

PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE

Antoine GEORGES

Membre de l'Institut (Académie des sciences),
professeur au Collège de France

Mots-clés : physique, matière condensée

Les trois séminaires organisés en 2015-2016 dans le cadre du cours prévu « Contrôler les fonctionnalités des oxydes : hétérostructures, impulsions lumineuses » sont partiellement disponibles, en audio et/ou en vidéo, sur le site internet du Collège de France (<http://www.college-de-france.fr/site/antoine-georges/course-2015-2016.htm>).

ENSEIGNEMENT

COURS

Le cours n'a pas eu lieu. La thématique prévue « Contrôler les fonctionnalités des oxydes : hétérostructures, impulsions lumineuses » sera abordée en 2016-2017.

SÉMINAIRES

Trois séminaires faisant partie du cycle d'enseignement ont été organisés en 2015-2016 :

- 26 mai 2016, Arun Paramekanti, université de Toronto (Canada) : *Double perovskite heterostructures: Route to quantized anomalous Hall effect.*
- 10 juin 2016, Charles Ahn, Yale University (États-Unis) : *The materials physics of complex oxides.*
- 27 juin 2016, D.D. Sarma (IISc, Bangalore, India) : *Layer-resolved electronic structure of oxide heterostructures using high-energy photoelectron spectroscopy*, séminaire organisé conjointement avec le Centre franco-indien pour la promotion de la recherche avancée (CEFIPRA).

ORGANISATION DE COLLOQUES ET RENCONTRES EN 2015-2016

- 24-26 septembre 2015 : rencontre de la collaboration ERC-QMAC – Genève, Suisse (organisateur : A. Cavalleri, D. Jaksch, A. Georges, J.-M. Triscone).

- 31 janvier – 2 février 2016 : rencontre de la collaboration ERC-QMAC – Genève, Suisse (organisateurs : A. Cavalleri, D. Jaksch, A. Georges, J.-M. Triscone).
- 4-5 juillet 2016 : Rencontre de la collaboration ERC-QMAC – Fondation Hugot du Collège de France, Paris (organisateurs : A. Cavalleri, D. Jaksch, A. Georges, J.-M. Triscone).

AUTRES ENSEIGNEMENTS

Enseignements à l'École polytechnique, cours de niveau master 1 : « Physique quantique des électrons dans les solides » (A. Georges, M. Ferrero, E. Perelitsky), septembre-décembre 2014.

RECHERCHE

Les recherches menées dans l'équipe concernent la matière quantique à fortes corrélations. Il s'agit de systèmes constitués d'un très grand nombre de particules indiscernables (les électrons d'un solide ou les atomes d'un gaz ultra-froid par exemple) ayant entre elles de fortes interactions. Pour ces systèmes, une description théorique en termes de fonctions d'ondes indépendantes est insuffisante. Le développement de nouvelles méthodes théoriques, analytiques et computationnelles, permettant de comprendre la physique de ces systèmes, est au cœur des activités de notre équipe, ainsi que les applications de ces méthodes à des questions de physique des matériaux ou aux propriétés d'autres systèmes quantiques en interaction.

En 2015-2016, les principales directions poursuivies au sein de ce domaine général ont été les suivantes.

PRINCIPALES DIRECTIONS POURSUIVIES

1) Développements algorithmiques

Une nouvelle méthode permettant de pousser les algorithmes de « Monte-Carlo diagrammatique » dans un régime de température jusqu'alors inaccessible a été développée (Wu *et al.*, 2016). Celle-ci permet d'élucider l'origine du phénomène dit de « pseudo-gap » dans le modèle de Hubbard bidimensionnel, en relation avec la physique des oxydes de cuivre supraconducteurs à haute température critique.

En collaboration avec l'équipe d'Olivier Parcollet (IPhT-CEA-Saclay), notre équipe (Michel Ferrero) participe au développement de la librairie de codes *open-source* TRIQS « Toolbox for Research on Interacting Quantum Systems » (Aichhorn *et al.*, 2016 ; Seth *et al.*, 2016).

2) Propriétés électroniques et contrôle des oxydes de métaux de transition

Les oxydes de métaux de transition sont des matériaux ayant des fonctionnalités électroniques particulièrement intéressantes. Plusieurs voies de contrôle « physique » de ces matériaux sont actuellement explorées, comme la fabrication d'hétérostructures d'oxydes permettant d'agir *via* des contraintes mécaniques sur les caractéristiques électroniques essentielles : largeur de bande, énergies de champ cristallin, etc. Dans

ce contexte, notre équipe poursuit des travaux sur les oxydes de nickel RNiO_3 (où R est une terre rare), qui a conduit à une nouvelle compréhension théorique de la transition métal-isolant de ces matériaux. Dans le cadre de travaux sur les oxydes de ruthénium, nous avons, en collaboration avec l'équipe expérimentale de J. Chang (ETHZ-PSI), établi l'importance de l'abaissement énergétique des orbitales xy et du couplage de Hund pour expliquer le caractère isolant de Ca_2RuO_4 .

Toujours dans le domaine de la physique des matériaux, Leonid Pourovskii a poursuivi un programme de recherche sur les propriétés électroniques du fer sous pressions géophysiques. Il a en particulier montré l'importance des corrélations électroniques pour en comprendre les propriétés de transport (en particulier la conductivité thermique), propriétés qui sont essentielles pour interpréter les données sismologiques (Pourovskii *et al.*, 2016).

3) Contrôle des solides par des impulsions Téra-Hertz et supraconductivité induite par la lumière

Une direction de recherche particulièrement originale s'est développée depuis quelques années, cherchant à contrôler les fonctionnalités d'un matériau en excitant de manière sélective certains modes structuraux par des impulsions lumineuses térahertz en résonance avec ces modes. Les expériences pionnières menées par Andrea Cavalleri (MPI Hamburg) et ses collaborateurs ont montré qu'il est possible de changer de manière transitoire la structure du matériau, induisant par exemple une transition isolant-métal ou, plus récemment, augmentant ainsi la cohérence d'un matériau supraconducteur. Cette direction de recherche est au cœur du programme « Frontiers in Quantum Materials Control » (ERC Synergy Q-MAC) dont notre équipe est l'un des quatre partenaires.

En 2015-2016, notre équipe a poursuivi de nombreux travaux dans ce domaine (Sentef *et al.*, Subedi, Kim *et al.*, Mazza *et al.*, 2016). L'un des résultats les plus marquants a été une explication théorique possible de la supraconductivité induite par la lumière dans le solide organique K_3C_{60} (Kim *et al.*, 2016) récemment observée par Mitrano *et al.*

INFORMATIONS SUR L'ÉQUIPE DE RECHERCHE

L'équipe de recherche « Matériaux quantiques à fortes corrélations » est implantée au sein de l'Institut de physique du Collège de France (Bâtiment E). L'équipe est rattachée au Centre de physique théorique (CPHT, CNRS UMR-7644), École polytechnique et université Paris-Saclay.

Membres de l'équipe de chaire (2015-2016) : Michel Ferrero, Antoine Georges, Leonid Pourovskii (permanents) ; Giacomo Mazza, Oleg Peil, Edward Perepelitsky, Minjae Kim, Alaska Subedi, Wei Wu (postdoctorants) ; membres associés à l'équipe de chaire : Silke Biermann (CPHT-École polytechnique), Olivier Parcollet (IPHT-CEA), Indranil Paul (LMPQ, université Paris-Diderot), Evgeny Kozik (King's College) ; Thomas Ayrat, Pascal Delange, Priyanka Seth, Yusuke Nomura (doctorants et postdoctorants).

Site web recherche : <http://www.cpht.polytechnique.fr/cpht/correl/mainpage.htm>

L'équipe de chaire est membre fondateur de trois réseaux collaboratifs internationaux :

- le projet ERC-Synergy QMAC « Frontiers in Quantum Materials Control », Hambourg-Genève-Oxford-Paris (A. Georges et postdocs) ;
- la « Simons Collaboration on the Many-Electron Problem » financé par la Simons Foundation (M. Ferrero, A. Georges) ;
- le Centre national de compétences en recherche NCCR-MARVEL « Materials Revolution : Computational Design and Discovery of Novel Materials », sous l'égide de la Fondation nationale suisse pour la science (O. Peil et A. Georges dans le cadre d'une affiliation à temps partiel à l'université de Genève).

A. Georges est, de plus, membre du conseil scientifique du programme « Quantum Materials » de la Fondation canadienne pour la recherche avancée (CIFAR), qui a des liens de collaboration avec plusieurs équipes de chaire du Collège. Notre équipe fait également partie d'un laboratoire international associé (LIA) CNRS-université de Sherbrooke créé au printemps 2016.

De nombreux travaux de notre équipe de recherche s'inscrivent par ailleurs dans le cadre de collaborations, avec des équipes théoriques ou expérimentales. En 2015-2016, ces collaborations ont impliqué principalement les institutions suivantes : IPhT, CEA-Saclay (O. Parcollet), Institut d'optique Graduate School (L. Sanchez-Palencia et A. Aspect), université de Genève (J.-M. Triscone, D. van der Marel, F. Baumberger, C. Berthod, D. Jaccard), ETH-Zurich (P. de Forcrand), université de Bonn (C. Kollath), Institut Jozef Stefan, Ljubljana (J. Mravlje), Max Planck Institute for Structural Dynamics, Hambourg (A. Cavalleri, M. Sentef), King's College London (E. Kozik), University of California, UC-Santa Cruz (B.S. Shastry), Columbia University (A.J. Millis), université de Linköping, Suède (I. Abrikosov), université de Graz, Autriche (M. Aichhorn), SISSA, Trieste, Italie (M. Capone et M. Fabrizio), université de Sherbrooke (Canada).

PUBLICATIONS

AICHHORN M., POUROVSKII L., SETH P., VILDOSOLA V., ZINGL M., PEIL O.E., DENG X., MRAVLJE J., KRABERGER G.J., MARTINS C., FERRERO M. et PARCOLLET O., « TRIQS/ DFTTools : A TRIQS application for ab initio calculations of correlated materials », *Computer Physics Communications*, vol. 204, 2016, p. 200-208, DOI : 10.1016/j.cpc.2016.03.014 [arXiv :1511.01302].

AKERLUND O. et DE FORCRAND P., « Mean distribution approach to spin and gauge theories », *Nuclear Physics B*, vol. 905, 2016, p. 1-15, DOI : 10.1016/j.nuclphysb.2016.02.006 [arXiv:1601.01175].

AKERLUND O., DE FORCRAND P. et RINDLISBACHER T., « Oscillating propagators in heavy-dense QCD », *Journal of High Energy Physics*, vol. 10, n° 55, 2016 [arXiv:1602.02925].

DELANGE P., AYRAL T., SIMAK S.I., FERRERO M., PARCOLLET O., BIERMANN S. et POUROVSKII L., « Large effects of subtle electronic correlations on the energetics of vacancies in alpha-Fe », *Physical Review B*, vol. 94, 2016, DOI : 10.1103/PhysRevB.94.100102.

GEORGES A., « The beauty of impurities: Two revivals of Friedel's virtual bound-state concept », *Comptes Rendus Physique*, vol. 17, 2016, p. 430-446, DOI : 10.1016/j.crhy.2015.12.005.

GRENIER C., KOLLATH C. et GEORGES A., « Thermoelectric transport and Peltier cooling of cold atomic gases », *Comptes Rendus Physique*, vol. 17, n° 10, 2016, p. 1161-1174.

- KIM M., NOMURA Y., FERRERO M., SETH P., PARCOLLET O. et GEORGES A., « Enhancing superconductivity in A_3C_{60} fullerenes », *Physical Review B*, vol. 94, n° 15, 2016, DOI : 10.1103/PhysRevB.94.155152.
- LEONOV I., POUROVSKII L., GEORGES A. et ABRIKOSOV I.A., « Magnetic collapse and the behavior of transition metal oxides at high pressure », *Physical Review B*, 2016, vol. 94, n° 15, 2016, DOI : 10.1103/PhysRevB.94.155135.
- MAZZA G., AMARICCI A., CAPONE M. et FABRIZIO M., « Field-driven Mott gap collapse and resistive switch in correlated insulators », *Physical Review Letters*, vol. 117, n° 17, DOI : 10.1103/PhysRevLett.117.176401.
- MRAVLJE J. et GEORGES A., « Thermopower and Entropy: Lessons from Sr_2RuO_4 », *Physical Review Letters*, vol. 117, n° 3, p. 036401, 2016, DOI : 10.1103/PhysRevLett.117.036401.
- PEREPELITSKY E., GALATAS A., MRAVLJE J., ZITKO R., KHATAMI E., SHASTRY B.S. et GEORGES A., « Transport and optical conductivity in the Hubbard model: A high-temperature expansion perspective », *Physical Review B*, vol. 94, n° 23, 2016, DOI : 10.1103/PhysRevB.94.235115.
- POUROVSKII L.V., MRAVLJE J., GEORGES A., SIMAK S.I. et ABRIKOSOV I.A., « Fermi-liquid behavior and thermal conductivity of ϵ -iron at Earth's core conditions », 2016, [arXiv:1603.02287].
- RINDLISBACHER T., AKERLUND O. et DE FORCRAND P., « Sampling of General Correlators in Worm Algorithm-based Simulations », *Nuclear Physics B*, vol. 909, p. 542-583, 2016, DOI : 10.1016/j.nuclphysb.2016.05.026 [arXiv:1602.09017].
- SENTEF M.A., KEMPER A.F., GEORGES A. et KOLLATH C., « Theory of light-enhanced phonon-mediated superconductivity », *Physical Review B*, vol. 93, n° 14, 2016, DOI : 10.1103/PhysRevB.93.144506 [arXiv:1505.07575].
- SETH P., KRIVENKO I., FERRERO M. et PARCOLLET O., « TRIQS/CTHYB: A continuous-time quantum Monte Carlo hybridization expansion solver for quantum impurity problems », *Computer Physics Communications*, vol. 200, 2016, p. 274-284, DOI : 10.1016/j.cpc.2015.10.023 [arXiv:1507.00175].
- WU W., FERRERO M., GEORGES A. et KOZIK E., « Controlling Feynman diagrammatic expansions: physical nature of the pseudo gap in the two-dimensional Hubbard model », 2016 [arXiv:1608.08402].

