



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤ Int. Cl.³: G 01 T

1/172

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



⑫ FASCICULE DU BREVET A5

⑪

631 551

⑳ Numéro de la demande: 854/79

㉔ Date de dépôt: 29.01.1979

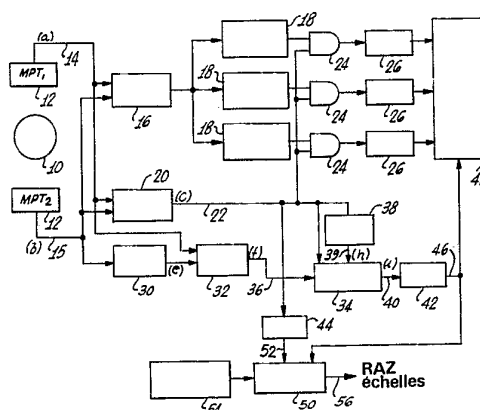
㉓ Priorité(s): 30.01.1978 US 873318

㉒ Brevet délivré le: 13.08.1982

㉑ Fascicule du brevet
publié le: 13.08.1982㉒ Titulaire(s):
Beckman Instruments, Inc., Fullerton/CA (US)㉒ Inventeur(s):
Donald L. Horrocks, Placentia/CA (US)㉒ Mandataire:
Kirker & Cie, Genève

⑤④ Procédé et dispositif de détermination du taux de coïncidences fortuites dans un compteur à scintillation utilisant la technique de comptage par coïncidence.

⑤⑦ Il s'agit d'un procédé et d'un dispositif pour déterminer avec précision le taux de coïncidences fortuites dues à des événements isolés dans un compteur à scintillation comportant deux détecteurs (12) dont les sorties (14, 15) sont traitées par les techniques de coïncidence. Le signal de l'un des détecteurs est retardé (30) avant d'être appliqué en même temps que le signal de l'autre détecteur à un circuit à coïncidence (32) qui fournit un compte approximatif des coïncidences fortuites. La sortie (36) du circuit à coïncidence est ensuite appliquée à un circuit à anticoïncidence (34) qui élimine les impulsions dues à des coïncidences réelles détectées d'une manière classique (22) et à des coïncidences «artificielles» (39) causées par le retard du premier signal.



REVENDICATIONS

1. Procédé de détermination de la fréquence des coïncidences fortuites dans un compteur à scintillation utilisant au moins deux détecteurs dont les sorties sont traitées par coïncidence, les coïncidences fortuites étant imputables à des événements qui se traduisent par des émissions de quanta énergétiques isolés susceptibles d'être reçus fortuitement en quasi-simultanéité par les deux détecteurs et d'être confondus avec des désintégrations radioactives de l'échantillon considéré, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il consiste à retarder les impulsions de sortie de l'un des détecteurs, à détecter des coïncidences entre les impulsions retardées et les impulsions non retardées de l'autre détecteur pour obtenir un signal représentant le nombre approximatif de coïncidences fortuites, et à corriger ce nombre approximatif pour compenser les coïncidences mettant en jeu au moins une impulsion liée à une coïncidence réelle imputable à des événements qui se traduisent par des émissions de quanta énergétiques multiples.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'opération de correction consiste à détecter les coïncidences réelles entre les impulsions de sortie des deux détecteurs, à retarder les impulsions de coïncidence réelle, à éliminer les impulsions qui coïncident avec des impulsions de coïncidence réelle, et à éliminer les impulsions qui coïncident avec les impulsions de coïncidence réelle retardées, pour obtenir un signal représentant le nombre corrigé de coïncidences fortuites.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le taux corrigé de coïncidences fortuites est comparé à une valeur de référence définissant un seuil maximal admissible et, si le seuil admissible est dépassé, le comptage est recommencé à zéro.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à détecter les coïncidences réelles et apparentes entre les impulsions des deux détecteurs, à retarder les impulsions de l'un des détecteurs, à détecter des coïncidences entre les impulsions retardées dudit détecteur et les impulsions non retardées de l'autre pour obtenir un train d'impulsions de coïncidence fortuite dont on peut déduire un taux approximatif de coïncidences fortuites, à retarder le signal de coïncidences réelles et apparentes entre les impulsions des deux détecteurs, à éliminer du train d'impulsions de coïncidence fortuite à l'aide d'un circuit à anticoïncidence, les impulsions de coïncidence qui apparaissent en simultanéité avec soit les coïncidences réelles et apparentes détectées à l'origine, soit les coïncidences réelles et apparentes retardées, et leur sont donc imputables, pour obtenir un train corrigé d'impulsions de coïncidence fortuite, et à totaliser ces impulsions pour fournir un taux corrigé de coïncidence fortuite.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le taux corrigé de coïncidences fortuites est comparé à une valeur de référence définissant un seuil maximal admissible et, si le seuil admissible est dépassé, le processus de mesure entier est repris au début.

6. Dispositif de mise en œuvre du procédé selon la revendication 1 pour la détermination de la fréquence des coïncidences fortuites dans un compteur à scintillation utilisant au moins deux détecteurs dont les sorties sont traitées par coïncidence, les coïncidences fortuites étant imputables à des événements qui se traduisent par des émissions de quanta énergétiques isolés susceptibles d'être reçues fortuitement en quasi-simultanéité par les deux détecteurs et d'être confondues avec des désintégrations radioactives de l'échantillon considéré, le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend un premier moyen de détection des coïncidences réelles et fortuites entre les impulsions de sortie des deux détecteurs, un circuit à retard pour retarder les impulsions de sortie de l'un des détecteurs, un second moyen de détection de coïncidences entre les impulsions retardées et les impulsions non retardées de l'autre détecteur pour obtenir un signal représentant le nombre approximatif de coïncidences fortuites, et un moyen de correction du signal de coïncidences fortuites éliminant l'effet des coïncidences provoquées par les impulsions de coïncidence réelle.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le moyen de correction comprend un second circuit à retard pour retarder les impulsions de sortie du premier moyen de détection de coïncidences d'un temps égal au retard introduit par le premier circuit à retard, et un circuit à anticoïncidence éliminant du signal approximatif de coïncidences fortuites toutes les impulsions qui coïncident avec des impulsions de sortie du premier moyen de détection de coïncidences et avec des impulsions de sortie du second circuit à retard.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend, en outre, un moyen de comptage totalisant les impulsions du signal corrigé de coïncidences fortuites, et un moyen de comparaison du total ainsi obtenu à un nombre prédéterminé.

La présente invention concerne, d'une manière générale, les mesures de radioactivité par les techniques de comptage de coïncidences dans lesquelles des événements liés à la désintégration radioactive sont détectés par deux ou plusieurs détecteurs dans un intervalle de temps donné pour éliminer les effets de diverses sources d'erreurs qui agissent sur un détecteur isolé. L'invention concerne précisément un procédé et un appareil améliorés permettant d'éliminer une autre source d'erreurs constituée par la détection des coïncidences fortuites ou aléatoires dans les systèmes à plusieurs détecteurs.

L'un des instruments les plus largement utilisés pour la mesure des rayonnements de substances radioactives est le compteur à scintillation. Son constituant principal est un milieu scintillant, ou scintillateur, qui absorbe les rayonnements incidents et les convertit en photons. Un grand nombre de ces photons sont captés par la photocathode d'un tube photomultiplicateur disposé à proximité du scintillateur. Les électrons émis par la photocathode sont multipliés par une succession d'électrodes appelées dynodes et la sortie du tube photomultiplicateur est une impulsion électrique mesurable dont l'amplitude est approximativement proportionnelle à l'énergie du rayonnement incident.

Dans les compteurs à scintillateur liquide, le milieu scintillant est un liquide dans lequel l'échantillon radioactif est dissous, en suspension ou présent de toute autre manière. Ainsi, le rayonnement de l'échantillon radioactif produit des scintillations dont les photons sont recueillis par un tube photomultiplicateur placé à proximité du scintillateur et les impulsions électriques correspondantes sont appliquées à un circuit électronique de comptage. Selon les caractéristiques de l'échantillon radioactif et la nature de la mesure, le circuit électronique effectue généralement une discrimination d'amplitude sur les impulsions du tube photomultiplicateur, car le but de l'opération est généralement de détecter et de compter des événements radioactifs dans une gamme particulière de niveaux d'énergie appelée fenêtre de comptage.

L'emploi des compteurs à scintillation pour les mesures de radioactivité pose cependant un problème important du fait que les mesures sont perturbées par des phénomènes sans rapport avec la radioactivité de l'échantillon, mais qui produisent néanmoins des impulsions à la sortie du tube photomultiplicateur. Ces impulsions sont souvent qualifiées d'événements isolés, car elles résultent de l'émission d'un seul photon ou photoélectron. Une source relativement importante d'événements isolés est l'émission thermoionique d'électrons par la photocathode ou les dynodes du tube photomultiplicateur lui-même. Ces électrons émis indépendamment de toute radiation détectée peuvent entraîner une erreur appréciable, particulièrement dans les tubes qui sont alimentés à des tensions relativement hautes, ce qui est le cas lorsqu'une forte amplification est nécessaire pour la mesure de rayonnements de faibles énergies. Cette émission thermoionique est souvent appelée bruit du tube.

Dans les compteurs à scintillateur liquide, l'échantillon lui-même peut émettre des photons par un processus quelconque indépendant

de sa radioactivité. L'échantillon peut par exemple présenter une certaine chimiluminescence, c'est-à-dire qu'il peut être le siège de réactions chimiques aboutissant à une émission de photons. L'échantillon peut également être sujet à des phénomènes de bioluminescence ou de photoluminescence qui produisent des photons indépendamment de son niveau de radioactivité. Par ailleurs, le scintillateur et la chaîne de conversion photoélectronique peuvent être affectés par un rayonnement ambiant de faible niveau, par des décharges d'électricité statique ou par des fuites de lumière ambiante vers le compteur. Tous ces phénomènes donnent naissance à des événements isolés.

L'application des techniques classiques de comptage par coïncidence permet de réduire sensiblement l'influence des événements isolés dans un compteur à scintillation. Dans le cas d'un scintillateur liquide, cette technique consiste à utiliser au moins deux tubes photomultiplicateurs disposés de part et d'autre de l'échantillon. Dans la majorité des cas, une particule radioactive émise par l'échantillon produit dans le scintillateur un certain nombre de photons, de l'ordre de sept ou plus, émis simultanément ou quasi simultanément. Il y a donc une forte probabilité pour qu'un tel événement soit détecté simultanément par les deux tubes. Au contraire, un événement isolé imputable, par exemple, à la chimiluminescence ou à un électron thermoionique émis dans l'un des tubes, ne sera détecté que par l'un des tubes photomultiplicateurs. Dans ces conditions, le comptage par coïncidence permet d'éliminer la majorité des événements isolés.

Cependant, en raison de la nature aléatoire des événements isolés, il y a une probabilité non négligeable pour que deux événements isolés soient détectés indépendamment et presque au même instant par les deux tubes. Il peut donc y avoir des coïncidences fortuites d'événements isolés indépendants. Mathématiquement, le taux de comptage S_c des coïncidences fortuites s'exprime de la manière suivante:

$$S_c = 2\tau_c S_1 S_2 \quad (1)$$

τ_c est le temps de résolution du compteur à coïncidence, c'est-à-dire l'intervalle de temps pendant lequel deux impulsions détectées sont considérées comme des impulsions coïncidentes,

S_1 le taux de comptage des événements isolés détectés par l'un des tubes photomultiplicateurs,

S_2 le taux de comptage des événements isolés détectés par l'autre tube photomultiplicateur.

En fonctionnement normal, un compteur à scintillateur liquide produit un taux de comptage mesuré (S_m) qui est la somme du taux des coïncidences réelles (S_a) et du taux des coïncidences fortuites (S_c), soit:

$$S_m = S_a + S_c \quad (2)$$

En théorie, l'utilisateur d'un compteur à scintillation doit connaître la valeur de S_c pour pouvoir éliminer autant que possible l'influence des événements isolés dans les résultats des mesures. Même si la correction directe n'est pas possible parce que la mesure est faite dans des fenêtres d'énergie particulières, l'utilisateur peut quand même considérer la valeur S_c comme une indication de la fiabilité des mesures obtenues.

Jusqu'à ces derniers temps, il n'existait aucun moyen de déterminer avec précision le taux des coïncidences fortuites, à l'exception de la technique décrite dans la demande de brevet des E.-U.A. N° 693652 déposée par la titulaire. Bien que cette technique donne entière satisfaction sur le plan du comptage précis des coïncidences fortuites, elle a l'inconvénient de nécessiter une voie de comptage séparée pour la détection des photons isolés. Il y a donc place pour une technique plus simple.

Les techniques de l'art antérieur se limitaient à une estimation qualitative de la présence d'événements isolés qui diminuent avec le temps. En général, les phénomènes de chimiluminescence, de bioluminescence et de photoluminescence ont une caractéristique décroissante. On se contentait donc de mesurer la radioactivité de l'échantillon à différents instants et de comparer les résultats obtenus pour déterminer s'il y avait une décroissance sensible. En l'absence de

variations appréciables des taux de comptage mesurés sur une période relativement longue, on admettait que l'influence des coïncidences fortuites était négligeable. Cette méthode a l'inconvénient d'être longue à appliquer et de ne pas tenir compte du bruit du tube et des autres sources d'événements isolés qui ne décroissent pas à court terme.

Le brevet des E.-U.A. N° 3772512 propose une méthode de différenciation des coïncidences fortuites et réelles consistant à introduire un retard à la sortie de l'un des détecteurs. En effet, en retardant la sortie de l'un des tubes photomultiplicateurs, on élimine les coïncidences réelles, mais les coïncidences fortuites, qui sont de nature aléatoire, continuent à se produire à la même fréquence mesurable. Un tel système doit permettre de connaître le taux de comptage des coïncidences fortuites. Malheureusement, cette technique est sujette à des erreurs d'autant plus importantes que le taux de comptage des radiations de l'échantillon est élevé. En effet, si la fréquence des événements radioactifs est importante, il y a une probabilité accrue pour que, après leur retardement, les impulsions qui correspondent à des événements radioactifs réels coïncident avec des événements isolés ou avec d'autres événements réels.

En conclusion, cette technique de comptage ne donne pas entière satisfaction par rapport à la technique qui est décrite dans la demande de brevet précitée N° 693652, et la présente invention se propose de l'améliorer.

L'invention concerne un procédé et un dispositif de détermination du taux de comptage des coïncidences fortuites dues à des événements différents qui produisent chacun un seul quantum d'énergie et qui sont détectées par hasard par deux détecteurs indépendants d'un système de comptage à scintillation à des instants identiques ou très proches. D'une manière schématisée, le procédé de l'invention consiste à compter le nombre de coïncidences mesurées ou d'événements détectés simultanément par les deux détecteurs du compteur à scintillation, à retarder d'un temps fixe les impulsions de l'un des détecteurs, à détecter les impulsions simultanées entre la sortie retardée du premier détecteur et la sortie non retardée du ou des autres détecteurs pour obtenir une mesure approximative du taux de comptage des coïncidences fortuites imputables à des événements isolés mettant en jeu un seul quantum, et à corriger cette mesure pour éliminer les coïncidences dans lesquelles au moins une impulsion est imputable à un événement réel. Plus précisément, l'opération de correction de la mesure approximative des coïncidences fortuites consiste à éliminer les impulsions qui apparaissent simultanément à la sortie des deux détecteurs, à retarder le signal de coïncidence correspondant et à éliminer les impulsions qui coïncident avec ce signal retardé dont chaque impulsion représente une coïncidence réelle.

Du fait que la mesure approximative du taux de coïncidences fortuites est obtenue en détectant des coïncidences entre les impulsions retardées de l'un des détecteurs et les impulsions non retardées de l'autre, on peut ranger les paires d'impulsions coïncidentes en quatre catégories distinctes. La seule catégorie intéressante est celle des événements isolés non retardés qui coïncident avec des événements isolés retardés, car ce sont les vraies coïncidences fortuites. Les trois autres catégories sont des coïncidences entre des événements réels non retardés et des événements réels retardés, des coïncidences entre des événements réels non retardés et des événements isolés retardés, et des coïncidences entre des événements isolés non retardés et des événements réels retardés. Les deux premiers types de coïncidences, qui mettent en jeu des événements réels non retardés, peuvent être éliminés par comparaison avec le signal représentant les coïncidences réelles qui est obtenu à partir des sorties des deux détecteurs avant l'introduction du retard. Le troisième type de coïncidences, qui met en jeu un événement réel retardé, peut être éliminé en ignorant délibérément les impulsions qui correspondent à des coïncidences réelles retardées.

Le procédé de l'invention est défini par la revendication 1 et le dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé est défini par la revendication 6.

Il est clair que le procédé et le dispositif de l'invention offrent une possibilité simplifiée autre que l'emploi de la technique de comptage des photons isolés qui est décrite et revendiquée dans la demande de brevet précitée N° 693652. Le taux corrigé de coïncidences fortuites peut être utilisé soit pour déterminer si la mesure est acceptable par rapport à un taux prédéterminé, soit pour calculer un facteur de correction par la méthode de la demande de brevet précitée.

Les dessins annexés représentent à titre d'exemple non limitatif un mode de réalisation de l'objet de l'invention.

La fig. 1 est un schéma synoptique d'un dispositif de mesure comprenant un compteur à scintillation et des circuits associés de traitement pour la mise en œuvre de la technique de l'invention.

Les fig. 2a à 2c sont des diagrammes de synchronisation montrant la différence entre des événements réels coïncidents, des événements non coïncidents et des événements indépendants dont la coïncidence est fortuite.

La fig. 3 est un diagramme de synchronisation des différents types d'impulsions détectées et traitées par l'appareil de la fig. 1.

L'invention concerne principalement un procédé de détermination de l'erreur due aux coïncidences fortuites dans un compteur à scintillation qui utilise la technique de comptage par coïncidence. Comme indiqué plus haut, le comptage par coïncidence consiste à utiliser deux détecteurs de radiations, généralement des tubes photomultiplicateurs, dont les sorties sont comparées dans un circuit à coïncidence pour éviter de compter les événements isolés indépendants de la radioactivité. Ces événements isolés peuvent se manifester sous la forme de photons uniques résultant de la chimiluminescence de l'échantillon ou d'autres phénomènes analogues, ou sous la forme d'un bruit électronique dû aux émissions thermoïoniques à l'intérieur du tube photomultiplicateur. En général, ces événements isolés ne sont détectés que par l'un des tubes photomultiplicateurs, mais leur nature aléatoire se traduit par la détection d'un nombre non négligeable de coïncidences apparentes et fortuites qui n'ont rien à voir avec le phénomène radioactif mesuré.

La fig. 1 est un schéma synoptique du dispositif de mesure de l'invention qui utilise un compteur à scintillateur liquide. Une source radioactive 10 est placée entre deux détecteurs de photons 12 qui sont généralement des tubes photomultiplicateurs. Dans les compteurs à scintillateur liquide, le rayonnement d'un échantillon radioactif présent dans le scintillateur liquide est absorbé par ce dernier qui émet un certain nombre de photons pour chaque émission d'une particule radioactive. Ces photons sont détectés simultanément, ou presque simultanément, par les deux tubes photomultiplicateurs 12 dans lesquels ils sont convertis en des impulsions électriques apparaissant sur les lignes de sortie 14 et 15. Les sorties des deux détecteurs 12 sont appliquées à un amplificateur additionneur 16 dont la sortie unique est appliquée à trois discriminateurs d'amplitude 18. Chaque discriminateur 18 est réglé de façon à exclure toutes les impulsions dont l'amplitude n'est pas comprise entre deux seuils réglables définissant une bande d'énergie. Les sorties des deux détecteurs 12 sont également appliquées à un circuit à coïncidence 20 qui fournit une impulsion sur une ligne 22 si les impulsions reçues des deux tubes coïncident à l'intérieur d'un intervalle de temps prédéterminé.

Le signal de coïncidence présente sur la ligne 22 est appliqué à trois portes à coïncidence 24 qui fonctionnent comme des portes ET en fournissant une sortie lorsque leurs deux entrées reçoivent des signaux correspondant à un état logique prédéterminé. Les impulsions de sortie des portes à coïncidence 24 sont appliquées à trois échelles de comptage 26 qui les totalisent dans les trois voies de comptage.

Dans le dispositif de l'invention, les impulsions produites par l'un des tubes photomultiplicateurs 12 sont transmises par la ligne 15 à un circuit à retard 30 dont la sortie est appliquée à un second circuit à coïncidence 32 qui reçoit également par la ligne 14 les impulsions non retardées de l'autre tube photomultiplicateur 12. Le circuit à coïncidence 32 fournit donc un compte approximatif des coïncidences fortuites. Les impulsions correspondantes sont appliquées par

une ligne 36 à un circuit à anticoïncidence 34 qui reçoit également les impulsions de coïncidence de la ligne 22 à travers un second circuit à retard 38 ayant le même retard que le circuit 30. Ainsi qu'on le verra dans la suite, le circuit à anticoïncidence 34 fournit des impulsions représentatives des vraies coïncidences fortuites, c'est-à-dire des coïncidences qui sont imputables à des événements isolés.

Les impulsions de coïncidence fortuite apparaissant à la sortie du circuit à anticoïncidence 34 sont totalisées par une échelle de comptage 42. De plus, les impulsions de coïncidence détectées apparaissant sur la ligne 22 sont totalisées par une échelle de comptage 44. Le contenu de l'échelle 42, qui représente le taux de comptage corrigé des coïncidences fortuites, est transmis par une ligne 46 à un dispositif d'affichage 48 et à un comparateur 50 qui reçoit également la sortie de l'échelle de comptage 44. Le comparateur 50 peut comporter différents circuits permettant notamment de déterminer si le taux de comptage des coïncidences fortuites est inférieur à un taux limite acceptable fourni par un circuit de référence 54. Le comparateur 50 peut également fournir une sortie 56 de remise à zéro des échelles et de reprise automatique du comptage au cas où la fréquence des coïncidences fortuites dépasse le niveau fixé. Cette dernière fonction n'a d'utilité que dans le cas où les coïncidences fortuites sont principalement dues à un phénomène à décroissance rapide, tel que la chimiluminescence.

On va maintenant décrire le fonctionnement du dispositif de la fig. 1 en s'appuyant sur les formes d'onde schématisées des fig. 2 et 3. La fig. 2a illustre le cas d'une coïncidence réelle de deux impulsions R_1 et R_2 respectivement détectées par les deux tubes photomultiplicateurs. Ces deux impulsions sont la conséquence d'un même événement et leur coïncidence dans le temps est matérialisée par une impulsion de coïncidence réelle R_0 . Dans le schéma synoptique de la fig. 1, si R_1 et R_2 sont respectivement présentes sur les lignes 14 et 15, le circuit à coïncidence 20 fournit l'impulsion R_0 sur la ligne 22.

La fig. 2b illustre le cas de deux impulsions S_1 et S_2 qui correspondent à des événements isolés et non coïncidents. Au contraire, dans le cas de la fig. 2c, deux impulsions S_1 et S_2 , correspondant à des événements indépendants, apparaissent fortuitement en quasi-coïncidence, c'est-à-dire à l'intérieur de l'intervalle de temps (fenêtre de coïncidence) fixé pour le circuit à coïncidence 20. Dans ce cas, le circuit 20 fournit une impulsion de coïncidence apparente S_c . Dans le système de la fig. 1, le rôle du circuit à coïncidence 20 est de détecter la présence simultanée d'impulsions S_1 et S_2 sur les lignes 14 et 15, quelle que soit leur origine.

Sur le diagramme de la fig. 3, la forme d'onde (a) représente schématiquement un train d'impulsions qui peut être fourni par l'un des tubes photomultiplicateurs 12, par exemple sur la ligne 14 de la fig. 1. Pour l'explication, on distinguera deux types d'impulsions selon qu'elles représentent des coïncidences réelles ou fortuites. Pour faciliter leur identification, les impulsions de coïncidence réelle seront désignées par les références R_{1-1} , R_{1-2} , R_{1-3} , etc., et les impulsions de coïncidence fortuite seront désignées par les références S_{1-1} , S_{1-2} , S_{1-3} , etc. D'une manière analogue, la forme d'onde (b) de la fig. 3 représente le signal de l'autre tube photomultiplicateur 12 apparaissant sur la ligne 15 de la fig. 1. Le même système de désignation a été utilisé avec comme premier indice le chiffre 2 de sorte que les impulsions R_{1-1} et R_{2-1} , R_{1-2} et R_{2-2} , etc., sont coïncidentes. Les impulsions S_1 et S_2 ne sont pas véritablement coïncidentes, mais celles qui apparaissent presque simultanément ont été désignées par des références correspondantes, à savoir S_{1-2} et S_{2-2} , etc. Pour alléger la description, on peut écrire symboliquement que la forme d'onde (a) contient les impulsions $R_1 + S_1$ et que la forme d'onde (b) contient les impulsions $R_2 + S_2$.

La forme d'onde (c) représente la sortie sur la ligne 22 du premier circuit à coïncidence 20. Ce signal contient des impulsions de coïncidence réelle R_{0-1} , R_{0-2} , etc., et une impulsion de coïncidence fortuite S_{c-1} . En abrégé, la forme d'onde (c) sera appelée $R_0 + S_c$. Pour la clarté de l'illustration, la forme d'onde (a) a été reproduite sur la ligne (d) et la ligne (e) représente la forme d'onde (b) retardée par le circuit 30. Ainsi, le second circuit à coïncidence 32 de la fig. 1

reçoit à ses deux entrées les formes d'onde (d) et (e). La forme d'onde (e) peut être désignée en abrégé par $(R_2 + S_2)_D$, l'indice D indiquant le retard (délai).

La forme d'onde (f) est le signal de sortie du circuit à coïncidence 32 sur la ligne 36. Ces impulsions représentent les coïncidences détectées entre les impulsions des formes d'onde (d) et (e). On verra en détail dans la suite que ce signal contient des impulsions de quatre catégories différentes représentant respectivement les coïncidences $R_1 + R_{2D}$, $R_1 + S_{2D}$, $S_1 + R_{2D}$ et $S_1 + S_{2D}$.

La technique de différenciation des coïncidences réelles et fortuites par l'introduction d'un retard dans l'un des deux signaux met à profit le fait que ce retard n'affecte pas statistiquement le nombre de coïncidences fortuites entre des événements isolés, mais élimine systématiquement les coïncidences réelles. Cependant, en examinant les formes d'onde de la fig. 3, on voit que les signaux (d) et (e) contiennent les deux types d'impulsions (correspondant à des événements réels et isolés), de sorte que le décalage de l'un des signaux peut introduire artificiellement des coïncidences fortuites entre des impulsions de types différents. Précisément, les impulsions de coïncidence fournies par le circuit 32 peuvent être classées en quatre catégories différentes: impulsions réelle retardée et non retardée, impulsion réelle non retardée et impulsion fortuite retardée, impulsion fortuite non retardée et impulsion réelle retardée, impulsions fortuites retardée et non retardée. La seule catégorie intéressante pour le système de l'invention est la dernière qui correspond aux vraies coïncidences fortuites. Pour déterminer avec précision le taux de coïncidences fortuites, il est donc nécessaire d'éliminer les impulsions qui appartiennent aux trois premières catégories.

Pour illustrer le problème, la forme d'onde (f) de la fig. 3 contient une impulsion de chaque catégorie. Ainsi, l'impulsion retardée $R_{2,1}$ coïncide avec l'impulsion non retardée $S_{1,1}$, l'impulsion non retardée $R_{1,3}$ coïncide avec l'impulsion retardée $S_{2,3}$, l'impulsion non retardée $R_{1,5}$ coïncide avec l'impulsion retardée $R_{2,4}$ et l'impulsion non retardée $S_{1,4}$ coïncide avec l'impulsion retardée $S_{2,4}$.

Le rôle du circuit à anticoïncidence 34 est précisément d'éliminer les impulsions des catégories indésirables du comptage approximatif des coïncidences fortuites. Pour cela, la sortie du premier circuit à coïncidence 20 est utilisée par le circuit à anticoïncidence pour

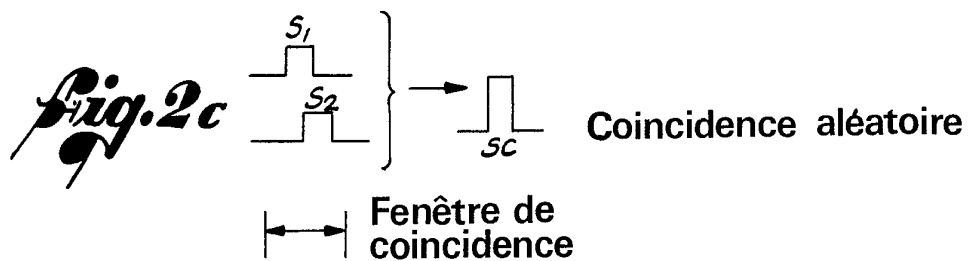
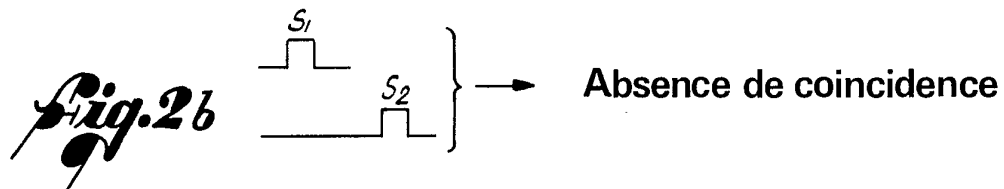
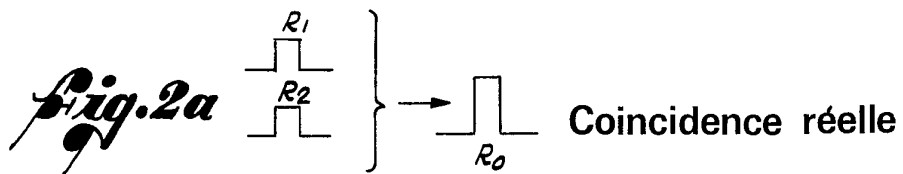
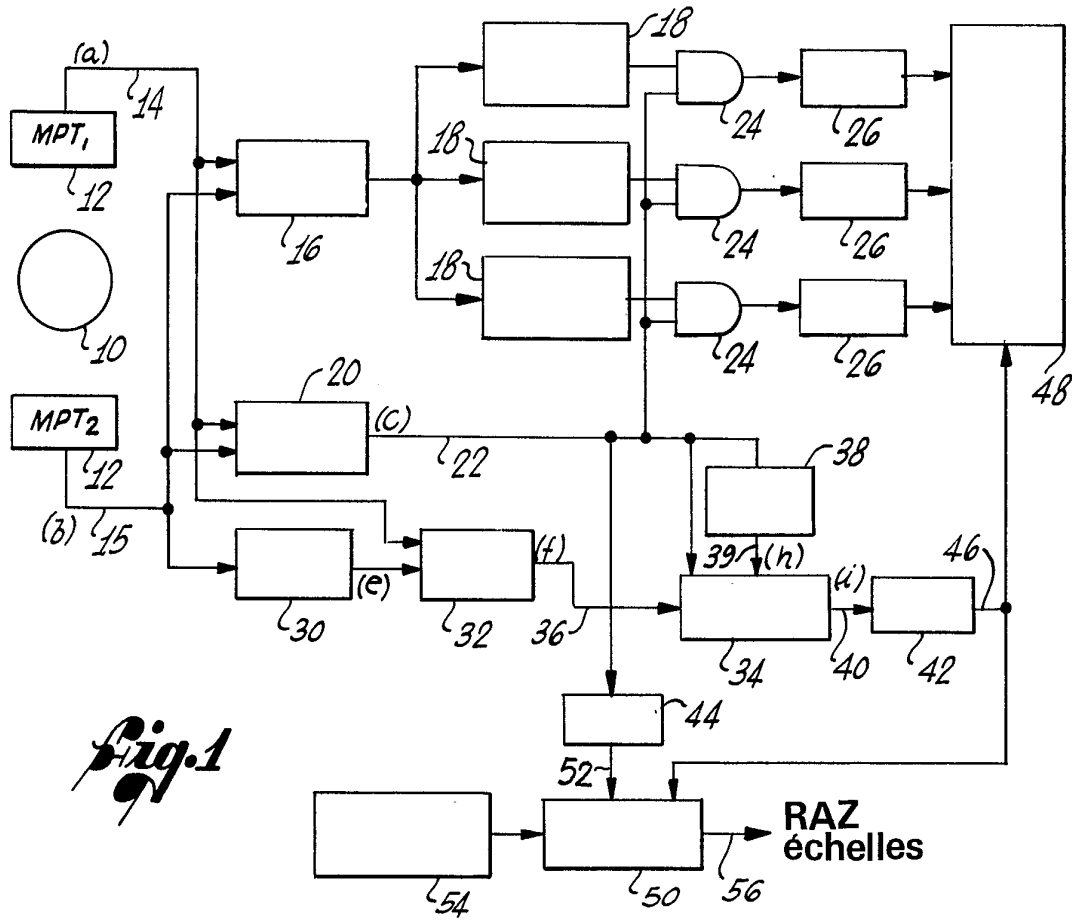
éliminer toutes les coïncidences qui mettent en jeu une impulsion réelle non retardée. Ainsi, dans la forme d'onde (g), qui est la même que (c), l'impulsion $R_{0,3}$ peut être utilisée pour éliminer la coïncidence $R + S_D$ de la forme d'onde (f) et l'impulsion $R_{0,5}$ peut être utilisée pour éliminer la coïncidence $R + R_D$ de la forme d'onde (f).

Le signal représentant toutes les coïncidences détectées, c'est-à-dire la forme d'onde (c), est également appliqué au second circuit à retard 38 de la fig. 1 qui fournit la forme d'onde (h) de la fig. 3. Cette forme d'onde contient des impulsions qui peuvent être utilisées pour éliminer les coïncidences du type $S + R_D$ entre une impulsion fictive retardée et une impulsion réelle retardée. Ainsi, après élimination des trois catégories indésirables d'impulsions de coïncidence de la forme d'onde (f), il ne reste plus dans la forme d'onde (i), qui représente la sortie du circuit à anticoïncidence, que les impulsions imputables à de vraies coïncidences fortuites.

Le circuit à anticoïncidence 34 peut être réalisé de plusieurs manières et se présente fonctionnellement comme une porte ET à trois entrées. La première entrée fournie par la ligne 36 est le taux approximatif de coïncidences aléatoires, et les deux autres entrées sont les versions inversées des signaux des lignes 22 et 39. Il va de soi qu'en pratique la logique nécessaire est un peu plus complexe, bien que tout à fait classique, pour tenir compte des coïncidences imparfaites entre les impulsions de la forme d'onde (f) et des impulsions correspondantes des formes d'onde (g) et (h).

Il ya une très petite probabilité pour que des coïncidences de deux événements isolés soient éliminées par cette technique. Ce serait le cas si l'une des impulsions fortuites $S + S_d$ de la forme d'onde (f) correspondait presque exactement avec une impulsion fortuite S_c de l'une ou l'autre des formes d'onde (g) ou (h). En pratique, cette probabilité est extrêmement faible et peut être négligée sans inconvénients.

En conclusion, le procédé et le dispositif de la présente invention permettent de déterminer avec précision le taux de comptage des coïncidences fortuites dans un compteur à scintillation qui utilise la technique de comptage par coïncidence. Il est évident que l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation particulier qui a été décrit à titre d'illustration.



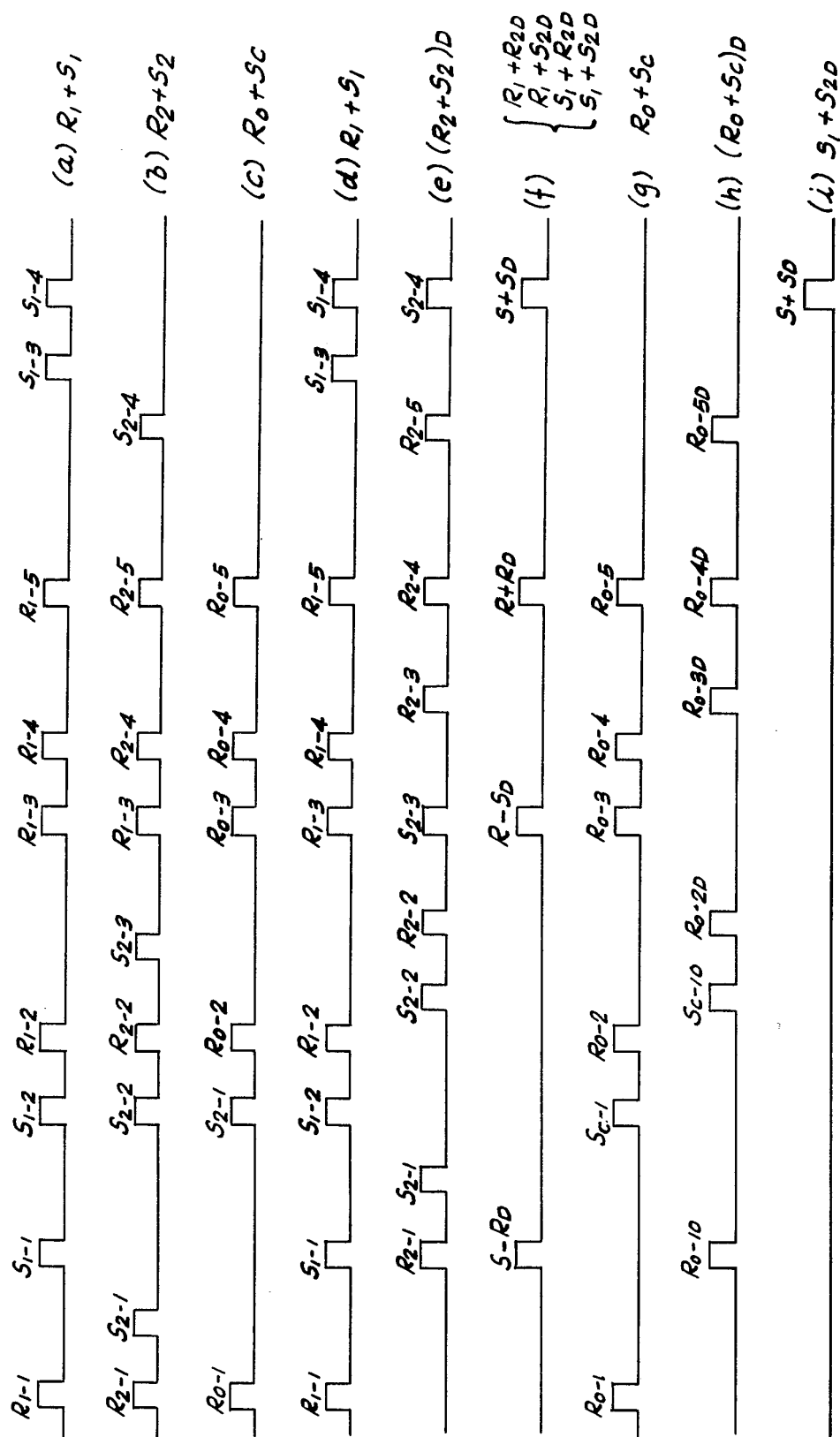


Fig. 3