

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 40204 Düsseldorf  
Dekanat der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

An alle  
hauptamtlichen Professoren/innen  
und Privatdozenten/innen  
des Faches Physik der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

Mathematisch-  
Naturwissenschaftliche  
Fakultät

Dekanat

**Promotionsangelegenheiten**

Universitätsstraße 1  
40225 Düsseldorf  
Telefon: +49 (0)211 81 15092  
E-Mail: [promotionmnf@hhu.de](mailto:promotionmnf@hhu.de)

18.04.2024

Promotionsverfahren von **Herrn M.Sc. Lukas Handt**  
**Auslage** der Dissertation und Gutachten sowie Termin der mündlichen Prüfung  
Anlage: Einseitige Zusammenfassung der Dissertation

Sehr geehrte Damen und Herren,

in dem oben genannten Promotionsverfahren wird die Annahme der Dissertation

**Electronic properties of two-dimensional Dirac fermions in superlattice structures**

von den Berichterstattenden Prof. Dr. R. Egger und PD Dr. H. Kampermann beantragt. Sie kann zusammen  
mit den Gutachten in der Zeit

**vom 26.04.2024 bis 07.05.2024**

eingesehen werden. Bitte wenden Sie sich zur Einsicht an das Promotionsbüro ([promotionmnf@hhu.de](mailto:promotionmnf@hhu.de)).

Einsprüche gegen diese Dissertation können nur zwei Tage nach der vorgenannten Frist  
geltend gemacht werden. Erfolgt kein Einspruch, so gilt die Dissertation als angenommen  
(§ 7 Ziffer (5) PO).

Sofern die Dissertation angenommen wird, findet die mündliche Prüfung am

**13.05.2024 um 10:30 Uhr**

im **Raum 25.33.00.61** statt. Als Prüferinnen bzw. Prüfer sind vorgesehen:  
Prof. Dr. Dr. C. Müller, Prof. Dr. T. Heinzl und Priv.-Doz. Dr. S. Villalba-Chavez.

Die Öffentlichkeit ist bei der Befragung nicht zugelassen.

Mit freundlichen Grüßen  
im Auftrag

Silke Krispin

# Electronic properties of two-dimensional Dirac fermions in superlattice structures

Lukas Handt

Solid state physics has made striking progress in the recent decades. This led to a great interest for experimental physicists and theoreticians in research of different applications and materials.

Within this work, different superlattice structures are presented and the influence of two-dimensional Dirac fermions on electronic properties is discussed.

We introduce the model of twisted bilayer graphene, which includes the moiré superlattice, flat bands and magic angles. The moiré superlattice causes completely flat bands for discrete rotation angles between the two graphene layers. These angles are called magic angles. Graphene is a widely studied material and the group around Y. Cao actually managed to observe some superlattice effects experimentally in 2019, which was an important breakthrough. Here we show that the magic angles can be shifted by tuning the ratio of nearest neighbor coupling and next-nearest neighbor coupling. Such angles where the bandstructure is flat are sensitive to a variation of the different coupling strengths.

Next, we discuss the influence of two-dimensional Dirac fermions in a mass superlattice. This mass superlattice periodically alternates between positive and negative values along one direction and can be realized for monolayer graphene. We show that the low-energy calculation is controlled by the Jackiw-Rebbi mechanism. With help of the transfer matrix approach, we obtain exact results for a piece-wise constant mass superlattice. Apart from the resulting anisotropic Dirac cone dispersion, we find different nontrivial boundary modes as well as interface modes near potential steps. We compute the dispersion relation for existing types of boundary and interface modes. We show that the interface modes, the Bloch wave functions, the transmission and the electrical conductance exhibit an explicit dependency on the step position relative to the superlattice.