

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 839 808

②1 N° d'enregistrement national : **02 06135**

⑤1 Int Cl⁷ : G 21 B 1/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 17.05.02.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.11.03 Bulletin 03/47.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : BUXEROLLE MICHEL — FR.

⑦2 Inventeur(s) : BUXEROLLE MICHEL.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 **GENERATEUR D'ELECTRICITE PAR FUSION NUCLEAIRE DE DEUTERIUM.**

⑤7 L'invention consiste en un ensemble de chambres d'ionisation à plateaux placé dans une enceinte contenant du deutérium gazeux. Les cathodes sont constituées d'un matériau tel que le palladium, capable d'absorber de grandes quantités de deutérium sous l'effet de l'ionisation apportée par une source extérieure de rayonnement X ou gamma.

Une source extérieure de neutrons de forte énergie amorce des chaînes de réactions de fusion nucléaire dans les cathodes lorsque la concentration en deutérium est suffisante pour donner à leurs dimensions géométriques une taille dite " critique ".

Les chaînes de réactions restent auto-entretenues après le retrait des sources de photons et de neutrons.

L'énergie des particules produites par les réactions nucléaires est recueillie sous forme de charges électriques et de chaleur.

La collection des ions de deutérium assure le maintien d'un taux de charge optimum dans les cathodes.

FR 2 839 808 - A1



Pour l'essentiel, l'objectif de la présente invention revient à produire directement de l'électricité par la fusion nucléaire de deutérium.

Dans ce qui suit, le proton est désigné par la lettre p, le noyau de deutérium ou deutéron par la lettre D, le noyau de tritium par la lettre T, et le noyau d'hélium 4 par la lettre grecque α .

Lorsque des protons sont en mouvement dans un réseau cristallin contenant des quantités importantes de deutérium, il se produit des réactions nucléaires composites, à trois corps initiaux. Deux réactions sont en concurrence :

10 $p + D + D \rightarrow \text{lithium 5} \rightarrow \alpha + p$ et $p \Rightarrow D + D \rightarrow p + T$ dans laquelle le proton déplace le premier deutéron par collision élastique.

Dans la première réaction, le proton joue un rôle essentiel, non seulement comme catalyseur par la formation d'un pseudo-noyau d'hélium 3, représenté par le groupe : $(p + D)$, mais aussi comme vecteur pour une nouvelle réaction. Dans les deux réactions, le proton est conservé. Le processus est donc apte à se renouveler en chaîne, tant qu'un proton ne disparaît pas. Le proton issu de la première réaction possède une énergie cinétique élevée, de l'ordre de 20 MeV, et relativement à d'autres particules chargées, son parcours dans la matière est important. Il peut, tout en restant disponible pour une nouvelle réaction, déplacer par diffusion élastique un noyau de deutérium, lequel est susceptible de faire apparaître un nouveau proton par une réaction annexe : $D + D \rightarrow p + T$. Le processus est alors multiplicatif et la valeur du facteur de multiplication définit l'évolution des chaînes de réactions de manière analogue à ce qui se passe dans les systèmes fissiles.

Le départ des chaînes de réactions nécessite un proton primaire. Celui-ci peut provenir de la dissociation d'un noyau de deutérium en ses deux constituants : neutron et proton, par un photon d'énergie très supérieure à 2,23 MeV. Il peut aussi être issu d'une réaction : $D + D \rightarrow p + T$. Celle-ci peut être provoquée par des mésons μ^- cosmiques, en passant par la formation d'ions moléculaires muoniques, ou bien par un neutron d'énergie assez élevée pour déplacer un deutéron par diffusion élastique.

La réalisation de ce processus nécessite une forte densité d'atomes de deutérium. Certains métaux, comme le titane, le palladium et aussi certains cristaux de type perovskite sont capables d'absorber de grandes quantités de deutérium dont les atomes se placent sur des sites interstitiels dans des positions bien définies vis-à-vis du réseau cristallin. Lorsqu'une particule chargée effectue un parcours dans un réseau cristallin renfermant du deutérium, la diffusion coulombienne, prépondérante auprès des atomes du réseau, à cause d'un numéro atomique plus élevé, tend à ramener la particule vers les atomes de deutérium et, si le parcours est

suffisamment important à l'aligner avec une file de sites interstitiels. Les possibilités d'interaction avec les noyaux de deutérium sont donc considérablement accrues et ce, d'autant plus que le numéro atomique des atomes du réseau cristallin est plus élevé. C'est ce phénomène qui permet de réunir, au voisinage d'un site interstitiel les trois
5 corps nécessaires aux réactions citées précédemment. La polarisation des noyaux de deutérium intervient alors pour faciliter l'interpénétration des barrières de potentiel énergétique.

Dans la présente invention, une part importante de l'énergie des particules produites par les séquences de réactions nucléaires est recueillie sous forme de
10 charges électriques dans un empilement de chambres d'ionisation à plateaux dont les électrodes, du moins les électrodes au potentiel négatif, sont des plaques minces en matériau absorbeur de deutérium. L'espace entre les électrodes contient du deutérium gazeux : ainsi, la collection des ions D^+ assure en même temps le chargement du matériau en deutérium.

15 La description de la présente invention est faite avec le palladium comme matériau absorbeur de deutérium, mais elle peut être étendue à tout matériau de numéro atomique élevé, capable d'absorber de grandes quantités de deutérium, conducteur de l'électricité ou rendu conducteur, au moins en surface.

La figure 1 ne donne qu'un schéma de principe du dispositif, sa réalisation
20 autorisant une multiplicité de variantes.

L'élément de base du dispositif est une enceinte étanche (1) dans laquelle est placé un empilement (2) de plaques minces séparées les unes des autres par un isolant électrique. Des colonnes métalliques (3) , de préférence en nombre pair, sur lesquelles sont enfilés des manchons isolants (4) permettent d'obtenir ce résultat.
25 Les plaques de rang pair sont reliées électriquement aux colonnes de rang pair et les plaques de rang impair aux colonnes de rang impair. Latéralement, l'espace entre les plaques doit rester partiellement libre de manière à permettre la circulation d'un gaz pour le refroidissement. Des passages électriques étanches (5) sont utilisés pour la polarisation des plaques et pour recueillir les charges électriques. Les plaques doivent
30 être minces de manière à ne retenir qu'un minimum de particules chargées dans le matériau. Cependant, comme pour les systèmes fissiles, la notion de "taille critique" intervient. Il existe des dimensions géométriques pour lesquelles le maintien des réactions en chaîne est impossible et d'autres pour lesquelles l'évolution des chaînes de réactions est difficile à contrôler. L'évaluation de dimensions géométriques
35 adaptées passe par la connaissance de la longueur de transport et de la longueur de diffusion pour les protons générant les réactions composites.

Deux possibilités sont envisageables dans l'agencement des plaques : le système hétérogène dans lequel les plaques de rang pair sont en palladium et les plaques de rang impair dans un autre métal, une variante consistant en une nappe de fils d'anode, et le système homogène dans lequel toutes les plaques sont en palladium. Dans le système hétérogène, la taille critique doit être réalisée pour chacune des plaques de palladium. Les plaques doivent être plus épaisses et le rendement électrique est moins bon. Dans le système homogène, la taille critique peut être réalisée par l'ensemble de l'empilement, les plaques sont alors plus minces, le rendement électrique meilleur, mais au détriment de la tenue mécanique. D'autre part, le système homogène nécessite l'utilisation d'un inverseur périodique de polarité de manière à assurer un chargement en deutérium identique pour toutes les plaques. La polarisation des électrodes est assurée par une alimentation électrique (6) . L'inverseur périodique de polarité, utilisé pour les systèmes homogènes n'est pas figuré. Le contrôle du courant d'ionisation et l'utilisation de la puissance électrique obtenue sont représentés par le dispositif (7) comprenant une résistance variable avec un voltmètre V en parallèle et un ampèremètre A en série. Pour le refroidissement des plaques par mouvement du gaz, l'enceinte (1) est séparée en deux parties par une cloison (8) disposée parallèlement aux colonnes supportant les électrodes. Une pompe (9) assure la circulation du gaz qui traverse un dispositif réfrigérant (10) permettant la récupération et l'utilisation éventuelle de la chaleur. Tout ce qui est intérieur à l'enceinte (1) doit être parfaitement propre et dégazé avant mise en service. Une pompe à vide (11) permet de réaliser cet objectif. Un réservoir de détente (12) dont l'utilité sera précisée plus loin, maintenu sous vide et d'un volume supérieur à celui de l'enceinte (1) est interposé entre celle-ci et la pompe à vide (11). Les vannes (13) et (14) permettent d'isoler le réservoir de détente.

Le développement de réactions de fusion en chaîne n'est possible que si le rapport de charge : deutérium / palladium, en nombre d'atomes, est égal ou supérieur à une valeur définissant la taille critique pour les dimensions géométriques du palladium. Dans un palladium hypothétique, supposé chargé de manière homogène en deutérium, et de dimensions infinies, lorsque le rapport de charge atteint l'unité, le facteur multiplication est proche de 1,05. Pratiquement, un rapport de charge minimum d'environ 0,85 paraît suffisant. Compte-tenu des petites dimensions envisagées pour les électrodes, le facteur de multiplication effectif reste très proche de 1 : le facteur excédentaire est extrêmement petit, de l'ordre de 10^{-14} . Cette petite valeur garantit une évolution lente des chaînes de réactions nucléaires malgré le temps très court de renouvellement des générations de protons :

de l'ordre de 10^{-10} seconde.

Avec un rapport de charge considéré comme suffisant pour donner une taille critique aux électrodes, la qualité du palladium intervient dans la possibilité de réaliser les chaînes de réactions. Le palladium idéal devrait avoir un réseau cristallin homogène dans tout son volume. Des dislocations internes du réseau cristallin, consécutives au traitement métallurgique ou à la présence d'impuretés sont nuisibles à une diffusion cohérente des protons. L'état de surface influe sur la pénétration des ions D^+ dans le métal : les plaques doivent être parfaitement propres. Un traitement par des dépôts ultra-minces (manganèse, or ...) est susceptible d'apporter une amélioration au rendement électrique en réduisant les pertes de deutérium lors de l'échauffement des plaques et en concentrant le deutérium près de la surface des électrodes.

Les étapes principales de la mise en service du dispositif de la présente invention sont données ci-dessous :

- 15 - après la période de dégazage, le réservoir sous vide (12) est isolé de l'enceinte (1) et la pompe à vide (11) est arrêtée.
- du deutérium, fourni par la bouteille sous pression (15) est introduit dans l'enceinte (1) à travers le détendeur (16) . La pression interne est ajustée par l'intermédiaire du détendeur (16) et du détendeur (17) communiquant avec le réservoir de détente (12) lorsque la vanne (13) est ouverte.
- 20 - la polarisation des plaques est mise en service et une source extérieure de photons X ou gamma est utilisée pour irradier l'enceinte (1) . La tension de polarisation est augmentée progressivement de manière à obtenir un régime proche de la décharge électrique. La mesure du courant électrique d'ionisation permet de contrôler l'opération.
- 25 - la pompe de circulation du gaz (9) est mise en route et une source extérieure de neutrons de forte énergie est utilisée pour irradier l'enceinte (1) . Une source alpha-neutron telle que américium-béryllium ou radium-béryllium peut convenir puisque le spectre en énergie des neutrons s'étend jusqu'à environ 12 MeV. La source radium-béryllium présente l'avantage de fournir en même temps le rayonnement gamma et les neutrons. Une plus grande facilité d'emploi est apportée par l'utilisation d'un générateur de rayons X et d'un petit accélérateur de deutérons qui, par bombardement d'une cible tritiée, génère des neutrons de 14,7 MeV.
- 30

La mesure du courant d'ionisation permet de contrôler le départ des séquences de réactions de fusion nucléaire. Comme pour les réacteurs à fission, trois modes de fonctionnement sont possibles :

- 1) État sous-critique, facteur de multiplication inférieur à 1. Les réactions doivent

être entretenues par la source extérieure de neutrons.

2) État critique, facteur de multiplication égal à 1. Le fonctionnement du système est auto-entretenu.

3) État sur-critique, facteur de multiplication supérieur à 1. La puissance augmente progressivement, plus ou moins rapidement selon la valeur du facteur de multiplication.

L'évolution, dans le temps, des chaînes de réactions est exponentielle. Elle peut donc être éventuellement très rapide, entraînant un échauffement exagéré du palladium, pouvant aller jusqu'à la fusion des plaques.

L'irradiation par la source de neutrons doit être interrompue dès qu'une augmentation importante du courant d'ionisation est observée. Au cas où cette augmentation serait brusque la procédure de sécurité consiste à mettre toutes les plaques à la masse, à vider l'enceinte (1) de son deutérium dans le réservoir de détente (12) et à remplir l'enceinte (1) par un gaz inerte fourni par la bouteille (18), à travers le détendeur (19) tout en augmentant le débit de la pompe de circulation (9). Un contrôle de la température du gaz est réalisable par l'utilisation de thermocouples sur le circuit de refroidissement, à l'entrée et à la sortie de l'enceinte (1).

Lorsque un régime de fonctionnement critique ou légèrement sur-critique est obtenu, la tension de polarisation est ramenée au niveau du palier de fonctionnement en chambre d'ionisation et la pression du deutérium est ajustée de manière à obtenir un rendement électrique optimal. On procède par l'intermédiaire des détendeurs (16) sur l'arrivée du deutérium et (17) sur le réservoir de détente, les vannes (20) et (13) ayant été préalablement ouvertes.

La consommation en atomes de deutérium est très faible vis-à-vis du nombre d'atomes présents dans le palladium. De même, elle est faible au regard du nombre d'ions D^+ formés dans le champ électrique entre les électrodes. Il est donc possible d'améliorer le rendement électrique en introduisant progressivement un gaz noble : argon, krypton, xénon ... fourni par la bouteille (18). Dans ces gaz, l'énergie moyenne pour créer une paire d'ions est plus faible que celle du deutérium.

Lorsqu'une chaîne de réactions de fusion se développe dans le palladium à partir d'un seul proton primaire, la puissance à l'origine est toujours la même, environ 0,3 watt, quelle que soit la géométrie de l'électrode. C'est la puissance de départ pour chacune des plaques de palladium. Les principales particules chargées qui interviennent dans le champ électrique entre les plaques sont des protons, répartis en deux groupes d'énergie : autour de 20 MeV (environ 70 %) et autour de 3 MeV (environ 30 %) et des particules alpha d'environ 4,5 MeV, en nombre égal aux

protons de 20 MeV.

Mis à part le tritium les produits des réactions nucléaires ne sont pas radioactifs, le résidu principal est l'hélium 4. La production de tritium est de l'ordre de 200 becquerel par joule. Outre sa présence, il pose aussi un autre problème : des
5 atomes de tritium peuvent rester sur les sites interstitiels et faire apparaître des neutrons d'environ 15 MeV par la réaction : $D + T \rightarrow \alpha + \text{neutron}$. Le contrôle de la teneur en tritium des gaz contenus dans l'enceinte (1) peut être réalisé par la mesure du flux d'émission de ces neutrons. Si cette teneur est jugée trop élevée, il devient nécessaire de vider les gaz de l'enceinte (1) et de procéder au dégazage
10 des électrodes par l'intermédiaire du réservoir de détente (12) et de la pompe à vide (11) .

Le rejet de cette pompe à vide doit être récupéré dans un réservoir. Un traitement ultérieur par catalyse et congélation des vapeurs d'eau lourde tritiée, par liquéfaction fractionnée pour les autres gaz permettra de séparer les constituants.

15 Lors du développement des séquences de réactions, une faible émission de neutrons s'ajoute à la production de tritium. ces neutrons proviennent de la réaction : $D + D \rightarrow \text{hélium 3} + \text{neutron}$, concurrente de la réaction $D + D \rightarrow p + T$. Le flux d'émission de ces neutrons, d'énergie voisine de 4 MeV est de l'ordre de : $2 \cdot 10^4$ neutron par joule.

20 La description de la présente invention est faite pour un empilement type, de chambres d'ionisation à plateaux. Plusieurs éléments semblables peuvent être groupés dans une même enceinte et couplés en série ou en parallèle selon l'utilisation envisagée.

REVENDICATIONS

1) Dispositif pour obtenir directement de l'électricité, en récupérant par ionisation l'énergie des particules chargées générées par des réactions en chaîne de fusion nucléaire de deutérium, caractérisé par un empilement de chambres d'ionisation à plateaux qui est placé dans une enceinte étanche (1) contenant du deutérium gazeux.

2) Dispositif selon la revendication 1 caractérisé par la nature des cathodes (2) des chambres d'ionisation, constituées d'un matériau comme le palladium, possédant un numéro atomique élevé, capable d'absorber de grandes quantités de deutérium, et dans lequel se produisent les réactions de fusion des noyaux de deutérium.

3) Dispositif selon les revendications précédentes utilisant une source extérieure de photons X ou gamma pour assurer le chargement initial des cathodes en deutérium, l'ionisation du deutérium gazeux due aux particules émises lors des réactions nucléaires assurant ensuite le maintien du chargement.

4) Dispositif selon les revendications précédentes utilisant une source de neutrons de forte énergie pour amorcer les chaînes de réactions de fusion nucléaire.

5) Dispositif selon la revendication 1, consistant dans l'amélioration du rendement électrique par l'introduction d'un gaz noble : argon, krypton ou xénon, dans le deutérium gazeux.

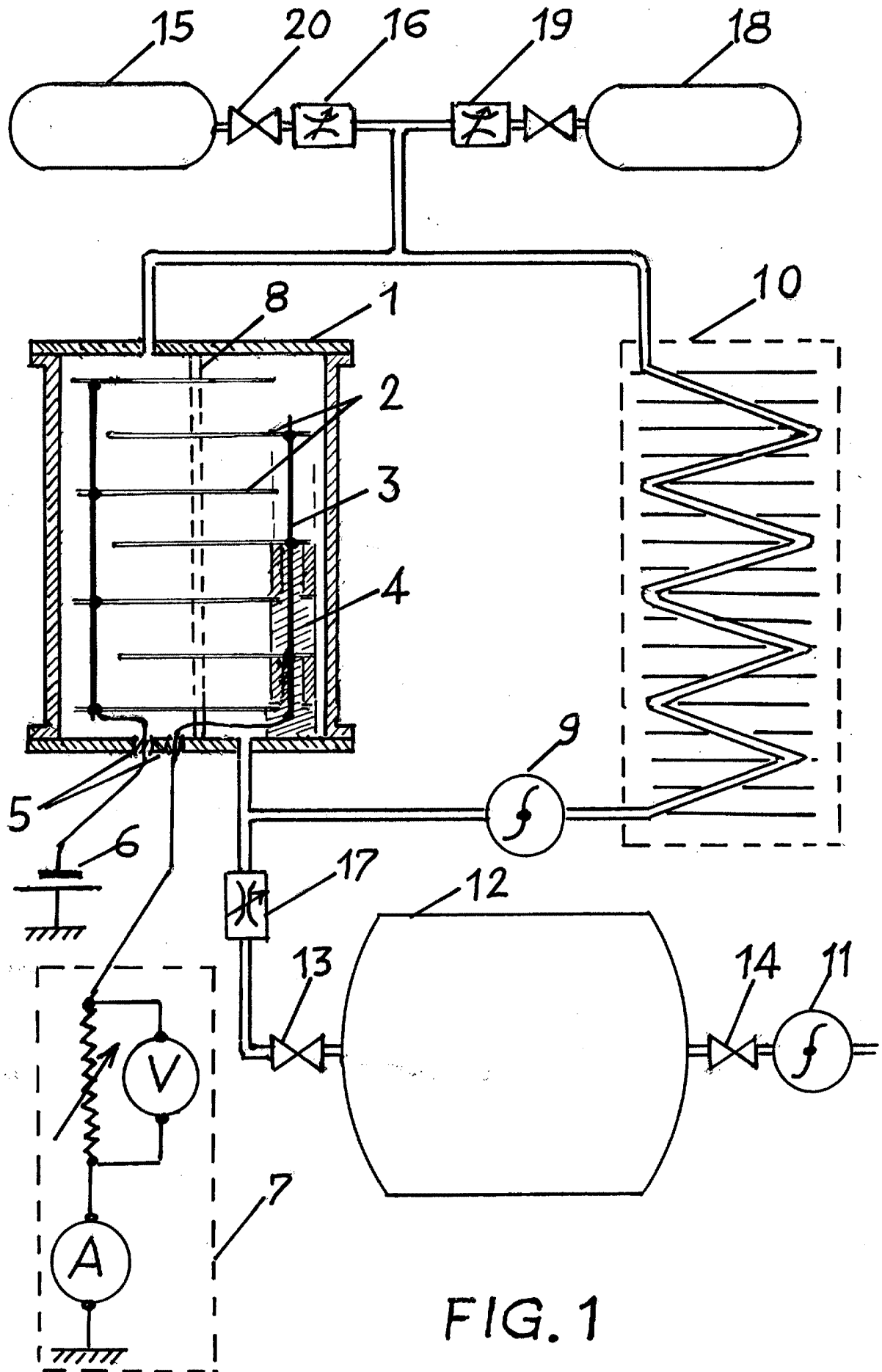


FIG. 1