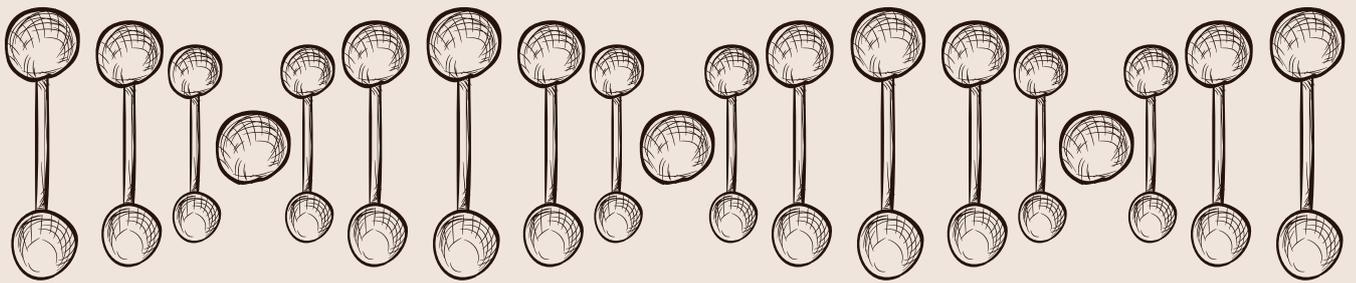
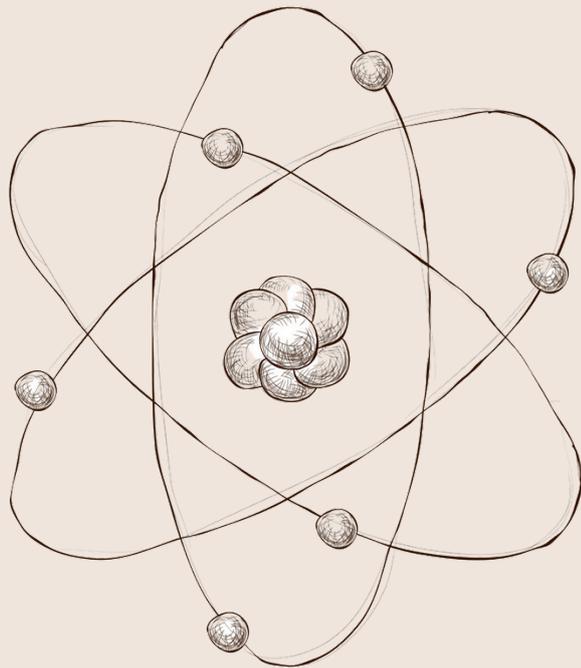
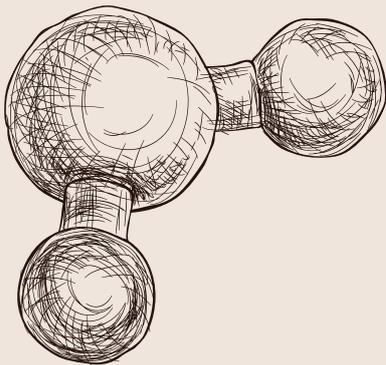

Le Photon



N° 35 -
2023-2024

BULLETIN DE L'ASSOCIATION DES
ANCIEN·NES ÉTUDIANT·ES ET
COLLABORATEURS·TRICES DU DÉPARTEMENT
DE PHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE
FRIBOURG

Comité de l'Association des ancien·ne·s étudiant·e·s et collaborateurs·trices du Département de physique de Fribourg

Comité du Photon

Président	Roland-Pierre Pillonel-Wyrsh
Vice-présidente	Marie-Laure Mottas
Caissier	Stefan Tresch
Rédactrices (français)	Eliane Esseiva et Amandine Pinard
Rédacteur (allemand)	Peter Stadlin
Président du Dép. de Physique	Christian Bernhard
Membre du comité	Aloïs Raemy
Membre du comité	Roger Röthlisberger
Membre du comité	Lukas Schaller

Administration du Photon

Amandine – mise en page	amandine.pinard@unifr.ch
Doriana Pedrioli – envoi	doriana.pedrioli@unifr.ch

Editorial

Dr Roland-Pierre Pillonel-Wyrsh

2025 sera pour l'Université de Fribourg l'année d'une petite révolution avec la création d'une nouvelle Faculté : celle des « sciences de l'éducation et de la formation ». Désormais, les enseignant·e·s primaires ne seront plus formé·e·s en HEP, de même que les enseignant·e·s du secondaire I et II ne seront plus formé·e·s en Faculté « bleue » des lettres et des sciences humaines. Tout·e·s rejoindront cette nouvelle structure, qui arborera la couleur violette. Mais avant d'y accéder, ils·elles devront heureusement toujours justifier d'une formation scientifique conséquente, comme celle qui est délivrée par la Faculté aux couleurs « vertes » des sciences et de médecine, à laquelle appartient « notre » Département de physique.

Comme de naturel, nous faisons toujours la part belle à ce dernier avec le bilan de ses activités de l'année écoulée, présentées par son Président, M. Prof. Bernhard. Cette édition nous permettra aussi de connaître un peu mieux l'un de ses groupes de recherche, à savoir celui de M. Prof. Monney. C'est toujours un plaisir pour nous de suivre l'évolution de ce Département qui nous est si cher.

Dans le cadre d'une « Carte blanche », M. Prof. Schurtenberger nous propose une réflexion, d'autant plus intéressante que basée sur son parcours personnel, sur la recherche et la culture de recherche. Oui, la recherche est un besoin, dans lequel nous nous reconnaitrons à l'instar de M. Prof. Schurtenberger, mais celui-ci pose à juste titre la question de la forme qu'elle doit prendre.

Ce Photon est aussi celui de l'inauguration de deux nouvelles rubriques. La première d'entre elles s'intitule « Nos félicitations adressées à ... ». Elle permettra de mettre en évidence les distinctions et prix obtenus durant l'année écoulée par un·e ancien·ne du Département de Physique, démontrant comment il·elle a réussi à faire fructifier la formation qu'il·elle y a reçue. Nous avons le plaisir de faire débiter cette rubrique par un prix décerné à M. Raemy, notre ancien Président et actuel membre du comité,

qui a poursuivi avec succès ses travaux en calorimétrie. N'hésitez pas à nous signaler vos travaux ou ceux de vos ami·e·s qui ont été distingué·e·s et qui méritent de figurer sous ce titre.

Une autre rubrique, qui apparaît pour la première fois dans cette édition et qui s'inscrit dans notre volonté de mettre en évidence le travail effectué au Département de physique, entend présenter les travaux de Master de ses étudiant·e·s. Le premier à avoir accepté d'en parler, ainsi que de son parcours à Fribourg, sous forme d'interview est M. Philippe Knecht. Merci à lui. Nous espérons qu'il suscitera l'envie à d'autres de s'exprimer ainsi dans nos colonnes.

Bonne lecture.

La vie au Département

Prof. Christian Bernhard

As President of the Physics Department (until July 2026) it is my great pleasure to give you a short overview of the activities and events that took place in our Department during the past academic year 2023-2024.

Living in a building site

The partial renovation of our Physics building is progressing slowly but steadily. The ongoing activities range from installing a new network of electric cables and fuse boxes, over replacing the damaged window stores, to digging trenches outside the building for installing an underground network of tubes with cooling water from a centralized facility. The latter will eventually replace the various local cooling units for the air-conditioning and for several of our scientific instruments (Lasers, X-ray tubes, etc.). Hopefully this will allow us to reduce our energy consumption. During the past year, we have been working in a building site with excessive noise, mechanical vibrations, and open cables hanging from the ceiling. I would like to use this opportunity to thank Anne Fessler from our secretariat and Markus Andrey from our mechanical workshop. They have undertaken great efforts to communicate with the various internal and external workers, as to coordinate and minimize the disturbance during lectures and exams, but also to protect our sensitive experimental equipment that might be damaged by unexpected cuts of the electric power or the cooling water. Thanks to their effort, we have managed to avoid major accidents and to keep up our daily work in the lecture rooms and the laboratories.

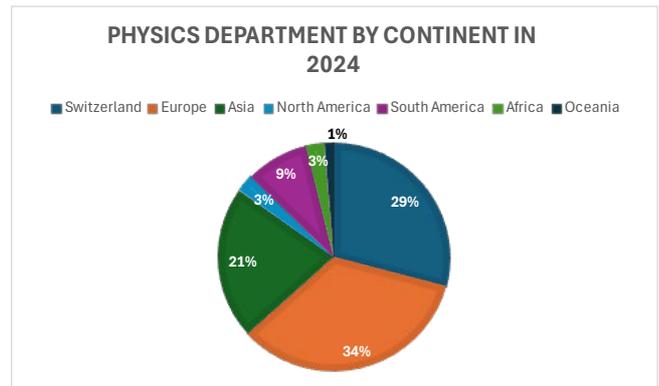
New Department members (01.11.23-31.10.24)

In 2024, we were pleased to welcome:

- Gaurasundar Conley, Sr researcher
- Lei Geng, postdoc
- Manuel Helfer, PhD student
- Francisco Hernandez Alejandro, PhD student
- Joel Morf, PhD student
- Milagros Montemurro, postdoc

- Priti Mohanty, Sr researcher
- Ivan Mohelský, postdoc
- Valmira Mustafa, apprentice (admin.)
- Mithilesh Nayak, postdoc
- Maksymilian Środa, postdoc
- Boyang Zhou, postdoc

This list highlights the diversity of nationalities of our Department members that is key for maintaining a culture of cutting edge research. The international spirit of our Physics Department is also reflected by the color chart shown below:



New students and graduates

11 new physics students started in the Autumn semester 2024. This is good news and consolidates a trend that our Physics Department has a relatively stable two-digit number of beginners. It reflects on the work of Baptiste Hildebrand who is doing an excellent job in promoting the activities of the Physics Department in different schools in Fribourg.

Finally, the following is a list of the Bachelor, Master and PhD graduates

Bachelor:

- Tristan Diotte
- Alexia Henrioux
- Thomas Rey
- Susana Schärer

Master:

- Nicolas Bruder (Prof. Acuña)

PhD:

- Aleksandra Adamczyk (Prof. Acuña)
- Izat Baybusinov (Prof. Zhang)
- Germán Chiarelli (Prof. Acuña)
- Viktor Christiansson (Prof. Werner)
- Fujuan Gao (Prof. Zhang)

- Qi He (Prof. Bernhard)
- Ruijie Wang (Prof. Zhang)
- Leilei Wu (Prof. Zhang)

Awards and Prizes

The following prizes were awarded during the last academic year:

- Laurent Bugnon got the Best Poster WSE2023 Prize
- Sophie Bamert got the best Bachelor in Science Prize
- Dr. Olivier Simard was awarded the best PhD in theoretical Sciences
- Dr. Salomé Tschoop received the Vigener Prize

Congratulations to all of them!

We have also good news to report about the career of some of our former students. Notably, Irmgard Bischofsberger, who did her Physics studies and her PhD (with Dr. Veronique Trappe) in our department, has become a tenured Professor at the prestigious Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston, U.S.

Departures

Fortunately, I do not have to report any sad news about active or former members of our Department that have passed away during the past year.

I have only good news about leaving staff members. For example, Prof. Ana Akrap has left us in July 2024 for a Professorship in the Physics Department of the University of Zagreb in Croatia.

News from Science

Besides the education of our students, scientific research is the main mission of our Physics Department. In the past year, our theoretical and experimental groups have been actively pursuing a variety of research projects. As an example, I want to give you a “flavor” of the research of my group in the field of solid-state magnetism. I apologize for this biased choice and hope that it will motivate my

colleagues to come up with reports on their research highlights that can be reported in the following years.

I want to tell you about a recent development in the field of solid-state magnetism where a new family member has made its appearance, the so-called “Altermagnet”.

Most of us are probably familiar with Ferromagnets and Antiferromagnets. In a Ferromagnet the neighboring atomic magnetic moments (or spins) are parallel oriented, as indicated by the blue color shading in Fig. 1(a). The sum over all the lattice sites thus yields a sizeable macroscopic magnetic moment, $M > 0$. The latter manifests itself in our daily life, for example, when we use ferromagnets to pin notes to the door of our refrigerator.

Such ferromagnets are also used in advanced technological applications, such as for magnetic memories and so-called “spintronic” devices. Here one uses the spin-polarisation of the mobile electrons rather than (or in addition to) their electric charge, a concept that promises increased speed and strongly reduced power consumption for future (quantum) computing devices. However, for the operation of arrays of such spintronic devices a severe problem arises from the finite macroscopic magnetization. The latter gives rise to long-ranged stray fields that can cause unwanted interactions between the different parts of complex device architectures.

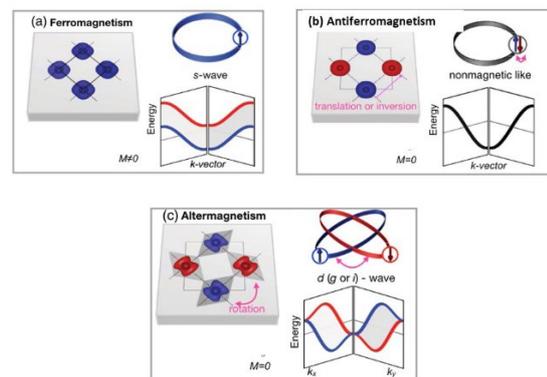


Figure 1: Sketch of the essential features of (a) a Ferromagnet, (b) an Antiferromagnet, and (c) an Altermagnet. The spin-up and spin-down states are indicated by blue and red color shading, respectively. Adopted from Ref. [Smejkal et al., Phys. Rev. X 12, 040501 (2022)].

Researchers have thus started to explore spintronic devices made from antiferromagnets, for which the spins on neighboring lattice sites are antiparallel, as sketched in Fig. 1(b). Here the macroscopic moment vanishes ($M=0$), and so do the long-ranged magnetic stray fields. However, the lack of a macroscopic moment makes it difficult to create and detect magnetic signals. In devices with ferromagnets this is typically done by applying small currents that carry a spin-polarization. However, for antiferromagnetic metals the charge carriers and the resulting currents remain unpolarized.

This is where the Altermagnet has recently entered the stage. Like the classical Antiferromagnet, the Altermagnet has an antiparallel spin order with a vanishing macroscopic magnetization ($M=0$). The main difference between the Antiferromagnet and the Altermagnet concerns the spatial distribution of the electrons that carry the spin. The sketch in Fig. 1(b) shows that for the classical Antiferromagnet the electrons at the spin-up and spin-down sites (indicated in blue and red shading) share the same spatial distribution (indicated by circles). As a result, for an antiferromagnet the electronic bands in the vicinity of the Fermi-level are degenerate with respect to their spin-orientation, i.e. an applied current remains unpolarized. As shown in Fig. 1(c), the defining feature of an Altermagnet is a different spatial distribution of the electrons around the spin-up and spin-down sites that gives rise to a characteristic difference in the energy dispersion of the spin-up (blue) and spin-down (red) bands. The average spin-splitting across the Fermi-surfaces still vanishes, but along certain directions in momentum space there exists a large spin splitting. The currents applied in real space thus will exhibit a corresponding pattern of the spin-polarization with a characteristic sign change along orthogonal directions. For the configuration sketched in Fig. 1(c), the spin-polarisation of the conduction electrons has a characteristic d-wave symmetry, with line nodes of zero spin-polarization along the x- and y- axes and maximal positive or negative spin polarization along the diagonals. Notably, the magnitude of this spin-polarization is determined by the electronic bonding between

the neighboring ions and thus can be much larger than the usual spin-orbit coupling.

I do not want to go into further details of how these Altermagnets enable new spintronic device concepts that utilize the difference in magnitude and sign of the spin-polarisation for currents that are applied along different directions. I rather want to briefly mention our recent contribution to the experimental search for such altermagnetic materials.

As it turns out, we have been working for quite some time (without knowing) with a thin-film altermagnet. For more than a decade we are growing multilayers from cuprate high- T_c superconductors, like $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, and various magnetic manganite perovskites. While our initial research was focused on the competition between the superconducting and ferromagnetic orders, more recently our attention has shifted to multilayers for which the manganite exhibits an antiferromagnetic order that is accompanied by an orbital order. When we investigated these multilayers with synchrotron-based resonant x-ray absorption and diffraction techniques, we discovered that they host an altermagnetic state at the cuprate/manganite interface. Specifically, we found that the spins of the interfacial CuO_2 layer exhibit an antiferromagnetic order that is accompanied by a checker-board type alternation of the orbital character of the electrons, as sketched in Fig. 2.

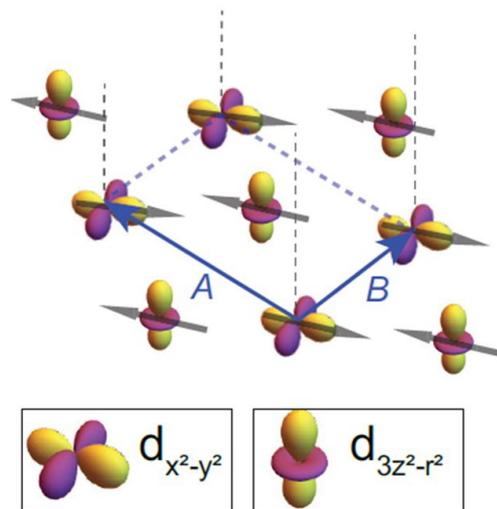


Figure 2 : Sketch of the combined antiferromagnetic and checker-board orbital order of the electrons at the interfacial CuO_2 layer of a cuprate/manganite heterostructure.

The Figure has been adopted from Ref. [S. Sarkar et al., PNAS Nexus, Vol. 3, pgae100 (2024).]

Our discovery suggests that these cuprate/manganite multilayers may be a platform for the design and fabrication of altermagnetic spintronic devices. Moreover, as sketched in Fig. 3, it turns out that the altermagnetic and superconducting order parameters of our multilayers both exhibit an unconventional d-wave symmetry. Their interfacial coupling thus may be more complex than previously thought and give rise to exotic electronic and magnetic properties that keep us busy for the years to come.

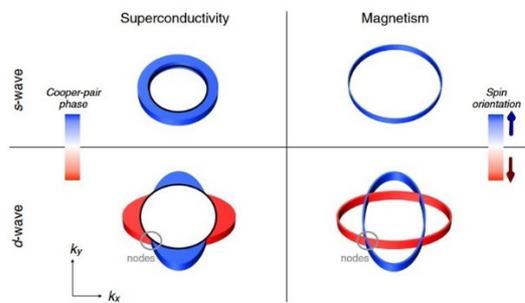


Figure 3: Upper panel: Sketch of a Superconductor and Ferromagnet which both have isotropic order parameters with s-wave symmetry. Lower Panel: Corresponding sketch for a Superconductor and an Altermagnet for which the order parameters have d-wave symmetry. Adopted from Ref. [Smejkal et al., Phys. Rev. X **12**, 040501 (2022)].

Comment créer et caractériser un état éphémère de la matière ?

Groupe de spectroscopie ultrarapide, Prof. Claude Monney

Dans l'enseignement de la physique du solide, nous étudions généralement l'état fondamental d'un matériau ou alors caractérisons une transition entre un état initial et un état final. L'évolution du système étudié dans le temps nous importe alors peu, car nous nous restreignons à l'étude d'un état d'équilibre.

Pourtant, dans la nature, tout n'est pas équilibré. Il est important aussi de comprendre et de décrire comment un système passe d'un état à un autre. Pour cela, il est nécessaire d'avoir les outils expérimentaux permettant de mesurer l'évolution de ce système avec une résolution temporelle adaptée.

Ceci n'est pas un problème quand la dynamique est lente, comme par exemple dans le cas de l'étude de la diffusion thermique à l'échelle macroscopique. Par contre, étudier des phénomènes hors-équilibre dans un solide à l'échelle atomique n'est pas trivial : l'échelle de temps de la dynamique des ions et des électrons est typiquement de l'ordre de la picoseconde, voire de la femtoseconde ! Il n'y a aucun détecteur ou caméra capable de prendre une mesure avec une telle résolution temporelle. Comment faire alors ?

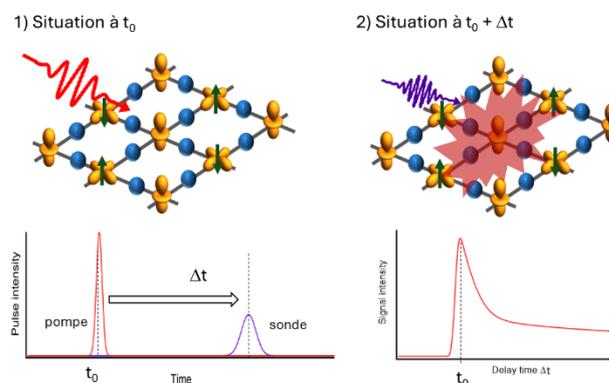


Figure 1 : illustration de la technique pompe sonde. (haut, gauche) A temps zéro t_0 , la pompe excite le système atomique, (droite) puis, à un temps Δt plus tard, la sonde vient interroger le système. (bas, gauche) La séquence des impulsions pompe-sonde. (droite) Un signal est ensuite mesuré comme

résultat de l'interaction de la sonde avec le matériau et a typiquement cette évolution temporelle en fonction du délai temporel Δt .

Une solution provient de l'application de la technique dite de pompe-sonde, qui bénéficie de l'évolution rapide de la technologie des lasers à impulsions ultracourtes. C'est d'ailleurs un sujet très proche de la thématique du prix Nobel 2023 de physique ! Nous utilisons pour ce faire un tel faisceau laser et partageons une impulsion ultracourte en deux impulsions. La première est envoyée sur le matériau à analyser et l'amène à un moment donné, appelé temps zéro t_0 , dans un état excité. Cette impulsion est appelée la « pompe ». Après un court laps de temps Δt , la deuxième impulsion, appelée la « sonde », vient ensuite interroger le matériau. Ce processus est illustré dans la figure 1. Nous pouvons alors répéter ce processus en variant Δt , et accumuler ainsi un grand nombre de données expérimentales en fonction de Δt . Ceci permet ainsi de reconstituer la dynamique hors-équilibre de notre matériau suite à la photoexcitation de la pompe à t_0 , en fonction du délai temporel Δt . Au final, le résultat d'une telle expérience ressemble typiquement à la courbe dessinée au bas de la figure 1 : proche de t_0 , le signal mesuré par la sonde affiche une subite variation due à la « pompe », et après un court laps de temps, tend à revenir à sa valeur initiale, suivant une relaxation exponentielle, possiblement caractérisée par différentes échelles de temps.

En pratique, le délai Δt est contrôlé en variant le chemin optique de la pompe au moyen d'un dispositif mécanique. La résolution temporelle d'une telle expérience pompe-sonde est principalement déterminée par la durée des impulsions laser (typiquement 10 à 100 fs). Notons alors que le détecteur utilisé pour mesurer la réponse du matériau à l'impulsion « sonde » ne joue aucun rôle dans la dynamique du processus pompe-sonde ! De manière générale, cette approche peut donc être utilisée pour de nombreuses expériences, à condition que les caractéristiques de l'impulsion « sonde » (énergie de photon, intensité, ...) soient adaptées.

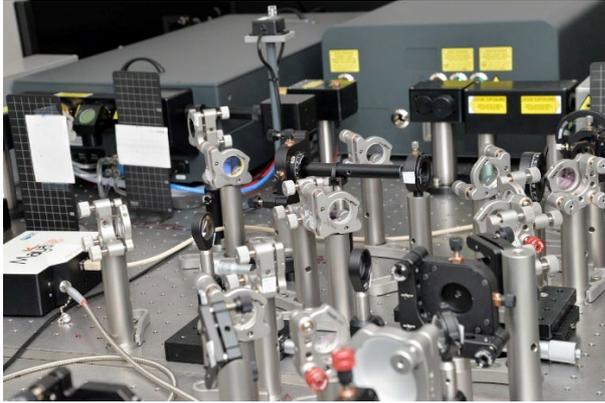


Figure 2: photographie (G. Rumo) du laser femtoseconde (boîte gris-noire au centre). Le montage au premier plan permet de générer la sonde et la boîte gris-noire au fond à gauche génère la pompe.

Dans mon laboratoire à l'Université de Fribourg, nous utilisons notamment la technique pompe-sonde pour mesurer la dynamique hors-équilibre des électrons grâce à la spectroscopie de photoémission. Cela nous permet de reconstituer comment la structure électronique d'un matériau évolue à l'échelle de la centaine de femtoseconde suite à une perturbation initiée par une impulsion laser.



Figure 3 : photographie (F. Chassot) du laboratoire de photoémission, avec, au centre, l'hémisphère de l'analyseur d'électron pour la spectroscopie de photoémission.

Que cherchons-nous à découvrir grâce à cette technique ?

Notre activité est principalement orientée vers la recherche fondamentale : nous produisons donc des connaissances nouvelles à la frontière du savoir actuel dans le domaine de la physique du solide.

En particulier, nous sommes intéressés à comprendre comment les électrons et les atomes

interagissent pour stabiliser une phase particulière de la matière dans un cristal, et à extraire les échelles temporelles qui caractérisent le retour à l'équilibre d'un tel cristal, après l'avoir excité hors-équilibre (avec la « pompe »). Ces échelles de temps nous renseignent alors sur les processus physiques impliqués dans la phase en question. Concrètement, nous pouvons nous demander quelles interactions fondamentales sont responsables pour la stabilisation d'une onde de densité de charge électronique et/ou d'une distorsion du réseau atomique dans le TiSe_2 ou l' IrTe_2 . Pour ces cristaux synthétiques, de telles expériences ont permis d'amener des éléments de réponse cruciaux.

L'intérêt d'expériences visant à mesurer la dynamique hors-équilibre de la matière ne s'arrête pas là. Comme nous sommes capables de mesurer l'état excité de la matière sur l'échelle de temps propre à la dynamique intrinsèque des électrons et des atomes, nous pouvons aussi détecter de nouveaux états de la matière qui n'existent pas à l'équilibre. En effet, durant les centaines de femtosecondes ou picosecondes qui suivent la photoexcitation (la « pompe »), le matériau étudié se trouve dans un état éphémère durant lequel les électrons et les atomes n'ont pas retrouvé un équilibre commun, et peuvent même être piégés dans un état hors équilibre non-thermodynamique. L'étude des mécanismes par lesquels nous pouvons produire de tels états est actuellement un sujet de recherche intense, notamment à Fribourg. En effet, en plus de mon groupe actif en physique expérimentale, les groupes des Profs. Philipp Werner et Michael Schüler y consacrent une grande partie de leurs efforts en physique théorique.

Finalement, cette recherche de l'état éphémère dans la matière solide atteint son paroxysme avec la notion dite de « ingénierie de Floquet ». Lorsqu'une impulsion ultracourte et intense irradie un solide, son champ électrique agit comme une perturbation périodique dans le temps, qui, tout comme l'Hamiltonien périodique d'un cristal bien ordonné, génère une structure électronique nouvelle. Par transformée de Fourier, cette périodicité crée des répliques à différentes énergies des états électroniques initiaux. L'interaction entre les répliques

et les bandes originales permet alors de façonner une structure électronique nouvelle, qui dure seulement le temps d'une impulsion laser. Dans ce domaine, presque tout reste à découvrir. Par exemple, comment faut-il façonner des impulsions laser pour modifier efficacement des matériaux ? Quels types de matériaux réagissent le mieux à ces impulsions ? Au sein de mon groupe, nous explorons actuellement la réaction de semiconducteurs dits « polaires » à des impulsions laser résonantes avec leurs bandes interdites. Cette direction de recherche est très fructueuse et le lecteur pourra bientôt en lire davantage sur le site du Département !

«Cartes blanches»: Forschungsfreiheit und Forschungskultur

Peter Schurtenberger

Als ich eine Anfrage für einen Artikel im Photon erhielt, habe ich mich lange schwer getan mit der Wahl eines Formates («cartes blanches» oder «Was ist aus ihnen geworden») und eines Themas. Nachdem der erschreckend schnell näher rückende Termin für die Abgabe des Textes fast mit dem Datum meiner Pensionierung als Professor an der Universität Lund in Schweden zusammenfällt, habe ich mich nun für zwei Themen entschieden, die auch dank meines Wechsels an die Universität Lund immer mehr in meinen Fokus gerückt sind: Forschungsfreiheit und Forschungskultur in der universitären Grundlagenforschung. Im Sommer 2007 sah es ganz so aus, als ob ich die Universität Freiburg verlassen und an die ETH Zürich zurückkehren würde. Seit meiner Berufung 1999 durfte ich eine sehr interessante Zeit im Physikdepartement verbringen, in der es uns nicht zuletzt dank der vielen hochmotivierten Mitarbeiter gelang, ein auch international beachtetes Zentrum in der Physik der weichen Materie aufzubauen. Kurz vor Weihnachten 2006 erhielt ich ganz überraschend eine e-mail des Vorsitzenden der Berufungskommission für eine Professur in Lebensmittelmaterialwissenschaften («Food Materials Sciences») mit der Anfrage, ob ich mich nicht auf diese Stelle bewerben möchte. Danach ging alles sehr schnell, Anfang Februar fand ein Symposium statt, und im Juni 2007 erhielt ich ein Angebot des ETH Präsidenten, das ich Mitte Juli akzeptierte. Am nächsten Tag schickte ich meine Kündigung an die damalige zuständige Staatsrätin und begann mit den Plänen für meine zukünftige Aufgabe in Zürich. Im August 2007 sah plötzlich alles schon wieder anders aus. Nach Bekanntwerden meines geplanten Umzuges an die ETHZ erhielt ich einen Anruf von Herrn Dr. Adolphe Merkle, der



bereits als grosszügiger Spender für die naturwissenschaftliche Fakultät aktiv war. Er berichtete mir über eine von ihm geplante ausserordentlich grosse Spende an die Universität und bat mich, auf meinen Rücktritt zurückzukommen und bei den durch diese Spende ermöglichten Aktivitäten eine aktive Rolle zu übernehmen. Für mich war es klar, dass ich mich an meinen unterschriebenen Vertrag mit der ETHZ halten würde. Ich erklärte mich aber bereit, ein Konzept für ein neues, den Nanowissenschaften gewidmetes Institut zu erstellen. Das Konzeptpapier und die diesem zugrundeliegende Analyse des Ist-Zustandes der Naturwissenschaftlichen Fakultät überzeugte und begeisterte Herrn Merkle. Statt sich an den von mir vorgeschlagenen Weg mit der Findung eines externen Wissenschaftlers für den Aufbau eines entsprechenden Institutes zu halten, überredete er mich nach mehreren intensiven Diskussionen dazu, diese Rolle einzunehmen.

Nach Gesprächen mit dem damaligen ETHZ Präsidenten und der zuständigen Staatsrätin, Frau Chassot, trat ich Ende September 2007 von meiner Zusage an die ETHZ zurück und widerrief auch meine Kündigung an der Universität Fribourg. Die nächsten zwei Jahre waren dann extrem intensiv, und mit einer rasant wachsenden Zahl an Mitarbeitern arbeiteten wir am Aufbau des Adolphe Merkle Institutes (AMI), seiner Organisation und der dafür notwendigen Strategie und Kompetenzverteilung zwischen Universität, Adolphe Merkle Stiftung und Leitung und Professoren des AMI. Auf Grund des hohen Zeitdruckes wurden das Institut gegründet und Mitarbeiter angestellt ohne gültige Reglemente und Verträge, vieles beruhte anfangs auf Improvisation, die Aufbauarbeit glich der eines Start-Up.

In meiner ursprünglichen und von Herrn Merkle unterstützten Vision sollte das AMI ein unabhängiges, durch eine private Stiftung getragenes, aber mit der naturwissenschaftlichen Fakultät assoziiertes Institut der Universität Freiburg sein. Besonders wichtig war die Betonung auf wissenschaftliche Unabhängigkeit, bei der die einzelnen Professoren des AMI ihre Forschungsprojekte unabhängig definieren und Mittel dafür einwerben können. Diese würden

durch die Direktion des AMI und den Stiftungsrat einzig auf ihre Übereinstimmung mit der wissenschaftlichen Strategie des AMI überprüft. Einzige Ausnahme sollten privat finanzierte grosse und langjährige Projekte und Forschungsallianzen sein, die einer Genehmigung durch den Stiftungsrat bedurft hätten. In einer von der AMI-Leitung ausgearbeiteten und mit dem Rektorat abgesprochenen Kompetenzregelung wurde dies auch so formuliert. Nach mehr als einem Jahr erfolgreicher Aufbauarbeit zeigte es sich allerdings, dass der Stiftungsrat andere Vorstellungen von der Kompetenzaufteilung am Institut hatte. Entgegen den Empfehlungen von Universitätsleitung, AMI-Leitung und des hochrangig besetzten wissenschaftlichen Beirates (SAB) von AMI entschied der Stiftungsrat, dass alle grösseren Forschungsprojekte vorgängig durch den Stiftungsrat genehmigt werden müssten. Hier wirkte sich offensichtlich seine Zusammensetzung, vorwiegend aktive und ehemalige Politiker und Wissenschaftler aus der Industrie, und das Fehlen eines Mitglieds mit fundierten Kenntnissen der universitären Grundlagenforschung im naturwissenschaftlichen Bereich, verheerend aus. Alle Proteste der AMI-Leitung und die Empfehlung des SAB, dass der Stiftungsrat sich auf «nicht-exekutive, strategische Aufgaben und die langfristige Sicherung der Stiftungstätigkeit inkl. Kontrollaufgaben beschränken» sollte, halfen nichts. Die entscheidende Sitzung des Stiftungsrates fand am 1. Dezember 2009 statt. Damit war aus meiner Sicht die Bildung eines naturwissenschaftlichen Leuchtturmes der Naturwissenschaftlichen Fakultät mit extern rekrutierten Spitzenforschern zu Konditionen, wie sie z.B. die ETH anbieten kann, gescheitert. Am 22. Dezember verschickte ich mein Kündigungsschreiben auf Ende Juni 2010 an die Staatsrätin, und im Januar trat auch das SAB geschlossen zurück.

Ab Juli 2010 stand ich ohne Anstellung da, keine einfache Situation mit fast 55 Jahren, aber ich war damals und auch jetzt der Ansicht, dass Forschungsfreiheit und die Unabhängigkeit und Glaubwürdigkeit als Wissenschaftler wichtiger ist als die Jobsicherheit. Tatsächlich war das Stellenangebot international durch die

Finanzkrise 2009 alles andere als rosig, da z.B. viele Universitäten in den USA grosse Verluste ihres Stiftungskapitals erlitten hatten und deshalb quasi ein Einstellungsstopp für fortgeschrittene Forscher bestand. Hinzu kam, dass wir eine Dual Career Lösung brauchten, was eine zusätzliche Hürde bedeutete. Zum Glück ergab sich relativ rasch eine sehr interessante Möglichkeit in der physikalischen Chemie an der Universität Lund in Schweden, die sowohl mir als auch meiner Frau eine Stelle anbot. In meinem Fall war das zuerst eine Gastprofessur, und ab 2014 dann eine volle Professur. Lund war für uns nicht nur interessant, weil es sich als kleine und beschauliche Universitätsstadt mit einer grossen und renommierten Universität auch durch eine hohe Lebensqualität auszeichnet, sondern weil zu diesem Zeitpunkt dort zwei Grossforschungsanlagen entstanden: das nationale Synchrotron MAX IV und die europäische Spallationsquelle ESS. Bis Ende 2015 hatte ich neben meiner Arbeit an der Universität auch ein Mandat als wissenschaftlicher Berater des wissenschaftlichen Direktors der ESS. Meine Aufgabe war unter anderem das Erstellen eines Konzeptes, wie man die Gemeinschaft der Benutzer von Neutronenquellen im Bereich der weichen Materie lokal, national und international stärken und ausbauen könnte. Dies war und ist wichtig, weil im Gegensatz zu den Nutzern von Synchrotronstrahlung die Neutronenstreuergemeinschaft in Lund und insgesamt in Schweden deutlich kleiner ist, und es deshalb weiterer Anstrengungen bedarf, damit sich die grossen schwedischen Investitionen in die ESS auch auszahlen werden. In einem Konzeptpapier schlug ich 2011 deshalb vor, zu diesem Zweck ein sogenanntes Advanced Study Institut, das Lund Institute of Advanced Neutron and X-ray Science, zu gründen. Es dauerte einige Jahre, aber im Dezember 2014 beschloss das Rektorat, mir ein Mandat zu erteilen, um ein entsprechendes Konzept aufzugleisen. Anfang 2016 bewilligte das Rektorat eine Anschubfinanzierung für 3 Jahre, und 2017 wurde dann das Institut offiziell gegründet und ich zum Gründungsdirektor gewählt. Bei Gründung und Aufbau des LINXS versuchte ich, früher gemachte Fehler zu vermeiden und

von Anfang an verbindliche und klare Kompetenzregelungen zu erstellen und vor allem auch dem Institut und seinen Forschern die alleinige Hoheit über die Forschung zu geben. Meine Zeit am AMI hatte mich viel gelehrt, nicht nur was private Finanzierung akademischer Forschung durch private oder industrielle Geldgeber und Spender betrifft, sondern wie wichtig es ist, dass die Entscheidungsbefugnis über das wissenschaftliche Programm und die Forschungsinhalte bei den einzelnen Forschern liegen muss. Diese bitter bezahlte Einsicht half mir nun dabei. Entsprechend den universitären Regeln gab es auch hier eine Organisation mit einem Vorstand, gebildet aus Vertretern der wichtigsten Akteure, d.h. der involvierten naturwissenschaftlichen, technischen und medizinischen Fakultäten, Studentenvertretern, ESS, MAX IV und der nationalen Universitätsgemeinde, und einem Leitungsgremium des Institutes mit Direktor, Vize- und Ko-Direktor. Die Zusammensetzung des Vorstandes aus Interessenvertretern bot ganz offensichtlich Raum für entsprechende Versuche, die Arbeit des Institutes bevorzugt für die eigenen Anliegen einzusetzen. Deshalb war es entscheidend, die Kompetenzregelung bereits vor dem Beginn der Aufbauarbeit verbindlich festzulegen und die Entscheidungsbefugnis über das wissenschaftliche Programm ausschliesslich den LINXS Forschern zu übertragen. Gerade in einer Zeit, in der nicht nur externe Förderung sondern auch politische und gesellschaftliche Einflussnahme und Druck via soziale Medien im universitären Bereich immer wichtiger geworden sind, ist die Frage der Forschungsfreiheit essenziell und bedarf stetiger Anstrengungen der Gemeinschaft der Forscher. Dies ist nicht immer einfach und kann auch zu harten und schmerzhaften individuellen Entscheidungen führen, aber ich denke, dass wir das unserer Glaubwürdigkeit als Forscher schuldig sind. Die letzten Jahre haben gezeigt, dass besonders in Bereichen hoher gesellschaftlicher Relevanz Erkenntnisse aus der Forschung entweder in Frage gestellt oder negiert werden, und jeglicher Verlust der Glaubwürdigkeit ist hier verheerend.



Mit dem ersten LINXS Board auf der ESS Baustelle, Januar 2017.

Der späte Wechsel in ein neues Land und eine neue Forschungslandschaft war anfänglich nicht einfach, musste ich doch zuerst die einzelnen Akteure in der nationalen Forschungsförderung und ihre Programme kennenlernen und mich dort wieder neu etablieren. Auch wenn ich bis heute insbesondere dem Schweizerischen Nationalfonds und seiner einzigartigen Effizienz, Professionalität und «Kundenfreundlichkeit» nachtrauere, kann ich mich doch nicht beklagen, wozu natürlich auch der freie Zugang zu europäischen Förderquellen wie dem ERC beigetragen hat. Gleichzeitig eröffneten sich mir durch diesen Wechsel auch völlig neue Einblicke und Erkenntnisse in Bereiche wie Forschungskultur und Work-Life Balance. Seit meiner Dissertation an der ETH Zürich wurde ich als Postdoc (MIT) und eigenständiger Forscher (ETHZ) beruflich sozialisiert in einer Umgebung, in der Forschung immer quasi als Analogie zum Spitzensport verstanden wurde. Bei meiner Ankunft in Freiburg hatte ich diese Sicht der Forschung bereits vollständig verinnerlicht und kam auch in meinen Freiburger Jahren nie dazu, innezuhalten und diese Arbeitshaltung in Frage zu stellen. Nach meinem Wechsel an die Universität Lund und in eine Forschungsumgebung, die im Bereich der weichen Materie seit Jahrzehnten international eine führende Rolle innehat, musste ich erstaunt feststellen, dass man auch mit einer sehr viel familienfreundlicheren Einstellung Spitzenforschung betreiben kann. Ich realisierte, dass eine klare Trennung von Forschung und Freizeit und längere Pausen wie

z.B. die traditionellen schwedischen Sommerferien mit 4-5 Wochen ohne Kontakt zum Labor nicht zu einer Reduktion der Leistung, sondern im Gegenteil zu einer Erhöhung der Produktivität und der Fähigkeit, neue Wege zu finden, führen kann. Auch die meist viel kleineren Gruppen führen dazu, dass Professoren nicht mehr vor allem Forschungsmanager sind, sondern sehr viel intensiver in die tägliche Arbeit eingebunden und auch sehr viel offener gegenüber Zusammenarbeiten im eigenen Departement sind.

Im Nachhinein muss ich feststellen, dass das abrupte Ende meiner Tätigkeit am AMI und der Umzug nach Lund nicht nur schmerzhaft war, sondern zu einem Umdenken geführt hat, das ohne diese Zwangspause und den Wechsel in ein anderes Umfeld wohl nicht stattgefunden hätte. In den letzten Jahren vor meiner nun anstehenden Pensionierung habe ich immer mehr feststellen müssen, dass Forschung als Spitzensport nicht nur von Forschern in allen Stadien ihrer akademischen Laufbahn grosse persönliche Opfer fordert, sondern oft auch ein fruchtbares Klima für eine eher toxische Arbeitsatmosphäre schafft. Die in den letzten Jahren öfters in den Medien verbreiteten Konflikte zwischen Doktoranden und Professoren sind sicher auch in diesem Zusammenhang erwähnenswert. Gleichzeitig glaube ich, dass diese Forschungskultur auch mitschuldig ist an verschiedenen anderen Missständen. Im Gegensatz zum Sport, wo es meist klar ist, wer weiter wirft, höher springt oder als erster durchs Ziel rennt, ist dies in der Forschung nicht so eindeutig. In dieser sehr wettbewerbsorientierten Wissenschaftskultur versuchen Universitäten, Förderorganisationen und Politik trotzdem, (pseudo)quantitative Kriterien für Projektförderung oder die Rekrutierung von neuen Professoren anzuwenden. Als Ergebnis sehen wir, dass die Anzahl der Publikationen und der Impaktfaktor der Zeitschriften wichtiger geworden sind als die Inhalte, und dass die Summe der eingeworbenen Drittmittel wichtiger ist als die wissenschaftliche Relevanz und Qualität der damit erzielten Ergebnisse. Dies hat nicht nur zu einer Explosion der Anzahl der Publikationen und zu einer erschreckend hohen Zahl von nicht reproduzierbaren Ergebnissen geführt, die

gerade in der Medizin und Pharmakologie auch negative gesellschaftliche Konsequenzen hat, sondern hat unser Peer Review System an den Abgrund und zu enorm hohen Publikationskosten geführt. Hinzu kommt, dass wir dadurch oft auch die falschen Signale an Nachwuchswissenschaftler aussenden und die falschen Personen für eine akademischen Karriere auslesen. Wenn in einer Berufungskommission vor allem geschaut wird, wie viele Science und Nature Artikel in der Literaturliste auftauchen und wie viele Drittmittel jemand eingeworben hat, aber die Qualität und Relevanz der Forschung nicht mehr unabhängig beurteilt wird, weil das ja zu viel Zeit in Anspruch nehmen würde, dann rekrutieren wir oft diejenigen, die diese Tendenz noch verstärken. Auf diese Weise verlieren wir zu viele Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, die zwar vielleicht wirklich völlig neue Wege und Ansätze verfolgen, unabhängig und innovativ denken und forschen und erst publizieren, wenn ihre Ergebnisse genügend abgesichert und verstanden sind, aber deshalb diesen pervertierten «quantitativen» Kriterien (Metrics) nicht gerecht werden.

Am Ende einer akademischen Karriere fragt man sich natürlich, ob man wieder den gleichen Weg einschlagen würde. In meinem Fall kann ich das nur bejahen. Ich würde wieder versuchen, eine akademische Karriere zu machen, ich habe es keinen Tag bereut, diesen Weg gegangen zu sein, und werde auch nach meiner Emeritierung Ende September weiterhin aktiv forschen. Mit meinem jetzigen Wissen und meiner Erfahrung würde ich allerdings von Anfang an versuchen, von innen heraus die akademische Forschungskultur zu verändern und nicht mehr der Versuchung erliegen, mit immer grösseren Gruppen immer mehr Projekte zu verwirklichen und stattdessen das bleiben, was ich immer sein wollte, nämlich ein Forscher und kein Forschungsmanager. Ich würde versuchen, die Rekrutierungs- und Förderpolitik zu ändern und auf Forschungsinhalte und nicht Metrik zu fokussieren. Aber, und daran hat sich nichts geändert, ich würde weiterhin geeignete Doktorandinnen, Doktoranden und Postdocs zu einer akademischen Karriere ermuntern, sie aber auch ganz klar auf die damit verbundenen

Probleme und die Risiken aufmerksam machen, ganz so wie ich das auch in der Vergangenheit getan habe.

Félicitations adressées à ... Aloïs Raemy

En fin d'année passée, notre collègue et ami Aloïs Raemy a obtenu le prix 2023 de la Société Suisse d'Analyse Thermique et de Calorimétrie (STK pour Schweizerische



Thermoanalyse und Kalorimetrie), présidée par le Dr Pierre Brodard, professeur à la Haute école d'ingénierie et d'architecture (HEIA) de Fribourg.

Ce prix est dans la continuité du prix E. Calvet attribué par l'Association Française de Calorimétrie et d'Analyse Thermique (AFCAT), qu'il a reçu en 2001 et qui est déjà mentionné dans le Photon (voir Photon No 12-2001, page 5, rubriques Honneurs par Bernard Overney).

Le prix 2023 de la Société Suisse d'Analyse Thermique et de Calorimétrie (STK) récompense Aloïs Raemy pour ses travaux d'analyse thermique et de calorimétrie différentielle programmée de matériaux alimentaires sous pression de gaz neutres et d'oxygène ainsi que sous cellules fermées, c'est-à-dire généralement sous pression de vapeur d'eau de l'aliment étudié en plus de la pression due à la compression de l'air dans les cellules fermées. Ces études basées sur l'expérimentation permettent, en particulier, de diminuer drastiquement les accidents dans des procédés industriels, les incendies et les explosions de poussières.

Il lui a été remis le 19 octobre 2023 dans le cadre du Meeting annuel de la Société qui a eu lieu au Centre international de formation et de conférences Nestlé de Rive-Reine à La Tour-de-Peilz (VD), réunion dont Aloïs Raemy était aussi l'organisateur local.

Un mot pour présenter la société STK à l'origine du prix. Elle se présente ainsi : « La société a pour but de stimuler la connaissance scientifique et technologique dans le domaine de l'analyse thermique, de la calorimétrie et de la thermodynamique chimique. Dans ces domaines, elle veut servir de lien entre toutes les branches scientifiques impliquées, en particulier la chimie, la physique, la physico-chimie et aussi entre les représentants de ces branches dans les universités et l'industrie. La société remplit son rôle avant tout par l'organisation de rencontres scientifiques, de conférences et de visites ainsi que par le maintien de contacts avec d'autres organisations nationales et internationales à but similaire. Elle est affiliée à l'organisation internationale ICTAC. La société peut devenir membre d'autres organisations. »

Bravo à Aloïs et longue vie à la STK.

Travaux de Master – Masterarbeiten

Anziehende Materie



Philippe Knecht (25) studiert Mathematik und Physik im Master an der UniFR. Im Interview erzählt er von seinem Weg nach Freiburg, argumentiert über komplexe Modelle von Ferromagneten in seiner

Masterarbeit, und beleuchtet, warum Mathematik als Kunst interessant zu erforschen ist.

Woher kommst du und was machst du neben deiner Hauptbeschäftigung?

Ich bin im Freiämter Klosterdorf Muri AG aufgewachsen und somit stolzer Aargauer (er trägt weisse Socken beim Interview). Ging dort zur Schule, erlangte 2018 Matura in Wohlen AG und nach meinem Militärdienst bei den Rettungstruppen wandte ich mich der Welt der Zahlen zu. In meiner Freizeit treibe ich gerne Sport aller Art, vorwiegend aber klettere ich an Wänden herum, spürte in Laufschuhen durch die Gegend und mache im Winter auf meinen Skiern die Pisten unsicher.

Was hat dich dazu bewegt, Mathematik und Physik zu studieren?

Ein phänomenaler Lehrer in der Oberstufe weckte schon früh das Bestreben in mir, Kalküle nicht nur auszuführen, sondern auch den Sinn und die Beweggründe dahinter zu verstehen. Deswegen war für mich schon vor der Kanti entschieden, dass aus mir dereinst ein Mathematiker werden sollte. Dem gehe ich nun seit fünf Jahren nach, und stehe in der Schlussetappe meines Masterstudiums an der Uni Fribourg.

Warum aber genau in Fribourg?

Nach Erlangung der Matura im Freiamt wollte ich eigentlich zuerst in die (mir nahe) Zentralschweiz und in Luzern studieren. Als ich feststellen musste, dass Naturwissenschaften dort nicht angeboten wurden, schnupperte ich Luft an verschiedenen Universitäten. ETH? Kein Nebenfach möglich. UZH? Auch in Zürich, und

zu gross. Uni Basel? Irgendwie auch nicht. EPFL? Zu weit weg. Auf einen Rat meiner Mathelehrerin an der Kantonsschule gab ich Fribourg eine Chance am Besuchstag, und war angetan von der Möglichkeit, mein Studium im kleinen familiären Rahmen zu führen – und das noch in einem Umfeld, wo mir meine zweisprachige (D/F) Matura sogar noch weitläufig von Vorteil sein würde. Und das besiegelte die Entscheidung, nach Fribourg zu kommen.

Worum geht es in deiner Masterarbeit?

Ich erforsche neuere Erkenntnisse zur Mischzeitentwicklung des ferromagnetischen Isingmodells auf dem vollständigen Graphen K_n mit dem Ziel, das Verhalten der Gleichgewichtskonvergenz der Glauberdynamik darauf zu erläutern.

Wie hast du dieses Thema ausgewählt?

Ich besuchte in meinem letzten Bachelorsemester eine Vorlesung zum Isingmodell und FK-Perkolatation. Obschon hochkomplex fand ich die Thematik spannend als Brücke zwischen der Wahrscheinlichkeitstheorie (und der damit einhergehenden Masstheorie) und der statistischen Mechanik (die im mikroskopisch Kleinen die Wärmelehre und die Struktur der Materie zu erklären versucht). Hierdurch bot sich mir ein Feld, dass ich als Schnittmenge der Mathematik und der Physik ansehen konnte. Ausgerüstet mit der Intuition des Physikers und dessen Beobachtungen in der Natur, sowie der analytischen Denkweise eines Mathematikers zur Musterbetrachtung, lernten wir dort, wie man die Ausbreitung von Flüssigkeiten durch poröse Medien (denken Sie hierbei an Wasser, das sich mit der wirkenden Schwerkraft durch einen Kaffeefilter arbeitet) und die Spontanmagnetisierung von Ferromagneten als Anstoss nutzte, um Perkolatation zu studieren und ein heute von der statistischen Mechanik nicht mehr wegzudenkendes Modell zu ersinnen: Das Isingmodell.

Der Themenbegriff klingt zugegebenermassen kompliziert. Kannst du dein Forschungsthema ein wenig erläutern?

Das Isingmodell beschreibt auf einem Graphen $G = (V, E)$ (d.h. einer Sammlung V von Ecken,

verbunden mit Kanten E), dessen Ecken die Atome eines Feststoffs repräsentieren, mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitstheorie die möglichen Ausrichtungen (Spins) der atomaren magnetischen Dipole in einer Spinkonfiguration σ . Es kann insofern den Magnetismus auf mikroskopischer Ebene modellieren, und zielt mit der Betrachtung eines Hamiltonoperators auf die Fähigkeit der Boltzmannstatistik ab, Wahrscheinlichkeiten mit physikalisch interpretierbaren Energien zu koppeln.

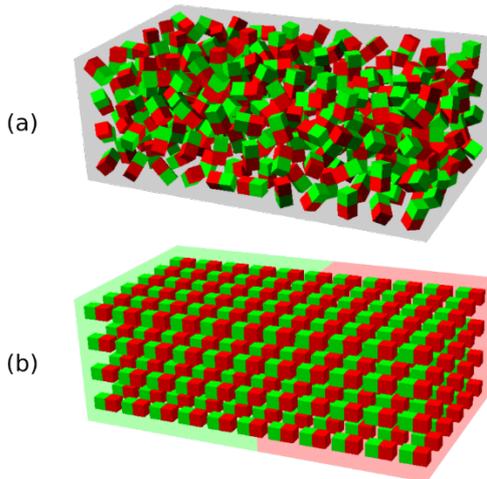


Abb. 1: Schema von mikroskopischen Dipolmagneten

Wenn Sie sich nun vorstellen, Sie nähmen einen solchen Ferromagneten, modelliert als Graph, und würfen diesen in ein Wasserbad bei fixer Temperatur, dann wird sich unweigerlich (so will es die Thermodynamik) ein thermisches Gleichgewicht mit einer Gleichgewichtstemperatur einstellen. Die Zeit die nötig ist, um dies zu erreichen, nennen wir Mischzeit, und die zeitliche Entwicklung des Systems hin zu einem Gleichgewichtszustand modelliert die Glauberdynamik. Dabei handelt es sich um eine spezifische Art der Markovkette, einer selbst spezifischer Art Folge von Zufallsvariablen mit interessanten Eigenschaften – indem sie als Zufallsvariable X_t gesehen für jede Zeit $t \geq 0$ Konfigurationen unseres Ferromagneten wiedergibt. Insofern bildet die Glauberdynamik eine Reihe von Momentaufnahmen unseres Magneten, und die Übergänge von einem «Foto» zum nächsten sind probabilistisch gekoppelt.

In meiner Arbeit widme ich mein Schaffen jedoch nicht irgendeinem Magneten, sondern idealisiere mit dem vollständigen Graphen $G = K_n$ mit n Ecken (wo jedes Atom jedes andere

Atom beeinflusst, also alle möglichen $\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2}$ Kanten existieren) einen Ferromagneten ohne geometrischen Rand, da dieser eine hohe Symmetrie besitzt und keine Unreinheiten eines physikalischen Atomgitters die Rechnungen zusätzlich erschweren. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung des thermischen Gleichgewichts präsentiert sich auf K_n für eine Konfiguration σ als

$$\mu_n(\sigma) = \frac{1}{Z} e^{-\beta H(\sigma)} = \frac{1}{Z} \exp\left(\frac{\beta}{n} \sum_{i < j} \sigma(v_i) \sigma(v_j)\right),$$

wobei der Parameter $\beta = T^{-1} \geq 0$ die Rolle einer inversen Temperatur übernimmt und die sogenannte Partitionsfunktion Z eine Normierungskonstante darstellt, damit das Resultat der obigen Formel immer eine Zahl zwischen 0 und 1 bleibt.

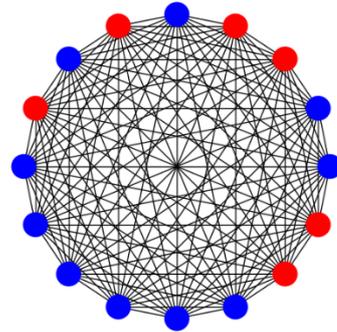


Abb. 2: Spinkonfiguration auf K_{16}

Nun geht es also darum, die Mischzeiten dieser Magnete zu studieren. In der Modellbetrachtung versteht man unter der Mischzeit t_{mix} eine Kennzahl, die mit Hilfe masstheoretischer Methoden rund um die «Distanz in totaler Variation» angibt, nach wie viel Wartezeit «thermischen Mischens» ein Zustand des System erreicht ist, das unter Akzeptanz eines adäquat fixierten maximalen Messfehlers einem Gleichgewichtszustand entspricht. Und es lässt sich zeigen, dass unabhängig vom Ausgangszustand des Ferromagneten das Gleichgewicht je nach Temperatur des Systems unterschiedlich schnell auftritt. Besser noch, es kann gezeigt werden, dass sich dies mit der Systemgröße n der Anzahl Atome bzw. Ecken in Verbindung bringen lässt und somit die geometrische Symmetrie des vollständigen Graphen auch für

die Konvergenz zum thermischen Gleichgewicht des idealisierten Magneten eine entscheidende Rolle spielt. Und genau hierfür interessiere ich mich, und mich treibt die Frage an, wie sich die Mischzeit für sehr grosse Magnetsysteme asymptotisch verhält ($n \rightarrow \infty$).

Was bleibt jetzt noch zu tun, um die Arbeit abzuschliessen?

Ich habe bislang etabliert, wie man die Glauberdynamik X_t konstruiert und damit mathematisch die Zeitentwicklung eines magnetischen Spinsystems modellieren kann. Das Problem der Mischzeitenanalyse kann reduziert werden auf die Gleichgewichtskonvergenz der Magnetisierung $S_t = \sum_{v \in V} X_t(v)$. Also anstatt den mikroskopischen Verlauf der Magnetspins zu analysieren kann die Phänomenologie meist bereits der makroskopisch beobachtbaren Durchschnittsausrichtung einer Konfiguration σ für den Ferromagneten entnommen werden. Und nach mathematisch rigoroser Einführung physikalisch intuitiver Konzepte wie dem thermischen Gleichgewicht eines Stoffes mit Hilfe von Masstheorie und dem Nachweis, dass das Isingmodell und die Glauberdynamik tatsächlich ein physikalisch repräsentatives Modell mit Spontanmagnetisierung unterhalb eines gewissen Schwellenwerts produzieren, bleibt nun die Mischzeitanalyse. Physikalisch repräsentativ ist das Modell in dem Sinne, dass der bereits 1600 beobachtete Verlust der Spontanmagnetisierung gewisser Materialien wie Eisen unter Wärmeeinwirkung auch im Isingmodell passieren kann. Tatsächlich kann mit einem Bunsenbrenner gezeigt werden, dass über ca. 770°C ein zuvor durch Magnete angezogener Eisenstab nach dem Erhitzen hierüber plötzlich nicht mehr magnetisch suszeptibel ist.

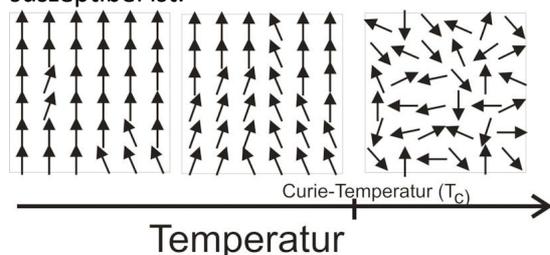


Abb. 3: Dipolausrichtungen um die Curie-Temperatur;
Quelle:

<https://media2.supermagnete.at/terms/medium/pu59.jpq>

Da das Phänomen der sogenannten «Curie-Temperatur» auch im Modell auftritt, teile ich meine Analysen in, «kritische Temperaturen» und «tiefe Temperaturen», und erhoffe mir, Resultate aus jüngster Forschung zu präsentieren, die zeigen, dass für «hohe Temperaturen» $\beta < 1$ sich die Mischzeit verhält wie $t_{mix} \sim O(n \log(n))$ und somit die Konvergenz bemerkenswert zügig eintritt, dass für «tiefe Temperaturen» mit $t_{mix} \sim O(e^n)$ eine exponentielle Wartezeit notwendig ist, und dass in der Umgebung der Curie-Temperatur (im Modell $\beta = 1$) sich ein polynomiales Verhalten $t_{mix} \sim O(n^c)$ abzeichnet. Wenn das gelingt, steht die Frage im Raum, wie abrupt die Konvergenz denn tatsächlich eintritt, ob also der Ferromagnet kontinuierlich dem Gleichgewicht näherkommt, oder doch eher lange fern von einem Gleichgewichtszustand bleibt, nur um dann plötzlich ins Gleichgewicht zu gelangen innert kürzester Zeit. Diese Abruptheit, den «Cut-off», für die verschiedenen Temperaturbereiche des Modells auf K_n zu erörtern, bildet dann den Abschluss der angestrebten Konvergenzdiskussion.

Was erwartet dich nach dem Masterabschluss?

Vorderhand gehe ich meinem Berufswunsch nach, dereinst Kantonsschullehrer zu werden und dort die Freude an der Mathematik und den Wundern dieser Welt an künftige Generationen weiterzugeben. Nicht zuletzt, um ihnen aufzuzeigen, dass Mathematik weit mehr zu bieten hat als Zahlen und die Formeln aus der Formelsammlung, die man auswendig kennen sollte für die nächste Prüfung, sondern eben eine Schlüsselrolle spielt in der Erkundung unserer Umwelt und Gegenwart, und dass sich darin eine Schönheit und Faszination verbirgt, die es zu erkunden gilt. Dazu werde ich an der PH Bern das Lehrdiplom in Angriff nehmen. Und dann sehen, wo die Reise hinführt.

