

Soft Matter: Concepts, Phenomena, and Applications

Wim van Saarloos, Vincenzo Vitelli, Zorana Zeravcic

Curricula in the study of physics are involving with time. When I was physics student at the University of Bonn in the 1980s, the courses (among others) in the 3rd and 4th year were still Nuclear Physics I and II, High Energy Physics I and II, and Quantum Electrodynamics I and II. The big questions in those fields have long been solved and modern physics has new challenges, also to cope with the challenges from today's society: climate, the environment, the energy transition, health, high-tech, and food & agro. Soft Matter and Physics of (complex) Fluids and the concepts applied in these fields have huge relevance for these societal challenges of today. Therefore the subject of Soft Matter and Physics of (complex) Fluids should not be missing in any modern physics curriculum, and indeed, meanwhile, 40 years after the French Nobel Laureate P.-G. de Gennes has branded the name Soft Matter Physics, a course on Soft Matter and Physics of (complex) Fluids has been prominently introduced in most.

But how to teach an undergraduate or a graduate class in Soft Matter? The book "Soft Matter – concepts, phenomena, and applications" by Wim van Saarloos, Vincenzo Vitelli and Zorana Zeravcic is the ultimate answer to many confronted with this question: Just as Soft Matter itself, it is fascinating, rich, multilayered, offering various concepts, thought-stimulating and it makes one think out of the box. The multilayered structure of the book makes it as enjoyable for 1st year students as for researcher who have worked for decades in this still young, but explosively growing field.

The book starts with pointing out the challenges and fun of soft matter physics and in particular the relevance of the field to solve the big questions of today's society. Then Part I lays out the groundwork required in this field: fluid dynamics, elasticity, and modern statistical physics. Part II deals with the phases of soft matter: colloids, polymers, liquid crystals, interfaces, surfaces, and membranes. Parts III and IV cover advanced topics, namely pattern formation out of equilibrium, active matter, and the very new subject of designing matter.

The book is wonderfully illustrated and graphically designed. It offers quite a lot of excellent and thought-promoting homework problems¹ and stimulates the reader to further reading in the literature. In particular, the book comes together with a spectacular Webpage, which contains illustrative movies and further material. This is the way how teaching and text books of the 21st century should be set up.

In a nutshell, not only the subject of Soft Matter Physics should not be missing in any modern physics curriculum, but neither should van Saarloos *et al.s'* book on this subject.

Detlef Lohse, University of Twente

¹ The authors will provide lecturers with the 288-page solution manual upon request.

Note: the solution manual is in fact obtained via the [website of the book at Princeton University Press](#).

Quantenphysik

„Wie man leicht sieht, gilt ...“ – Satzanfänge dieser Art haben schon Generationen von Physikstudierenden in die Verzweiflung getrieben. Das für Lehrende und Buchautoren Offensichtliche muss für Lernende, die sich den Stoff erst mühsam erarbeiten, natürlich nicht offensichtlich sein. Ähnliches gilt für Aufgaben, zu denen keine oder nur verkürzte Lösungswege angegeben werden. Gerhard Franz umgeht in seinem zweibändigen Werk diese Verständnishaften, indem er Wert auf sehr ausführliche Herleitungen und Erklärungen sowie auf viele komplett vorgerechnete Aufgaben legt. Bei den hohen Ansprüchen, die er an seine Leserschaft stellt, ist das auch notwendig. Dieses Vorgehen, kombiniert mit guten Einführungen und Kapitelzusammenfassungen, führt folglich zum beachtlichen Gesamtumfang von über 1400 Seiten.

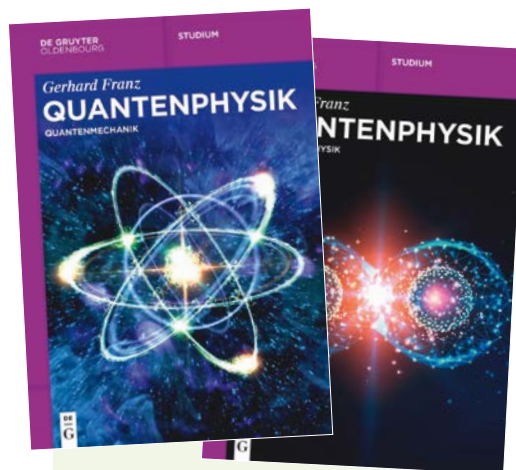
Die Bücher, die einen „hybriden Charakter zwischen Skriptum und Lehrbuch“ aufweisen, entstanden aus Vorlesungen, die der Autor in einem Ingenieur-Masterstudiengang Mikro- und Nanotechnik gehalten hat. Die Studierenden besaßen also wenig Vorkenntnisse aus der theoretischen Physik. Um den beabsichtigten Tiefgang in der Behandlung der Quantenphysik zu erreichen, startet Franz den ersten Band „Quantenmechanik“ mit zwei umfangreichen Vorkapiteln zum Schwarzen Strahler (inkl. Grundlagen der Elektro- und Thermodynamik) und zu Quanteneffekten (Photoeffekt, Wellennatur des Elektrons, Unschärfeprinzip von klassischen und Elektronenwellen, Bohr-Modell, Compton- und Zeeman-Effekt, Elektronenspin). Daran schließt sich mit knapp 150 Seiten das ausführliche Kapitel „Handwerkskasten der Quantenmechanik“ an, das außer der klassischen Wellen- und Wahrscheinlichkeitstheorie die „quantenmechanischen Rezepte“ (Gruppentheorie, Hilbert-Raum, Eigenwertgleichungen, Dirac-Nomenklatur u. a.) behandelt, die zum Verständnis der darauf folgenden Kapitel notwendig sind: Wellenmechanik, Störungsrechnung, Quantenteilchen und konstantes Potential,

Tunneleffekt, Quantenoszillatoren, Drehimpuls, das Zentralfeldproblem, die Wechselwirkung mit Dipolstrahlung, Mehrelektronenatome und schließlich Molekülorbitale. Neben der ausführlichen mathematischen Behandlung der Sachverhalte finden sich Zusatzinformationen, etwa wissenschaftshistorische Zu-

Spektroskopie) folgt eine umfassende Beschreibung von Elektronen im realen Festkörper mit dem Bändermodell. Nach der Behandlung von Elektronenzuständen und Pseudopotentialen gibt es zum Abschluss des Bandes ein über 100 Seiten umfassendes Kapitel zu Halbleitern. Schwerpunkt sind hier die verschiedenen Übergänge: Halbleiteroberflächen, Metall-Halbleiterkontakte und pn-Übergänge.

Beiden Bänden merkt man an, dass der Autor über Jahrzehnte experimentell tätig ist – aktuell noch (obwohl schon im Ruhestand) am Walter-Schottky-Institut der TU München. Sowohl die dargestellten Grundlagen als auch die Aufgaben sind oft mit praktischen Sachverhalten verknüpft. Das kommt vor allem Ingenieurwissenschaftler:innen entgegen. Aber auch Physikstudierende können von den Büchern profitieren – bieten sie doch eine Alternative zu den meist von Theoretikern verfassten Lehrbüchern zur Quantenmechanik. Tiefe und Umfang der Darstellung in den Büchern sprengen aber deutlich den Rahmen von üblichen Lehrveranstaltungen. Insofern sind beide Bände zum Gebrauch neben Vorlesungen oder zu vertiefendem Studium zu empfehlen.

Prof. Dr. Rolf Heilmann, München



Gerhard Franz: Quantenphysik

De Gruyter Oldenbourg, Berlin 2024,

Bd. 1: Quantenmechanik: 800 S., brosch., 89,95 Euro, ISBN 9783111237985

Bd. 2: Festkörperphysik: 654 S., brosch., 89,95 Euro, ISBN 9783111240756

sammenhänge und Beispiele, durch grauen Hintergrund gekennzeichnet. Wichtige Formeln und Zusammenfassungen sind hellblau hinterlegt und erleichtern somit den Überblick.

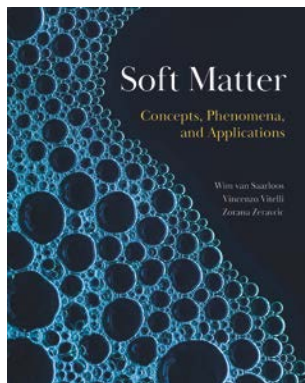
Der Band II „Festkörperphysik“ setzt dieses Konzept nahtlos fort und beginnt mit einer Diskussion von Festkörpermodellen und deren experimenteller Bestätigung durch die Röntgenbeugung. Anschließend geht es um kondensierte Zustände in den verschiedenen kristallinen Ausprägungen. Unter „Dynamik der Gitter“ behandelt Franz darauf aufbauend Gitterschwingungen, das Photonenkonzept, die Zustandsdichte, die spezifische Wärme und die Lichtstreuung an Phononen. Im folgenden umfangreichen Kapitel über Metalle zeigt er die Möglichkeiten – aber auch die Grenzen – des Modells freier Elektronen auf, das zum Modell des Fermi-Gases weiterentwickelt werden musste. Nach optischen Eigenschaften und Effekten im Magnetfeld (inkl. der Grundlagen von NMR- und EPR-

Soft Matter

Lehrpläne im Physikstudium entwickeln sich mit der Zeit. Als ich in den 1980er-Jahren Physikstudent an der Universität Bonn war, bestanden die Kurse im 3. und 4. Jahr (unter anderem) aus Kernphysik, Hochenergiephysik sowie Quantenelektrodynamik. Die großen Fragen in diesen Bereichen wurden längst gelöst, und die moderne Physik steht vor neuen Herausforderungen, auch um den Anforderungen der heutigen Gesellschaft gerecht zu werden: Klima, Umwelt, Energiewende, Gesundheit, Hightech und Agrar- sowie Nahrungsmitteltechnologien. Weiche Materie („soft matter“) und Physik von (komplexen) Fluiden sowie die in diesen Bereichen

angewandten Konzepte haben große Bedeutung für diese heutigen gesellschaftlichen Herausforderungen. Daher sollten diese beiden Themenkomplexe in keinem modernen Physik-Curriculum fehlen. Tatsächlich wurde inzwischen, vier Jahrzehnte nachdem der französische Nobelpreisträger P.-G. de Gennes den Begriff der Physik der weichen Materie (Soft Matter) geprägt hat, ein entsprechender Kurs in den meisten Curricula prominent eingeführt.

Doch wie unterrichtet man einen Grund- oder Fortgeschrittenenkurs in Soft Matter? Das Buch von Wim van Saarloos, Vincenzo Vitelli und Zorana Zeravcic ist die ultimative Antwort für alle, die vor dieser Frage stehen: Genau wie die Weiche Materie selbst ist es faszinierend, reichhaltig, vielschich-



Wim van Saarloos, Vincenzo Vitelli und Zorana Zeravcic:
Soft Matter: Concepts, Phenomena, and Applications,
Princeton University Press, Princeton 2024, geb., 624 S., 75 €, ISBN 9780691191300

tig, bietet verschiedene Konzepte, regt zum Nachdenken an und lädt dazu ein, über den Tellerrand hinauszudenken. Die vielschichtige Struktur des Buches macht es sowohl für Erstsemester als auch für erfahrene Forscher*innen interessant und lesenswert.

Das Buch beginnt damit, die Herausforderungen und den Reiz der Weiche-Materie-Physik hervorzuheben, vor allem die Relevanz des Gebiets zur Lösung der großen Fragen unserer Gesellschaft. Teil I legt die Grundlagen in diesem Bereich: Fluidodynamik, Elastizität und moderne Statistische Physik. Teil II befasst sich mit den

Phasen der weichen Materie: Kolloide, Polymere, Flüssigkristalle, Grenzflächen, Oberflächen und Membranen. Die Teile III und IV decken fortgeschrittene Themen ab, nämlich die Musterbildung im Ungleichgewicht, aktive Materie und das sehr neue Thema des „material design“.

Das Buch ist wunderbar illustriert und grafisch gestaltet. Es enthält eine Vielzahl hervorragender und zum Nachdenken anregender Übungsaufgaben und ermutigt den Leser zur weiteren Lektüre der Fachliteratur. Besonders hervorzuheben ist die spektakuläre Webseite zum Buch, die illustrative Filme sowie Zusatzmaterial bietet.¹⁾ So sollten Lehrbücher des 21. Jahrhunderts gestaltet sein!

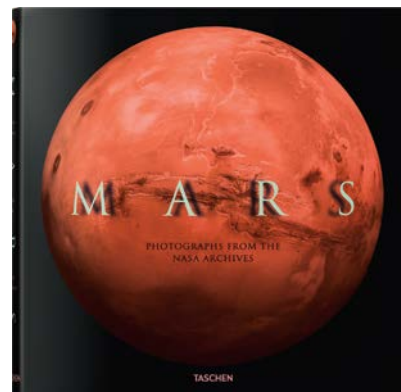
Nicht nur das Thema Soft Matter Physics sollte also in keinem modernen Physik-Curriculum fehlen, sondern auch nicht das Buch von van Saarloos, Vitelli und Zeravcic.

Prof. Dr. Detlef Lohse, University of Twente

Mars

Derzeit ist der Mars am Abendhimmel zu bewundern. Sein markantes Rot macht es leicht, ihn zu identifizieren. Von der Erde aus ist es allerdings schwierig, Oberflächendetails zu erkennen, aber seit Langem liefern Sonden, Lander und Rover faszinierende Bilder vom roten Planeten. Den Anfang machte die NASA-Sonde im Juli 1965 mit noch sehr verwaschenen Schwarz-Weiß-Aufnahmen. Zuletzt landete die Mission „Mars 2020“ mit dem Rover Perseverance und mit dem ersten Helikopter Ingenuity. Dieser prächtige Bildband feiert sechs Jahrzehnte Marsforschung der NASA und bietet eine faszinierende Gelegenheit, sich auf dem Mars umzuschauen, ohne selbst hinfliegen zu müssen.

In zwei einleitenden Kapiteln befassen sich die Raumfahrtshistorikern Margaret Weitekamp mit dem Mars



Mars. Photographs from the NASA Archives, Taschen, 2024, geb., 340 S., 50 Euro, ISBN 9783836586467, weitere Infos und Beispielseiten: bit.ly/3Wexhut

in der Popkultur bzw. der ehemalige NASA-Chefwissenschaftler James L. Green mit der Suche nach Leben auf dem Mars. Alle Textteile des Buches sind auf Englisch, Deutsch und Französisch zu finden, wobei jede Sprachfassung eine eigene und gleichermaßen spannende Bebilderung besitzt. Alle Bildunterschriften im Buch sind dagegen auf Englisch.

Die drei Bildteile des Buches „Reconnaissance“, „Circumnavigation“ und „Landfall“ gruppieren die Bilder der Mars-Missionen nach den verschiedenen Phasen der Mars-Erkundung: Vorbeiflug, Umrundung und Landung. Die Vielfalt der Bilder macht den Reiz dieses Bandes aus. Das reicht von Aufnahmen aus der Umlaufbahn über grandiose Landschaftspanoramen bis hin zu Detailfotos der Oberfläche und sogar Selfies der Lander. Als Betrachter kommt man dabei nicht aus dem Staunen heraus. Der Mars hat viel zu bieten: gigantische Vulkane, atemberaubende Dünenlandschaften, stimmungsvolle Sonnenuntergänge und sogar Wolken und Spuren vergangener Wassermassen.

Nach einem Kapitel von Rob Manning, Chefsingenieur des Jet Propulsion Laboratory, der die technischen Herausforderungen der Mars-Missionen behandelt, schließt das Buch mit einer Übersicht der NASA-Missionen. Allen, die von zuhause aus zum Mars reisen möchten, kann ich diesen hochwertig gestalteten und verarbeiteten Prachtband nur empfehlen.²⁾

Alexander Pawlak

1) Die Autoren stellen Dozent:innen auf Anfrage die auf 288 Seiten ausgearbeiteten Lösungsvorschläge zur Verfügung. Die Webseite zum Buch findet sich auf <https://softmatterbook.online>.

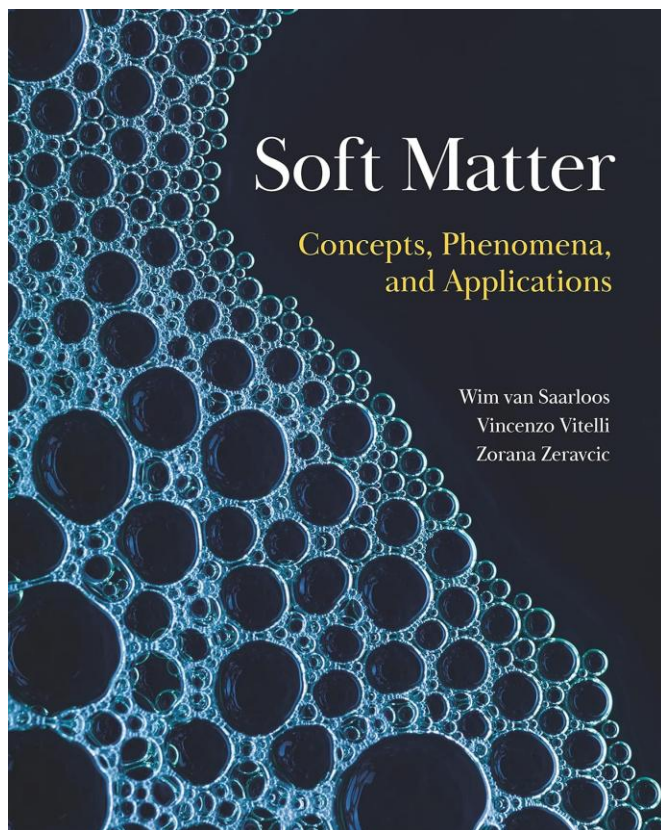
2) Eine erweiterte Rezension mit weiteren Büchern findet sich auf <https://pro-physik.de/buecher/mars>.

Soft Matter: Concepts, Phenomena, and Applications

Wim van Saarloos, Vincenzo Vitelli, Zorana Zeravcic

Princeton University Press, Princeton and Oxford, 2024

ISBN: 9780691191300



Imagine you find yourself in the middle of a giant jig-saw puzzle. Some of its pieces you have probably seen before, others are entirely new to you. Then, miraculously, all of the pieces start falling together, revealing an artwork full of unexpected connections. And in a perfect illustration of the maxim that the whole is more than the sum of its parts, even the pieces that looked familiar to you acquire an extra dimension – and new things to discover – when you suddenly see the bigger picture. That is how I felt while reading "Soft Matter" by Van Saarloos, Vitelli, and Zeravcic. It is a wonderful book, kaleidoscopic in its design, combining in a riveting and seemingly effortless way the many diverse topics that together form the fascinating new field called Soft Matter.

The phenomenal diversity of the field, with its conceptual framework that spans multiple disciplines including physics, biology and chemistry, naturally constitutes a huge challenge to anyone who sets out to teach the subject. What to include? What to leave out? And how to blend everything together in a consistent way? The book by Van Saarloos, Vitelli, and Zeravcic – which grew out of lectures given at the Universities of Leiden and Chicago to a variety of

students at different levels – answers these questions in a superb way. The authors start with an engaging introduction on the scientific challenges, the strong societal relevance, as well as the sheer fun of Soft Matter. After this compelling opening chapter, Part I lies the foundations of the field: Fluid Dynamics, Elasticity and key elements of contemporary Statistical Physics, such as how to deal with fluctuations. Depending on the prior knowledge of the students, teachers can make their own choice about which topics need to be covered here. Part II contains the heart of the matter: Colloids, Polymers, and Liquid Crystals (three topics that will certainly be covered in any course) and a captivating chapter on Interfaces, Surfaces, and Membranes. Part III moves on to the advanced topics of Active Matter and Pattern Formation out of Equilibrium, providing excellent material for a graduate course or a series of state-of-the-art seminars in a summer school. Last but not least, Part IV gives a survey of new frontiers such as Designing Matter, Neural Network Architecture, Artificial Intelligence, and Artificial Life. This final part can be studied independently and forms a rich source for end-of-term assignments and student presentations. Thus, the authors offer the whole spectrum from the fundamental theoretical background to the forefront of current research.

Unifying themes throughout "Soft Matter" are its focus on the hydrodynamic approach and its open eye for applications in biological systems. Both of these themes are great strengths in themselves, and moreover make the book remarkably consistent given the enormous breadth of the field.

Apart from getting acquainted with a treasure trove of knowledge, the reader is also treated to an excitingly fresh and flexible *way of thinking* about Soft Matter: creative, out-of-the-box, and thorough at the same time. Written in a crystal-clear and friendly style – with scientific elegance, dexterity, and exceptional acumen throughout – this is a marvelous textbook which will take students and teachers alike on an intellectual adventure of the first order.

Mathematical modeling and physical insight go hand in hand on every page and I found it a delight to follow the authors from one eye-opener to the next, many of which happened to be (to my surprise and enthusiasm) on topics of my own expertise. Van Saarloos, Vitelli, and Zeravcic have the open-mindedness to address questions that are usually brushed aside and fully succeed in giving convincing answers.

The well-balanced choice of the core material, the uniquely accessible approach throughout, the thought-stimulating notes in the margin, the worked-out examples, the beautiful illustrations, the guided step-by-step exercises at the end of each chapter, the website that accompanies the book with videos and valuable extra material; all of these contribute to give "Soft Matter" the makings of an instant classic. A truly amazing accomplishment, which deserves a prominent place in every physics curriculum around the world.

Prof. Dr. Ko van der Weele, University of Patras, Greece