densité du gaz dans le corps de la vanne

V_* dépend de la nature du gaz et de la température.

(pour l'hydrogène à la température normale $v_* = 0,76 \cdot 10^5$ cm/sec).
On a $h \cong t$, $N \cong t^2$.

Ainsi, la quantité de gaz introduite diminue fortement avec le temps de travail de la vanne. Les grandeurs a et n_0 sont limitées par la force admissible de la pression exercée par le gaz sur le clapet. Comme cette force est proportionnelle à $a^2 n_0$, il est avantageux pour augmenter N d'utiliser une pression élevée de gaz pour l'alimentation de la vanne. Nous avons utilisé un gaz sous 150 atm. Afin de stabiliser le flux de gaz, on peut laisser sortir le gaz par un orifice de dosage sous le clapet d'une section inférieure à $\pi a h$. Alors, la durée d'écoulement du gaz du clapet à travers l'orifice de dosage doit être bien inférieure à la durée du travail de la vanne t . Comme il ressort de l'analyse de travail des vannes électrodynamiques, en plus de la durée d'impulsion, il convient de tenir pour une caractéristique fondamentale de la vanne le rapport $\frac{n}{t^2} \cong \frac{h}{t}$. Pour les vannes électrodynamiques que nous avons décrites, la valeur maximale

$$\frac{N}{t^2} \sim 10^{27} + 10^{28} \frac{\text{mol. H}_2}{\text{sec}^2}$$

En conclusion, l'auteur exprime sa reconnaissance à
P.A. Zhuravlev, mécanicien, pour la réalisation des vannes.

REFERENCES

1. G.I. Budker, G.I. Dimov "Conférence internationale sur les accélérateurs", Dubna 1963. Moscou 993-996 (1964)
2. G.Ya. Umorov, A.K. Alimov, N.F. Overchkin. PTE, 1, 178-179 (1961)
3. E.D. Andryukhina, A.Ya. Safranov, I.S. Shpigel. PTE N° 1, 174-177 (1961)
4. E.T. Kucherenko, A.S. Popovich, PTE N° 5, 165-166 (1963)
5. R.S. Lowder, F.C. Foch. Rev. Sci. Instr. 35, 1236-1238 (1962).

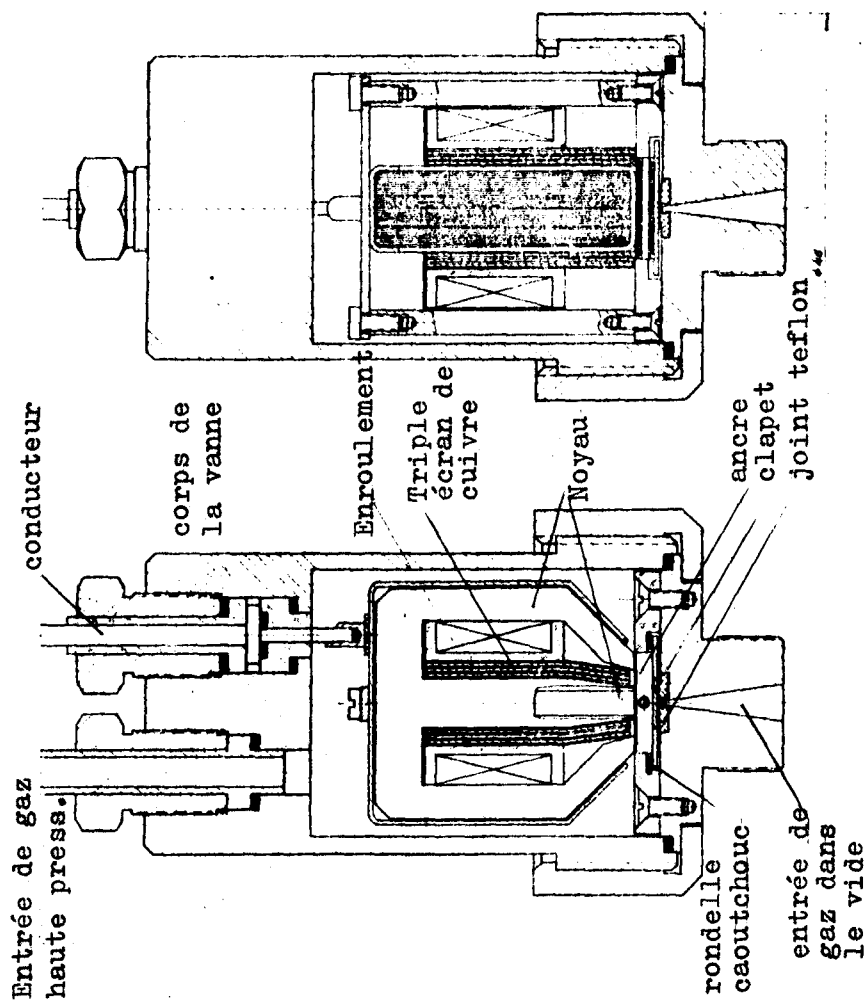


Fig. 1

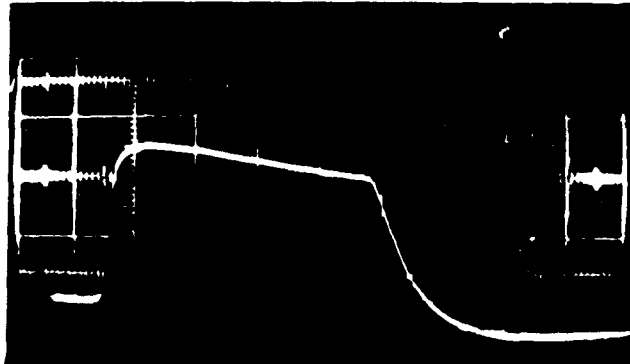


Fig. 2 : Horizontalement 250 μ sec/cm

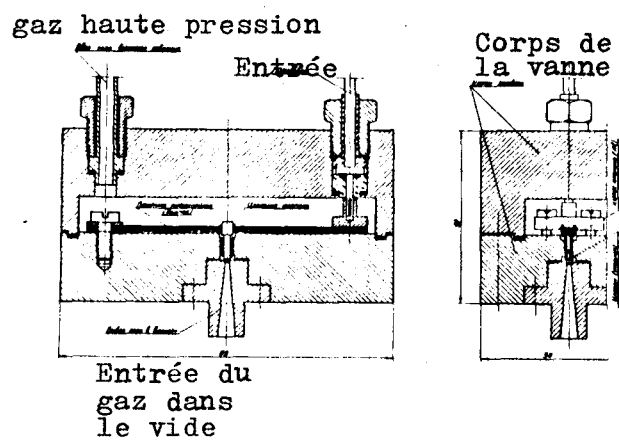


Fig. 3

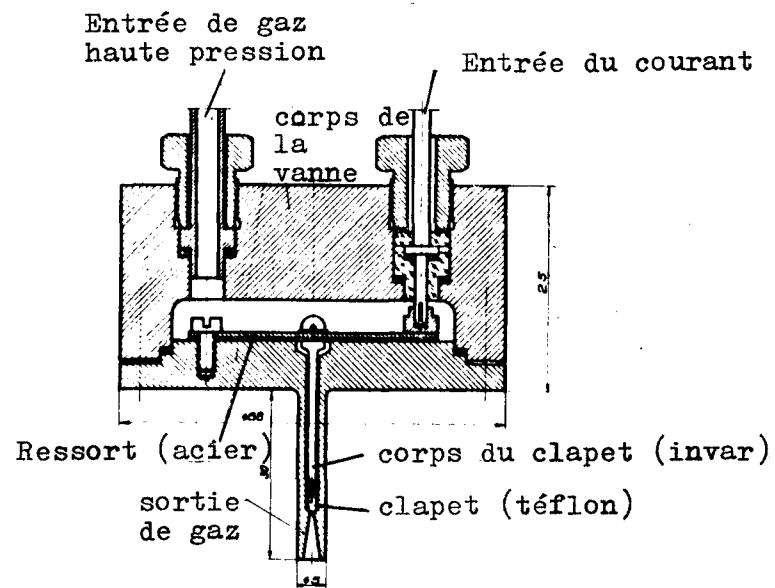


Fig. 4

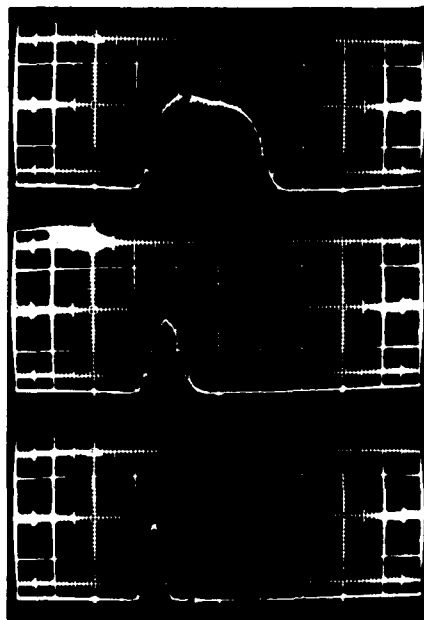


Fig. 5

Horizontalement 20 μ sec/cm

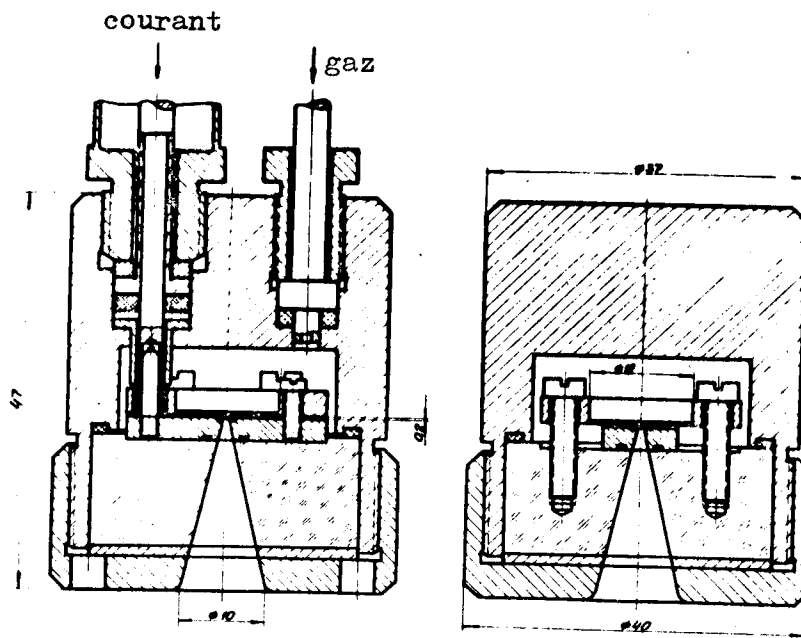


Fig. 6

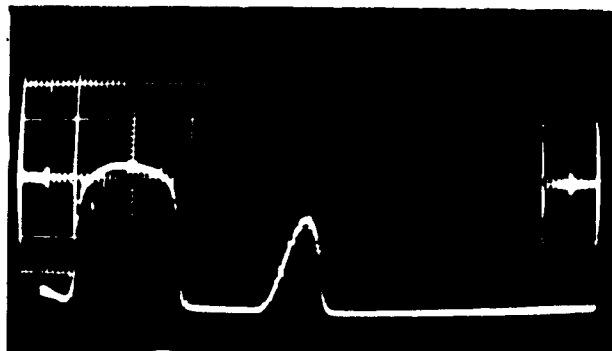


Fig. 7

Horizontalement 250 μ sec/cm