



## 2016 Prizes of the French Academy of Sciences / Prix 2016 de l'Académie des sciences

## Foreword



This issue of *Comptes rendus Physique* presents the work of the winners of the 2016 prizes of the French Academy of Sciences. We start with Applied Physics and the kind of physics that is particularly related to our everyday life.

We will begin with the everyday life of awkward people who break glasses, plates or sometimes expensive measuring instruments. Perhaps a better understanding of the breakage phenomenon will allow us to build less brittle objects. It may also help to predict earthquakes. This understanding is the concern of Daniel Bonamy. It is limited to so-called brittle materials, in which the rupture occurs suddenly without being preceded by plastic deformation. The author first recalls the classical theory<sup>1</sup> of the propagation of a crack in a homogeneous material. This theory predicts a continuous evolution which is not always observed, especially in earthquakes. Bonamy explains to us how, in some cases, a jerky dynamics may appear with scaling laws similar to those encountered, for example, in critical phenomena.

Another concern in our everyday life is to perceive the world around us, and possibly its dangers; especially at night, when everything is black. This is possible if sensors are available, which are able to see the infrared radiation emitted by objects and living beings by thermal radiation. It is also necessary to have materials transparent to this infrared “light”. The usual glass is opaque because the vibrations of its atoms absorb the radiations of long wavelength. Laurent Calvez explains how the transparency threshold can be increased by replacing the light silicon with heavier elements such as germanium or selenium. In their article, a photograph shows a person who stands out among the foliage, and is visible because of one’s higher temperature (about thirty degrees in winter) and the laws of thermal radiation.

Alessandro Monfardini is also concerned with the detection of electromagnetic radiation, but at longer wavelengths, of the order of a millimeter. He uses superconductors, which are preferably poor superconductors, i.e. with a low critical temperature (<4 K) because the lower the temperature, the less energy it takes to break the Cooper pairs, and the more sensitive the detector is. These detectors are especially useful in radio astronomy. Monfardini is particularly interested in the NIKA2 millimeter camera installed on the European telescope of Pico Veleta in Spain. Combined with satellite observations (e.g., by *Planck*), such an instrument makes it possible to better understand the formation of stars and also the physics of distant galaxies.

If we proceed in the scale of electromagnetic radiation of increasing wavelength, we arrive at nuclear magnetic resonance (NMR). Claude Berthier’s merit is to have developed NMR experiments at the Grenoble National Laboratory of Intense Magnetic Fields (LNCMI). These experiments relate in particular to approximately one-dimensional (and also two-dimensional) magnetic systems. If the interactions are short ranged, an ideally one-dimensional magnetic system has no order at finite temperature (because the excitations capable of destroying this order have finite energy). On the other hand, as a function of the field, it presents a transition at zero temperature, often very influenced by quantum mechanics.<sup>2</sup> High magnetic fields also have surprising effects on some high temperature superconductors, in which, under certain conditions, they create charge-density waves. This phenomenon can shed light on the still poorly understood mechanism of high-temperature superconductivity, even if it is destroyed by the field. In other superconductors, a strong magnetic field may result in an alternation of superconducting and normal regions, foreseen by Fulde, Ferrell, Larkin, and Ovchinnikov. In other superconductors, finally, superconductivity is induced by a magnetic field, contrary to what usually happens. As the authors remind

<sup>1</sup> This theory has various forms. The argument summarized by Bonamy, which dates back to a hundred years ago, postulates a cavity of elliptical form. Landau and Lifshitz, in their book on elasticity published in the middle of the last century, show that the cavity has a rather different shape with a singularity... but specify in a footnote that the “shape of the terminal projection of the crack is not to be taken as exact.” The results obtained by Landau and Lifshitz are in agreement with those summarized by Bonamy. For example, a crack of length  $a$  tends to increase its size if the stress is greater than  $\sigma^* = 2\gamma_s E/\pi a(1 - \alpha^2)^{1/2}$ , where  $\alpha$  is the Poisson coefficient. This formula is compatible with Bonamy’s formulas (2) and (5). Landau and Lifshitz also demonstrate Bonamy’s formula (6) and explain that it is valid only if the distance  $r$  at the end of the crack is not too small.

<sup>2</sup> In one-dimensional magnetic systems there are two important critical fields which are best defined by using the equivalence with a gas of fermions without spin (Luttinger–Tomonaga liquid) recalled by the authors. The first of these critical fields corresponds to the disappearance of the triplet singlet gap, when the band of the Luttinger–Tomonaga liquid begins to fill. This field is relatively weak (2 or 3 teslas). The other important field is the saturation field, where the band becomes completely full. This one can reach 30 teslas and requires high-field installations.

us, this phenomenon was explained by Jaccarino and Peter more than 50 years ago by an effective exchange field due to localized magnetic moments whose action on conduction electrons compensates for the external field. NMR is an experimental technique well adapted to high field experiments, since the apparatus is relatively compact (compared for example to a neutron generator).

The last two articles deal with very fundamental topics. Cristina Bena evokes the Majorana states in solid-state physics. A Majorana particle is a (still hypothetical) fermion that would be its own antiparticle. The Majorana state described by Cristina Bena is half an electron and half a hole, just as Schrödinger's cat is half alive and half dead. Unlike the particles imagined by Majorana, these states are trapped at specific points, and moreover are not fermions, but "anyons". On the other hand, as Nature requires that the total number of electrons be an integer, this imposes certain conditions. The currently known Majorana states are obtained in the form of entangled pairs. They might have applications in quantum computing. As regards the Majorana particles, it is curious that the standard model of elementary particles, which has a high predictive power, does not allow one to establish their existence, nor to decide whether or not neutrinos are indeed Majorana fermions. Let us return to the real Majorana fermions. While it is now known that neutrinos have a non-vanishing (though extremely weak) mass and can oscillate from one species to another, it is not yet known whether they can be called "Majorana particles". This would in particular imply the existence of radioactive disintegrations that do not respect the law of conservation of the leptonic number, and thus would impose to go beyond the Standard Model of Particle Physics.

It is precisely to this standard model that Yasmine Amhis devotes the last article of this issue. The standard model foresees symmetry (or more precisely a property of universality) between the three families of leptons associated with the electron, the muon, and the tau. The LHCb experiment, to which Yasmine Amhis is a particularly active contributor, seems to have revealed a slight deficit in the production of muons compared to that of electrons. If this phenomenon were confirmed, the property of universality would be violated, and this would be a sign of the New Physics (NP), which is the Grail which high-energy physicists are currently in search of. Of course, we are not yet to discover the new unknown particles that could constitute dark matter, and to fill all the shortcomings of the standard model, which Yasmine Amhis states in her article. The title of this article reminds us that physicists sometimes put fantasy into their inventions, attributing beauty to a quark and comparing to a penguin the disintegration process of the beautiful quark into a strange quark and two leptons.

The prizes awarded by the French Academy of Sciences honor all branches of physics. The committees that award these prizes bring together researchers whose skills are not universal. They strive to make the best decisions in areas that are not their own, and thus have the satisfaction of improving their scientific culture. This issue of *Comptes rendus Physique* will hopefully bring readers similar satisfaction. I myself had that of writing this foreword with the help of the laureates and of some colleagues whose skills have remedied my ignorance: Pierre Fayet, Manuel Houzet, and Denis Jérôme.

## Avant-propos

Ce numéro des *Comptes rendus Physique* est consacré à la présentation des travaux des lauréats des prix de l'Académie des sciences en 2016. Nous traiterons d'abord de physique appliquée, et de celle qui concerne directement notre vie quotidienne.

Nous commencerons par la vie quotidienne des personnes maladroites qui cassent des verres, des assiettes ou parfois de coûteux instruments de mesure. Peut-être une meilleure compréhension du phénomène de cassure nous permettra de construire des objets moins cassants. De mieux prévoir aussi les tremblements de terre. Cette compréhension est le souci de Daniel Bonamy. Il se limite aux matériaux dits fragiles, dans lesquels la rupture survient brusquement sans être précédée de déformation plastique. L'auteur rappelle d'abord la théorie classique de la propagation d'une cassure dans un matériau homogène.<sup>3</sup> Cette théorie prévoit une évolution continue, qui n'est pas toujours observée, notamment dans les tremblements de terre. Bonamy nous explique comment, dans certains cas, peut apparaître une dynamique saccadée avec des lois d'échelle, comme on en rencontre, par exemple, dans les phénomènes critiques.

Un autre souci de notre vie quotidienne est de bien percevoir le monde qui l'entoure, et éventuellement ses dangers, en particulier la nuit, quand tout est noir. Cela est possible si on dispose de capteurs capables de voir le rayonnement infrarouge émis par les objets et les êtres vivants par rayonnement thermique. Encore faut-il disposer de matériaux transparents à cette « lumière » infrarouge. Le verre habituel est opaque, car les vibrations de ses atomes absorbent les rayonnements de grandes longueurs d'onde. Laurent Calvez explique comment on peut augmenter le seuil de transparence en remplaçant le silicium léger par des éléments plus lourds tels que le germanium ou le sélénium. Dans son article, une photographie montre un

<sup>3</sup> Cette théorie se présente sous diverses formes. L'argument résumé par Bonamy, qui date d'il y a une centaine d'années, postule une cavité de forme elliptique. Dans leur manuel d'élasticité paru au milieu du siècle dernier, Landau et Lifshitz montrent que la cavité a une forme assez différente avec une singularité... mais précisent, dans une note en bas de page, qu'il « ne faut pas prendre trop à la lettre la forme du bec terminal. » Landau et Lifshitz obtiennent des résultats en accord avec ceux résumés par Bonamy. Par exemple, une fissure de longueur  $a$  tend à augmenter sa taille si l'effort est supérieur à  $\sigma^* = [\gamma_s E / \pi a (1 - \alpha^2)]^{1/2}$ , où  $\alpha$  est le coefficient de Poisson. Cette formule est compatible avec les formules (2) et (5) de Bonamy. Landau et Lifshitz démontrent aussi la formule (6) de Bonamy, et expliquent qu'elle n'est valable que si la distance  $r$  à l'extrémité de la fissure n'est pas trop petite.

personnage qui se détache d'un feuillage, grâce à sa température plus élevée (une trentaine de degrés en hiver) et aux lois du rayonnement thermique.

Alessandro Monfardini se préoccupe aussi de la détection du rayonnement électromagnétique, mais il s'agit de longueurs d'onde encore plus grandes, de l'ordre du millimètre. Il utilise pour cela des supraconducteurs, auxquels il demande d'être peu supraconducteurs, c'est-à-dire d'avoir une température critique assez basse ( $<4$  K) car, plus la température est basse, moins il faut d'énergie pour casser les paires de Cooper, et plus le détecteur est donc sensible. Ces détecteurs sont surtout utiles en radioastronomie. Monfardini s'intéresse particulièrement à la caméra millimétrique NIKA2 installée sur le télescope européen de Pico Veleta, en Espagne. Combiné à des observations par satellite (par exemple, par *Planck*) un tel instrument permet de mieux comprendre la formation des étoiles et aussi la physique des galaxies lointaines.

Si nous continuons à suivre l'échelle des rayonnements électromagnétiques de longueur d'onde croissante, nous arrivons à la résonance magnétique nucléaire (RMN). Le mérite de Claude Berthier est d'avoir développé des expériences de RMN au Laboratoire national des champs magnétiques intenses (LNCMI) de Grenoble. Ces expériences concernent notamment des systèmes magnétiques approximativement unidimensionnels (et aussi bidimensionnels). Si les interactions sont à courte portée, un système magnétique idéalement unidimensionnel n'a pas d'ordre à température non nulle (parce que les excitations capables de détruire cet ordre ont une énergie finie). En revanche, en fonction du champ, il présente une transition à température nulle, souvent très influencée par la mécanique quantique.<sup>4</sup> Les forts champs magnétiques ont aussi des effets surprenants sur certains supraconducteurs à haute température, dans lesquels, dans certaines conditions, ils créent des ondes de densité de charge. Ce phénomène peut nous éclairer sur le mécanisme encore mal compris de la supraconductivité à haute température, même si celle-ci est détruite par le champ. Dans d'autres supraconducteurs, un fort champ magnétique peut provoquer l'apparition d'une alternance de régions supraconductrices et normales, prévue par Fulde, Ferrell, Larkin et Ovchinnikov. Dans d'autres supraconducteurs, enfin, un champ magnétique fort fait apparaître la supraconductivité, contrairement à ce qui se passe d'habitude. Comme le rappellent les auteurs, ce phénomène a été expliqué par Jaccarino et Peter il y a plus de 50 ans par un champ effectif d'échange dû aux moments magnétiques localisés, dont l'action sur les électrons de conduction compense le champ extérieur. La RMN est une technique expérimentale bien adaptée à l'expérimentation en champ fort, car l'appareillage est relativement peu encombrant (comparé par exemple à un générateur de neutrons).

Les deux derniers articles traitent de questions très fondamentales. Cristina Bena évoque les états de Majorana en physique du solide. Une particule de Majorana est un fermion (encore hypothétique) qui serait sa propre antiparticule. L'état de Majorana décrit par Cristina Bena est à moitié électron et à moitié trou, de même que le chat de Schrödinger est à moitié vivant et à moitié mort. Contrairement aux particules imaginées par Majorana, ces états sont piégés en des points précis, et par ailleurs ne sont pas des fermions, mais des « any-ons ». Par ailleurs, comme la Nature nous impose que le nombre total d'électrons soit entier, cela implique certaines conditions. Actuellement, les états de Majorana qu'on connaît sont obtenus par paires, sujettes à intrication. Ils pourraient avoir des applications en calcul quantique. Revenons aux vrais fermions de Majorana. Si nous savons maintenant, en physique des particules, que les neutrinos ont une masse non nulle (certes extrêmement faible) et peuvent osciller d'une espèce à une autre, nous ignorons toujours s'ils peuvent être, ou non, qualifiés du nom de « particules de Majorana ». Ceci impliquerait notamment l'existence de désintégrations radioactives ne respectant pas la loi de conservation du nombre leptonique, et donc d'une physique allant au-delà du modèle standard de la physique des particules.

C'est précisément de ce modèle standard que nous parle Yasmine Amhis dans le dernier article du présent numéro. Le modèle standard prévoit une symétrie (ou plus précisément une propriété d'universalité) entre les trois familles de leptons associées à l'électron, au muon et au tau. L'expérience LHCb, à laquelle Yasmine Amhis est une contributrice particulièrement active, semble cependant avoir mis en évidence un léger déficit dans la production de muons par rapport à celle d'électrons. Ce phénomène, s'il venait à être confirmé, pourrait conduire à remettre en cause la propriété d'universalité, et se révéler un signe de cette *nouvelle physique* (NP) qui est le Graal dont les physiciens des hautes énergies sont actuellement en quête. Bien sûr, nous n'en sommes pas encore à découvrir les nouvelles particules inconnues qui pourraient constituer la matière noire, et à combler toutes les lacunes du modèle standard, que Yasmine Amhis expose dans son article. Le titre de cet article nous rappelle que les physiciens mettent parfois de la fantaisie dans leurs inventions, en attribuant de la beauté à un quark et en comparant à un pingouin le processus de désintégration du quark beau en un quark étrange et deux leptons.

Les prix décernés par l'Académie des sciences honorent toutes les branches de la physique. Les commissions qui décernent ces prix réunissent des chercheurs dont les compétences ne sont pas universelles. Ils s'efforcent de prendre les meilleures décisions dans des domaines qui ne sont pas les leurs, et ont ainsi la satisfaction d'améliorer leur culture scientifique. Ce numéro des *Comptes rendus Physique* apportera, nous l'espérons, semblable satisfaction aux lecteurs. J'ai

<sup>4</sup> Il existe dans les systèmes magnétiques unidimensionnels deux champs critiques importants qui se définissent au mieux en utilisant l'équivalence avec un gaz de fermions sans spin (liquide de Luttinger-Tomonaga) rappelée par les auteurs. Le premier de ces champs critiques est le champ critique de fermeture du gap singlet triplet, où la bande de fermions sans spin du liquide de Luttinger-Tomonaga commence à se remplir. Ce champ est relativement faible (2 ou 3 teslas). L'autre champ important est le champ de saturation où la bande devient complètement pleine. Celui-là peut atteindre 30 tesla et nécessite des installations de champs intenses.

eu moi-même cette satisfaction en rédigeant cet avant-propos avec l'aide des lauréats et de quelques collègues dont les compétences ont remédié à mes ignorances : je citerai notamment Pierre Fayet, Manuel Houzet et Denis Jérôme.

Jacques Villain  
*Institut Laue-Langevin*  
71, avenue des Martyrs, CS 20156,  
38042 Grenoble cedex 9 France  
E-mail address: [jvillain@infonie.fr](mailto:jvillain@infonie.fr)

Available online 18 October 2017