TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

DRESDEN concept

Fakultät Physik

Vertiefungsgebiet Theoretische Physik

Vertiefungsgebiet Theoretische Physik @ TU Dresden

„Am Institut für Theoretische Physik untersuchen wir physikalische Phänomene mit analytischen und numerischen Methoden. Dabei werden die Gesetzmäßigkeiten der Natur durch möglichst einfache, durchaus abstrakte mathematische Strukturen dargestellt. Um die sich daraus ergebenden Grundgleichungen zu lösen, entwickeln wir neuartige Zugänge mit dem Ziel, Naturphänomene erklären und vorhersagen zu können."

→ physikalisch relevante **Konzepte** und **Begriffe** entwickeln

→ **Erklärungen** und **Vorhersagen** für physikalische Phänomene liefern (analytisch, numerisch)

Vertiefungsgebiet Theoretische Physik @ TU Dresden

• Quanten-Vielteilchentheorie	Prof. Dr. J. C. Budich
• Computational Physics	Prof. Dr. R. Ketzmerick
• Phänomenologie der Elementarteilchen	Prof. Dr. D. Stöckinger
• Theoretische Quantenoptik	Prof. Dr. W. Strunz
• Theorie der kondensierten Materie	Prof. Dr. C. Timm
• Netzwerk-Dynamik	Prof. Dr. M. Timme
• Korrelierte Elektronen und Topologie	Jun-Prof. Dr. H.-H. Tu
• Theoretische Festkörperphysik	Prof. Dr. M. Vojta

Abschlussarbeiten häufig ausgezeichnet durch Preise:

- Lohrmann-Medaille
- Ehrenfried-Walter-von-Tschirnhaus-Urkunde
- Georg-Helm-Preis

Vertiefungsgebiet Theoretische Physik @ TU Dresden

Vorlesung	SWS	Typ	Angeboten
Vielteilchentheorie kondensierter Materie	3+1	VWm	WS20/21, SS22
Theoretische Festkörperphysik	3+1	VW	SS22, SS23
Frustrated Magnetism	3+1	VWm	SS20, SS23
Theorie der Phasenübergänge	3+1	VW	WS19/20
Quantum Phase Transitions	3+1	VWm	SS18
Theory of Superconductivity	3+1	VWm	WS21/22, WS22/23
Tensor Networks	3+1	VWm	SS21
Group Theory in Condensed Matter Physics	3+1	VW	WS16/17
Introduction to Topological Field Theory	3+1	VWm	SS18
Topological Insulators and Superconductors	3+1	VWm	WS21/22
Chaos and Quantum Chaos	3+1	VW	SS21, SS22
Nonlinear Dynamics	3+1	VW	WS16/17, WS18/19
Chaos in Higher-Dimensional Systems	3+1	VW	WS19/20, WS22/23
Quanteninformation	3+1	VW	WS20/21, WS22/23
Geometry and Topology in Quantum Physics	3+1	VW	WS20/21
Computational tools for quantum many-body physics	3+1	VW	WS21/22
Analytical tools for quantum many-body physics	3+1	VW	WS19/20, WS22/23
Atomic and Molecular Systems in Strong Laser Fields	3+1	VW	WS18/19
Theoretical Femtosecond Physics	3+1	VW	SS21, SS22
Quantenelektrodynamik	3+1	VW	WS17/18, SS20
Quantenfeldtheorie	3+1	VWm	WS20/21, WS19/20
Gruppen und Teilchen	3+1	VW	WS16/17. WS18/19
Theoretical Particle Physics	3+1	VW	WS20/21, WS22/23
Allgemeine Relativitätsheorie	3+1	VW	WS20/21, SS22
Quantenfelder unter dem Einfluss externer Bedingungen	3+1	VWm	SS18, WS20/21
Network Dynamics and Research on Complex Systems	3+1	VW	SS19, SS21
Physics of Sustainability: Energy, Flow Networks and Mobility	3+1	VW	SS19
Nonlinear Dynamics of Human Mobility and Transportation	3+1	VW	SS20, SS22
Physik der weichen kondensierten Materie	3+1	VW	SS20, SS22
Theoretical Polymer Physics	3+1	VWm	WS20/21, WS22/23
...			

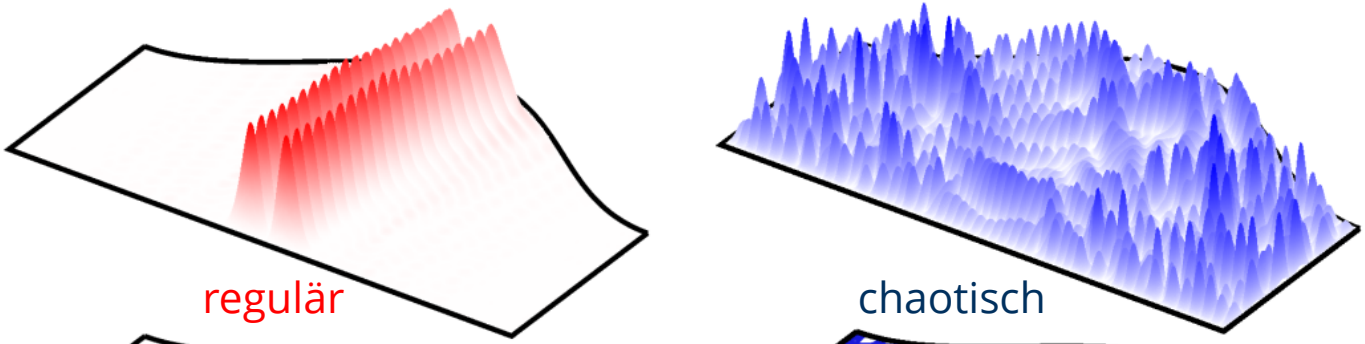
https://tu-dresden.de/mn/physik/itp/studium/vertiefungsgebiet

Vertiefungsgebiet Theoretische Physik @ TU Dresden

• Computational Physics	Prof. Dr. R. Ketzmerick
• Phänomenologie der Elementarteilchen	Prof. Dr. D. Stöckinger
• Netzwerk-Dynamik	Prof. Dr. M. Timme
• Theoretische Quantenoptik	Prof. Dr. W. Strunz
• Quanten-Vielteilchentheorie	Prof. Dr. J. C. Budich
• Theorie der kondensierten Materie	Prof. Dr. C. Timm
• Korrelierte Elektronen und Topologie	Jun.-Prof. Dr. H.-H. Tu
• Theoretische Festkörperphysik	Prof. Dr. M. Vojta

Chaos und Quantenchaos

Eigen-
zustände
im Billard

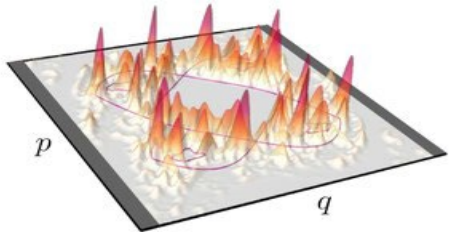


Klassische
Dynamik
im Billard

Zusammenhang Quantenmechanik und klassische Dynamik?

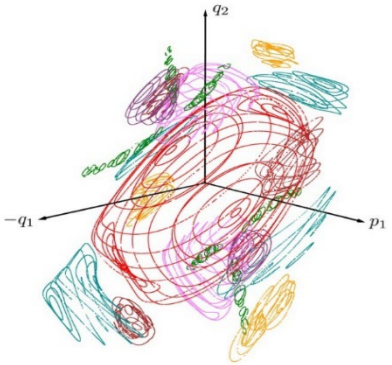
Professur Computational Physics

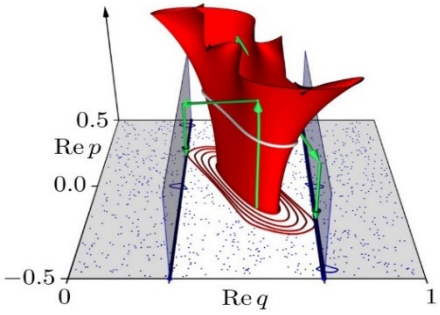
Prof. Dr. Roland Ketzmerick, Prof. Dr. Arnd Bäcker



Themen für Bachelor- und Masterarbeiten
(numerisch und analytisch)

- Chaos in höher-dimensionalen Systemen
- Fraktale Struktur von Eigenfunktionen in offenen Systemen
- Tunneln im regulär-chaotischen Phasenraum
- Verschränkung in gekoppelten chaotischen Systemen





- **Quantenfeldtheorie— Kombination Relativität+Quantenmechanik**

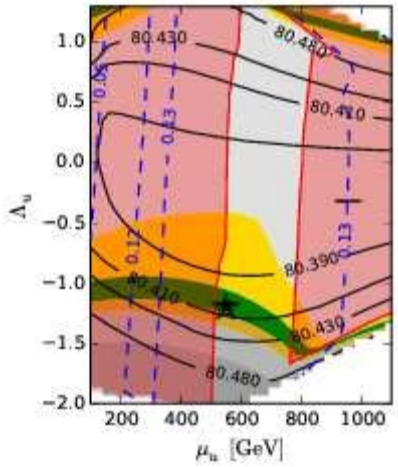
  Grundlagen, z.B. Eichinvarianz, Renormierungstheorie

- **Elementarteilchentheorie**

  Was ist die Lagrangefunktion der fundamentalen Wechselwirkungen? Gibt es zusätzliche Symmetrien (**Supersymmetrie**, Große Vereinigung)? Gibt es zusätzliche **Higgs-Teilchen**? Woraus besteht die **Dunkle Materie**?

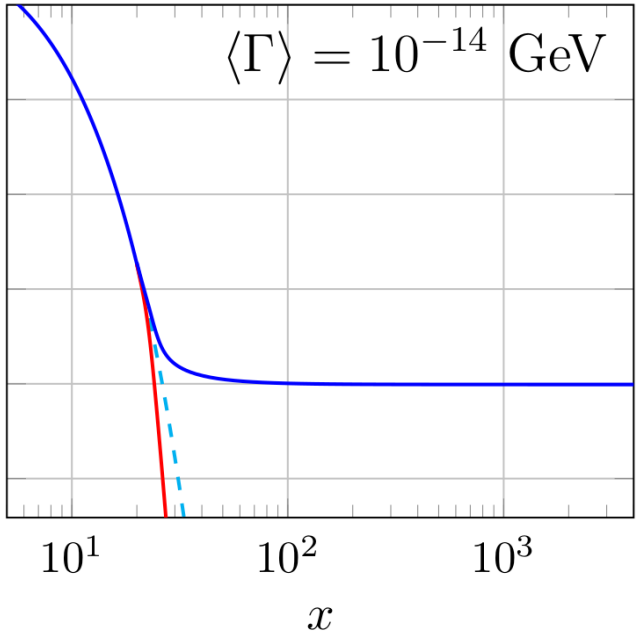
Präzisionsvorhersagen von Teilcheneigenschaften, Dunkler Materie,

Vergleich mit Experiment



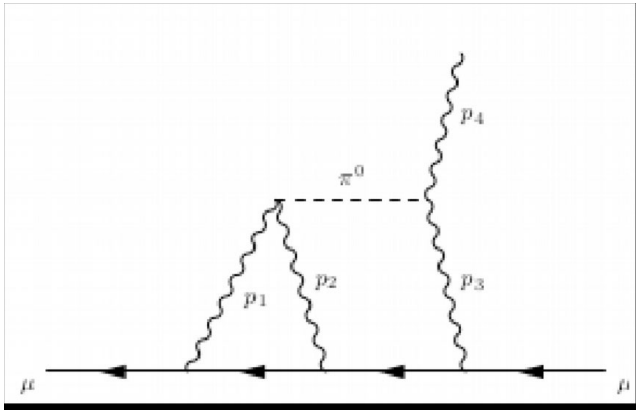
Beispiele für Bachelorarbeiten (Dunkle Materie, Teilchenphysik):

Dunkle Materie-Szenario:
Zeitentwicklung vom Urknall bis heute



(Robin Zech)

Magnetisches Moment des Myons:
Analyse von Feynmandiagrammen



$$a_\mu^{\pi^0} = -e^6 \int \frac{\mathrm{d}^4p_1}{(2\pi)^4}\frac{\mathrm{d}^4p_2}{(2\pi)^4}\frac{1}{p_1^2 p_2^2 (p_1+p_2)^2}\frac{1}{(p+p_1)^2-m_\mu^2}\frac{1}{(p-p_2)^2-m_\mu^2} \times \left[\frac{\mathcal{F}_{\pi^0\gamma^*\gamma^*}(p_1^2,(p_1+p_2)^2)\mathcal{F}_{\pi^0\gamma^*\gamma^*}(p_2^2,0)}{p_2^2-m_\pi^2}T_1 + \frac{\mathcal{F}_{\pi^0\gamma^*\gamma^*}(p_1^2,p_2^2)\mathcal{F}_{\pi^0\gamma^*\gamma^*}((p_1+p_2)^2,0)}{(p_1+p_2)^2-m_\pi^2}T_2\right]$$

(Tom Steudtner)

Professur Netzwerkdynamik

Prof. Dr. Marc Timme

- **Kollektive Dynamik komplexer vernetzter Systeme**
  aus Natur und Technik,
  z.B. biochemische Netzwerke, **Energie** – und **Mobilitäts**systeme
  Daten-getriebene Analyse **systemischer Nachhaltigkeit**

- **Selbstorganisierte verteilte Dynamik:**
  theoretisches **Verständnis** → **Vorhersage** → **Kontrolle**

- **offene theoretische Grundlagenfragen** (eher für *Masterarbeiten*):
  - Rekonstruktion der Struktur komplexer Systeme aus Zeitreihen
  - Nichtgleichgewichts-Dynamik & Vorhersage von Kipp-Punkten

Methoden: Statistische Physik, Nichtlineare Dynamik, Graphentheorie,
Analyse multidimensionaler Zeitreihen und Daten

http://networkdynamics.info

Professur Netzwerkdynamik

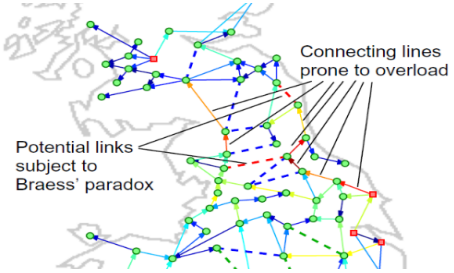
Prof. Dr. Marc Timme

Vernetzte & geteilte Mobilität

Data analytics, Spieltheorie, Vorhersage

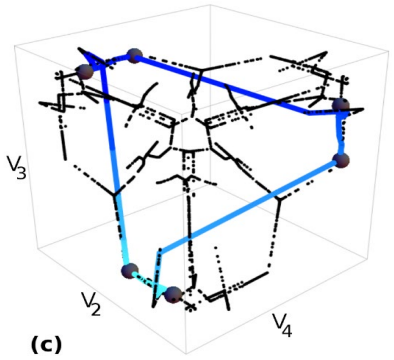
Stromnetze, Energiesysteme und Nachhaltigkeit

(In)Stabilitäten, Risiken, nichtlokale Antworten, Reboundeffekte



Bio(inspiriertes) Computing

Universelle analoge Computer?



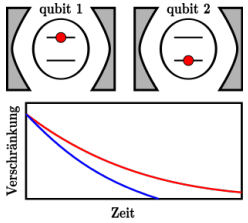
http://networkdynamics.info

Professur Theoretische Quantenoptik

Prof. Dr. Walter Strunz

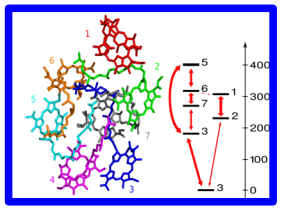
Quantenoptik: Licht und Materie in Wechselwirkung:
QED, Photonen, Atome und Moleküle

Quantenphysikalische Grundlagen, Quantenstochastik, Quanteninformation



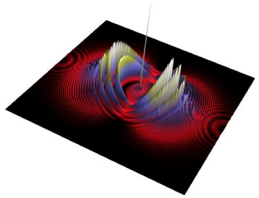
- Quantenkorrelationen:
- Verschränkung (und dessen Dynamik), Quanteninformation

- Dynamik offener Quantensysteme:
- Dekohärenz, Quantenfluktuationen, Quantendissipation



- Energietransferprozesse in Lichtsammelkomplexen

- Quantenvielteilchensysteme: ultrakalte Bose-Gase



- Quantenfelder, Quantenvakuum: Einfluss dynamischer Randbedingungen

Studentische Abschlussarbeiten

Bachelor:

- Quantenkanäle und Quanteninformation
- Kohärenzeigenschaften ultrakalter Bose-Gase
- Quantenkorrelationen und bedingte Zustände kontinuierlicher Variablen
- Dynamics of ultracold Bose gases in optical lattices

Master:

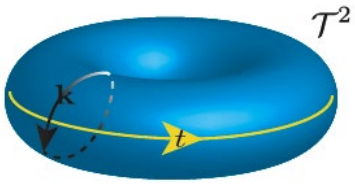
- Collision Model for Non-Markovian open quantum dynamics
- Geometry of quantum states
- An index theorem approach on the Bloch sphere
- Steering in collision models
- Reduced dynamics of strongly correlated Bose gases

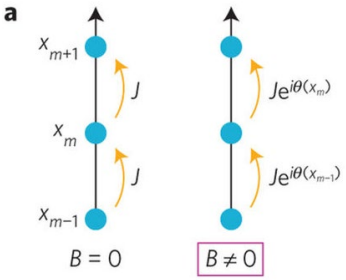
Professur Quanten-Vielteilchentheorie

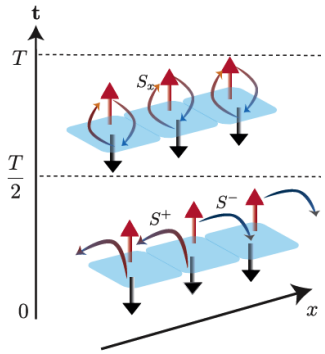
Prof. Dr. Jan Carl Budich

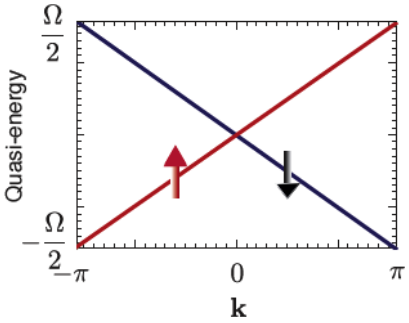
Forschungsschwerpunkte

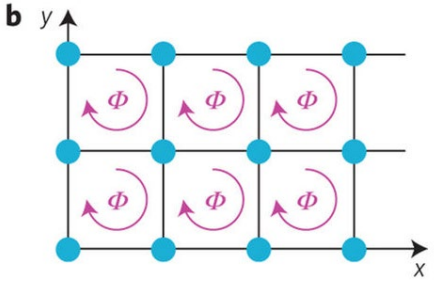
- Topologische Quantenmaterie
- Quanten-Dynamik fernab des Gleichgewichts
- Ultrakalte atomare Gase
- Stark korrelierte Vielteilchen-Systeme







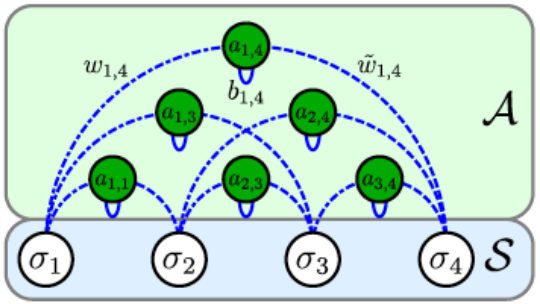


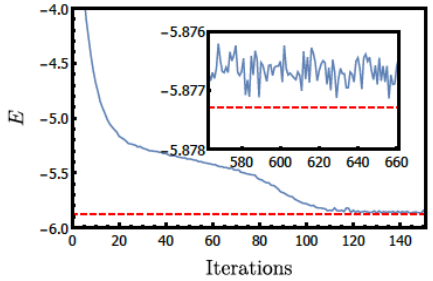


N. Goldman, JCB, P. Zoller, Nature Phys. 12, 639 (2016)

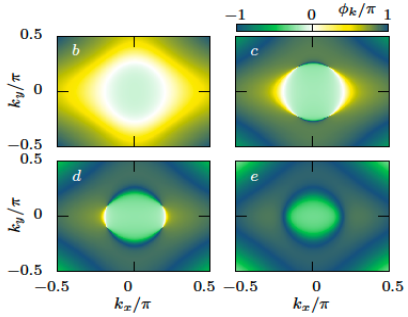
Aktuelle Projektbeispiele

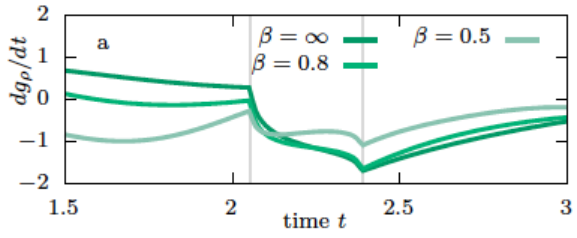
Darstellung chiraler topologischer Phasen durch künstliche neuronale Netze
[R. Kaubruegger, L. Pastori, JCB, arXiv:1710.04713]





Dynamische topologische Phasenübergänge fernab des Gleichgewichts
[M. Heyl, JCB, arXiv:1705.08980]

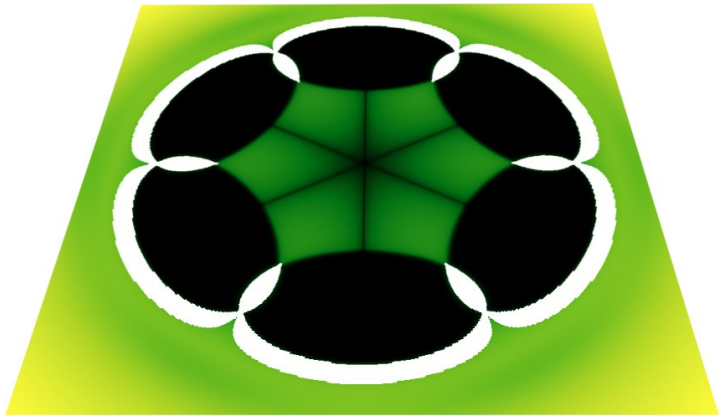




Professur Theorie der kondensierten Materie

Prof. Dr. Carsten Timm

- Systeme aus vielen wechselwirkenden Teilchen
- kollektive Eigenschaften lassen sich nicht einfach aus denen der zu Grunde liegenden Teilchen ablesen: Emergenz (Philip W. Anderson 1972: *More is Different*)
- Symmetrien und Topologie sind wichtig für Verständnis
- wir untersuchen emergente Eigenschaften in Supraleitung, Magnetismus und Transportprozessen



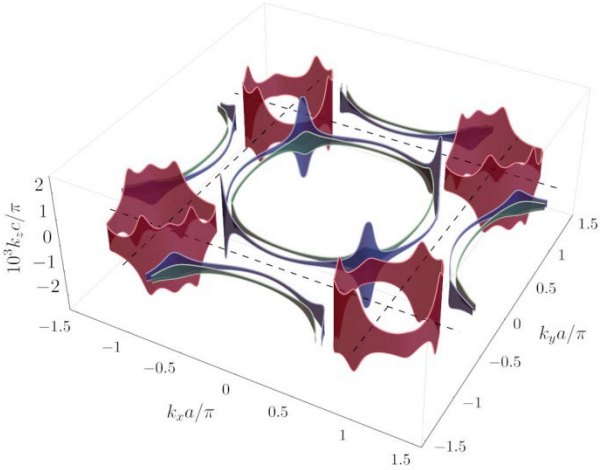
Dispersion der Oberflächenzustände eines topologischen Supraleiters, schwarz: flache Bänder

Professur Theorie der kondensierten Materie

Prof. Dr. Carsten Timm

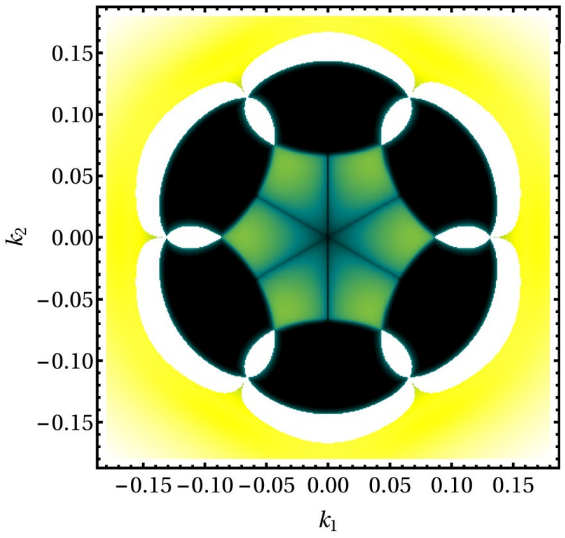
Topologische Supraleiter

Fermi-Flächen in Supraleitern



Bogoliubov-Fermi-Fläche von Sr_2RuO_4, Phys. Rev. Research 2, 032023(R) (2020)

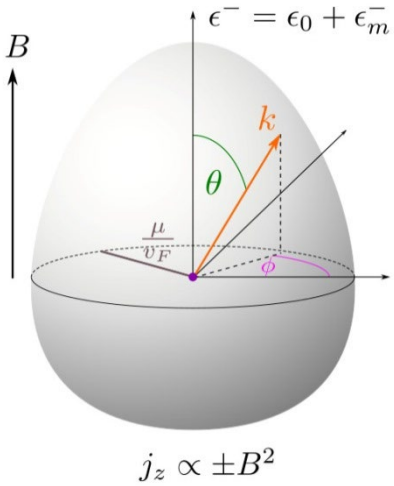
Oberflächen-zustände



Oberflächendispersion von YPtBi, Phys. Rev. B 96, 094526 (2017)

Semimetalle

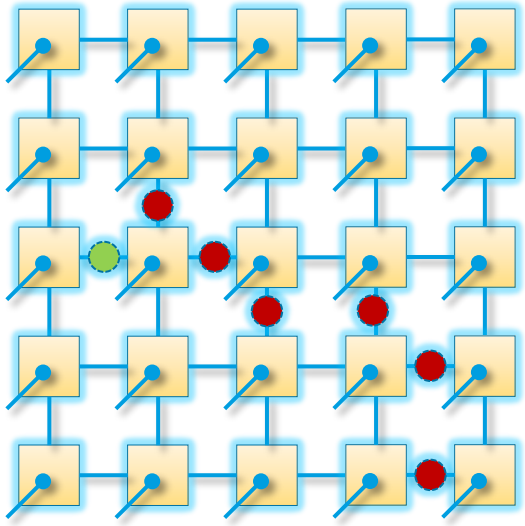
Transport, Magnetismus, Topologie



Fermi-Fläche durch orbitales magnetisches Moment, Phys. Rev. B 101, 201402(R) (2020)

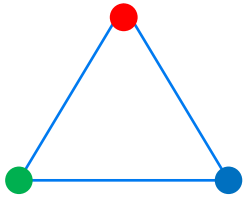
Juniorprofessur Korrelierte Elektronen und Topologie

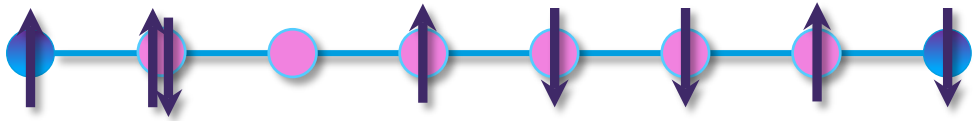
Jun.-Prof. Dr. Hong-Hao Tu

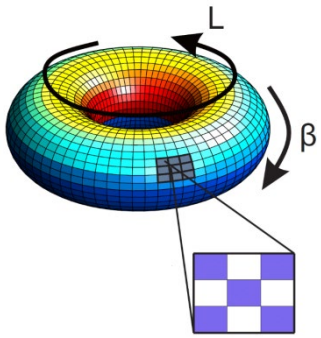


Forschungsschwerpunkte:

- Theorie der stark korrelierten Quantensysteme
- Neuartige topologische Phasen
- Tensor-Netzwerk-Zustände
- Konforme Feldtheorie







Juniorprofessur Korrelierte Elektronen und Topologie

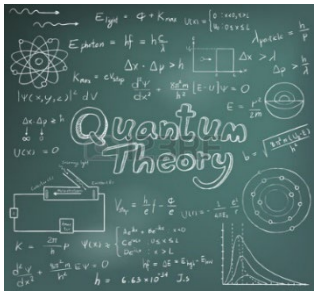
Jun.-Prof. Dr. Hong-Hao Tu

Bachelor- und Masterprojekte:

- Tensor network description for 2D and 3D topological phases
- Microscopic theory of charge and thermal transports for 2D topological phases
- Wire construction of 2D topological phases
- Density-matrix renormalization group (DMRG) method for strongly correlated systems
- Trial wave functions and Hamiltonians for gapless chiral spin liquids
- Exactly solvable models for Kondo impurity problems
- Applications of conformal field theories in condensed matter and statistical physics

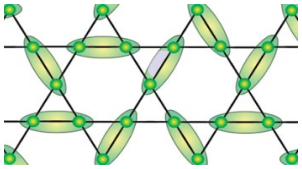
Professur Theoretische Festkörperphysik

Prof. Dr. Matthias Vojta



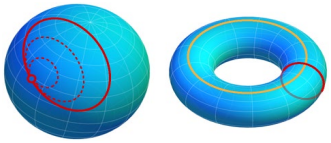
Forschungsschwerpunkt:

Quanten-Vielteilchensysteme mit starken Wechselwirkungen,
Fokus auf Elektronen im Festkörper
(→ Magnetismus, Supraleitung usw.)



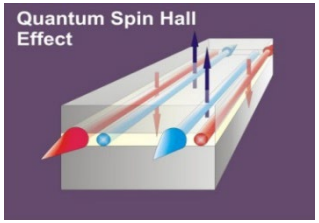
Warum?

Reichhaltige Physik:
Neue Phasen, neue „emergente“ Teilchen



Viele neue Entwicklungen in den letzten 20 Jahren:
Topologische Zustände (Nobelpreis 2016), Spinflüssigkeiten usw.

Spannender Dialog zwischen Theorie und Experiment



Technologische Relevanz:
Supraleiter, Sensoren, Spin-Elektronik usw.

Professur Theoretische Festkörperphysik

Prof. Dr. Matthias Vojta

Bachelor- und Master-Projekte

Frustrierte Magnete:
Modellierung thermodyn. Eigenschaften konkreter Materialien

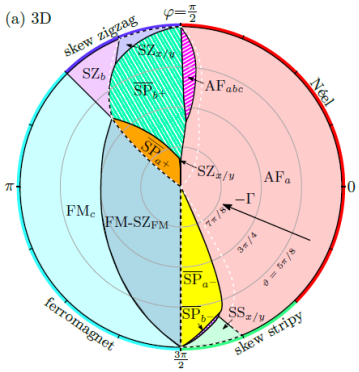
Frustrierte Magnete:
Neue Phasen durch Gitter-Verspannung

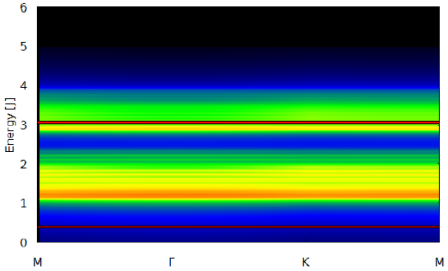
Spinflüssigkeiten:
Fraktionelle Quasiteilchen und gebundene Zustände

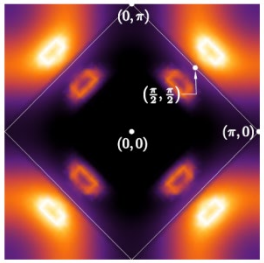
Magnetische Quantenphasenübergänge:
Spin-Bahn-Kopplung und feldabhängige Thermodynamik

Topologische Semimetalle:
Kondo-Effekt und Bandstruktur

Künstliche Magnetfelder in topologischen Semimetallen







Vertiefungsgebiet Theoretische Physik @ TU Dresden

• Quanten-Vielteilchentheorie	Prof. Dr. J. C. Budich
• Computational Physics	Prof. Dr. R. Ketzmerick
• Phänomenologie der Elementarteilchen	Prof. Dr. D. Stöckinger
• Theoretische Quantenoptik	Prof. Dr. W. Strunz
• Theorie der kondensierten Materie	Prof. Dr. C. Timm
• Netzwerk-Dynamik	Prof. Dr. M. Timme
• Korrelierte Elektronen und Topologie	Jun-Prof. Dr. H.-H. Tu
• Theoretische Festkörperphysik	Prof. Dr. M. Vojta

Erinnerung: Abschlussarbeiten

Bachelorarbeit

Gesamtdauer 12 Wochen

Arbeitsaufwand ca 25 Std/Woche

Während oder nach Vorlesungszeit 6. Semester

Vortrag (benotet) nach Abschluss

Masterarbeit (inkl. Wissenschaftliches Arbeiten)

Gesamtdauer 12 Monate

Arbeitsaufwand effektiv 40 Std/Woche

Alle Master-Prüfungen sollten vor Beginn abgeschlossen oder mindestens terminiert sein.

Vortrag/Verteidigung (unbenotet) nach 6 Monaten