

PhD position in Condensed Matter physics

Institut de Physique de Rennes (IPR) UMR CNRS 6251

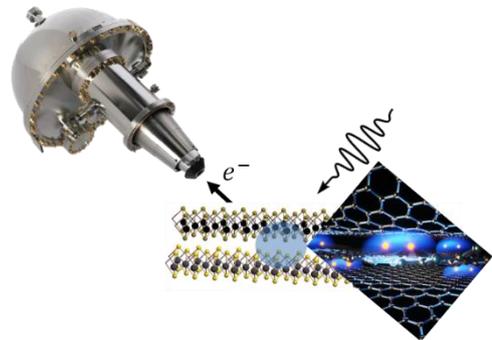
Starting date Oct. 2023

Moiré superlattices in transition-metal dichalcogenides heterostructures

Funding agency : Agence Nationale de la Recherche (ANR)

PhD supervisors: Thomas Jaouen (CNRS Researcher) / Jean-Christophe Le Breton (CNRS Researcher)/
Philippe Schieffer (Professor)

General Scope: The history of condensed matter physics demonstrates the ubiquity of unconventional electronic states in the emergence of remarkable new properties such as giant magnetoresistance, high-critical temperature superconductivity, multiferroicity, or thermoelectricity. While these fascinating properties of matter naturally suggest answers to current societal issues related to electronics, energy or the environment, their understanding remains a real challenge for the scientific community due to the intrinsic complexity of the many-body problem at work in correlated materials. As a matter of fact, correlated electron systems often support competing electronic phases very sensitive to so-called control parameters such as temperature, doping, pressure, strain, electric and magnetic fields or light pulses. Moreover, the low dimensionality which enhance proximity, surface and interfaces effects, an important spin-orbit coupling or a particular crystalline symmetry can also lead to emergent electronic phases even in the absence of electronic correlations.



The recent progress in controlling the stacking of atomic sheets in van der Waals heterostructures has opened up new avenues for manipulating electronic properties by moiré superlattices, i.e. by long-wavelength periodic potential landscapes. In two-dimensional (2D) materials, a moiré superlattice can be formed by vertically stacking two layered materials with a twist angle and/or a difference in lattice constant that generally modifies the electronic band structure. In twisted stacks, it has been shown that at so-called “magic angle twist”, low-energy flat subbands can appear, in which electron interactions become the dominant energy scale and lead to emergent electronic phases, such as correlated insulators, superconductors, magnetism and topological electronic structures. Until recently, correlated phases emerging from isolated flat bands were only realized in twisted graphene-based stacking. Their discovery in twisted transition metal dichalcogenides (TMDs) homo- and hetero-bilayers offers the additional fascinating perspective of a solid-state platform in which plenty of correlated states may be realized. Although these last two years studies on semiconductor-based TMD moiré systems have revealed novel phenomena driven by strong Coulomb interactions such as the Mott insulating state, Wigner crystal states, stripe phases, antiferromagnetism and pseudospin ferromagnetism, the twisted TMDs physics is in its infancy and many exotic states of matter remain to be uncovered.

Subject: This PhD project aims at **exploring and exploiting the electronic band structures of TMDs heterostructures** generated either by twist or by in-situ intercalation of alkali atoms that induces lattice mismatches and strain effects. The PhD candidate will be strongly involved in **developing samples elaboration strategies on a recently acquired transfer system** (hq graphene company), devoted to selectively pick up large sections of TMD flakes, rotate and transfer them with a sub-degree control of twist angles. Since some exfoliated TMDs tend to degrade when exposed to air, this transfer system, which is fully motorized, will be installed within a glovebox and externally controlled using a computer. An important component of the PhD project will also be the use of **angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES)** for accessing to the electronic band structures of the as-obtained TMDs heterostructures and under different doping with in-situ chemical gating. In that context, the PhD candidate will take part to an exciting experimental development at IPR devoted to low-temperature ARPES using monochromatized micro-focused UV source. In parallel, regular **applications for beamtimes at synchrotron facilities** will be conducted in order to efficiently target the scientific questions that need facilities only available on synchrotron to be addressed such as tunable polarization and photon energy.

Environment: The candidate will benefit from a unique experimental environment combining sample growth environments and photoemission spectroscopies allowing for elaborating and characterizing the materials in the laboratory. Strong interplay with local theoreticians will also offer the possibility of performing ab-initio calculations of electronic structures and spectral functions within the density functional theory (DFT) and multiple scattering framework.

Required skills: Applicants should have a master in physics, or materials science with a strong background in solid-state physics, with emphasis on the study of the structural and electronic properties of solids. Motivation for experimental studies is needed, as well as willing to mobility. Enthusiasm, curiosity, spirit of initiative, ability to work in a team, tenacity and rigor would be appreciated qualities.

Possible collaboration and networking: The PhD proposal will benefit from experimental collaborations with the “Ultrafast spectroscopy” group of Prof. C. Monney in Switzerland as well as researchers from France [S. Beaulieu CELIA (Bordeaux), P. Le Fèvre synchrotron SOLEIL, T. Cren INSP (Paris)]. It will also take profit from strong theoretical support thanks to the EUSpec consortium that involves collaborations between researchers from IPR (D. Sébilleau, S. Tricot) and Pr. Jan Minar of the University of West Bohemia (Pilsen, Czech Republic).

Practical aspects: the position is available starting Oct. 2023 and lasts for 36 months. The net take home salary is about 1800 euros/month. Applicants should provide a CV, a letter of motivation, and the names and e-mail addresses of 2 or 3 references to: Dr. Thomas Jaouen, thomas.jaouen@univ-rennes.fr, Dr. Jean-Christophe Le Breton, jean-christophe.lebreton@univ-rennes.fr, Pr. Philippe Schieffer, philippe.schieffer@univ-rennes.fr.

Proposition de Thèse en Physique de la Matière Condensée

Institut de Physique de Rennes (IPR) UMR CNRS 6251

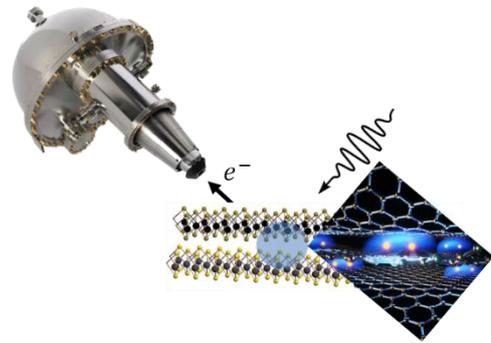
Date de début Oct. 2023

Super-réseaux de moiré dans des hétérostructures de dichalcogénures de métaux de transition

Organisme de financement : Agence Nationale de la Recherche (ANR)

Encadrement : Thomas Jaouen (chargé de recherche CNRS) / Jean-Christophe Le Breton (chargé de recherche CNRS) / Philippe Schieffer (Professeur d'Université)

Contexte scientifique : L'histoire récente de la physique de la matière condensée démontre l'omniprésence d'états électroniques non conventionnels dans l'émergence de propriétés remarquables nouvelles telles que la magnétorésistance géante, la supraconductivité à haute température critique, la multiferroïcité, ou encore la thermoélectricité. Alors que ces propriétés fascinantes de la matière laissent naturellement entrevoir des réponses aux enjeux sociétaux actuels liés à l'électronique, l'énergie



ou l'environnement, leur compréhension reste un véritable challenge pour la communauté scientifique en raison du caractère intrinsèquement complexe des corrélations entre les électrons et des couplages entre les divers degrés de liberté de charge, spin, réseau et orbitales ou encore des effets proximité, de confinement et de topologie œuvrant dans ces matériaux complexes. De ce fait, les systèmes à électrons corrélés présentent des phases électroniques, souvent en compétition, très sensibles à des paramètres dits de contrôle tels que la composition chimique, la pression, les contraintes, la température, les champs électrique et magnétique ou encore les impulsions lumineuses. De plus, la basse dimensionnalité, qui exacerbe les effets de proximité, de surface et d'interfaces, un couplage spin-orbite important ou encore une symétrie cristalline particulière peuvent également conduire à des phases électroniques émergentes même en l'absence de corrélations électroniques.

Le progrès récent dans le contrôle de l'empilement de feuillets d'épaisseur atomique dans les hétérostructures van der Waals ont ouvert de nouvelles voies pour manipuler les propriétés électroniques par des super-réseaux de moiré, c'est-à-dire par des paysages de potentiels périodiques de grande longueur d'onde. Dans les matériaux bidimensionnels, un super-réseau de moiré, formé en empilant verticalement deux matériaux en couches avec un désalignement angulaire (angle dit de « twist ») et/ou une différence de constante de réseau, modifie généralement la structure de bande électronique et peut générer des bandes plates dans lesquelles les interactions entre électrons deviennent l'échelle énergétique dominante et conduisent à des phases électroniques émergentes. Jusqu'à récemment, des phases corrélées émergent de bandes plates isolées n'étaient réalisées que dans un empilement à base de graphène twisté. Leur découverte dans les homo- et hétéro-bicouches de dichalcogénures de métaux de transition twistés (TMD) offre la perspective fascinante supplémentaire d'une plate-forme à l'état solide dans laquelle de nombreux états corrélés peuvent être réalisés. Bien que ces deux dernières années des études sur les systèmes de moiré TMD à base de

semiconducteurs aient révélé de nouveaux phénomènes entraînés par de fortes interactions coulombiennes telles que l'état isolant de Mott, les états cristallins de Wigner, l'antiferromagnétisme et le ferromagnétisme de pseudospin, la physique des TMD twistés en est à ses balbutiements et de nombreux états exotiques de la matière restent à découvrir.

Sujet : Ce projet de thèse vise à **explorer et exploiter les structures de bandes électroniques des hétérostructures TMD** générées soit par twists, soit par intercalation in-situ d'atomes alcalins induisant des effets de déformation du réseau cristallin. La/Le doctorant-e sera fortement impliqué-e dans le **développement de stratégies d'élaboration d'échantillons sur un système de transfert récemment acquis** (société hq graphène), destiné à prélever sélectivement de grandes sections de monofeuillets de TMD, à les faire tourner et à les transférer avec un contrôle inférieur au degré des angles de twist. Étant donné que certains TMD exfoliés ont tendance à se dégrader lorsqu'ils sont exposés à l'air, ce système de transfert, entièrement motorisé, sera installé dans une boîte à gants et contrôlé de l'extérieur à l'aide d'un ordinateur. Un élément important du projet de thèse sera également l'utilisation de la **spectroscopie de photoémission résolue en angle (ARPES)** pour accéder aux structures de bandes électroniques des hétérostructures TMD sous différents dopages. Dans ce contexte, la/le doctorant-e participera à un développement expérimental innovant à l'IPR consacré à l'ARPES basse température utilisant une source UV monochromatisée micro-focalisée. En parallèle, des demandes régulières de **temps de faisceaux sur synchrotron** seront déposées afin de cibler efficacement les questions scientifiques qui nécessitent des installations uniquement disponibles sur grands instruments telles que des polarisations et énergies de photons variables.

Environnement : La/le candidat-e bénéficiera d'un environnement expérimental unique combinant des environnements de croissance d'échantillons et de spectroscopies de photoémission permettant d'élaborer et de caractériser les matériaux en laboratoire. Une forte interaction avec les théoriciens locaux offrira également la possibilité d'effectuer des calculs ab-initio de structures électroniques et de fonctions spectrales dans le cadre de la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) et de la diffusion multiple.

Compétences requises : Les candidat-e-s doivent avoir un master 2 en physique ou en science des matériaux avec une solide expérience en physique du solide. Une motivation pour les études expérimentales est nécessaire, ainsi que le goût pour la mobilité. Enthousiasme, curiosité, esprit d'initiative, capacité à travailler en équipe, ténacité et rigueur seront des qualités appréciées.

Collaborations possibles et réseaux : Le projet de thèse bénéficiera de collaborations expérimentales avec le groupe « Spectroscopie ultrarapide » du Prof. C. Monney en Suisse ainsi qu'avec des chercheurs français [S. Beaulieu CELIA (Bordeaux), P. Le Fèvre synchrotron SOLEIL, T. Cren INSP (Paris)]. Il bénéficiera également d'un appui théorique fort grâce au consortium EUSpec qui implique des collaborations entre des chercheurs de l'IPR (D. Sébilleau, S. Tricot) et le Pr. Jan Minar (Pilsen, République Tchèque).

Aspects pratiques : la thèse est disponible à partir d'octobre 2023 et dure 36 mois. Le salaire est d'environ 1800 euros/mois. Les candidat-e-s doivent fournir un CV, une lettre de motivation, ainsi que les noms et adresses e-mail de 2 ou 3 références à: Dr. Thomas Jaouen, thomas.jaouen@univ-rennes.fr, Dr. Jean-Christophe Le Breton, jean-christophe.lebreton@univ-rennes.fr, Pr. Philippe Schieffer, philippe.schieffer@univ-rennes.fr.