

Mesure de rayonnement gamma avec une photodiode

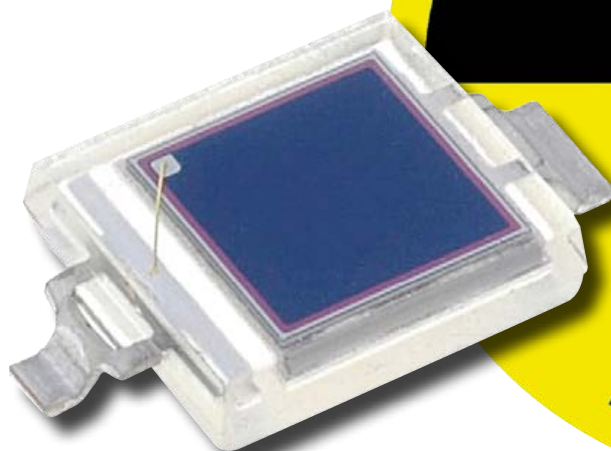
Détecteur de rayonnement à BPW34

Burkhard Kainka (Allemagne)

Mesure de radioactivité ?

Compteur de Geiger-Müller, bien sûr. Les tubes compteurs sont cependant devenus rares et chers. Vous en avez un d'avance ? Il vous reste à

l'alimenter maintenant sous quelques centaines de volts. Une photodiode normale comme la BPW34 demande moins. Mais oui, elle peut détecter rayons X et gamma.



Les rayonnements ionisants sont potentiellement dangereux et il est préférable de les éviter dans la mesure du possible. Un simple compteur de Geiger suffit à peine à détecter les risques. La sensibilité du capteur à semi-conducteur que nous allons décrire ici ne permet de détecter que des sources de rayonnement assez intenses. Alors à quoi bon ? Il permet de faire des mesures et des expériences très intéressantes.

L'un des avantages de la photodiode lui vient de sa surface sensible et de ses faibles dimensions. Elle reçoit assez peu le bruit de fond des rayons cosmiques et les signaux de petits échantillons se détachent mieux du fond qu'ils ne le feraient pour un tube compteur.

Rayonnement

La protection contre les rayonnements concerne surtout les rayons gamma. Ils sont très pénétrants, très difficiles à arrê-

ter puisqu'ils traversent même des murs très épais. La terre reçoit en permanence des rayons gamma durs issus de l'espace. Ils sont de même nature que les rayons X, mais d'origine différente. Les rayons (ou particules) alpha n'ont, en revanche, qu'une faible portée et peuvent être arrêtés par une simple épaisseur de papier. La plupart des tubes compteurs ne les détectent donc pas. Un tube compteur ne les détecte que s'il a une mince fenêtre de mica. La portée des rayons (particules) bêta est déjà plus grande puisqu'ils peuvent encore traverser des tôles de faible épaisseur. La plupart des tubes compteurs détectent surtout les rayons gamma et sont aussi sensibles au rayonnement bêta, bien que dans certaines limites.

Diode en détecteur

Le comportement d'une photodiode PIN BPW34 est semblable à celui d'un tube compteur. Les particules alpha sont, au

plus tard, arrêtées par le boîtier de matière plastique de la diode. Les quanta gamma n'ont, eux, aucun problème et produisent de nombreuses paires d'électrons-trous dans la couche de jonction. Quand la diode fonctionne en inverse, pratiquement tous les porteurs de charge sont évacués. Il en résulte un petit appel de courant que l'on peut amplifier et exploiter. Les particules bêta peuvent également être à l'origine d'un signal quand leur énergie est suffisante pour parvenir à la couche de jonction. Les signaux fournis par la photodiode ont une amplitude sensiblement plus faible que celle des signaux d'un tube compteur. Un amplificateur de mesure à faible bruit est donc nécessaire.

L'utilisation d'une photodiode en détecteur pose une autre condition, sa protection complète contre la lumière. Sans elle, le courant photonique noierait le résultat

de mesure. Nous avons utilisé une feuille d'aluminium ménager pour nos essais. Les diodes PIN, à la différence des diodes PN, présentent une zone supplémentaire très faiblement dotée N. Cette couche à haute impédance intrinsèque (couche I) est comprise entre les régions N et P. Le résultat est une couche de jonction plus épaisse. Les photons trouvent ainsi un plus grand volume d'interaction avec le semi-conducteur. On utilise cette structure de façon à obtenir la plus grande quantité de porteurs de charge par photon, donc d'optimiser la sensibilité des photodiodes.

Une autre possibilité d'améliorer la sensibilité est d'augmenter la surface sensible. En procédant de la sorte, on augmente la capacité et l'amplitude de la tension d'un signal isolé est plus petite. Les détecteurs de rayonnement à semi-conducteur disponibles dans le commerce ont une plus grande surface et une couche I plus épaisse. Comparées à eux, les simples photodiodes PIN comme la BPW34 sont moins sensibles, mais aussi moins chères. Les photodiodes PIN BPW34 et BPX61 sont assez peu différentes, mais se distinguent par leur boîtier. Alors que la BPW34, bon marché, est en boîtier de plastique, la BPX61 est montée dans un boîtier métallique TO5 à hublot de verre. Si l'on s'y prend bien, on peut retirer cette fenêtre et mettre la puce au jour. La diode est alors accessible au rayonnement alpha.

Les rayons (ou les particules) doivent d'abord traverser les 15 μm d'épaisseur (épaisseur usuelle) de papier d'aluminium. Les rayons bêta et gamma y parviennent (sans peine !). Les particules alpha d'une énergie d'au moins 4 MeV traversent éga-

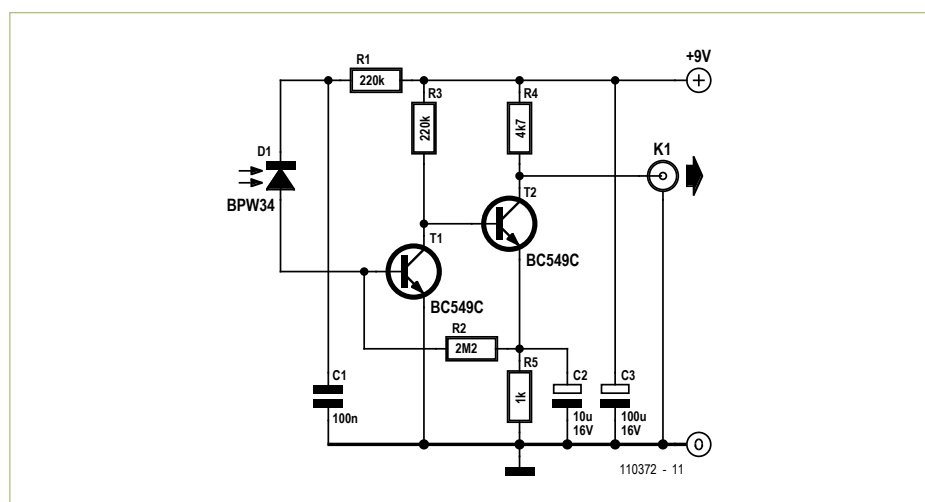


Figure 1. L'amplificateur de mesure.

lement. L'entrée dans le plastique du boîtier de la photodiode donne lieu à un rayonnement continu de freinage que manifestent de petits éclairs encore détectables. Il n'est, de ce fait, pas exclu que la BPW34 soit partiellement sensible aux rayons alpha.

En principe, un semi-conducteur est sensible aux rayonnements ionisants. S'il n'est pas étonnant qu'une photodiode puisse détecter ces rayonnements, il l'est plus que l'on n'en perçoive normalement rien. L'effet est pourtant connu pour les RAM dynamiques dont un rayonnement peut modifier le contenu. Il est de plus en plus difficile de fabriquer des électroniques qui résistent aux rayonnements élevés de l'espace. Les anciens microcontrôleurs avec leurs structures de transistors y étaient moins sensibles. Aujourd'hui, dans certaines circonstances, sa plus grande miniaturisation peut rendre une structure sensible à une particule assez énergétique.

Amplificateur

Il est fréquent que l'on trouve dans la littérature un amplificateur opérationnel à faible bruit à entrée FET comme étage d'entrée d'amplificateurs de charge. Nous avons choisi une autre voie ici. La **figure 1**

présente le circuit de l'amplificateur du capteur. Deux transistors suffisent pour amplifier le signal de la photodiode. Le point de fonctionnement de l'amplificateur couplé directement se règle automatiquement sur une moyenne, les transistors NPN à faible bruit BC549C contribuant à un bon rapport signal sur bruit.

L'impédance de l'entrée à transistor de l'amplificateur est relativement faible, ce qui permet une bonne adaptation à bruit minimum. Le premier étage, avec sa capacité base collecteur, fonctionne également en intégrateur. Il fabrique donc, à partir des très courtes impulsions de la photodiode, des impulsions plus longues qui se laissent mieux amplifier.

Pour améliorer la sensibilité, on peut augmenter aussi la tension inverse de la diode. On réduit ainsi la capacité de la diode et augmente l'épaisseur de la couche de jonction. Il est possible de monter jusqu'à 32 V, mais l'optimum est sans doute plus bas. À 9 V, la diode fonctionne déjà très bien. On peut aussi câbler plusieurs photodiodes en parallèle et atteindre ainsi la sensibilité d'un petit tube compteur (ZP1310, par exemple).

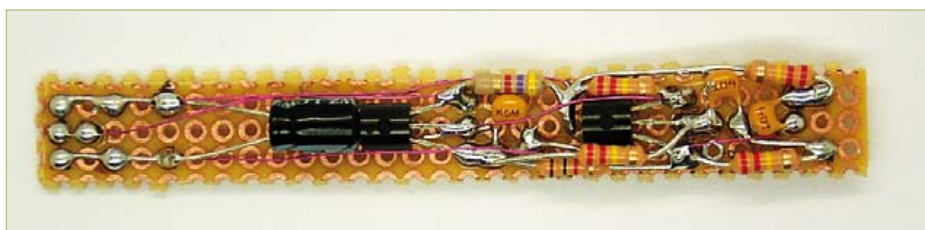


Figure 2. Montage d'essai de l'amplificateur du capteur.

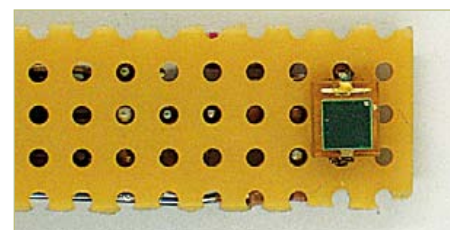


Figure 3. Le capteur à la face postérieure.

Peinture luminescente au radium

Une vieille montre à cadran lumineux permet de vérifier qu'un appareil de mesure de rayonnement fonctionne. Un vieux réveil ou une boussole achetée aux puces conviennent également.

On a utilisé de la peinture radioactive au radium jusque vers 1965. Le radium a ensuite été remplacé par des composés au tritium. Il vous est possible de vérifier simplement la radioactivité de votre montre, juste avec une forte loupe. La nuit, éteignez la lumière et habituez vos yeux à l'obscurité. Observez ensuite les aiguilles et le cadran de votre montre à la loupe. Si sa peinture est radioactive, vous devriez

observer à la loupe de petites étincelles, un faible scintillement. Vous serez témoin oculaire d'événements de désintégration isolés. Les particules alpha émises par ces désintégrations excitent la peinture luminescente. Si vous n'observez pas de luminescence ou une luminescence absolument uniforme, l'échantillon n'est pas radioactif. Il est vraisemblable que cette expérience avec de la peinture radio-luminescente n'est possible que parce qu'elle est assez vieille. Si le nombre d'événements était trop élevé, vous ne les distingueriez sans doute pas les uns des autres.



Figure 4. Le tout bien emballé dans une feuille d'aluminium.

Un oscilloscope permet d'exploiter la sortie. Si vous préférez entendre un haut-parleur claquer des dents, comme le ferait un « vrai » compteur Geiger, l'encadré « Entendre le rayonnement » vous propose la solution.

Construction

Le montage est implanté sur une bande de plaquette pastillée (figure 2), la photodiode posée à sa face inférieure (figure 3). Pour protéger le capteur de la lumière, le montage est emballé dans une feuille d'aluminium (figure 4). L'aluminium ménager est assez mince pour laisser passer aussi les particules bêta. L'aluminium assure également un blindage électrique.

Protégez la platine avec du ruban isolant, sans occulter la fenêtre de la photodiode, pour éviter les courts-circuits dus à la feuille d'aluminium. Ensuite, seulement emballez-la dans la feuille d'aluminium. N'oubliez pas de mettre la feuille à la masse.

Essais et résultats

Un oscilloscope numérique est tout indiqué pour exploiter les résultats. Configurez-le en mode AC, 50 mV/division et 0,2 ms/division. Certains appareils proposent un mode « persist » (rémanent) dans lequel les résultats s'accumulent à l'écran. L'utilisation d'un oscilloscope analogique est également possible.

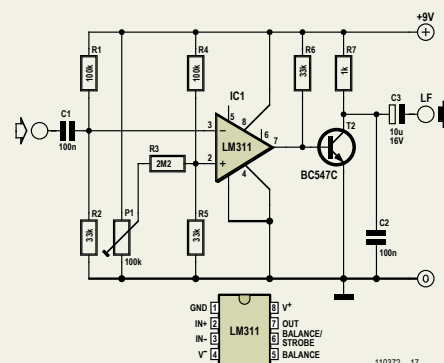
Au repos, l'oscilloscope affiche une bande

de bruit de fond amplifié de l'ordre de 30 mV_{cc} (figure 5). La détection d'un quantum gamma donne lieu à une impulsion positive et à un faible rebond négatif. Une amplitude négative des signaux un peu différente signifierait que le blindage du montage n'est pas optimal et qu'il réagit à des impulsions HF. Les rayonnements recherchés montrent en revanche des impulsions positives. La figure 6 montre les signaux accumulés pendant plus de 30 s, d'une vieille montre à aiguilles fluorescentes, donc avec une peinture aux sels de radium.

La figure 7 montre une mesure effectuée sur un autre échantillon radioactif, un petit morceau de pechblende, minerai d'uranium que l'on trouve dans la nature. La mesure a duré également 30 s. L'activité de cet échantillon est manifestement plus élevée. La répartition de l'énergie est, en outre, différente. Plusieurs impulsions de plus de 100 mV étaient absentes de la mesure précédente. Un détecteur à semi-conducteur permet, à la différence d'un tube compteur Geiger, de distinguer l'énergie des différentes particules. On peut ainsi tirer des conclusions sur le type d'atome qui s'est désintégré. Dans le cas de la pechblende,

Entendre le rayonnement

Un compteur de Geiger fait un bien joli tac-tac. Le capteur à diode peut en faire autant. Il vous suffit de câbler un comparateur en sortie, d'allonger un peu les impulsions et vous entendrez caqueter le haut-parleur branché en sortie. Le montage présenté ici et qui a fait ses preuves utilise un comparateur LM311. Il délivre une impulsion en sortie quand les impulsions d'entrée dépassent le seuil réglé avec le potentiomètre ajustable. Le transistor de sortie est prévu pour allonger la durée des impulsions de telle façon qu'elles soient perceptibles. Le signal de sortie attaque ensuite un casque, un amplificateur BF avec haut-parleur ou une petite enceinte active.



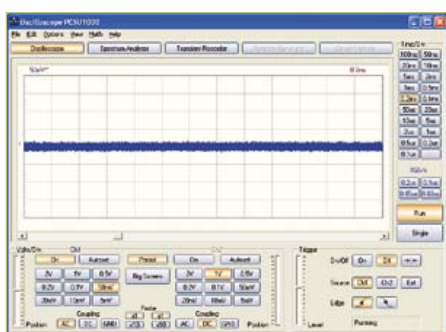


Figure 5. Le niveau de repos.

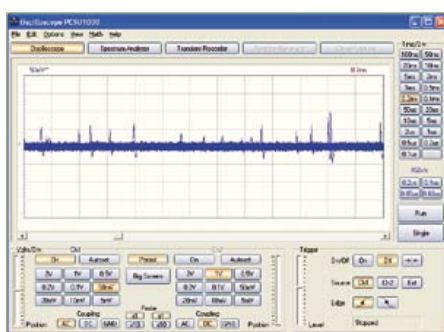


Figure 6. Mesure de 30 s sur une vieille montre-gousset à cadran lumineux.

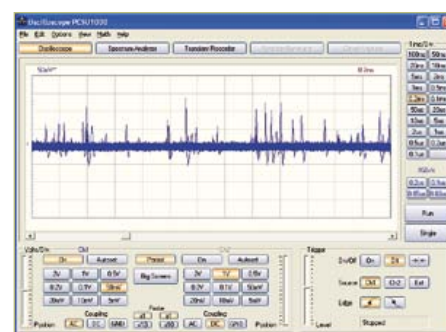


Figure 7. Mesure de 30 s sur un minéral d'uranium.

on devrait observer tous les processus de la chaîne de désintégration de l'uranium. Pour la peinture lumineuse, le noyau initial est, probablement, le radium.

La possibilité d'accumuler les mesures sur des durées assez longues permet aussi d'analyser des échantillons très faiblement radioactifs. Cela fonctionne mieux qu'avec un tube compteur du fait de la quasi-absence de bruit de fond. Un compteur de

Geiger détecte toujours quelques impulsions dues au rayonnement cosmique. Il arrive qu'un de ces rayons gamma durs parvienne aussi à la photodiode, mais sa faible surface réduit considérablement la probabilité d'un tel événement. Les signaux utiles ressortent donc très nettement. La **figure 8** montre le résultat d'une mesure effectuée sur un morceau de galène, un minéral qui ne devrait (presque) pas rayonner. Nous relevons pourtant deux crêtes significatives au

bout d'une demi-heure et un résultat semblable avec du granite dont on sait (ou on ne sait pas) qu'il est légèrement radioactif.

Certains appareils ou composants dont la fabrication ne respectait pas les normes en vigueur aujourd'hui émettent aussi des rayonnements ionisants. De petites lampes témoins au néon et des tubes stabilisateurs de tension pour tension de décharge inférieure à 100 V contiennent des additifs

Publicité

Répertoire des annonceurs

BETA LAYOUT	www.pcb-pool.com	17
EUROCIRCUITS	www.eurocircuits.fr	47
FARNELL	www.element14.com	19
HAMEG	www.hameg.com	63
JACKALTAC	www.jackaltac.com	13
L'IMPULSION	www.limpulsion.com	63
LEXTRONIC	www.lextronic.fr	2
LINEAR AUDIO	www.linearaudio.net	63
MIKROELEKTRONIKA	www.mikroe.com	29
NXP PRODUCT	www.nxp.com/cortex-m0	88
PICO Technology	www.picotech.com/scope3101	71

Réservation d'espaces publicitaires

Réservez dès aujourd'hui votre espace publicitaire dans le magazine Elektor du mois de juillet/août 2011 !
Date limite de réservation : le 19 Juillet 2011

Pour toute information concernant la publicité aussi bien dans notre magazine que sur notre site internet www.elektor.fr contactez :

Elektor Media BV – Ilham Mohammadi
Allee 1 – 6141 AV Limbricht – Pays-Bas
Tél.: 00 31 (0)46 43 89 444 – GSM: 00 31 (0)6 12 93 73 33
E-mail : mohammedi@elektor.fr

L'ORIGINAL DEPUIS 1994

PCB-POOL®

Beta LAYOUT

Spécialistes des circuits imprimés prototypes

NOUVEAU!

Un Pochoir-Laser offert sur chaque commande "Prototype"

NOUVEAU!

Délai rapide: prototypes en 1 Jour Ouvré

NOUVEAU!

Finition étain chimique (aucun changement de prix)

Appel Gratuit
FR 0800 90 33 30

Télécharger vos fichiers et lancer votre commande EN LIGNE
PCB-POOL.COM • sales@pcb-pool.com

On accepte tous les formats suivants:

FreeCAD Eagle Designer Gerber I-Cube Gerber2Gcode JLCPCB RS-274-X Easy-PC PULSONIX

Beta LAYOUT

Produits de désintégration du radon

Vous n'avez pas de substances radioactives sous la main pour vos essais ? Mais si, vous pouvez en récolter là où vous vivez. La radioactivité est partout. Les sols émettent en effet toujours un peu de radon. La demi-vie de ce gaz radioactif est très courte et sa désintégration produit d'autres radionucléides que l'on peut capter soi-même de la façon suivante.

Prenez un fil de cuivre émaillé (0,2 mm de diamètre) et tendez-le, isolé, chez vous. Mettez ce fil sous un potentiel négatif compris entre -5 kV et -10 kV. Au bout d'une dizaine de minutes (et après avoir coupé la haute tension !), essayez le fil avec une bande de papier. Une trace noire salira le papier : il s'agit d'un peu de poussière attirée par le fil chargé. Ces particules de poussière contiennent une quantité relativement élevée de produits de désintégration radioactifs du radon. C'est assez facile à expliquer : lors de la désintégration, les

nouveaux atomes sont très accélérés. Ils perdent alors une partie de leur cortège électronique et se chargent donc positivement. Le fil chargé négativement les attire et les retient.

Lorsque nous approchons ce papier « sale » d'un détecteur de rayonnement, celui-ci mesure une activité élevée. Est-ce dangereux ? Pas vraiment. Si nous n'avions pas ramassé ces atomes, nous aurions pu les respirer et nous en respirons. Vous pouvez, de cette façon, vérifier quelles pièces sont les plus polluées au radon. Il s'agit, en général, de la cave, puisque le radon vient du sous-sol.

Pour la production de haute tension, vous pouvez vous reporter à l'ioniseur décrit ici en mars 2009 (www.elektor.fr/071072). Il vous suffit de rajouter deux étages à la cascade (deux condensateurs et deux diodes) pour parvenir à 5 kV.

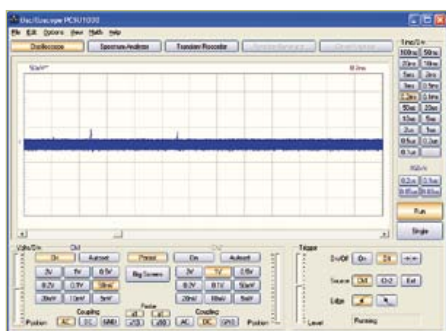


Figure 8. Mesure de 30 minutes sur de la galène.



Figure 9. Tube luminescent avec auxiliaire d'allumage radioactif.

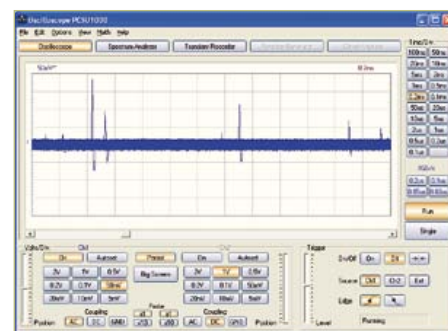


Figure 10. Mesure sur le tube luminescent de la figure 9.

radioactifs. L'auteur le soupçonnait pour une vieille lampe au néon de fabrication russe de 75 V/3 mA (figure 9). Elle présente, sur la tôle extérieure, un petit chapeau métallique soudé sous lequel on voit une bizarre pastille. Elle est percée d'un petit trou vers l'intérieur. Une mesure d'une demi-heure également a mis en évidence des impulsions d'énergie particulièrement élevée (figure 10). Ce rayonnement est détecté après sa traversée du verre du tube !

Perspectives

Nous venons de vous présenter le capteur

et un amplificateur de mesure des plus élémentaires. En installant le montage associé au comparateur décrit en encadré avec un haut-parleur dans un boîtier, vous obtenez un appareil de poche, utilisable sur le terrain, pour vérifier les caractéristiques radioactives de minéraux dans une carrière. En associant le comparateur à un compteur numérique, vous aurez accès à l'activité totale. Avec un montage échantillonneur-bloqueur complémentaire, on pourrait enregistrer les niveaux d'énergie et le résultat pourrait être représenté sous la forme d'un spectrogramme d'énergie.

Des essais de longue durée avec d'autres échantillons sont également envisageables. On sait, par exemple, que le chlorure de potassium est un émetteur bêta faible. Il serait certainement intéressant de voir si la photodiode peut le mettre en évidence.

(110372)

Bibliographie et liens :

- Vidéos sur le détecteur BPW34 : www.youtube.com/user/bkelektronik
- Erhan Emirhan et Cenap S. Özben : PIN photodiode Based X and γ Ray Detectors <http://thm.ankara.edu.tr/tac/YAZOKULU/yazokulu6/dersler/06-09-2010/erhan-emirhan-cenap-ozben-pin-photodiode.pdf>

- Note d'application Maxim 2236, détecteur de rayonnement de photons gamma <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN2236.pdf>
- C. W. Thiel: An Introduction to Semiconductor Radiation Detectors www.physics.montana.edu/students/thiel/docs/Detector.pdf
- Elektor, avril 1980 p. 50-57 : Compteur Geiger www.elektor.fr/geiger