

> comme s'ils étaient libres. Dans cette situation, le photon X cède une (faible) partie de son énergie et de sa quantité de mouvement à l'électron: ce dernier est bien éjecté de l'atome, mais le photon X est juste dévié, pas absorbé. C'est le régime dit de diffusion Compton. Il se traduit par une diminution de l'intensité du faisceau dans sa direction de propagation, puisqu'une partie de l'onde incidente est diffusée dans d'autres directions.

Le second mécanisme est celui de photo-ionisation: le photon X est absorbé et cède toute son énergie à l'électron. Ce mécanisme concerne surtout les électrons des couches plus profondes de l'atome, où l'énergie de liaison n'est plus négligeable (plusieurs keV).

Comment se comparent ces deux mécanismes? Pour la diffusion Compton et à des énergies incidentes inférieures à l'énergie de masse de l'électron (500 keV), la probabilité que le photon X soit diffusé (et ne parvienne donc pas au détecteur) ne dépend pas de son énergie: tout se passe comme si chaque électron était un minuscule écran de 10^{-28} mètre carré.

Pour la photo-ionisation, la probabilité d'absorption est maximale si l'énergie du photon X est égale à l'énergie d'ionisation pour l'électron en question. Elle diminue ensuite très vite lorsque l'énergie du photon augmente (de façon inversement proportionnelle à l'énergie).

En résumé, dans le domaine d'énergie considéré, le taux de diffusion Compton est pratiquement constant. Cet effet domine aux hautes énergies. À plus basse énergie, c'est la photo-ionisation, dont le taux varie fortement avec l'énergie, qui l'emporte.

ÉNERGIES DIFFÉRENTES, IMAGES DIFFÉRENTES

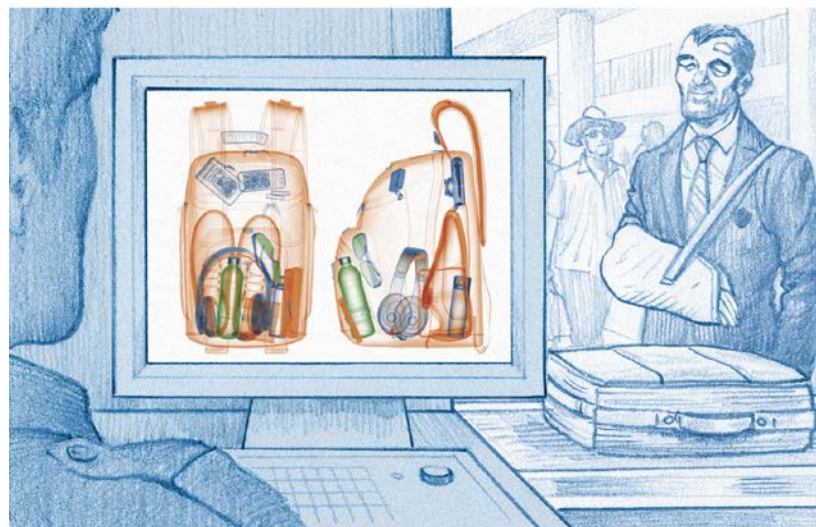
La transition d'un régime à l'autre dépend de la nature de l'atome (vers 20 keV pour des éléments légers tels que le carbone, à 130 keV pour le cuivre par exemple). En fonction de l'énergie de faisceau utilisée, on n'aura donc pas la même image selon les atomes présents.

C'est pourquoi les inspections de sûreté s'effectuent à plusieurs énergies: on prend simultanément deux radiographies (parfois plus) avec des rayons X d'énergies différentes. La comparaison des deux images permet de remonter au numéro atomique (nombre de protons de l'atome) moyen du matériau traversé.

On traduit alors cette information en couleur afin de distinguer trois grands groupes de matériaux. On marque en

CONTRÔLES SUBSTANTIELS

En effectuant des radiographies avec des rayons X de deux énergies différentes, on accède au numéro atomique moyen de la substance traversée, ce qui renseigne sur sa nature. On visualise ainsi en orange les substances de faible numéro atomique, en particulier les matériaux organiques dont font partie les drogues et les explosifs. Il est même possible, par des algorithmes appropriés, de distinguer ces derniers, en s'appuyant sur le fait que les molécules des drogues sont riches en carbone, oxygène et hydrogène, tandis que celles des explosifs ont beaucoup plus d'azote.



orange les éléments de faible numéro atomique, ce qui correspond à de la matière organique: aliments, vêtements (ce sont des polymères), mais aussi drogues ou explosifs.

On indique en vert les éléments de numéro atomique intermédiaire, typiquement l'aluminium, et en bleu les éléments de numéro atomique élevé, tels que le cuivre ou le fer. On utilise en outre la gamme clair-sombre pour visualiser le degré d'absorption, c'est-à-dire l'épaisseur traversée. Et pour résoudre en partie le problème de la superposition des ombres, on prend deux images dans des directions perpendiculaires.

Il est possible de faire encore mieux. Certains dispositifs détectent les rayons X diffusés par l'objet vers l'arrière (en direction de la source), qui renseignent sur les éléments légers, donc sur les substances organiques. C'est notamment le cas avec les scanners corporels, qui doivent minimiser l'absorption de rayons X.

Et l'on peut effectuer de la tomographie, c'est-à-dire prendre des images à l'aide de détecteurs qui tournent autour de l'objet afin d'avoir des vues dans toutes les directions, ce qui permet de reconstruire le contenu dans les trois dimensions. Ce type de scanner est maintenant obligatoire dans les aéroports pour contrôler les bagages allant en soute. ■

BIBLIOGRAPHIE

O. E. Wetter, **Imaging in airport security: Past, present, future, and the link to forensic and clinical radiology**, *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, vol. 1(4), pp. 152-160, 2013.

H. Vogel et D. Haller, **Luggage and shipped goods**, *European Journal of Radiology*, vol. 63(2), pp. 242-253, 2007.

V. Rebuffel et J.-M. Dinten, **Dual-energy X-ray imaging: Benefits and limits**, *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, vol. 49(10), pp. 589-594, 2007.

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE** EN TOUTE LIBERTÉ

**OFFRE
SPÉCIALE
NOUVELLE
FORMULE**

**FORMULE
INTÉGRALE -46%**

**FORMULE
PASSION -36%**

**FORMULE
DÉCOUVERTE -26%**



8,20€*



6,50€*



4,90€*



AVEC VOTRE ABONNEMENT INTÉGRAL OU PASSION LE DVD LE MYSTÈRE ETTORE MAJORANA, UN PHYSICIEN ABSOLU

Ettore Majorana, un jeune physicien, théoricien fulgurant, disparaît mystérieusement le 28 mars 1938 à bord d'un navire. Son corps n'a jamais été retrouvé. Il avait 31 ans. De nombreuses hypothèses ont été émises sur sa disparition : il se serait suicidé ou même aurait été enlevé par les nazis... Le mystère reste entier. Etienne Klein, physicien renommé, directeur de recherche au CEA, part sur les traces de Majorana. Son histoire permet-elle de percer le secret de sa disparition ? "(Un) passionnant récit (...). La grande force du film est d'être à la fois pédagogique et personnel" **Télérama**

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ **OUI, JE M'ABONNE À POUR LA SCIENCE EN PRÉLÈVEMENT AUTOMATIQUE, JE CHOISIS MA FORMULE ET JE COMPLÈTE L'AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT CI-DESSOUS.**

☐ FORMULE **INTÉGRALE**

12 n° de Pour la Science + 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives depuis 1996
+ Le DVD "Le Mystère Ettore Majorana"

8,20€

Par mois

-46%

IPV6E20K8

☐ FORMULE **PASSION**

12 n° de Pour la Science
+ 4 Hors-Séries
+ Le DVD "Le Mystère Ettore Majorana"

6,50€

Par mois

-36%

PPV6E50K7

☐ FORMULE **DÉCOUVERTE**

12 n° de Pour la Science

4,90€

Par mois

-26%

DPV4E90

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____ @ _____

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA

PAS477P

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

IBAN _____

(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier : Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse - 75014 Paris
N° ICS FR92ZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

Joindre un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

* Par mois et par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives et la valeur du DVD. Vous pouvez également si vous le souhaitez acquérir séparément le DVD "Le mystère Ettore Majorana" au prix de 14,99€, chaque n° de Pour la Science au tarif de 6,50€, notre n° spécial au tarif de 6,95€ et nos hors-séries au tarif de 7,50€. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/12/2017 en France métropolitaine uniquement et dans la limite des stocks disponibles. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre.