

Proposition d'un sujet de stage Master 2

Sujet: Ondes électromagnétiques en milieux fortement désordonnés
Laboratoire: [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC UGA/CNRS\)](#)
Encadrants: [Sergey Skipetrov](#) et [Bart van Tiggelen](#)
Contact: <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>, Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr, (+33) 4 76 88 74 97

Résumé:

La diffusion des électrons par des impuretés dans les métaux donne lieu à un transport diffusif à l'origine de la loi d'Ohm. A basse température, cette propagation diffuse est empêchée par les interférences quantiques, c'est la « localisation d'Anderson » connue depuis plus de 60 ans [1]. Le phénomène de diffusion existe également pour les ondes électromagnétiques et de nombreux efforts ont été faits pour observer la localisation d'Anderson de la lumière [2-4] (voir la figure).

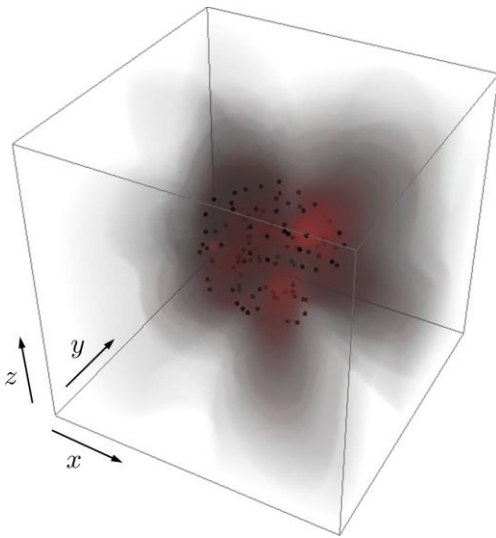


Figure : Illustration de la propagation de la lumière dans un milieu désordonné représenté par un ensemble d'atomes à 2 niveaux (points noirs). L'intensité de la lumière fluctue beaucoup d'un endroit à l'autre et présente des taches « chauds » (représentés en rouge) et « froids » (représentés en noir).

Nos simulations numériques ont démontré l'absence de la localisation d'Anderson pour les ondes électromagnétiques se propageant dans les milieux désordonnés constitués de diffuseurs dipolaires [5]. Cette absence inattendue et surprenante est sans doute induite par des phénomènes liés au champ proche et, notamment par les ondes électromagnétiques longitudinales. Dans les milieux fortement désordonnés, ces ondes vont contribuer au transport d'énergie et seront déterminantes pour les observables clés telles que le libre parcours moyen (la distance entre deux diffusions), le coefficient de diffusion, la vitesse de transport d'énergie, et la densité d'états [6]. L'existence des ondes longitudinales rend le transport radiatif très différent du transport des ondes de matière (électrons ou atomes froids). Leur inclusion dans la théorie de transport est l'objectif principal de ce stage.

Dans le cadre de ce stage **théorique et numérique**, nous proposons d'étudier le rôle des ondes longitudinales dans le transport optique en utilisant deux approches : 1) la théorie de perturbation diagrammatique et 2) les simulations numériques d'un modèle de diffuseurs dipolaires immobiles souvent utilisé pour modéliser les atomes froids. Les deux approches sont fortement complémentaires. Tandis que la théorie analytique guide les simulations et nous permet d'aboutir à des formules simples bien qu'approximatives, les simulations donnent la possibilité d'effectuer des calculs quasi-exacts et de tester la validité des formules analytiques obtenues. Le

programme de stage prévoit un calcul des paramètres clés caractérisant le transport optique et une étude de leur dépendance de la densité des diffuseurs. Malgré de nombreux travaux existants, la nature du transport d'énergie électromagnétique dans un milieu désordonné très dense est encore inconnue à ce jour.

Ce stage peut être suivi d'une thèse de doctorat. Parmi les sujets que l'on pourra aborder avec les méthodes appris dans le cadre de ce stage, on peut mentionner le transport électromagnétique sous champ magnétique (la localisation d'Anderson, l'effet Hall photonique, l'effet Einstein-de-Haas optique), l'optique quantique et non linéaire en milieux désordonnés, et le transport des ondes élastiques.

Le stagiaire devrait avoir un goût pour la physique théorique, des compétences en calcul analytique, et un minimum d'expérience en calcul numérique.

Bibliographie

1. D. Delande *et al.*, [La localisation forte d'Anderson](#), *Images de la Physique* 2009, pp. 70-74
2. A. Lagendijk, B.A. van Tiggelen and D.S. Wiersma, [Fifty years of Anderson localization](#), *Physics Today* **62**(8), 24 (2009)
3. S.E. Skipetrov and J.H. Page, [Perspectives: Red light for Anderson localization](#), *New J. Phys.* **18**, 021001 (2016)
4. S.E. Skipetrov, [Localisation d'Anderson de la lumière](#), *Photoniques* **108**, 24 (2021)
5. S.E. Skipetrov and I.M. Sokolov, [Absence of Anderson Localization of Light in a Random Ensemble of Point Scatterers](#), *Phys. Rev. Lett.* **112**, 023905 (2014)
6. B.A. van Tiggelen and S.E. Skipetrov, [Longitudinal modes in diffusion and localization of light](#), *Phys. Rev. B* **103**, 174204 (2021)

Master 2 internship proposal

Subject: Electromagnetic waves in strongly disordered media
Laboratory: [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC UGA/CNRS\)](#)
Supervisors: [Sergey Skipetrov](#) and [Bart van Tiggelen](#)
Contact: <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>, Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr, (+33) 4 76 88 74 97

Summary:

Scattering of electrons by impurities in metals gives rise to a diffusive transport which is at the origin of Ohm's law. At low temperatures, this diffuse propagation is prevented by quantum interferences. This is "Anderson localization" known for more than 60 years [1]. The phenomenon of scattering also exists for electromagnetic waves, and many efforts have been made to observe Anderson localization of light [2-4] (see the figure).

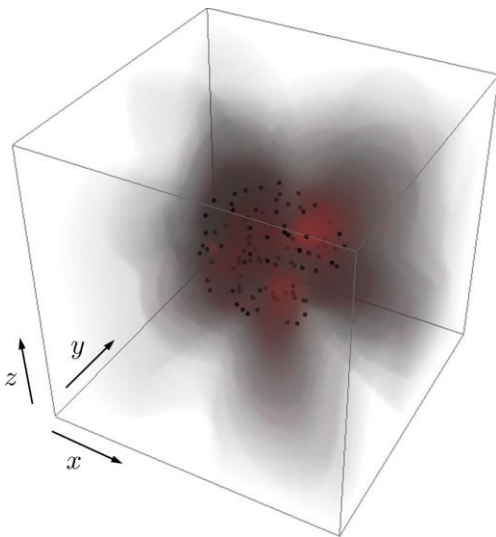


Figure : Sketch the propagation of light in a disordered medium represented by an ensemble of two-level atoms (black points). The optical intensity fluctuates strongly in space and exhibits "hot" (shown in red) and "cold" (shown in black) spots.

Our numerical simulations have demonstrated the absence of Anderson localization for electromagnetic waves propagating in disordered media composed of dipolar scatterers [5]. This unexpected and surprising absence is undoubtedly due to the near-field phenomena and, in particular, to the existence of longitudinal electromagnetic waves. In strongly disordered media, these waves will contribute to energy transport and will be decisive for key observables such as the mean free path (the distance between two scattering events), the diffusion coefficient, the energy transport velocity, and the density of states [6]. The existence of longitudinal waves makes radiative transport very different from the transport of matter waves (electrons or cold atoms). Their inclusion in transport theory is the main objective of this internship.

As part of this **theoretical and numerical** internship, we propose to study the role of longitudinal waves in optical transport using two approaches: 1) diagrammatic perturbation theory and 2) numerical simulations of a model of immobile dipolar scatterers often used to model cold atoms. The two approaches are strongly complementary. While analytical theory guides simulations and allows us to come up with simple yet approximate formulas, simulations provide the opportunity to perform quasi-exact calculations and to test the validity of the analytical formulas. The internship program foresees a calculation of the key parameters characterizing the optical transport

and a study of their dependence on the number density of scatterers. Despite many existing works, the nature of electromagnetic energy transport in a very dense disordered media is still unknown today.

The internship can be followed by a doctoral thesis. Among the subjects that one can tackle with the methods learned during the internship, we can mention electromagnetic transport under a magnetic field (Anderson localization, photonic Hall effect, optical Einstein-de-Haas effect), quantum and nonlinear optics in disordered media, and the elastic wave transport.

Successful candidate should have a taste for theoretical physics, analytical calculation skills, and a minimum of experience in numerical calculations.

Bibliography

1. D. Delande *et al.*, [La localisation forte d'Anderson](#), *Images de la Physique* 2009, pp. 70-74
2. A. Lagendijk, B.A. van Tiggelen and D.S. Wiersma, [Fifty years of Anderson localization](#), *Physics Today* **62**(8), 24 (2009)
3. S.E. Skipetrov and J.H. Page, [Perspectives: Red light for Anderson localization](#), *New J. Phys.* **18**, 021001 (2016)
4. S.E. Skipetrov, [Localisation d'Anderson de la lumière](#), *Photoniques* **108**, 24 (2021)
5. S.E. Skipetrov and I.M. Sokolov, [Absence of Anderson Localization of Light in a Random Ensemble of Point Scatterers](#), *Phys. Rev. Lett.* **112**, 023905 (2014)
6. B.A. van Tiggelen and S.E. Skipetrov, [Longitudinal modes in diffusion and localization of light](#), *Phys. Rev. B* **103**, 174204 (2021)